



Budget énergie Transport et petits déplacements

Lourdes Diaz Olvera, Didier Plat

► To cite this version:

Lourdes Diaz Olvera, Didier Plat. Budget énergie Transport et petits déplacements. 1984. halshs-00912744

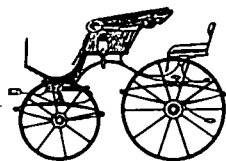
HAL Id: halshs-00912744

<https://shs.hal.science/halshs-00912744>

Submitted on 2 Dec 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Décision d'Aide à la Recherche N° 82.02.10

MINISTERE DES TRANSPORTS

Service des Etudes, de la Recherche
et de la Technologie

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ET DE LA RECHERCHE

Lourdes DIAZ OLVERA
Didier PLAT

BUDGET ENERGIE
TRANSPORT ET
PETITS DEPLACEMENTS

août 1984

à l'Université Lumière Lyon 2:

M.R.A.S.H. ☐
14, avenue Berthelot
69363 Lyon Cedex 07
Tél. 72 72 64 03

Laboratoire d'Economie des Transports
Unité Mixte de Recherche du C.N.R.S. n° 0108

à l'Ecole Nationale
des Travaux Publics de l'Etat:

☐ E.N.T.P.E.
rue M.-Audin
69518 Vaulx-en-Velin Cedex
Tél. 72 04 70 46

RESUME

L'objet de la recherche est double : mettre en évidence les déterminants des consommations énergétiques transport en milieu urbain et identifier les déplacements courts, notamment dans une perspective d'économies d'énergie.

Les deux premières parties sont consacrées à la mise au point des instruments méthodologiques. Partant d'enquêtes de type programme d'activité réalisées antérieurement dans l'agglomération lyonnaise (chapitre 1), il s'agit de pouvoir affecter distance et consommation à chaque déplacement. Une étude bibliographique fait d'abord le point sur l'état de la modélisation en matière énergétique (chapitre 2). Puis deux modèles sont élaborés. Le premier permet de reconstituer les distances de déplacement (chapitre 3) tandis que le second s'attache au calcul des consommations (chapitre 4).

La troisième partie rend compte des analyses effectuées. La fiabilité des modèles présentés dans la partie précédente est d'abord évaluée rapidement (chapitre 5) avant qu'une première étude des consommations énergétiques mette en évidence un certain nombre de déterminants : sexe, lieu d'habitat, statut, usage de l'espace... (chapitre 6). Une synthèse est ensuite tentée qui, à partir de la construction de macro-variables, permet d'approcher simultanément les budgets énergétiques transport des individus et la micro-mobilité (chapitre 7). A cette occasion, le potentiel d'économies d'énergie résultant d'un report de la voiture vers les autres modes (pour les seuls déplacements courts) est évaluée et apparaît singulièrement limité (tout au moins pour l'agglomération lyonnaise). Enfin, un bilan est proposé, sous le double aspect des résultats obtenus et des améliorations méthodologiques nécessaires à un approfondissement de la recherche.

dimension qui lui est traditionnellement étrangère, celle de la consommation temporelle d'énergie liée aux déplacements.

Le support empirique est constitué de deux enquêtes programmes d'activité réalisées antérieurement par le Laboratoire et portant sur un jour banalisé de semaine. Leur mise en conformité avec les nécessités de cette recherche s'est organisée autour de trois axes : un redressement, la reconstitution des distances et la reconstitution des consommations.

Les échantillons des enquêtes de base avaient été élaborés dans une perspective de représentativité structurelle et non statistique. La disponibilité d'un échantillon statistiquement représentatif s'avérant ici nécessaire, il a donc fallu redresser la base de données existante. Ce redressement ne porte toutefois que sur l'une des deux enquêtes, l'autre ayant déjà fait l'objet d'une telle procédure antérieurement.

La méconnaissance de la distance réelle de chaque déplacement recensé impose de recourir à une méthode de reconstitution de cette distance. Son choix s'appuie sur une réflexion préliminaire sur les différentes approches mathématiques de la notion de distance et sur les hypothèses de représentation de l'espace physique dont elles découlent. La méthode retenue recourt à une partition des déplacements en deux groupes, selon qu'origine et destination ont ou non été précisément enregistrées par l'enquêteur. Une distance "probable" (mesurée sur un fond de plan avec un curvimètre) est alors affectée aux déplacements les mieux connus et permet de caler des modèles concernant les vitesses moyennes réutilisables sur les déplacements du second groupe. Si cette démarche n'est pas exempte de critiques (notamment son caractère normatif), elle s'avère cependant beaucoup plus fiable que les méthodes traditionnelles (passant par un zonage et une distance à vol d'oiseau).

Une analyse bibliographique montre les lacunes de la modélisation de la consommation des véhicules. L'automobile est la mieux lotie mais des progrès sensibles sont possibles. La batterie de modèles de consommation se ressent de ces manques et ce n'est que pour la voiture qu'il est possible de dépasser les simples consommations unitaires. Ce mode de transport a ainsi donné lieu à l'élaboration d'un modèle original à quatre étapes. Le modèle de consommation moteur chaud a été emprunté à la littérature. Les trois autres éléments (surconsommation, échauffement et refroidissement du moteur, influence de facteurs annexes) sont issus d'un effort spécifique de formalisation basé sur des études empiriques rencontrés dans la bibliographie.

Ces divers axes d'enrichissement des données étaient susceptibles d'introduire des biais. Aussi la fiabilité des résultats a-t-elle été testée de manière approfondie. Leur consistance semble satisfaisante, mais la lourdeur des procédures utilisées invite à réfléchir sur les améliorations ou innovations à apporter aux

NOTE DE SYNTHESE

Si l'évolution de la consommation d'énergie du secteur des transports est relativement bien suivie à un niveau macro-économique, il n'en est pas de même lorsque l'on examine l'une ou l'autre de ses composantes. Des travaux récents (notamment ceux de l'IRT-CERNE) ont toutefois permis de dépasser la connaissance des seules consommations unitaires pour fournir une image, parfois encore floue, des comportements des véhicules en conditions réelles de circulation.

Ces recherches montrent notamment que la consommation des véhicules particuliers n'est pas rigoureusement proportionnelle à la vitesse de déplacement. Lorsque le départ s'effectue à froid, une dépense énergétique servant à mettre le moteur en température (la "surconsommation") vient en effet se greffer sur la consommation assurant le mouvement du véhicule. Ce surcoût peut être extrêmement important, notamment dans le cas de petits déplacements automobiles. Ainsi, sur des modèles courants de gamme moyenne, des consommations supérieures à 50 litres/100 km ont pu être observées pour des déplacements de l'ordre de 4 km avec démarrage moteur froid.

Sans vouloir se lancer dans des évaluations hasardeuses du poids énergétique précis des petits déplacements urbains, les remarques précédentes les désignent comme susceptibles de cacher des gisements d'économies d'énergie peut-être substantiels.

Les deux objectifs principaux de la recherche découlent de ces quelques remarques :

- Quels sont les déterminants des consommations énergétiques transport des individus en milieu urbain ?
- Quels sont les petits déplacements et quel est leur poids ? Et donc, quelles économies d'énergie peut-on en attendre ?

1 - LA PRODUCTION DES DONNEES

Du fait de l'existence de la surconsommation, l'énergie consommée durant le déplacement n'est pas liée qu'à ses seules caractéristiques spatiales, mais également à ses caractéristiques temporelles. L'instrument qui s'impose alors pour aborder le problème est la méthode des programmes d'activité, enrichie d'une

méthodes d'enquête usuelles afin d'y intégrer la dimension énergétique.

2 - LES DETERMINANTS DES CONSOMMATIONS TRANSPORT

Les écarts entre niveaux de consommation sont bien évidemment, avant tout, le résultat de l'utilisation des modes. L'automobile se révèle ainsi une forte consommatrice, captant à elle seule près de 90 % de l'énergie totale. Pour des distances moyennes similaires (environ 6 km), elle demande près de quatre fois plus d'énergie que les transports collectifs. Ces mauvaises performances énergétiques de l'automobile sont dues notamment à la surconsommation liée à l'échauffement du moteur, qui représente, en moyenne, près du quart de la consommation totale de ce mode. Toutefois, son poids varie très sensiblement avec la distance parcourue. Pour des longueurs inférieures à 5 km, la surconsommation représente 38 % de la consommation totale, mais seulement 13 % de cette même consommation pour des distances de 15-20 km. Ce phénomène se retrouve très clairement dans l'analyse des consommations moyennes selon le type de liaison. Les déplacements automobiles internes au centre, avec de faibles distances moyennes, présentent des consommations kilométriques très élevées (de 30 à 60 % supérieures à la moyenne), le taux de surconsommation étant de l'ordre de 30 %. Par contre, les déplacements radiaux et surtout orthoradiaux, plus longs, se montrent plus efficaces énergétiquement.

Le caractère déterminant du taux d'usage de la voiture se retrouve lorsque l'on examine les consommations moyennes selon le motif du déplacement. Les motifs les plus "énergivores" (surtout "travail" mais également "secondaire" et "vie sociale") sont ceux pour lesquels l'utilisation de la voiture est la plus élevée. Entre les déplacements "service passager", les moins consommateurs, et les déplacements domicile-travail, le rapport des consommations tous modes est de 1 à 6,5. Mais plus qu'une quantification des écarts de consommation, l'analyse révèle que la hiérarchisation des motifs selon leur consommation moyenne est à référer essentiellement à la richesse de l'offre urbaine. Les motifs les moins consommateurs ("service passager", "achats", "école") renvoient aux éléments de l'offre urbaine les plus diffus.

Cependant ces activités résultent de pratiques des individus. Les consommations par déplacement se ressentent alors des autres activités, du mode de vie de ces individus et il est fondamental de dépasser l'examen des consommations moyennes par déplacement pour analyser les budgets énergétiques des individus. Ces budgets sont répartis très inégalement dans la population : 13 % des individus consomment la moitié de l'énergie. La désagrégation de la population selon les caractéristiques socio-économiques traditionnelles va nous montrer des différences sensibles entre groupes d'individus.

Il en est ainsi du lieu d'habitat. L'usage des modes comme l'usage de l'espace est sensiblement différent selon le lieu de résidence. Aussi entre le centre et la périphérie le budget énergétique tous modes est multiplié par 1,6.

Le sexe présente également un fort pouvoir discriminant. En moyenne, les hommes consomment deux fois plus que les femmes, pour une distance supérieure de 50 %. L'écart entre les deux taux est lié à l'usage de la voiture nettement plus développé pour les hommes.

Ainsi, au delà des écarts (consommation, distance) entre individus résultant de décisions structurelles de leurs ménages d'appartenance, des inégalités sensibles existent entre membres d'un même ménage. Il est ainsi symptomatique de constater que les hommes appartenant à des ménages monomotorisés consomment deux fois plus d'énergie que leur compagnes mais autant que les femmes des ménages bimotorisés.

Le statut de l'individu permet de lier le sexe à l'activité professionnelle. Entre les hommes actifs et les retraitées, les écarts de consommation sont considérables (de l'ordre de 7,5). Des groupes plus contrastés peuvent être mis en évidence. L'analyse de la micro-mobilité nous a amené à construire une macro-variable caractérisant l'individu à partir du lieu d'habitat, du nombre de voiture du ménage, de la structure spatiale de ses déplacements et de son statut. L'écart entre les groupes extrêmes est alors supérieur à 12. Cette croissance des budgets énergétiques est à relier à trois phénomènes :

- les pratiques d'activités se modifient;; le travail supprime les achats : les activités entraînant les déplacements les plus énergivores se développent au détriment des activités de proximité ;
- l'usage de l'espace se complexifie ; les mêmes activités sont effectuées plus loin du domicile pour les hommes actifs que pour les retraitées ;
- l'usage des modes se transforme ; le glissement vers la voiture est très sensible.

Qui plus est, les actions de ces trois phénomènes se conjuguent et la croissance du budget énergétique est ainsi encore amplifiée.

Les trois facteurs explicatifs renvoient finalement à l'insertion de l'individu dans les trois sous-systèmes constitutifs du système urbain : localisation, relations et pratiques sociales, transport.

3 - PETITS DEPLACEMENTS ET ENERGIE

La notion de petit déplacement se réfère d'abord à un critère de distance : en dessous d'une certaine distance-seuil, le déplacement peut être qualifié de petit. Mais en demeurer à la seule distance du déplacement s'avère insuffisant. Le déplacement s'insère dans une chaîne constituant la sortie du domicile, chaîne dont les maillons sont interdépendants (nous entendons par "sortie" tous les déplacements compris entre le départ d'un lieu de référence et le retour). Aussi avons-nous combiné trois éléments pour obtenir une définition plus pertinente du "petit déplacement" :

- la sortie
- la distance, du déplacement considéré et de la sortie
- les lieux à partir desquels se structurent l'utilisation du temps et de l'espace, c'est-à-dire, le domicile et, à un moindre degré, le lieu de travail (sortie secondaire).

A partir de ces critères, il est possible de bâtir une typologie des déplacements en cinq catégories (figure 1). Les quatre premiers types regroupent les déplacements courts. La différenciation entre eux s'effectue en fonction des caractéristiques de distance de la sortie à laquelle appartient le déplacement (distance du plus grand déplacement et distance totale).

Nous avons retenu comme distances-seuil 2,4 km pour le déplacement et 3,9 km pour la sortie. Ces valeurs peuvent être considérées comme optimistes car elles sont, d'une certaine manière, des distances pédestres "maximales".

Les déplacements courts inclus dans des sorties courtes (type 1 - 39 % des déplacements) sont liés à des activités contraintes (essentiellement les achats et les services passagers) mais aussi le travail lorsqu'il est à proximité du domicile. Ils sont effectués principalement par des non actifs (retraités) habitant le centre de l'agglomération et appartenant à des ménages peu motorisés.

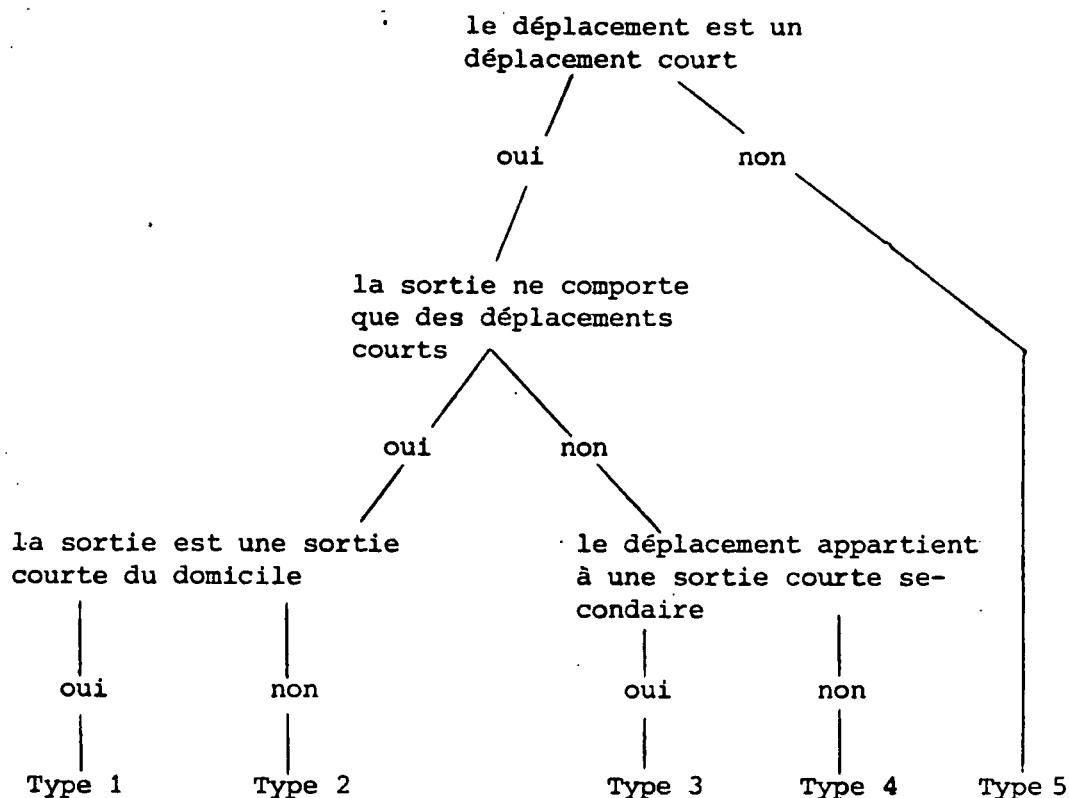
Les déplacements qui appartiennent à des sorties longues quoique constituées uniquement de déplacements courts (type 2 - 4 %) correspondent plutôt aux achats et à la vie sociale.

Les déplacements courts inclus dans des sorties secondaires courtes (type 3 - 1 %) renvoient, bien évidemment, à des déplacements secondaires. Extrêmement rares, ils sont dus à des actifs ou à des scolaires demeurant en périphérie.

Les déplacements courts isolés (type 4 - 10 %) regroupent notamment des déplacements secondaires et, à un moindre degré, des déplacements domicile-travail. Ils sont accomplis par des hommes actifs.

FIGURE 1 : Typologie des déplacements, selon leur distance

On appellera ici déplacement court, un déplacement dont la distance est inférieure à un seuil (restant à définir) et sortie courte (du domicile ou secondaire) une sortie dont la longueur totale est inférieure à une longueur seuil (restant également à définir).



Les déplacements longs (type 5 - 46 %) se caractérisent surtout par leur hétérogénéité mais on remarque une certaine prééminence des actifs. Cela se reflète d'ailleurs dans la place prépondérante du motif travail au détriment des achats.

L'usage des modes paraît très dépendant du type de déplacement. Les déplacements type 1 sont essentiellement pédestres (à 85 %). Les déplacements du type 3 présentent un recours moins important à la marche en faveur de la voiture. Ces deux types se signalent par un très faible usage des deux roues et des transports collectifs. La marche perd son rôle prépondérant pour les déplacements de type 2 et 4, au profit de la voiture et des transports collectifs (type 2, uniquement). Enfin, elle disparaît presque totalement pour les déplacements longs. Mais ces variations dans l'usage des modes ne peuvent être imputées uniquement à la distance du déplacement. Plus que cette distance elle-même, ce sont la distance totale de la sortie et la distance de son plus long déplacement qui pèsent le plus lourdement sur l'utilisation des modes.

Les déplacements courts représentent 54 % de l'ensemble des déplacements mais seulement 13 % en termes de distance et 11 % en termes de consommation. La part de la voiture dans la consommation est toutefois peu sensible au type de déplacement.

Pour les seuls déplacements effectués en voiture, 26 % sont des déplacements courts, mais ils regroupent uniquement 7 % des distances parcourues et 12 % de la consommation. Cette surimportance relative de la consommation par rapport à la distance est entièrement à imputer à la surconsommation nécessaire à l'échauffement du moteur. En effet, elle représente près de 50 % de la consommation totale des déplacements automobiles courts et seulement 21 % de la consommation totale des déplacements longs.

Les divers types de déplacements automobile court ne se prêtent pas de la même manière à la substitution modale. Ainsi, un report modal des déplacements de type 4, inclus dans des sorties automobiles longues, paraît difficile sans remise en question de l'usage de la voiture sur tout ou partie de la sortie.

L'enjeu énergétique théorique lié à un report modal systématique des seuls petits déplacements automobiles dans l'agglomération lyonnaise semble alors excéder difficilement 5 à 6 % de la consommation automobile totale. Qui plus est, bien d'autres facteurs interviennent dans le choix du mode de transport. Certains sont directement liés à l'offre de transport ; d'autres renvoient plus aux caractéristiques propres du déplacement et de la sortie correspondante ; d'autres encore sont à relier aux caractéristiques socio-démographiques et économiques des individus. Les économies à attendre semblent alors très inférieures au maximum théorique, d'autant que le véhicule abandonné peut être utilisé par un autre membre du ménage. La recherche ne permet cependant pas d'affiner ce résultat et de l'étendre aux autres agglomérations françaises. De plus, il faut remarquer que restreindre le recours à la voiture sur les faibles distances risquerait d'accroître encore l'inégalité de son usage. Le budget énergétique automobile est multiplié par plus de 10 entre les deux groupes extrêmes d'individus (issus de la macro-variable individu) mais seulement par 5 en se limitant aux déplacements courts. Les écarts de consommation reflètent moins un accès différencié à la voiture pour les petits déplacements que la possibilité de son utilisation lors de déplacements longs.

Les substituts du déplacement court automobile, plus que dans le report modal, sont à inscrire dans des formes plus larges de substitution entre des organisations différentes de la vie quotidienne ou entre des pratiques spatiales elles-mêmes différenciées.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE	7
CHAPITRE I - LE SUPPORT EMPIRIQUE .	9
I - DESCRIPTION DES ENQUETES DE BASE	10
II - REDRESSEMENT DES ENQUETES	14
1 - Redressement du sous-fichier centre	14
2 - Représentativité du fichier global	16
III - PRESENTATION DU FICHIER DE TRAVAIL	18
1 - Les ménages	18
2 - Les individus	18
3 - Les déplacements	21
CHAPITRE II. - REPERES BIBLIOGRAPHIQUES : LA MODELISATION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DES VEHICULES EN MILIEU URBAIN	25
I - LES VEHICULES LEGERS	26
1 - La consommation moteur chaud	26
2 - La surconsommation due à la mise en température du moteur	35
3 - Les facteurs ayant une incidence sur la consommation de carburant en milieu urbain	37
II - LES TRANSPORTS COLLECTIFS	42
1 - Les taxis	42
2 - Les autobus	42
3 - Les trolleybus	44
4 - Le métro	45
III - LES DEUX ROUES	47

	Page
DEUXIEME PARTIE	49
CHAPITRE III - RECONSTITUTION DES DISTANCES DE DEPLACEMENT	51
I - CHOIX D'UNE METHODE DE RECONSTITUTION	52
1 - Les méthodes disponibles	52
2 - La méthode de reconstitution	56
3 - Les limites de la méthode	58
II - RECONSTITUTION DES DISTANCES DE DEPLACEMENT	61
1 - Le sous-fichier	61
2 - Etude des distances et des vitesses des déplacements du sous-fichier	63
III - DISTANCES DE DEPLACEMENT ET VITESSES MOYENNES DANS L'AGGLOMERATION LYONNAISE	70
1 - Les trois types de distance	70
2 - Vitesses moyennes de déplacement	72
CHAPITRE IV - LES MODELES DE CONSOMMATION	75
I - LES VEHICULES LEGERS	76
1 - Les lois d'échauffement et de refroidissement du moteur	76
2 - Le modèle de surconsommation due au démarrage à froid	81
3 - Le modèle de consommation moteur chaud	88
4 - La prise en compte des divers facteurs influençant la consommation	89
5 - Le modèle complet de consommation des véhicules légers	91
6 - Les simulations	92
II - LES AUTRES MODES MOTORISES	96
1 - Les transports collectifs	96
2 - Les deux roues	97
3 - Le mode complexe	98
4 - Conclusion	98
III - L'AFFECTATION DES CONSOMMATIONS AUX INDIVIDUS	99
TROISIEME PARTIE	101
CHAPITRE V - ELEMENTS D'EVALUATION DES METHODES D'ENRICHISSEMENT DES DONNEES	103
I - METHODES LIEES AUX DISTANCES : EFFETS DE LA RECONSTITUTION	104
1 - Méthode de lissage	104
2 - Etude de la courbe "Pourcentage cumulé de déplacements-Distance"	105

	Page
II - METHODES LIEES AUX CONSOMMATIONS :	
EFFETS DES SIMULATIONS	108
1 - Approche globale	108
2 - Approche désagrégée	109
3 - Conclusion	116
CHAPITRE VI - PREMIERE APPROCHE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES	117
I - LES CONSOMMATIONS MOYENNES PAR DEPLACEMENT	118
1 - Premier aperçu des consommations	118
2 - L'influence du motif	125
3 - Consommations d'énergie et sorties du domicile	133
II - LES BUDGETS ENERGETIQUES TRANSPORTS	140
1 - Sous le signe de l'inégalité	140
2 - Le nombre de voiture du ménage	142
3 - Le lieu d'habitat	144
4 - Le sexe de l'individu	146
5 - Le statut de l'individu	150
6 - La structure spatiale des déplacements	156
7 - Conclusion	158
CHAPITRE VII - CONSOMMATIONS D'ENERGIE ET PETITS DEPLACEMENTS	159
I - L'ELABORATION DES MACRO-VARIABLES	160
1 - Une typologie des déplacements fondée sur la distance	160
2 - Les macro-variables	161
II - LES DEPLACEMENTS	165
1 - La caractérisation des six classes	165
2 - Classes de déplacement et consommation	172
III - LES INDIVIDUS	175
1 - Les sédentaires	175
2 - Les six groupes d'individus	176
3 - Groupes d'individus et consommations	186
IV - PETITS DEPLACEMENTS ET ECONOMIE D'ENERGIE	189
1 - Les petits déplacements	189
2 - Quelles économies d'énergie ?	195
CHAPITRE VIII - UN BILAN	199
I - LES DETERMINANTS DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE ET DE LA MICRO-MOBILITE	200
1 - Les déterminants des consommations transport	200
2 - Petits déplacements et énergie	202
3 - Un essai de mise en ordre des déterminants déterminants	203

	Page
II - REFLEXIONS METHODOLOGIQUES	207
1 - Evaluer les distances	207
2 - Déterminer les consommations	211
3 - Analyser la mobilité	213
4 - Quelles méthodes pour quels objectifs	213
5 - Conclusion	215

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	217
-----------------------------	-----

ANNEXES

ANNEXE I	- DOCUMENTS D'ENQUETE
ANNEXE II	- LA MOBILITE INTERURBAINE
ANNEXE III	- BIAIS DUS A L'UTILISATION DU CURVIMETRE ET DU FOND DE PLAN.
ANNEXE IV	- LES DEUX MACROVARIABLES
ANNEXE V	- ABREVIATIONS
ANNEXE VI	- SIGLES

INTRODUCTION

1 - PREAMBULE

Si l'évolution de la consommation d'énergie du secteur des transports est relativement bien connue à un niveau macro-économique, il n'en est pas de même lorsque l'on examine l'une ou l'autre de ses composantes. C'est ainsi que nous ne disposons jusqu'à une époque récente que de données relatives aux consommations unitaires moyennes de tel ou tel mode de transport. Qui plus est, ces consommations unitaires provenaient généralement d'essais effectués selon des procédures normalisées très éloignées des conditions réelles de circulation. Les travaux du Centre d'Evaluation et de Recherche des Nuisances et de l'Energie de l'Institut de Recherche des Transports, en France, s'attachent à combler cette lacune : on citera notamment l'Enquête sur l'Utilisation Réelle de la Voiture (EUREV), effectuée à la demande de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, qui avait pour ambition de fournir une image énergétique fidèle des déplacements automobiles des français (VALLET, YGNACE, MAURIN, 1982).

Sans dépasser les estimations grossières, on peut avancer que, pour la France, la consommation d'énergie des voitures particulières se ventile en deux parts égales, correspondant l'une aux déplacements urbains, l'autre aux parcours non urbains. Pour 1982, ce sont donc quelques 8 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) qu'il faut affecter aux seuls déplacements automobiles effectués dans les villes françaises, soit le quart de la consommation d'énergie des transports terrestres. Le chiffre est élevé, ce que souligne encore la comparaison avec les 5,5 millions de tep consommés par les transports routiers de marchandises (hors distribution). Peut-on alors évaluer le poids énergétique des petits déplacements automobiles ?

La consommation des véhicules particuliers n'est pas rigoureusement proportionnelle à la distance parcourue. En effet, diverses recherches ont mis en évidence la mauvaise efficacité énergétique de la voiture sur de faibles distances (de l'ordre de quelques kilomètres). Les consommations de carburant enregistrées lors de ces petits déplacements sont en effet très largement supérieures aux consommations unitaires moyennes. Sur des modèles courants de gamme moyenne (7 CV), des consommations supérieures à 50 litres/100 km ont pu être observées pour des déplacements urbains de l'ordre de 4 km avec démarrage moteur froid. Ces résultats, comme d'ailleurs certaines des conclusions tirées d'EUREV, indiquent du reste l'importance de la surconsommation liée à la mise en température du moteur lorsque celui-ci est totalement refroidi au moment du démarrage.

Sans vouloir se lancer dans des évaluations hasardeuses du poids énergétique précis des petits déplacements urbains (et encore faudrait-il définir ces derniers avec précision), les considérations précédentes les désignent comme susceptibles de cacher des gisements d'économies d'énergie peut-être substantiels. Or, il s'agit là d'un domaine mal connu. La plupart des enquêtes réalisées en matière de mobilité appréhendent très mal les petits déplacements, et ce pour au moins trois raisons :

- le zonage choisi dans de nombreuses enquêtes est tel qu'il est très difficile de les repérer, notamment dans les communes péri-urbaines du fait de la dimension des zones ;
- le calcul des distances parcourues repose généralement sur la distance à vol d'oiseau entre les centroïdes de zones ;
- les trajets terminaux associés aux déplacements motorisés sont rarement isolés.

Cette méconnaissance est d'autant plus regrettable que les exploitations diachroniques des enquêtes ménages semblent montrer une progression de l'utilisation de la voiture sur les faibles distances, ce mode venant ainsi de plus en plus concurrencer la marche à pied. L'enjeu énergétique des petits déplacements est peut-être moins présent que futur.

2 - OBJECTIFS ET METHODE

Ces quelques remarques permettent de dégager deux objectifs et désignent la méthode permettant de les atteindre.

Quels sont les déterminants des consommations énergétiques transport en milieu urbain ? Nous nous limiterons toutefois aux seules consommations directes, provenant de la réalisation d'un déplacement, en écartant les consommations indirectes, liées, par exemple, à la construction des infrastructures ou des véhicules.

Quels sont les petits déplacements et quel est leur poids ? Et donc, quelles économies d'énergie peut-on en attendre ?

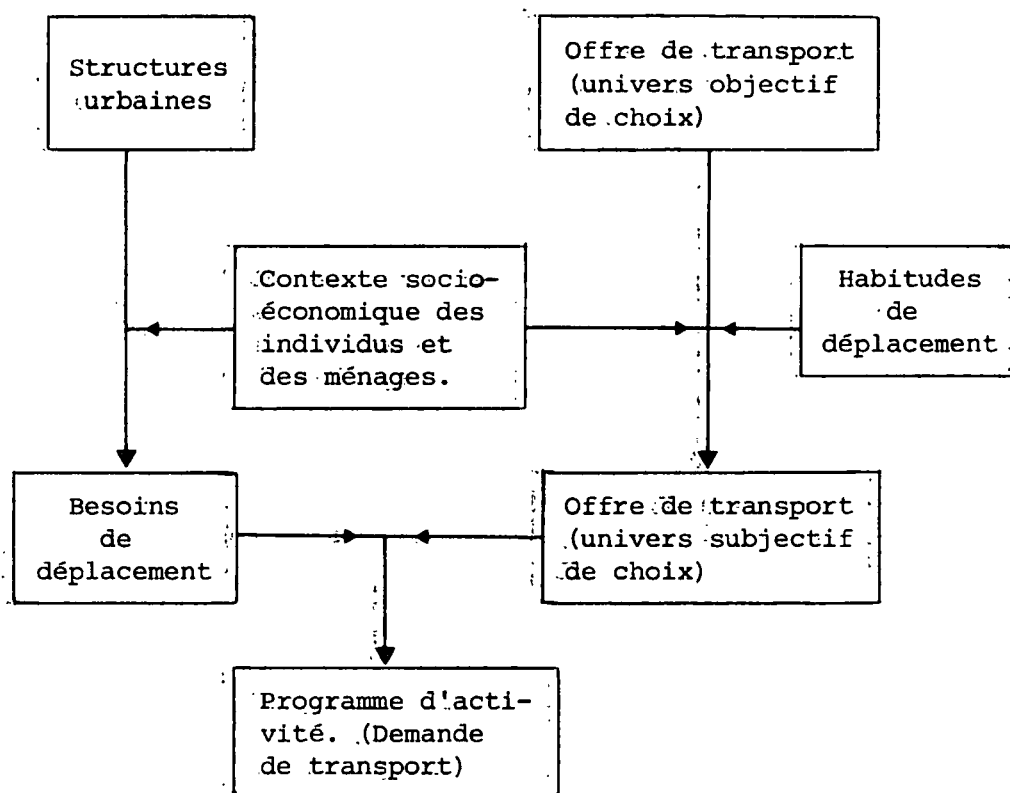
De la constatation de l'existence de la surconsommation découle une remarque immédiate : l'énergie consommée durant le déplacement n'est pas liée qu'à ses seules caractéristiques spatiales, mais également à ses caractéristiques temporelles. Une conséquence méthodologique s'en déduit alors.

Si le repérage horaire des déplacements est indispensable, il n'est toutefois pas suffisant. La succession temporelle des déplacements n'est que le produit de l'usage qui est fait du temps par l'individu, c'est-à-dire de la succession d'activités spatialement et temporellement localisées. Les déterminants des consommations en transport urbain (comme ceux des distances de déplacement) sont à chercher dans ces pratiques d'activités différenciées selon les individus.

L'instrument qui s'impose ainsi pour aborder le problème est la méthode des programmes d'activité, enrichie d'une dimension qui lui est traditionnellement étrangère et qui est celle de la consommation temporelle d'énergie liée aux déplacements. Nous aventurant dans un domaine encore mal balisé, nous avons préféré, plutôt que nous lancer directement dans l'élaboration d'une enquête spécialement adaptée à notre propos, partir d'enquêtes programmes d'activité réalisées par le LET dans d'autres occasions en les complétant d'un volet énergétique. Nous n'atteindrons ainsi probablement pas toute la finesse souhaitable dans les réponses à nos deux objectifs, mais la réflexion sur les éléments indispensables à introduire dans une enquête spécifique s'y enrichira plus.

De par le réemploi d'enquêtes existantes, l'analyse des distances et consommations par déplacement que nous nous proposons, et donc in fine l'analyse de la mobilité qui la sous-tend, s'inscrira alors dans le cadre conceptuel proposé par BONNAFOUS lors de la 32ème table ronde de la CEMT (BONNAFOUS, 1976). Ce cadre, qu'on trouvera schématisé ci-dessous, présente l'avantage de séparer nettement la demande de transport observée de ses déterminants propres au système urbain (ou plutôt des trois sous-systèmes dont il est l'articulation : localisation, relations et pratiques sociales, transport), en mettant en évidence le niveau individuel de la confrontation de ces déterminations.

Cadre conceptuel pour l'analyse de mobilité.
(BONNAFOUS, 1976)



Le plan de la recherche découle de ces choix. La première partie nous permettra de repérer l'existant en examinant le support empirique disponible et l'état de la modélisation de la consommation des véhicules. La deuxième partie sera consacrée à la mise en adéquation des enquêtes disponibles avec les nécessités de l'étude (reconstitution des consommations énergétiques par déplacement). Enfin, la dernière partie essaiera de répondre aux deux objectifs.

PREMIERE PARTIE

La réexploitation d'enquêtes à des fins pour lesquelles elles n'avaient pas été conçues ne va pas sans inconvénient. En particulier, la reconstitution de paramètres après coup demande l'élaboration d'un modèle.

Pour que cette élaboration se fasse dans les meilleures conditions, deux préliminaires sont indispensables :

- une parfaite connaissance du support empirique disponible (chapitre I),
- un recensement bibliographique des modèles ou des expérimentations pouvant être utilisées pour la modélisation et déjà disponibles (chapitre II).

CHAPITRE I

LE SUPPORT EMPIRIQUE

Cette recherche est basée sur une réexploitation en termes énergétiques d'enquêtes réalisées antérieurement par le Laboratoire. Un redressement s'est avéré nécessaire pour certaines d'entre elles.

Nous présenterons d'abord ce redressement puis les tris à plat sur l'ensemble du fichier (centre et périphérie) de quelques variables portant sur le ménage, les individus ou les déplacements, en les comparant, lorsque les données existent, aux résultats du recensement INSEE de 1975 ou à l'enquête ménages de 1976.

LET correspond au fichier de travail redressé, EM76 à l'enquête ménages et INSEE au recensement.

I - DESCRIPTION DES ENQUETES DE BASE

L'échantillon dont nous disposons est constitué de quatre enquêtes effectuées pour l'étude de la mobilité des personnes en milieu urbain auprès de ménages de l'agglomération lyonnaise. En 1978 et 1979, l'Institut des Etudes Economiques (actuelle partie universitaire du LET) a réalisé deux enquêtes dans le cadre du suivi du métro de Lyon.

Des 5 zones enquêtées nous avons retenu celles situées dans Lyon et Villeurbanne, à savoir :

- le quartier d'Ainay,
- les pentes de la Croix Rousse,
- le quartier Part Dieu - Brotteaux,
- le quartier des Gratte-Ciel.

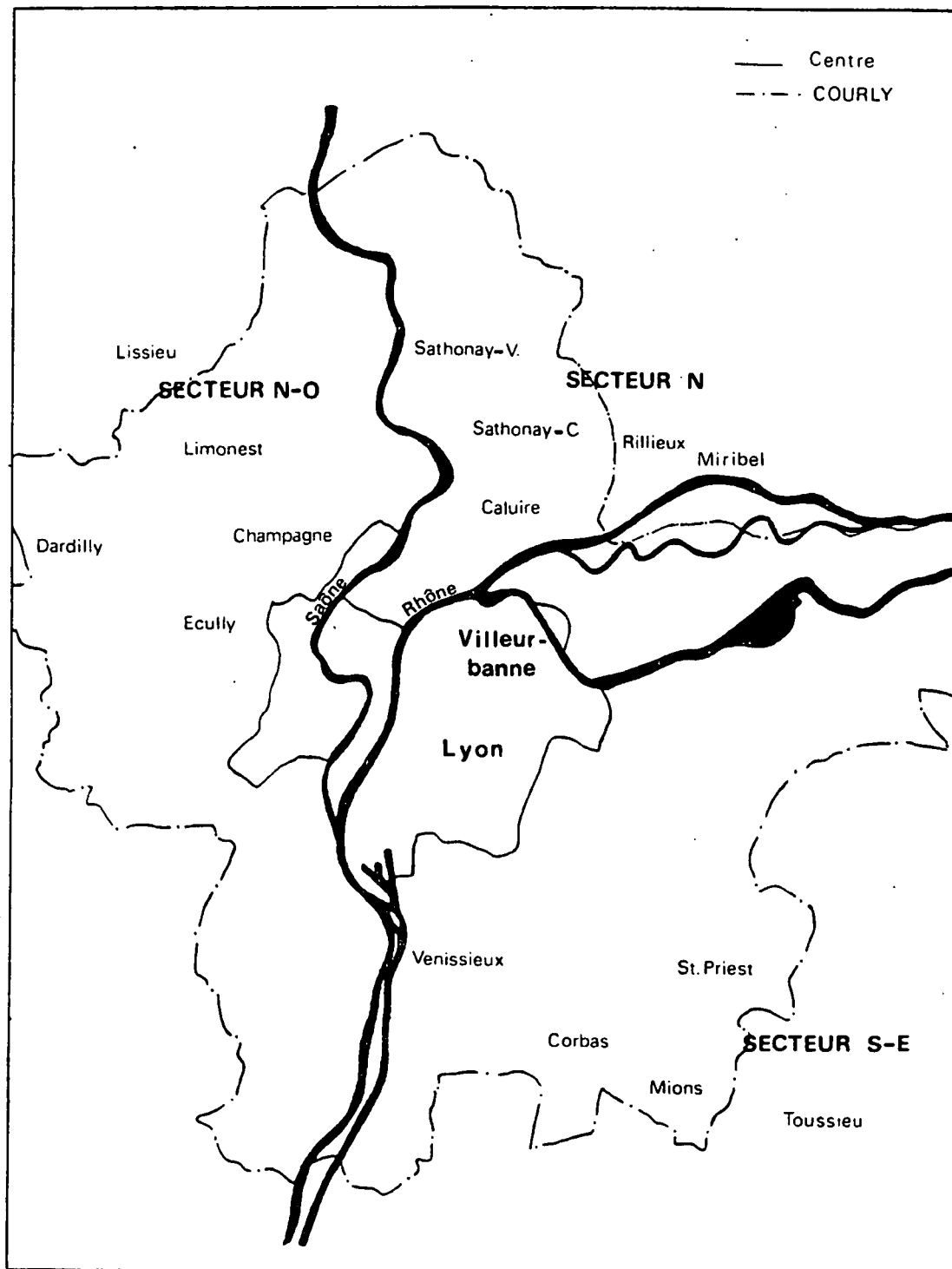
Dans la suite, ces enquêtes seront désignées par "sous-fichier Centre". Les deux autres enquêtes ont été réalisées en 1979 et 1980 par le Laboratoire d'Aménagement et d'Economie des Transports de l'ENTPE (actuelle composante ENTPE du LET) dans 15 communes situées au Nord-Ouest, Nord et Sud-Est de la périphérie lyonnaise (dans la suite "sous-fichier périphérie"). La figure 1.1 précise la localisation des différents quartiers et communes enquêtés.

Les quatre enquêtes ont saisi bien évidemment les caractéristiques socio-économiques traditionnelles aux niveaux tant ménage qu'individu. Pour l'étude de la mobilité, partant de l'analyse que les déplacements constituent rarement une fin en soi mais permettent d'articuler une utilisation de l'espace avec une utilisation du temps, la méthode utilisée a été celle des programmes d'activité (BONNAFOUS, 1978). Ainsi, pour chaque individu du ménage de plus de 16 ans, dans les enquêtes effectuées en 1978-1979, et de plus de 10 ans dans l'enquête 1980, on a recueilli chronologiquement l'ensemble des activités effectuées la veille du jour d'enquête (uniquement pour les jours ouvrables). Pour chaque activité sont retenus des renseignements tels que sa fréquence de réalisation, sa nature (d'après une nomenclature dérivée de la nomenclature INSEE) et sa localisation géographique.

L'activité déplacement a été saisie par "trajets", le trajet élémentaire étant spécifié alors par un mode et par un nombre de personnes l'effectuant. L'attente en vue de se déplacer est intégrée au déplacement en cours lorsqu'il existe ou sinon à celui qui lui succède. Chaque déplacement a été classé selon trois catégories (figure 1.2).

- Le déplacement origine-destination(OD), caractérisé par une activité à l'origine et une activité à la destination (l'activité peut être un déplacement d'un autre type). Ainsi, le parent qui, le matin dépose un enfant à l'école en se rendant à son travail

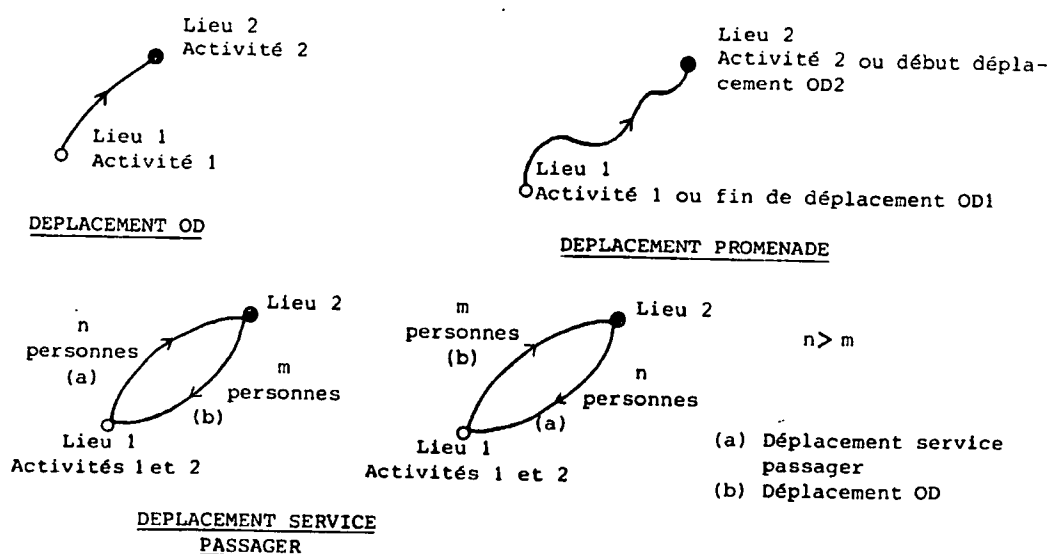
FIGURE 1.1 : Les zones d'enquête



en voiture, effectue un seul déplacement composé de deux trajets : le premier correspond à un taux d'occupation du véhicule de deux, le second à un parcours effectué seul. L'activité à l'origine est, par exemple, le petit déjeuner, celle à la destination est le travail. Les déplacements O.D. sont donc un moyen pour l'individu d'accomplir son programme d'activité sous les contraintes spatiale et temporelle.

- Le déplacement promenade (P). Parce que l'on ne se déplace pas que pour aller quelque part, le déplacement promenade trouve son propre motif en lui-même et peut nécessiter préalablement un déplacement O.D.. Il est ainsi à mi-chemin de l'activité pure et du déplacement pur, empruntant à celui-ci son aspect itinérant et à celle-là son caractère de réponse à un besoin de l'individu. Dans une perspective fonctionnelle, si pour le déplacement O.D., ce sont origine et destination qui sont fondamentaux, pour la promenade c'est l'itinéraire. Un déplacement promenade n'est constitué, le plus souvent, que d'un seul trajet. Le déplacement promenade est l'un des éléments à part entière du programme d'activités.
- Le déplacement service passager (S.P.). Il vise à l'accompagnement d'une personne et est toujours inclus dans un voyage à deux déplacements, l'un de type service passager, l'autre de type O.D.. On appellera ici voyage toute suite de déplacements dont points de départ et d'arrivée sont confondus. Si le voyage s'effectue à partir du domicile, on parlera alors de sortie. Ainsi le parent dont nous parlions plus haut, s'il rentrait à son domicile au lieu d'aller à son travail après avoir déposé son enfant, effectuerait alors un déplacement service passager puis un déplacement O.D.. (Quant à l'enfant, il ne fait, bien sûr, qu'un seul déplacement, de type O.D.). Ce déplacement n'est constitué que d'un seul trajet. Le déplacement service passager permet de réaliser le programme d'activité de l'individu accompagné et n'apparaît dans celui de l'accompagnateur que comme une contrainte.

FIGURE 1.2 : Les différents types de déplacement



On dispose alors pour chaque déplacement, quelque soit son type, des paramètres suivants :

- de son heure de début,
- de sa durée (enregistrée par tranches de cinq minutes),
- du (ou des) mode(s) avec lequel il a été effectué,
- des adresses avant et après (codées suivant un découpage de l'agglomération en 141 zones - découpage SEMALY -, mais figurant en clair sur les questionnaires),
- des activités avant et après,
- du nombre de personnes l'effectuant (non disponible dans le sous-fichier Centre).

Enfin, les caractéristiques socio-économiques traditionnelles, tant au niveau ménage qu'individu, ont bien entendu été saisies. (L'annexe I présente un questionnaire type).

II - REDRESSEMENT DES ENQUETES

Les enquêtes qui ont permis de constituer les deux fichiers de base avaient été constituées dans une perspective structurelle et non statistique. Il s'agissait alors moins de quantifier exactement la mobilité, des fluctuations dans l'usage des modes dues à une tranformation importante de l'offre ou d'autres phénomènes fondamentaux dans l'analyse de la demande de déplacement que de révéler des tendances lourdes, structurant fortement les comportements de déplacement des individus. La recherche d'une telle représentativité structurelle s'est alors tout naturellement traduite par une pré-stratification des échantillons.

Etant donné nos objectifs de mise en évidence des facteurs explicatifs de la consommation énergétique des individus en transport urbain et d'appréhension des petits déplacements, la disponibilité d'un échantillon statistiquement représentatif s'avère nécessaire.

Mais le passage d'une représentativité structurelle à une représentativité statistique n'est pas sans poser problème. Celle-là peut se contenter d'un échantillon de petite taille, celle-ci a tout à perdre d'une réduction du nombre de ménages enquêtés. Celle-là est basée sur une pré-stratification de l'échantillon, favorisant telle modalité d'une variable aux dépens de telle autre (par exemple les usagers des transports en commun par rapport aux autres individus), celle-ci s'attache à ce que chaque modalité soit présente au prorata de sa fréquence dans la population. Aussi les coefficients de redressement peuvent-ils être fort élevés, ne signifiant pas nécessairement une mauvaise qualité de l'enquête de base.

Dans le cadre de travaux antérieurs, le sous-fichier périphérie a été redressé (méthode par élimination de ménage) et rendu représentatif de la périphérie de l'agglomération.

1 - REDRESSEMENT DU SOUS-FICHIER CENTRE

Les variables sur lesquelles repose le redressement du sous-fichier Centre sont couramment utilisées pour des opérations de ce type : il s'agit de la C.S.P. du chef de ménage (codage INSEE à deux chiffres, réduit à un chiffre - voir Annexe I) et de la pyramide des âges de l'ensemble des individus enquêtés.

Le tableau 1.1 donne les coefficients de redressement (méthode par multiplication des ménages) appliqués selon la CSP du chef de ménage. Il amène plusieurs réflexions.

TABLEAU 1.1 : Coefficients de redressement du sous-fichier Centre (Lyon et Villeurbanne) selon la CSP du chef de ménage.

C.S.P.	Code INSEE	Effectif (départ)	% (départ)	Facteur de Correct.	Effectif (redressé)	% (redressé)	% INSEE
Prof. agricoles	0,1	0	0	0	0	0	0,3
Patrons de l'ind. et du comm.	2	14	9,7	2	28	6,5	6,4
Prof. lib. et cadres sup.	3	35	24,3	1	35	8,1	9,0
Cadres moyens	4	15	10,4	3	45	10,4	11,2
Employés	5	18	12,5	3	54	12,5	12,1
Ouvriers	6	11	7,6	10	110	25,5	25,6
Pers. de serv. et autres actifs	7,8	1	0,7	10	10	2,3	4,6
Pers. non actives	9	50	34,7	3	150	34,7	30,8
TOTAL		144	100,0		432	100,0	100,0

L'effectif concerné est faible. Sa représentativité statistique de départ est très mauvaise. Le redressement multiplie globalement le nombre de ménages par 3 et certaines catégories par 10. Après redressement, un léger déficit en ménages à chef cadre, profession libérale ou personnel de service subsiste au profit des ménages à chef inactif.

TABLEAU 1.2 : Comparaison sous-fichier Centre (Lyon et Villeurbanne) et recensement 1975 selon l'âge pour les individus de plus de 16 ans.

CLASSE D'AGE	16 - 18	18 - 25	25 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 65	65 et plus	TOTAL
"Centre" non redressé	eff. 23	79	127	62	80	76	44	108	599
	% 3,8	13,2	21,2	10,4	13,4	12,7	7,3	18,0	100,0
"Centre" redressé	eff. 39	125	169	94	118	134	60	168	907
	% 4,3	13,8	18,6	10,4	13,0	14,8	6,6	18,5	100,0
INSEE	20,0	11,6	14,4	15,8	13,3	6,2	18,7	100,0	

Le redressement effectué, à partir de la C.S.P. du chef de famille donne, par rapport à l'âge, un résultat passable car les 25-30 ans et les 50-60 ans sont sur-représentés, au détriment des moins de 25 ans et des 30-50 ans (tableau 1.2).

2 - REPRESENTATIVITE DU FICHER GLOBAL

Le redressement du sous-fichier Centre laisse subsister certains problèmes. Il faut de plus examiner la représentativité statistique du fichier global regroupant les deux sous-fichiers redressés (il sera désigné par fichier LET).

Le tableau 1.3 traduit le léger déficit du sous-fichier "Centre" dans l'enquête LET.

TABLEAU 1.3 : Répartition des ménages entre Centre et Périphérie dans l'enquête LET et dans le recensement 1975.

	LET		INSEE
	eff.	%	%
Nbre de ménages "Centre"	432	51,3	55,6
Nbre de ménages "Périphérie"	410	48,7	44,4

En ce qui concerne la répartition des ménages du fichier LET selon la C.S.P. de leur chef, le tableau 1.4 permet de constater, par rapport au recensement 1975, une légère sous-représentation des ouvriers due à une trop forte présence d'inactifs, de cadres et de professions libérales.

TABLEAU 1.4 : Comparaison entre enquête LET et recensement 1975 selon la C.S.P. du chef de ménage.

C.S.P.	Prof. agr.	Patrons de l'ind et du comm.	Prof. lib. et cad. sup	Cadres moyens	Employés	Ouvriers	Pers. de service et autres activités	Pers. non actives	Total
LET eff.	4	51	93	112	96	227	34	225	842
LET %	0,5	6,1	11,0	13,3	11,4	27,0	4,1	26,7	100,0
INSEE %	0,6	6,3	9,0	12,0	11,6	30,4	4,6	25,6	100,0

Enfin l'étude de la structure par âge de la population enquêtée (tableau 1.5) montre un déficit des classes de 30-40 ans et de plus de 65 ans au profit des 25-30 ans et des 50-60 ans.

TABLEAU 1.5 : Comparaison entre enquête LET et recensement 1975 selon l'âge, pour les individus de plus de 16 ans.

CLASSES D'AGE		<u>16</u> 18	<u>18</u> 25	<u>25</u> 30	<u>30</u> 40	<u>40</u> 50	<u>50</u> 60	<u>60</u> 65	65 et +	TOTAL
LET	eff.	96	271	285	266	310	254	94	251	1 827
	%	5,3	14,8	15,6	14,6	17,0	13,9	5,1	13,7	100,0
INSEE	%	19,3		12,5	17,5	17,3	12,6	5,4	15,4	100,0

Que peut-on conclure de l'examen de ces tableaux ?

Tout d'abord, se confirme le fait qu'utiliser une enquête à des fins qui étaient ignorées lors de sa conception amène, bien souvent, des biais. Nous disposons ici d'un échantillon de petite taille. Le redressement auquel il a donné lieu n'a pas permis d'obtenir une très bonne correspondance avec le recensement INSEE.

Aussi, toutes les informations chiffrées qui seront fournies dans la suite de la recherche seront-elles à considérer avec précaution, plus en tant qu'ordre de grandeur qu'en tant que quantification exacte d'un phénomène.

III - PRESENTATION DU FICHIER DE TRAVAIL

1 - LES MENAGES

Le fichier concerne 842 ménages, 432 dans le centre et 410 en périphérie.

Le nombre moyen de personnes est de 2,98 (INSEE : 2,77). L'enquête LET comprend, proportionnellement, peu de ménages d'une seule personne et beaucoup de 4 personnes. C'est là un biais de l'échantillon.

Le nombre moyen d'actifs est de 1,18, soit une valeur tout à fait comparable au 1,19 du recensement INSEE.

Si l'on s'intéresse aux indicateurs de possession de véhicules particuliers, on voit qu'ils sont plus élevés dans l'enquête LET : le taux de motorisation est de 104 (contre 84), le taux d'équipement 78 (68). Nous y voyons deux explications : la légère sur-représentation des classes les plus favorisées mais aussi une croissance certaine de ces deux indicateurs entre 1975 et la fin de la décennie.

Enfin, le nombre moyen de déplacements par ménage est de 9,57. Il est difficilement comparable au résultat de l'enquête ménages car, ici, tous les enfants entre 5 ans et 16 ans n'ont pas été enquêtés.

2 - LES INDIVIDUS

Le fichier regroupe 1 928 individus répartis de la façon suivante :

- 907 dans le centre et 1021 dans la périphérie,
- 1015 femmes et 913 hommes.

Le tableau 1.6. indique leur distribution selon la catégorie socio-professionnelle.

La mobilité moyenne des individus enquêtés est de 4,2. Elle est de 3,7 dans l'enquête ménages. Là encore, la comparaison est hasardeuse car les échantillons ne sont pas strictement compatibles. La différence peut cependant s'expliquer par plusieurs facteurs :

- il est possible que les jeunes enfants aient une mobilité plus faible que la moyenne,
- la mobilité a très probablement légèrement augmenté entre la réalisation des deux enquêtes,
- la structure socio-économique des échantillons étant différente peut induire des fluctuations,
- le type d'enquête utilisé n'est pas neutre vis-à-vis de la qualité de l'information finale.

TABLEAU 1.6 : Répartition des individus selon la C.S.P.

CSP	Prof. agr.	Patrons de l'ind. et du commerce	Prof. lib. et cadres sup.	Cadres moyens	Employés	Ouvriers	Pers. de service et autres actifs	Pers. non actives	TOTAL
Effectifs	4	70	114	203	229	312	68	928	1 928
%	0,2	3,6	5,9	10,5	11,9	16,2	3,5	48,2	100 %

En effet, une enquête de type programme d'activité, parce qu'elle recense en séquence toutes les activités sur une période de 24 heures (la veille, dans notre cas), autorise plus difficilement l'oubli des petits déplacements qu'une enquête traditionnelle du type enquête-ménages. Effectuant simultanément ces deux types d'enquête, une équipe du T.S.U. a abouti à une différence de 13 % entre les deux valeurs observées de la mobilité (JONES, DIX, CLARKE et HEGGIE, 1980).

La mobilité urbaine (déplacements ayant l'origine et la destination dans l'agglomération) est de 4,00. Le nombre moyen de déplacements interurbains par personne enquêtée est alors de 0,2. Cette valeur élevée est à nuancer par le fait que sur 100 individus, 7 seulement sont sortis de l'agglomération. L'annexe II est une présentation rapide de ces individus et des déplacements correspondants.

Le budget temps de transport (BTT) moyen est de 90 minutes. Il est de même ordre de grandeur que le temps moyen consacré à la télévision (87 minutes) et que le cumul du temps d'achats, soins, services et du temps consacré à la vie sociale (84 minutes). La considération des seuls déplacements urbains amène à un B.T.T. de 81 minutes. Le temps moyen par déplacement est légèrement supérieur à 21 minutes (20 minutes pour les seuls déplacements urbains), soit 23 % plus élevé que dans l'enquête ménages (17 minutes). Avant d'essayer d'expliquer cette différence importante (cf. infra, 3.3.),

nous allons encore présenter quelques résultats généraux concernant les temps moyens consacrés aux diverses activités.

La nomenclature des activités utilisée pour le codage de l'enquête (Annexe I) est trop riche pour l'échantillon dont nous disposons. De plus, certaines distinctions ne deviennent pertinentes qu'à un fin niveau de désagrégation des individus. Aussi ne considérerons-nous que des typologies plus grossières.

TABLEAU 1.7 : Budgets temps journaliers moyens des activités selon une typologie en huit classes (en minutes).

Activité	Besoins privés	Sommeil	Travail	Travaux ménagers	Achats, soins, services	Vie sociale	Télé	Loisirs (sauf Télé)
Budget-Temps moyen	141	517	278	132	26	58	87	111

La somme des budgets-temps moyens du tableau 1.7 n'est pas égale à 1 440 minutes, le budget temps de transport n'étant pas inclus ici. L'importance du temps passé à regarder la télé est mise en évidence comme également le peu de temps consacré aux achats (rappelons que l'enquête ne porte pas sur la fin de la semaine).

Si l'on ignore les temps de sommeil et de besoins privés, on constate que les 782 minutes restantes (soit 13 heures) se répartissent en :

- 436 minutes (7 heures et quart) d'activités contraintes (travail, travaux ménagers et achats, soins, services),
- 256 minutes (4 heures et quart) d'activités non contraintes (loisirs, télévision, vie sociale),
- 90 minutes (1 heure et demie) de déplacements.

Ces résultats demanderaient bien évidemment à être nuancés en fonction de critères socio-économiques. Mais ce n'est pas l'objet de ce travail.

Enfin, toujours en moyenne, un individu enquêté passe 999 minutes (16 heures 39 minutes) chez lui. Pour chaque heure d'activité hors de son domicile, il doit ainsi se déplacer en moyenne 15 minutes. Là encore, la moyenne cache de grandes disparités au niveau des individus.

3 - LES DEPLACEMENTS

Le fichier regroupe 8 058 déplacements dont 7 710 strictement urbains (95,7 %). Ce sont ceux-ci que nous allons considérer dans la suite de cette recherche.

TABLEAU 1.8. : Répartition modale et temps moyen de déplacement par mode (enquêtes LET et EM 76)

		MAP	2R	TC	VP
Répartition modale (en %)	LET	42,2	3,5	13,3	41,0
	EM 76	45,5	5,6	11,3	37,6
Temps moyen par déplacement (en minutes)	LET	17	20	36	18
	EM 76	14	21	31	17

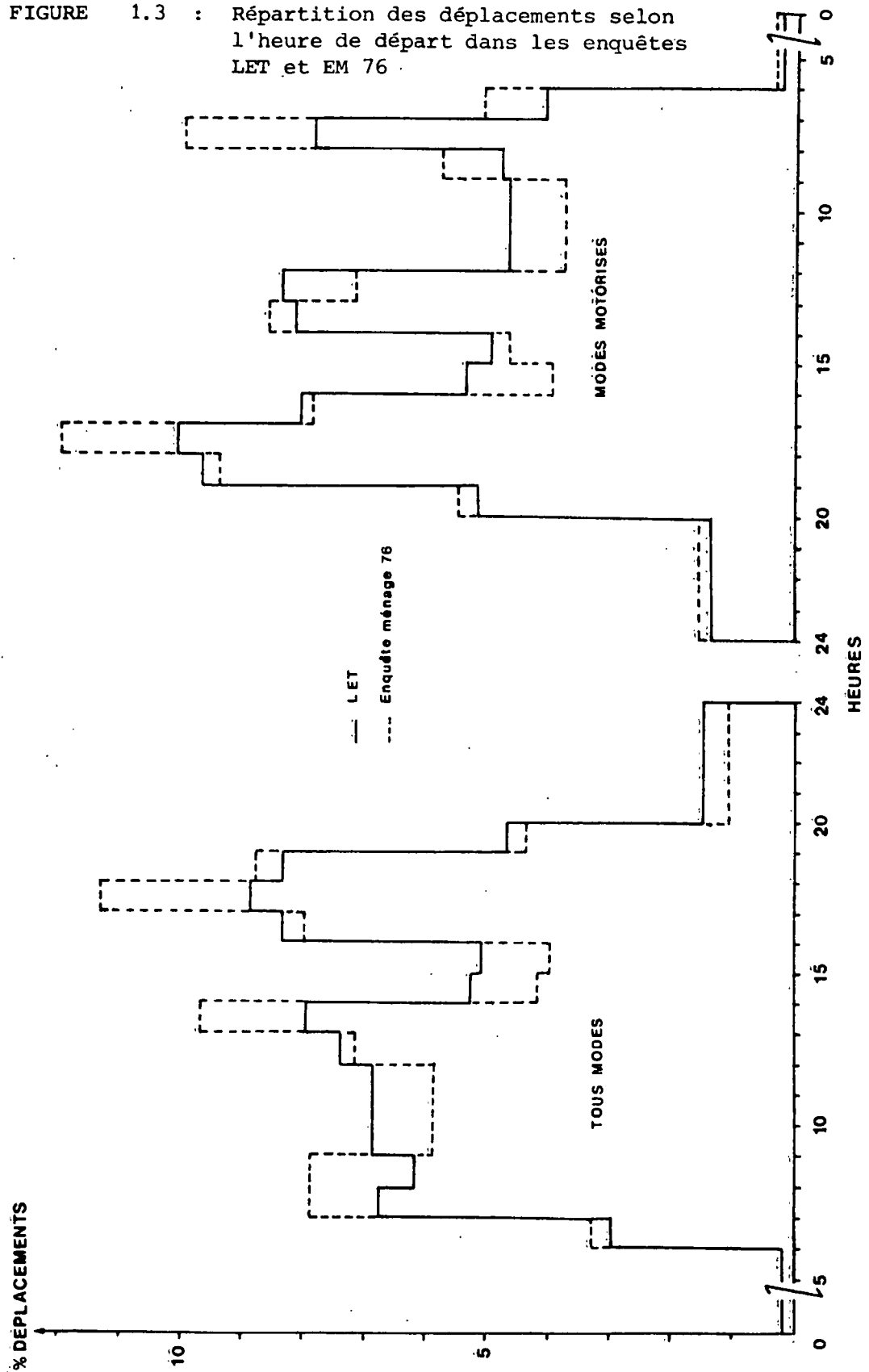
Selon le tableau 1.8., la part de la marche à pied et des deux roues est plus faible dans l'enquête LET que dans l'enquête ménages. Cela peut s'expliquer notamment par le recensement dans celle-ci de l'ensemble des jeunes de 5 à 16 ans. En effet, les déplacements de type domicile-école ont lieu à 48 % à pied et à 8 % en deux roues (chiffres EM 76).

Toujours sur le même tableau, on constate une augmentation de la durée moyenne des déplacements à pied et en transport en commun, ceux en voiture et en deux roues restant stables. Ce phénomène est plus difficile à expliquer. L'influence de la non-prise en compte de tous les scolaires et la sur-représentation des ménages périphériques par rapport à la distribution INSEE interviennent probablement.

Ce double mouvement, glissement de la répartition modale et allongement des durées moyennes par mode, explique la forte différence constatée au 3.2 entre les durées moyennes par déplacement des deux enquêtes.

La figure 1.3 semble traduire, pour les déplacements tous modes confondus, une baisse de l'intensité des pointes et en conséquence un lissage de la courbe de répartition horaire. Pour les seuls modes motorisés on remarque une forte diminution de la pointe du matin. Ces effets peuvent être dus à la structure de l'échantillon mais aussi plus probablement à l'extension de l'horaire libre et de la montée du chômage.

FIGURE 1.3 : Répartition des déplacements selon l'heure de départ dans les enquêtes LET et EM 76



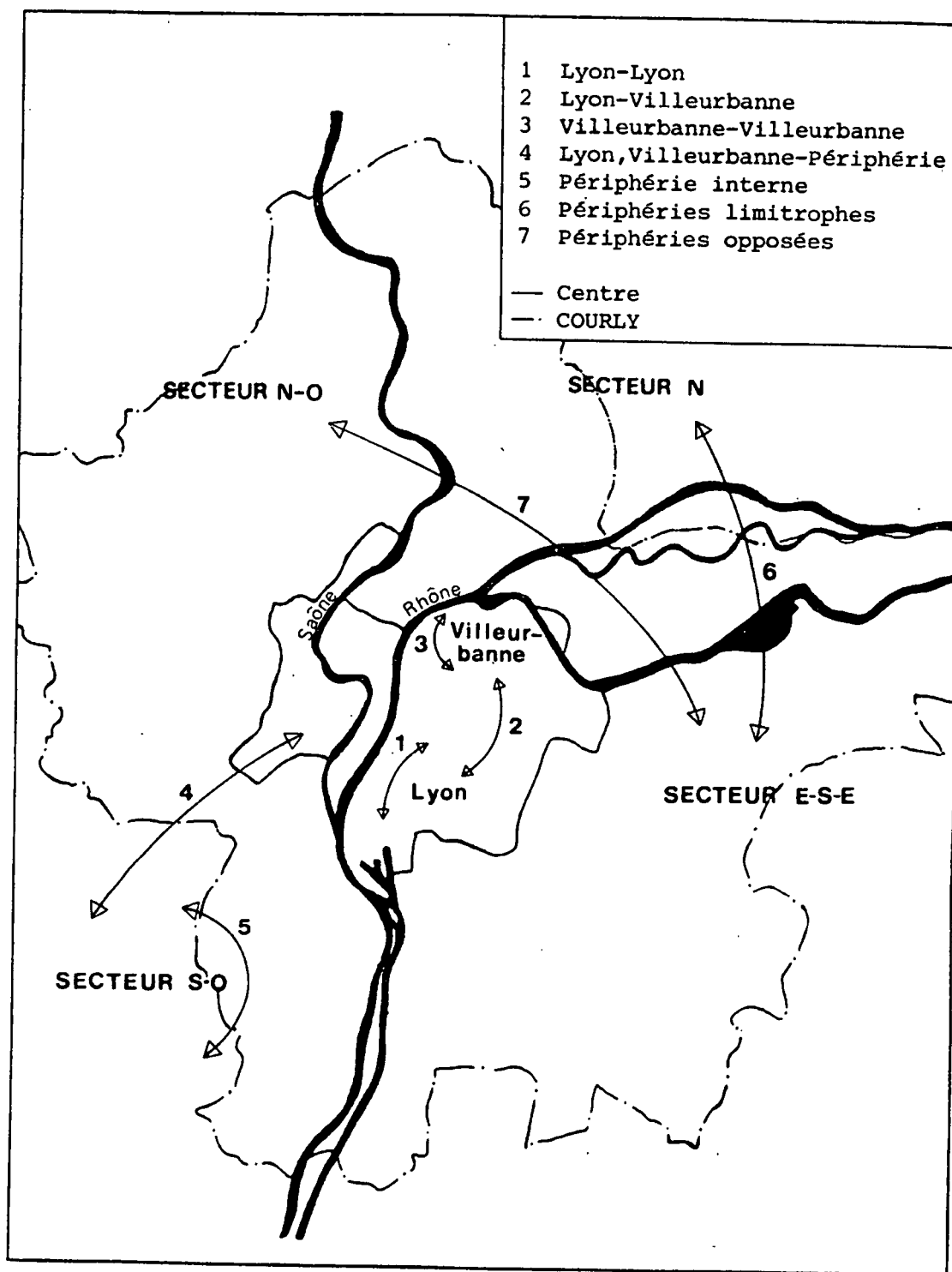
Enfin, il est possible, après zonage de l'agglomération, de caractériser un déplacement par le type de liaison auquel il correspond. Six zones ont été isolées, deux constituant le "centre" de l'agglomération (Lyon et Villeurbanne), les quatre autres sa "périphérie" ; la figure 1.4 précise les limites de ces zones et permet donc de définir les modalités du type de liaison. Les trois types usuels (Centre-Centre, Centre-Périphérie et Périphérie-Périphérie) peuvent ainsi être conservés en l'état ou bien être éclatés et conduisent alors à une typologie à huit classes. Le tableau 1.9 ventile les déplacements urbains selon ces deux grilles.

TABLEAU 1.9. : Répartition des déplacements selon le type de liaison.

TYPE DE LIAISON	%
CENTRE-CENTRE	47,9
dont :	
Lyon - Lyon	37,9
Lyon - Villeurbanne	3,1
Villeurbanne - Villeurbanne	6,9
CENTRE-PERIPHERIE	15,6
dont :	
Lyon, Villeurbanne-Périphérie ..	7,7
Périphérie-Lyon, Villeurbanne ..	7,9
PERIPHERIE-PERIPHERIE	36,5
dont :	
Interne à un secteur	34,8
Secteurs limitrophes	1,3
Secteurs opposés	0,4
AGGLOMERATION-AGGLOMERATION	100,0

Près d'un déplacement sur deux est, dans notre fichier, interne au centre, la plupart se situant dans Lyon. Un déplacement sur trois est interne à un secteur de la périphérie, les déplacements entre secteurs étant pratiquement inexistants. Enfin, les déplacements radiaux sont pratiquement également répartis entre les deux sens (Centre-Périphérie et Périphérie-Centre).

FIGURE 1.4 : Zonage de l'agglomération et types de liaison



CHAPITRE II

REPERES BIBLIOGRAPHIQUES : LA MODELISATION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DES VEHICULES EN MILIEU URBAIN

Les enquêtes servant de support empirique à la recherche ne se situaient pas dans des perspectives d'analyse en termes énergétiques. La consommation afférente à chaque déplacement motorisé n'a donc pas été recueillie et il convient maintenant d'essayer de la déterminer à partir des données enregistrées. Un détour bibliographique s'impose donc.

Nous allons voir que l'état des connaissances est sensiblement différent selon les modes. Si les motoristes s'intéressent de près au comportement des automobiles et proposent diverses modélisations de leur consommation en conditions réelles de circulation, les transports collectifs sont déjà plus délaissés et n'ont donné lieu qu'à quelques rares travaux, tandis que les deux-roues sont pratiquement ignorés. Cette hiérarchie n'est d'ailleurs pas inattendue, puisqu'elle correspond parfaitement à celle des enjeux espérés en matière d'économies potentielles d'énergie.

Notre passage en revue de la littérature la respectera, envisageant successivement la voiture, les transports collectifs et les deux roues.

I - LES VEHICULES LEGERS

L'usage grandissant de la voiture sur de faibles distances a attiré l'attention des motoristes sur les fortes consommations énergétiques qui en découlent. Mais moins que d'un critère de longueur, ces surcoûts proviennent du mauvais rendement des moteurs à basse température. Les consommations unitaires sont alors mal adaptées à la prise en compte de ces phénomènes. Rappelons pour mémoire que l'on estime la consommation unitaire à 52 grammes équivalent pétrole par passager-kilomètre transporté (gep/pkt) pour un véhicule moyen dans les grandes agglomérations françaises autres que Paris (FRYBOURG, 1979).

Il est en fait souhaitable de décomposer l'énergie consommée par une automobile en deux termes dont le poids relatif dépend de la température du moteur. Le premier est appelé la consommation moteur chaud (CMC) et correspond à la quantité de carburant consommée pour assurer le mouvement du véhicule lorsque le moteur est à l'équilibre thermique. Le second représente le surcoût énergétique nécessaire à la mise en température du moteur et s'annule si le moteur est à sa température d'équilibre lors du démarrage : il prend le nom de surconsommation (ΔC).

La consommation totale d'un véhicule pour un déplacement donné se met alors sous la forme $CMC + \Delta C$, les deux termes dépendant d'une multitude de facteurs, mécaniques aussi bien que météorologiques, spatiaux aussi bien qu'humains.

Nous envisagerons donc tout d'abord les formulations de la consommation énergétique pour les déplacements urbains effectués moteur chaud avant de faire le point sur les évaluations de la surconsommation due aux démarrages à froid. Enfin, puisque les consommations réelles moyennes des véhicules sont fonction d'un grand nombre de facteurs hétérogènes, nous en présenterons une liste quasi exhaustive tout en abordant le problème de leur prise en compte simultanée.

1 - LA CONSOMMATION MOTEUR CHAUD

Deux précisions de vocabulaire s'imposent tout d'abord :

- l'énergie dépensée concerne uniquement le mouvement du véhicule : on ne considère donc pas la consommation correspondant au ralenti du moteur (arrêt avec moteur tournant); toutefois, le modèle de consommation moteur chaud utilisé par la suite intègre indifféremment les phases de mouvement et d'arrêt d'un véhicule ;
- le qualificatif de "moteur chaud" soulève quelques difficultés ;

de fait, doit on entendre par là un moteur ayant atteint son équilibre thermique ou un moteur ayant dépassé la phase de forte surconsommation ; si un moteur à l'équilibre thermique ne surconsomme plus, l'inverse n'est par contre pas vrai. Toutefois, comme la surconsommation devient rapidement négligeable après un démarrage moteur froid, on ne fera pas de différence entre ces deux définitions par la suite.

Cette consommation fait l'objet de modélisation à partir d'ajustements statistiques réalisés d'après des essais effectués soit en circulation réelle, soit sur banc à rouleaux selon une procédure normalisée ayant pour ambition de reproduire les conditions de déplacement en milieu urbain (le cycle Europe). Les données suivantes sont alors recueillies :

- le litrage consommé réellement, mesuré sur le véhicule et qui permet du reste d'obtenir des consommations moyennes réelles ;
- divers paramètres représentatifs du véhicule et de son déplacement.

Les modèles les plus courants sont du type :

$$CMC = a + \frac{b}{V}$$

CMC : consommation l/100 km
V : vitesse moyenne km/h

où les coefficients a et b dépendent essentiellement de la puissance du groupe motopropulseur et de ses conditions de fonctionnement, du poids du véhicule, des caractéristiques du réseau viaire et enfin du style de conduite du conducteur.

Nous rappelons ci-après les principaux paramètres retenus actuellement dans l'élaboration des modèles de consommation de carburant moteur chaud. Nous verrons par la suite que d'autres facteurs peuvent influencer cette consommation (sous section 3).

1.1 - Les paramètres considérés dans les modèles de consommation moteur chaud

1.1.1 - Le type d'énergie

Il est clair que les comportements énergétiques des véhicules sont fortement différenciés selon le type d'énergie utilisée. Si la diesélisation du parc automobile français est un phénomène avéré, le recours au diesel reste toutefois limité. Ainsi, en 1978, il ne concernait que 3 % des véhicules. Sa part était donc alors très faible. Du fait que les études le concernant sont rares et que, de plus, nous sommes dans l'impossibilité de déterminer pour chacun des déplacements recensés dans notre enquête quel type d'énergie a été utilisé, nous nous focaliserons ici sur les seuls véhicules à essence.

1.1.2 - Le type de trajet

On distingue couramment les trajets en milieu urbain des trajets en milieu rural. Seuls les premiers seront considérés ici.

1.1.3 - Le type de véhicule

Comme il n'est pas possible pour des raisons pratiques d'établir une formalisation pour chaque type de véhicule, les modèles existants reposent sur des recensements par classe de puissance fiscale. Celle-ci résume en effet correctement les diverses caractéristiques des automobiles (COHEN, 1981). Les modèles sont alors relatifs :

- soit à un véhicule moyen représentatif du parc (chaque classe de puissance est pondérée par le nombre de véhicules correspondant) ;
- soit à un véhicule moyen urbain (l'usage des différents types de véhicules n'est pas le même entre rase campagne et milieu urbain : la pondération repose ici sur les kilométrages urbains parcourus par les véhicules de chaque classe de puissance) ;
- soit à trois véhicules types qui sont représentatifs respectivement :
 - . des véhicules bas de gamme (6 cv et moins),
 - . des véhicules gamme moyenne (7 à 9 cv),
 - . des véhicules haut de gamme (10 cv et plus).

1.1.4 - Les caractéristiques du déplacement

Un grand nombre de caractéristiques peuvent être retenues mais, dans la pratique, elles sont fortement liées les unes aux autres. La plupart des modèles sont en fait des améliorations du modèle de base précédemment cité et que l'on peut aussi formuler de la manière suivante :

$$CMC = aL + bT$$

CMC : litrage absolu consommé

L : longueur réelle du déplacement

T : temps réel du déplacement.

Les quantités aL et bT peuvent se voir doter d'une certaine interprétation physique : aL est l'énergie consommée par le déplacement, bT est l'énergie consommée pour faire tourner le moteur.

Les autres caractéristiques du déplacement qui peuvent

être introduites dans le modèle de base sont les suivantes (ROUMEGOUX, 1981; COHEN, 1981) :

- nombre d'arrêts
- temps de roulage
- temps d'arrêt
- longueur parcourue entre deux arrêts successifs
- vitesse maximale atteinte sur le tronçon i
- vitesse maximale au cours du déplacement
- type de voirie utilisée lors du déplacement.

L'introduction de chacune de ces caractéristiques n'apporte que peu de précision supplémentaire par rapport aux deux seules caractéristiques longueur et temps, du fait de leur très forte liaison dans les conditions de circulation urbaine (ROUMEGOUX, 1981). Par ailleurs, elles ne figurent que très exceptionnellement dans les enquêtes classiques sur la mobilité. On peut cependant noter que les modèles intégrant certaines de ces caractéristiques sont parfaitement adaptés à l'évaluation énergétique d'actions précises sur la circulation (politique de feux, gestion centralisée, trémies, etc.).

1.2- Les modèles existants

La littérature sur ce sujet manque parfois de précision, particulièrement en ce qui concerne les conditions d'expérimentation. Aussi avons-nous classé les modèles existants en deux familles :

- première famille : ce sont des études pour lesquelles, soit on ne connaît pas les conditions précises d'expérimentation (faute d'avoir accédé aux documents originaux), soit ces conditions ne répondent pas à nos objectifs ;
- deuxième famille : il s'agit d'études dont les conditions d'expérimentation nous sont connues et qui s'adaptent mieux à nos objectifs.

1.2.1 - Première famille

A - Essai R 12 TL à Lyon (ROUMEGOUX, 1979)

N'en connaissant pas les conditions d'expérimentation et sachant qu'il s'agit au mieux d'un véhicule de 1975, nous ne retiendrons pas le modèle élaboré à partir de ces essais (les résultats apparaissent pour mémoire dans le tableau 2.1).

TABIEAU 2.1 : Consommations moyennes et modèles de consommation (en litres/100 km)

	Véhicule considéré	Aire géographique de l'étude	Température ambiante	Paramètre du modèle $C = a + \frac{b}{V}$		Vitesse moyenne (km/h)	Consommation à vitesse moyenne (l/100 km)	Consommations à différentes vitesses (l/100 km)			
				b	a			C ₁₀	C ₂₀	C ₂₅	C ₄₀
A	R 12 TL	Lyon		117	6,7			18,4	12,5	11,3	9,6
B	différents véhicules	Cycle Europe	20°C			19,0	14,0				
C1	R 12 TL	Firminy				23,5	9,0				
C2	R 12 TL	Firminy				27,0	8,7				
D1	R 12 TL	Paris		104	7,0			17,4	12,2	11,1	9,6
D2	R 12 TL	Province		98	6,0			15,8	10,9	10,0	8,4
E	R 12 TL	Paris		89	6,3			15,2	10,8	9,9	8,5
F	R 12 TL	Paris		101	7,1			17,2	12,1	11,1	9,6
G1	R 5	Lyon		112	3,7			14,9	9,3	8,2	6,5
G2	R 18	Lyon		112	6,2			17,4	11,8	10,7	9,0
G3	505	Lyon		166	7,7			24,3	16,0	14,3	11,8
G4	véhicule moyen	Lyon		117	5,5			17,2	11,4	10,2	8,4

B - Essai Mobil-Oil (BOULARD et CLUZEL, 1978)

Les conditions d'expérience des mesures réalisées sur différents véhicules de 1975-76 sont mal définies dans la référence correspondante. Il s'agit néanmoins d'une répétition de cycles Europe voulant mettre en évidence l'influence des départs moteur froid sur la consommation de carburant. A ce titre, sont fournies des consommations moyennes moteur chaud qu'on trouvera dans le tableau 2.1 .

C - Essai R 12 TL à Firminy (ROUMEGOUX, 1979)

J.P. ROUMEGOUX a testé avec une R.12 TL les conséquences de la mise en service d'une déviation autoroutière sur le trafic traversant la ville de Firminy. Il dispose ainsi de deux jeux de données, l'un relatif à la traversée de l'agglomération avant mise en place de la déviation (C1), l'autre après (C2). Toutefois, ces trajets ne sont absolument pas représentatifs des parcours urbains réels.

D - Essai R 12 TL à Paris et en Province : Toulouse, Nice, Dunkerque (ROUMEGOUX, 1979)

Ces résultats, obtenus par COHEN et repris par ROUMEGOUX, issus d'essais réalisés avec une R 12 TL, sont relatifs d'une part à Paris (D1), de l'autre à la Province (D2). On remarquera (cf. tableau 2.1) les consommations plus faibles en province qu'à Paris, mais il faut toutefois noter que l'effet surconsommation n'est peut-être pas totalement éliminé (voir plus loin, § H).

E - Etude des budgets-énergie des ménages (ORFEUIL, 1980)

J.P. ORFEUIL a utilisé pour son étude des budgets-énergie transport des habitants de la région parisienne, un modèle tiré du rapport de S. COHEN de 1979 évoqué en D. Ce modèle est cependant différent de celui retenu par J.P. ROUMEGOUX (modèle D1).

F - Etude d'une R 12 TL à Paris (COHEN, 1980)

Citée par J.P. ROUMEGOUX dans un rapport de 1981 et reprise par son auteur dans un rapport final de la même année sur lequel nous reviendrons, cette étude de S. COHEN conduit à un modèle élaboré à partir de la même base de données que D1 et E, mais tenant toutefois compte des arrêts des véhicules. Ce modèle est bien sûr redevable d'une critique identique à celle formulée pour les autres modèles issus de ces essais.

G - Essais réalisés par l'IRT-CERNE (MAURIN, 1982)

En 1981, J.P. ROUMEGOUX s'est intéressé à l'influence des limitations de vitesse en milieu urbain sur la consommation des véhicules. L'étude nous intéresse cependant moins, car les voiries retenues permettaient d'atteindre des vitesses élevées. On est donc

loin de parcours de type "urbain" et les valeurs de consommation obtenues ne sont données ici qu'à titre illustratif (tableau 2.1). Quatre modèles sont disponibles : bas de gamme (G1), gamme moyenne (G2), haut de gamme (G3) et véhicule moyen (G4).

Le tableau 2.1 donne une vue d'ensemble des résultats obtenus par ces différentes études. Les consommations spécifiques à 10, 20, 25 et 40 km/h varient sensiblement entre les différents modèles, mais sans doute y-a-t-il là la manifestation de terrains d'expérience variés, dont l'influence, on le sait, est loin d'être négligeable.

1.2.2 - Deuxième famille

H - Synthèse des essais réalisés par S. COHEN (COHEN, 1981)

S. COHEN a synthétisé ses résultats antérieurs (cf. notamment § D). L'ensemble des essais réalisés à Paris et en Province donne un échantillon de 120 déplacements censé être représentatif des déplacements urbains des français (au niveau national). Ces essais se sont déroulés entre 1977 et 1980 et ont été effectués par 43 conducteurs. Les véhicules étaient tous bien réglés et ont toujours fait l'objet d'un préchauffage de leur moteur d'une durée de 20 minutes. C'est là que se trouve le principal handicap de ces expérimentations : ainsi que S. COHEN le mentionne lui-même, "... la procédure utilisée pour les essais sur les trois véhicules à essence n'a peut-être pas permis de s'affranchir totalement des effets de surconsommation dus au démarrage à froid, notamment durant les essais à basse température". Les consommations réelles sont donc probablement surévaluées. Le rapport fournit des données pour 3 types de véhicule représentatifs du bas de gamme avec la R 5 TL (H1), du milieu de gamme avec la R 12 TL (H2) et du haut de gamme avec la 504 GL (H3). A partir de l'enquête transport INSEE 1974 et en utilisant des estimations provenant des travaux de l'ONSER, l'auteur a approché la répartition du kilométrage annuel en ville entre les 3 types de véhicule et élaboré ainsi un modèle unique représentatif d'un véhicule urbain moyen (H4). Les principaux résultats de ces essais sont consignés dans le tableau 2.2.

I - Essais R 12 TL à Lyon (ROUMEGOUX, 1981)

J.P. ROUMEGOUX a réalisé en 1981 des mesures de consommation sur une R 12 TL circulant à Lyon dans les conditions suivantes :

- véhicule parfaitement réglé,
- parcours unique utilisant plusieurs types de voirie, mais non représentatif des déplacements urbains en automobile (à Lyon),
- deux chauffeurs effectuant 15 fois chacun ce parcours,
- absence de pluie et de vent.

TABLEAU 2.2 : Consommations moyennes et modèles de consommation (en litres/100 km)

	Véhicule considéré	Aire géographique de l'étude	Température ambiante	Paramètre du modèle $C = a + \frac{b}{V}$		Vitesse moyenne (km/h)	Distance moyenne (km)	Consommation à vitesse moyenne (l/100km)	Consommations à différentes vitesses (l/100 km)			
				b	a				C ₁₀	C ₂₀	C ₂₅	C ₄₀
H1	R 5 TL	milieu urbain	effet neutralisé	79,5	8,02	26,5	6,0		16,0	12,0	11,2	10,0
H2	R 12 TL	milieu urbain	effet neutralisé	99,5	6,52	26,5	6,0		16,5	11,5	10,5	9,0
H3	504 GL	milieu urbain	effet neutralisé	130,75	7,87	26,5	6,0		20,9	14,4	13,1	11,1
H4	modèle unique	milieu urbain	effet neutralisé	100,5	7,47	26,5	6,0		17,5	12,5	11,5	10,0
I1	R 12 TL	Lyon	entre 10° et 20°C	70,2	6,7	27,0	2,1	9,8	13,7	10,2	9,6	8,5
I2	R 12 TL	Lyon	entre 10° et 20°C	60,8	7,4				13,5	10,4	9,8	8,9

Les conditions d'expérimentation sont quasi optimales, ce qui conduit sans doute à une légère sous-évaluation des consommations réelles. Un premier modèle (I1) a été calé à partir de l'ensemble des mesures, alors qu'un second (I2) n'a été calé qu'à partir des seuls parcours comportant au moins 2 arrêts au km, c'est-à-dire dans des conditions de circulation plus défavorables (cf. tableau 2.2).

1.2.3 - Analyse critique des modèles de la deuxième famille

Seuls les trois modèles relatifs à la R 12 TL (I1, I2, H2) sont véritablement comparables, le modèle unique de S. COHEN (H4) pouvant toutefois en être rapproché. Pour ce dernier, il s'agit d'un modèle relatif à un "véhicule moyen urbain", alors que la R 12 TL est un "véhicule moyen du parc" ; il n'y a donc pas équivalence entre les deux.

Les modèles I1 et I2 sont très proches : sur la plage de 10 à 30 km/h, l'écart entre les deux est en effet négligeable (0,2 l/100 km). Le modèle H2 conduit par contre à des consommations beaucoup plus élevées sur la même plage : de + 1 à + 3 l/100 km. A 40 km/h, I2 et H2 sont très similaires, alors que I1 est sensiblement en dessous (- 0,5 l/100 km). Enfin H4 est systématiquement supérieur de 1 l/100 km à H2.

Les trois modèles H2, I1 et I2 présentent malgré tout des différences (consommation H2 supérieure aux consommations I1 et I2), qui, nous semble-t-il, s'expliquent par plusieurs raisons :

- les surconsommations n'ont probablement pas toutes été éliminées dans l'étude de S. COHEN (§ H) ;
- les conditions atmosphériques sont idéales dans l'étude de J.P. ROUMEGOUX (§ I), ce qui n'est pas le cas chez S. COHEN ;
- de la même manière, la diversité des conducteurs chez S. COHEN traduit une meilleure approche de la situation réelle, alors que chez J.P. ROUMEGOUX la limitation à deux conducteurs peut tirer la consommation vers le bas.

En conclusion, on peut donc considérer que :

- J.P. ROUMEGOUX a calé ses modèles sur la base d'une situation idéale, ce qui peut conduire à des sous-estimations, et à partir d'un parcours urbain non représentatif des déplacements en automobile à Lyon ;
- S. COHEN, à l'inverse, a calé ses modèles dans des conditions climatiques et de circulation réelles ainsi que sur des parcours urbains représentatifs de la réalité nationale. Par contre, il n'a sans doute pas totalement gommé l'effet de surconsommation provoqué par le démarrage à froid.

Ces deux modèles, basés l'un sur la surestimation d'une situation réelle, l'autre sur la sous-estimation d'une solution idéale, présentent donc des imperfections mais ils nous semblent toutefois, par rapport à nos objectifs, les plus accomplis parmi ceux rencontrés dans la littérature.

2 - LA SURCONSOMMATION DUE A LA MISE EN TEMPERATURE DU MOTEUR

La surconsommation est la quantité de carburant nécessaire pour amener le groupe moto-propulseur d'un véhicule à sa température d'équilibre. Les causes de cette surconsommation liée au démarrage du moteur à froid sont multiples (DELSEY, BAC et VIDON, 1980) :

- la simple nécessité de réchauffer le moteur jusqu'à sa température optimale de fonctionnement ;
- les frottements sont plus élevés à froid qu'à chaud, d'où surcroît d'énergie mécanique à fournir ;
- la préparation, la répartition et la combustion du mélange ne sont pas optimisées, si bien que le rendement énergétique est faible ;
- l'incidence, sur la consommation, du fonctionnement des auxiliaires lors d'un départ à froid peut être considérable : "... c'est dans la phase de démarrage que l'on demande aux auxiliaires et accessoires un gros travail - période pendant laquelle le rendement mécanique du moteur est très faible. Toute demande supplémentaire de puissance se traduira au démarrage à froid par une surconsommation importante, surtout si le rendement intrinsèque des auxiliaires et accessoires est faible".

La surconsommation a été beaucoup moins étudiée que la consommation moteur chaud. Cependant les principaux facteurs l'influençant ont été bien isolés et, si elle n'a pas été modélisée, une étude expérimentale récente de l'IRT-CERNE fournit des résultats très intéressants pouvant contribuer au calage d'un modèle simple.

2.1 - Paramètres influençant la mise en température du moteur

Une approche théorique permet de mettre en évidence les paramètres jouant sur la montée en température du moteur :

- le type de moteur : un gros moteur, qui a un rapport superficie/masse relativement faible, s'échauffera plus vite qu'un petit. A l'inverse, un moteur à refroidissement à air s'échauffera nettement moins vite qu'un moteur à refroidissement à eau ;
- la température ambiante : plus elle sera élevée et plus, toutes choses égales par ailleurs, la surconsommation sera faible ;

- la température du moteur au moment du démarrage et, en conséquence, la température ambiante qui intervient dans le refroidissement du moteur. Cette température du moteur au démarrage dépend de son refroidissement depuis l'arrêt précédent, c'est-à-dire de son état thermique d'alors, de la masse et de la forme de son carter et de la température ambiante ;
- la longueur du déplacement lui-même (dans certains cas le temps) car s'il est trop court, on ne consommera pas toute la surconsommation à laquelle on pourrait s'attendre.

Les effets de ces paramètres sur la surconsommation ne sont pas indépendants les uns des autres et il est difficile de les isoler parfaitement.

2.2 - Etude expérimentale

Il s'agit d'une étude de DELSEY, BAC et VIDON (1980) réalisée sur banc à rouleaux et mettant en oeuvre des cycles Europe répétitifs. Les principales caractéristiques des essais sont les suivantes :

- le véhicule utilisé est le plus souvent (!) une Renault 12 TL bien réglée (véhicule de 1 300 cm³ représentatif du parc français à cette époque) ;
- chaque essai compte 16 cycles successifs, ce qui équivaut à une distance parcourue de $16 \times 1,013 = 16,208$ km ;
- les essais sont effectués à des températures ambiantes comprises entre 3 et 25°C, puis regroupées en quatre groupes: 3-4°C, 8-9°C, 11-15°C, 20-25°C. ;
- le starter est utilisé au début de chaque essai : moins de 10 secondes par une température ambiante de 20°C et au moins 30 secondes par une température de 3-4°C.

Il est regrettable que n'apparaissent pas dans l'ouvrage de référence d'autres renseignements tels que le nombre total d'essais effectués, le nombre d'essais effectués pour chaque plage de température, l'identité du ou des conducteurs, l'autre ou les autres voitures utilisées.

Les conclusions les plus intéressantes de l'étude sont les suivantes :

- si le coût énergétique du "tour de clef" est de l'ordre de quelques cm³, par contre celui de la période de "pré-chauffage du moteur" à l'arrêt (dépendant du conducteur et de la température ambiante) peut varier de 25 à 100 cm³ ;
- dès que le véhicule parcourt 1 km, il existe une surconsommation de l'ordre de 0,2 à 0,3 l selon la température ambiante. Tout allongement du trajet, à température constante, se traduit par une augmentation de 10 à 20 % de cette surconsommation absolue ;

- la surconsommation pendant les deux premiers kilomètres est très forte, surtout si la température ambiante est basse ;
- sur un trajet de 10 km, la consommation des 5 premiers kilomètres est plus élevée que celle des 5 derniers :
 - . d'environ 45 % si la température ambiante est de 20-25°C,
 - . d'environ 70 % si la température ambiante est de 3-4°C ;
- enfin des abaques fournissent pour quatre plages de température ambiante l'évolution de la surconsommation en fonction de la distance parcourue lors du déplacement.

3 - LES FACTEURS AYANT UNE INCIDENCE SUR LA CONSOMMATION DE CARBURANT EN MILIEU URBAIN

On a vu dans les deux sous-sections précédentes que les formules de consommation moteur chaud ainsi que les mesures de surconsommation due au démarrage à froid intégraient un certain nombre de caractéristiques du véhicule et de son déplacement. D'autres facteurs peuvent néanmoins intervenir dans la consommation globale des automobiles, sans pour autant que l'on sache toujours en évaluer l'influence.

3.1 - Comment prendre en compte ces facteurs ?

L'ensemble des études ou des recherches qui visent à mesurer les effets de ces facteurs sur la consommation de carburant s'inspirent de la logique suivante :

- les consommations de carburant des automobiles en conditions de circulation réelle sont encore mal connues ;
- par rapport aux deux types de résultats suivants :
 - . ceux obtenus à partir de mesures faites sur banc à rouleaux,
 - . ceux obtenus à partir de mesures faites en condition de circulation réelle avec des véhicules instrumentés,il existe de très nombreux facteurs de surconsommation (ou sous-consommation) ;
- il est par conséquent nécessaire d'estimer les effets de ces facteurs sur les consommations réelles de véhicules de série.

Comme nous l'avons vu, la modélisation de la consommation de carburant des automobiles en milieu urbain s'effectue à partir de formules de type $CMC = f(\text{durée, longueur})$ et $\Delta C = g(\text{longueur, température ambiante})$, qui ont été calées au moyen d'ajustements statistiques sur des données résultant soit de simulations sur banc à rouleaux, soit d'expérimentations en situation réelle. La prise en compte des divers facteurs influençant la consommation

présente alors deux difficultés.

Le premier problème est de savoir quelles étaient pour chaque facteur les conditions de l'expérimentation utilisée lors du calage du modèle. Si elles n'ont pas permis de neutraliser ses effets, trois questions se posent alors :

- comment se situe le ou les véhicules expérimentaux par rapport à une situation de référence pour ce facteur ?
- connaît-on l'influence exacte du facteur sur la consommation de carburant ? (ex : pourcentage de surconsommation entraîné par un véhicule mal réglé par rapport à un véhicule bien réglé),
- connaît-on la distribution réelle du phénomène lié au facteur considéré, soit sur une population urbaine donnée, soit sur un parc de véhicules donnés ? (ex : % de véhicules mal réglés au sein du parc).

Le second problème touche lui à la combinaison des effets des différents facteurs. Supposons que le modèle retenu conduise à la nécessité de prendre en compte plusieurs facteurs additionnels, tels que le taux de mauvais réglage des moteurs et le taux de conducteurs ayant une conduite nerveuse. Ces facteurs se cumulent donc, pour autant leurs effets sont-ils indépendants et se multiplient-ils ? La question est d'autant plus délicate, qu'aucune étude ne semble avoir abordé ce problème. De fait, l'ensemble des études mesurent les effets de ces facteurs à partir de situations de référence, qui peuvent être des cycles Europe, des essais à vitesse stabilisée ou des expérimentations en situation réelle, dans lesquelles un certain nombre de facteurs sont neutralisés (on peut du reste ignorer lesquels). On voit par conséquent que les valeurs annoncées dans telle étude relative à tel type d'effet ne pourront pas toujours être appliquées de manière systématique.

La prise en compte des effets des facteurs ayant une incidence sur la consommation de carburant des automobiles peut alors s'effectuer en quatre étapes :

1. Choix des formules de consommation moteur chaud et de surconsommation due au démarrage à froid. Examen des conditions d'expérimentation.
2. Listage des facteurs qui peuvent avoir des effets sur la consommation globale. Repérage des facteurs pris en compte ou surtout non pris en compte lors des expérimentations.
3. Pour chaque facteur non pris en compte lors des expérimentations :
 - connaît-on sa distribution lors de l'expérimentation ?
 - connaît-on ses effets réels ?
 - connaît-on sa distribution statistique réelle ?
4. Si oui, après considérations sur les effets cumulés, choix des fourchettes de pourcentages représentant les effets des facteurs non pris en compte. Si non, abandon du facteur.

3.2 - Typologie des facteurs

L'OCDE a publié en 1982 un ouvrage sur les consommations énergétiques faisant le point des études menées dans ce domaine par les pays membres.

Trois familles de facteurs sont mises en évidence :

- utilisation et entretien des véhicules,
- infrastructure,
- comportement du conducteur et régulation du trafic.

Le tableau suivant reprend cette typologie et présente les résultats marquants des études recensées par l'OCDE. Quelques compléments ont été tirés de DELSEY, BAC et VIDON (1980), MERLIN (1977) et ROUMEGOUX (1979).

NATURE DU FACTEUR	CONDITIONS D'EXPERIMENTATION	INCIDENCE SUR LA CONSOMMATION DE CARBURANT
A - UTILISATION ET ENTRETIEN DES VEHICULES		
1. <u>Dispersion dans la fabrication</u>	Cycle Europe	+ 4 à 5 % de surconsommation en conditions réelles par rapport au cycle Europe.
2. <u>Usure du moteur et du véhicule</u>	?	Peu de variation avec l'âge pour un véhicule bien entretenu ; pour les autres, aucune mesure.
3. <u>Mauvais entretien</u>		
31. mauvais réglage (décalage allumage, carburation, encrassement filtre, tension courroie)	conditions réelles (Danemark)	Le réglage de l'ensemble des véhicules mal réglés du parc conduirait à une économie de 2,4 % sur une année.
32. parallélisme des roues	cycle urbain (Etats Unis) conditions réelles (Etats Unis)	Des différences de 2 mm dans le parallélisme entraînent des surconsommations de 3 %. Le défaut de parallélisme conduit à une surconsommation de 4 % limitée à 10 % des véhicules du parc.
33. taille de roue et type de pneumatique	?	Economie d'énergie avec la largeur de roue et la carcasse radiale.
34. gonflage des pneumatiques	? (Etats-Unis)	Un gonflage correct des pneumatiques des véhicules de l'ensemble du parc conduirait à une économie globale de 2,2 %.
35. réglage des freins	? (Etats-Unis)	Economies à attendre d'un réglage optimal des freins à disque ou à tambour.
36. lubrifiants	? (Etats-Unis)	Avec les nouvelles huiles pour moteur, des économies de l'ordre de 2 à 4 % à attendre par rapport à des huiles normales.
4. <u>Charge des véhicules</u>		
41. passagers	? (en ville)	Pour un véhicule de taille moyenne, augmentation de la consommation d'environ 4 % par passager moyen.
42. galerie de toit	essais à vitesse stabilisée (France)	A une vitesse de 90 km/h, la galerie vide provoque une surconsommation de 8 % et la galerie pleine de 21 %.

5. Utilisation des auxiliaires et accessoires

51. tous auxiliaires confondus

? (Europe)

Sur des parcours nocturnes, 5 % de surconsommation au printemps et en automne et 9 % en hiver.

52. phares

? (Europe)

0,6 à 0,8 l/100 km de surconsommation sur des véhicules courants.

6. Conditions climatiques

61. température ambiante

Cycle Europe
(France)

- Consommation moteur chaud : 0,1 à 0,2 % de surconsommation par degré Celsius pour toute diminution de la température ambiante entre 20-25°C et 7-8°C ; si la température ambiante est comprise entre 6°C et 0°C, la surconsommation sera de 0,5 % par °C.
- Surconsommation due aux démarrages moteur froid : l'influence de la température ambiante a été présentée précédemment (§ 2.2).

B - INFRASTRUCTURE

1. Qualité du revêtement des chaussées

essais à vitesse stabilisée

Surconsommation sensible à vitesse élevée.

2. Sinuosité de la route

circulation routière
(France)

Effet probablement négligeable en milieu urbain.

3. Régularité des vitesses de croisière

circulation routière
(Grande Bretagne, France)

En milieu urbain, l'impossibilité de circuler à des vitesses constantes, entraîne des surconsommations non négligeables (cf. infra C).

4. Effet de pente

circulation routière
(France)

Surconsommation d'environ 0,9 l/100 km par % de pente moyenne. Pour certaines villes la surconsommation serait donc importante.

C - COMPORTEMENT DU CONDUCTEUR ET REGULATION DU TRAFIC

1. Style de conduite

essais sur piste
(France)

Dispersion des résultats de consommation
- 9 % pour un même conducteur
- 29 % entre différents conducteurs.

11. vitesse de conduite et défauts d'anticipation

?

A vitesses moyennes égales et entre comportements de conduite extrêmes : 40 % de différence entre les consommations.

12. utilisation de la boîte de vitesse

?

A vitesses moyennes égales, écarts de 20 % de la consommation entre différents conducteurs (attention : facteur fortement corrélé au précédent).

2. Régulation du trafic

circulation urbaine
(Canada et Grande Bretagne)

Les systèmes de régulation les plus favorables permettraient de 1 à 4 % d'économie (attention : les coefficients a et b du modèle CMC = aL + bT tiennent déjà compte des conditions de circulation).

II - LES TRANSPORTS COLLECTIFS

Quatre types de transport collectif urbain sont utilisés dans l'agglomération lyonnaise : taxi, autobus, trolleybus et métro. Examinons-les successivement. Si pour les modèles nous présenterons tous ceux que nous avons rencontré, nous nous limiterons en matière de consommations spécifiques et unitaires aux seules valeurs relatives à l'agglomération lyonnaise.

1 - LES TAXIS

Ils ont donné lieu à peu d'études sous l'angle énergétique. A. FRYBOURG (1979) propose quelques valeurs de consommations unitaires et spécifiques fournies par le Syndicat des Taxis Parisiens mais rien n'existe en ce qui concerne l'agglomération lyonnaise. Nous ne nous intéresserons pas plus à ce mode dont l'usage est d'ailleurs très faible.

2 - LES AUTOBUS

Différents véhicules sont présents sur le réseau lyonnais et leurs consommations spécifiques sont suivies par la société concessionnaire T.C.L. Parallèlement, des tentatives de modélisation ont eu lieu, notamment à la RATP et à l'IRT.

2.1 - Consommations spécifiques et unitaires

Pour 1978, TCL a estimé la consommation de ses autobus à 40,6 litres de gazole aux 100 kilomètres (cité dans FRYBOURG, 1979), soit 3,7 gep par place-kilomètre offerte (gep/pko). En évaluant le coefficient de remplissage à 0,18, on arrive ainsi à une consommation unitaire moyenne de 21,0 gep/pkt. Les mêmes sources précisent que ces indicateurs peuvent différer sensiblement d'un modèle d'autobus à un autre : en termes de gep/pko, la consommation varie entre 3,3 et 3,9.

Dans un article de 1979, J.P. MICHELET propose une valeur légèrement plus faible mais cependant cohérente pour la consommation unitaire rapportée au trafic. Il la situe à 19,1 gep/pkt en

moyenne journalière, les consommations en heures creuses et heures de pointe lui étant respectivement inférieure et supérieure de 25 %.

2.2- Les modèles disponibles

La modélisation s'est jusqu'ici beaucoup plus portée sur les automobiles que sur les autobus. Ainsi il n'existe pas, en ce qui concerne les essais, de procédure normalisée analogue au cycle Europe utilisé pour les véhicules légers.

Deux familles de modèle sont actuellement utilisées en France : les modèles issus de simulation (modèles théoriques) et ceux provenant d'essais sur piste ou en conditions réelles (modèles empiriques). Sauf indication contraire, les travaux indiqués par la suite sont issus d'un rapport de J.P. ROUMEGOUX de 1981 auquel on se reportera pour de plus amples précisions.

2.2.1 - Les modèles théoriques

La consommation d'énergie est étudiée à partir d'une simulation sur ordinateur du comportement du moteur. Un cycle de marche est défini pour le véhicule dont on connaît par ailleurs les caractéristiques physiques. En se donnant le profil géométrique du parcours et la loi de remplissage du bus, il est alors possible de connaître à chaque instant la consommation instantanée du véhicule.

R.V.I. dispose ainsi du modèle SIMAVERO, conçu pour des poids lourds mais adapté aux autobus urbains. Une comparaison des résultats de la simulation avec des essais en circulation a montré l'excellente qualité des résultats obtenus. Mais le programme nécessite des paramètres jamais saisis dans les enquêtes de mobilité et difficilement reconstituables : la longueur entre les arrêts, la durée moyenne de ceux-ci, le remplissage moyen.

J.P. ROUMEGOUX propose une série de modèles valables pour l'agglomération lyonnaise. Comme SIMAVERO, ils exigent toutefois des paramètres liés à la marche du véhicule (temps d'arrêt, fréquence d'arrêt, vitesse de roulage, ...) et sont donc passibles du même handicap.

Enfin, l'IRT-CERNE a pu mettre en relation la vitesse moyenne et la consommation. Pour un autobus PR 100 chargé à 75 %, la consommation en litres aux cent kilomètres serait ainsi égale à $28 + 339/V$, la vitesse V étant en kilomètres-heure.

2.2.2 - Les modèles empiriques

A partir de mesures effectuées en conditions réelles de circulation, la RATP évalue la consommation d'un autobus SC10 (en litres aux cent kilomètres) en fonction de sa vitesse moyenne (en kilomètres-heure) à partir de l'expression $\frac{14V + 1230}{V + 20}$. Cette formule est difficilement comparable avec celle proposée par l'IRT-CERNE, le type de véhicule et les conditions de circulation différant sensiblement.

Enfin, S. COHEN a pu mettre au point plusieurs modèles à l'occasion de stages d'initiation à la conduite rationnelle, effectués sur le réseau marseillais (COHEN, 1982). L'autobus est ici un SPR 100 PA, que l'on retrouve, comme d'ailleurs le SC 10, sur le réseau lyonnais. Par rapport aux autres expériences (simulations ou essais), celle-ci présente la particularité d'avoir été effectuée avec un départ moteur chaud (l'écart entre moteur chaud et moteur froid étant estimé à 8 litres par 100 kilomètres). Le modèle le plus simple exprime la consommation (litres par 100 kilomètres) en fonction de la vitesse moyenne (kilomètres par heure) sous la forme $30,8 + 116/V$. Là encore, la comparaison avec les expressions précédentes est hasardeuse. Notons que le modèle peut être affiné en ayant recours à d'autres indicateurs, notamment le nombre de coups de ralentisseurs donnés par le chauffeur (nombre de décélérations et d'accéléérations), mais se pose alors le problème de leur reconstitution.

3 - LES TROLLEYBUS

Deux points peuvent expliquer le faible intérêt porté jusqu'ici aux trolleybus :

- ils sont bien moins utilisés que les autobus et tous les réseaux n'y recourent pas ;
- l'énergie qu'ils utilisent est électrique et n'est pas forcément d'origine pétrolière.

Nous n'avons ainsi découvert en ce qui les concerne qu'une évaluation de leur consommation unitaire (FRYBOURG, 1979). Celle-ci est très sensible au type de véhicule considéré mais, en moyenne pour le réseau lyonnais, elle est estimée pour 1978 à 6,4 gep/pko. Le coefficient de remplissage des véhicules n'étant pas fourni, il est impossible de la rapporter au trafic (gep/pkt).

Si nous nous intéressons non plus aux seuls trolleybus mais à l'ensemble du réseau de surface (autobus et trolleybus), nous pouvons disposer, pour le réseau de Lyon, des consommations unitaires

moyennes pour deux années récentes (CETE de LYON, 1982). De 1977 à 1979, elles passeraient ainsi de 4,05 gep/pko à 4,27 gep/pko. Ici aussi, le coefficient de remplissage moyen n'est pas connu. On peut toutefois penser que le chiffre de 0,18 cité par A. FRYBOURG pour les seuls autobus n'est pas sensiblement modifié par la péréquation des deux modes de surface.

4 - LE METRO

Nous retrouvons pour le métro les deux références utilisés pour les trolleybus. Bien que la source soit commune (TCL), les résultats sont assez dissemblables (tableau 2.3).

TABLEAU 2.3 : Consommations unitaires du métro de Lyon (gep/pko)

SOURCE		A. FRYBOURG 1979	CETE DE LYON 1982
Lignes A et B	énergie de traction	6,7	6,07
	énergie des auxiliaires		3,39
			9,46
Ligne C	énergie de traction	18,2	14,05
	énergie des auxiliaires		5,20
			19,26
Ensemble	énergie de traction		6,25
	énergie des auxiliaires		3,43
			9,68

Il semble difficile de ne considérer que l'énergie de traction pour définir la consommation unitaire puisque l'énergie des auxiliaires (utilisée dans les ateliers et en station) contribue directement au fonctionnement du mode "métro". Selon le rapport du CETE de Lyon, elle représente, les trois lignes confondues, 35 % de l'énergie consommée, sa part étant toutefois plus faible (27 %) pour la seule ligne C (profil plus pentu et nombre de stations plus faible). En plus de consommations unitaires rapportées à l'offre, A. FRYBOURG propose une évaluation des coefficients de remplissage : 0,164 pour les lignes A et B et 0,259 pour la ligne C. Les consom-

mations unitaires rapportées au trafic sont alors de 41,0 gep/pkt pour les lignes A et B et de 70,4 gep/pkt pour la ligne C, soit respectivement 2 et 3,5 fois plus que pour les autobus.

Nous n'avons pas rencontré de modulation entre heures de pointe et heures creuses.

III - LES DEUX-ROUES

La modélisation de la consommation des deux-roues à moteur est inexistante et peu d'informations existent sur leurs consommations unitaires ; en particulier elles ne sont pas connues pour l'agglomération lyonnaise. Nous allons toutefois reprendre ici les valeurs moyennes fournies par A. FRYBOURG (1979) en suivant la décomposition fondée sur la cylindrée des véhicules.

Les cyclomoteurs ont une cylindrée inférieure à 50 cm³. Suivant les marques, la consommation unitaire rapportée au trafic se situe entre 9,1 et 17,5 gep/pkt (le conducteur est généralement seul sur le véhicule).

Si la cylindrée est comprise entre 50 et 125 cm³, le véhicule est un vélomoteur et offre deux places. Le nombre moyen de personnes transportées est mal connu mais peut cependant être estimé à 1,1 personnes. La consommation dépend fortement du type de moteur utilisé : les moteurs à deux temps (60 % du parc) consomment 28,6 gep/pkt alors que les moteurs à quatre temps (40 % du parc) sont plus économes, leur consommation s'élevant à 23,8 gep/pkt.

Enfin, les motocyclettes, avec une cylindrée supérieure à 125 cm³, constituent le haut de gamme (capacité deux personnes). Si leur consommation moyenne n'est pas connue, on sait toutefois qu'elle est extrêmement sensible au style de conduite et se situe dans les cas les plus défavorables entre 8 et 10 litres de super aux 100 kilomètres. En faisant l'hypothèse d'un taux d'occupation de 1,1, on peut penser que la consommation unitaire rapportée au trafic est comprise dans les cas les plus défavorables entre 54 et 68 gep/pkt.

Plus encore que celles des transports collectifs, les consommations des deux-roues sont à considérer avec précaution.

DEUXIEME PARTIE

Il s'agit maintenant de pouvoir affecter à chaque déplacement une distance et une consommation les plus proches possibles des distance et consommation réelles.

Des méthodes simples existent pour reconstituer les distances de déplacement mais leurs limites sont connues, notamment vis-à-vis des plus faibles parcours. Il nous faut donc définir une méthode de reconstitution plus fiable. Ce sera l'objet du chapitre III.

Une fois chaque déplacement muni d'une distance, il suffit alors de lui appliquer un modèle pour déterminer la consommation correspondante. Mais quel modèle ? L'examen de la littérature a montré que, suivant les modes, on passait d'une grande variété de modèles à une quasi-pénurie, aucun d'ailleurs paraissant parfaitement adapté à nos besoins. Le chapitre IV sera l'occasion d'élaborer la batterie de modèles qui nous est indispensable.

CHAPITRE III

RECONSTITUTION DES DISTANCES DE DEPLACEMENT

La méconnaissance de la distance réelle de chaque déplacement recensé lors de l'enquête nous impose de recourir à une méthode de reconstitution de cette distance. Si, de toute évidence, la valeur obtenue ne saurait être la valeur réelle, il convient toutefois de tenter de l'évaluer le plus exactement possible. Or le réalisme de cette reconstitution est directement fonction du réalisme de la formalisation de l'espace dans lequel s'effectuent les déplacements.

Une réflexion sur les différentes approches mathématiques de la notion de distance et sur les hypothèses de représentation de l'espace dont elles découlent va nous permettre d'élaborer une méthode de reconstitution. Cette méthode sera ensuite utilisée sur les déplacements dont nous disposons. Enfin, les résultats obtenus seront comparés à ceux issus d'autres méthodes plus traditionnelles.

I - CHOIX D'UNE METHODE DE RECONSTITUTION

Les mathématiciens donnent un sens très précis à la notion de distance en l'associant à une certaine forme de représentation de l'espace (ensemble de points). D'autres conceptualisations de l'espace existent qui, si elles ne permettent pas de définir une telle distance, autorisent une mesure de la non-coïncidence, de l'écart entre deux points. Afin de délimiter les méthodes potentielles, il faut donc recenser ces différentes représentations en mesurant avantages et inconvénients. Il sera alors possible de se donner la méthode optimale (par rapport à notre objectif) et d'en connaître les limites.

1 - LES METHODES DISPONIBLES

1.1 - Approches mathématiques de la notion de distance

1.1.1 - Les espaces métriques

Un ensemble de points E qui a été muni d'une structure spatiale s'appelle espace topologique. Cette structure spatiale, qui peut prendre de multiples formes, traduit les phénomènes ayant lieu au voisinage de chacun de ces points. Les espaces topologiques peuvent être plus ou moins structurés. Sur les espaces les plus structurés, et les plus intéressants pour nous, il est possible de définir une fonction distance d ; on se trouve alors en présence d'espaces métriques. L'application d fait correspondre à tout couple (x,y) de E^2 un nombre d_{xy} de R^+ vérifiant $\forall (x,y,z) \in E^3$:

$$d_{xy} = 0 \iff x = y \quad (1) \text{ propriété de séparation}$$

$$d_{xy} = d_{yx} \quad (2) \text{ propriété de symétrie}$$

$$d_{xy} \leq d_{xy} + d_{yz} \quad (3) \text{ inégalité triangulaire}$$

La plupart des métriques utilisées en économie spatiale appartiennent à la famille des métriques de MINKOWSKI. Elles peuvent se mettre sous la forme $d_{xy} = [(x_1 - y_1)^p + (x_2 - y_2)^p]^{1/p}$ pour un espace de dimension 2 ($p \geq 1$).

La distance euclidienne traditionnelle, plus connue sous le nom de distance à vol d'oiseau, correspond à $p = 2$, la distance rectilinéaire (parfois appelée distance de Manhattan) à $p = 1$. En moyenne, la distance rectilinéaire est égale à 1,27 fois la distance euclidienne. Les autres métriques de MINKOWSKI sont moins employées, bien que, selon LUNDBERG et EKMAN (cités dans MULLER, 1979), la perception subjective des

distances géographiques correspond à une distance de MINKOWSKI de paramètre environ égal à 3.

1.1.2 - La théorie des graphes

Une autre approche revient à considérer l'ensemble E comme muni d'une application multivoque Γ de E (Γ associe donc à tout élément de E zéro, un ou plusieurs éléments de E) : le couple (E, Γ) est alors appelé graphe. Les éléments de E sont les sommets du graphe entre lesquels Γ trace des arcs. Un chemin est une succession d'arcs adjacents permettant de passer d'un sommet à un autre. Enfin, on peut associer à chaque arc a un nombre $l(a)$ appelé "longueur" de l'arc a . Si pour tout couple (a_1, a_2) de sommets, il existe au moins un chemin allant de a_1 à a_2 et un chemin de a_2 à a_1 , le graphe est fortement connexe. On peut alors considérer que la longueur du plus court chemin de a_1 à a_2 mesure la distance de a_1 à a_2 . Mais il ne s'agit plus d'une distance au sens défini plus haut car $d(a_1, a_2)$ peut être différent de $d(a_2, a_1)$.

1.2 - Pertinence des diverses approches

Les différentes distances (au sens usuel) présentées plus haut présupposent une certaine conception de l'espace. Lorsque l'on s'intéresse à des déplacements, l'usage de tel type de distance sera pertinent si la structure du réseau de transport s'adapte à cette conception.

La distance euclidienne renvoie à un espace homogène et continu :

- le réseau de transport existe en chaque point de l'espace ;
- on se déplace entre chaque couple de points (x, y) sur une ligne droite et tous les points du segment xy appartiennent donc à l'espace (hypothèse de convexité de l'espace) ;
- le réseau permet de se déplacer entre les deux points dans les deux sens.

Cette schématisation des réseaux réels de transport est presque caricaturale, mais cette distance est couramment utilisée, notamment lors de l'exploitation des enquêtes ménages. L'agglomération est divisée en zones (de plus en plus étendues à mesure que l'on s'éloigne du centre) et chaque zone est assimilée à son centroïde. La longueur d'un déplacement est alors la distance à vol d'oiseau entre les centroïdes des zones de départ et d'arrivée si elles sont distinctes, une distance conventionnelle sinon.

La distance rectilinéaire ne bénéficie pas de la même faveur

que la distance euclidienne. Fondée sur des hypothèses similaires, elle permet cependant une meilleure représentation de l'espace urbain, notamment pour des villes en forme de damier. En effet, sa valeur dépend du système d'axes orthonormés retenu pour la mesurer et celui-ci peut donc être déterminé en fonction de directions privilégiées existant sur le territoire. Même si les axes du réseau de transport sont orientés aléatoirement, la distance de Manhattan semble plus satisfaisante, en moyenne, que la distance euclidienne : certains géographes multiplient les distances vol d'oiseau par un coefficient correcteur de 1,3, coefficient égal à la valeur moyenne du rapport de la distance rectilinéaire à la distance euclidienne (cité dans DERYCKE, 1979). Enfin, l'hypothèse de convexité de l'espace devient moins rigide car un point x et un point y sont reliés par une infinité de chemins acceptables et non pas par une unique ligne droite. Il n'existe pas à notre connaissance d'utilisation de cette méthode pour la détermination des distances de déplacement. Pourtant sa mise en oeuvre n'est guère plus difficile que celle de la distance euclidienne et une enquête réalisée avec un carroyage fin du territoire s'y prêterait très bien.

Vis-à-vis de problèmes de transport, toutes les métriques présentent au moins un défaut majeur lié à la propriété de symétrie. Celle-ci implique en effet que si le réseau de transport admet une liaison de x à y , alors cette liaison peut également être utilisée pour aller de y à x . L'existence de sens uniques dans la totalité des agglomérations va à l'encontre de cette hypothèse, l'aller pouvant, en termes de distance, être sensiblement différent du retour.

Ces hypothèses peuvent être levées si l'on considère l'espace comme un collection de points distincts reliés entre eux, chaque liaison permettant d'aller d'un point a_1 à un point a_2 (sans que la liaison inverse existe nécessairement). L'espace n'a plus besoin d'être continu en tout point mais seulement le long des axes de transport ; deux points peuvent être reliés par zéro, un ou plusieurs chemins de longueurs différentes. La théorie des graphes peut s'appliquer parfaitement à une telle formalisation, le réseau d'infrastructures de transport étant représenté par les axes du graphe. A chaque arc, on peut associer la longueur géographique exacte de la portion de réseau qu'il représente.

La pertinence du recours à la théorie des graphes dépend ainsi uniquement du nombre de sommets et d'arcs considérés dans le graphe associé à l'espace urbain. Notamment il est possible d'utiliser un graphe distinct pour chaque mode, mieux adapté à ses spécificités (sens uniques, couloirs réservés pour les bus,...)

1.3 - Une grande variété de méthodes

Le détour par quelques réflexions mathématiques a montré qu'il existait une grande variété de formalisations de la notion de distance. Chacune, au prix d'hypothèses plus ou moins réductrices, est théoriquement susceptible de fournir une méthode de reconstitution des

distances. Pratiquement, la qualité des informations enregistrées lors de l'enquête va limiter la palette des choix potentiels.

L'inscription du déplacement dans l'espace géographique est spécifié par deux composantes : d'une part l'origine et la destination, d'autre part l'itinéraire emprunté. L'un comme l'autre peut être ou non connu. Le tableau 3.1 montre alors dans chaque cas quelles sont les méthodes disponibles.

TABLEAU 3.1 : Méthodes de calcul des distances de déplacement selon la qualité de l'information disponible.

Itinéraire	Origine et destination	
	non ou mal connues	connues
mal connu ou inconnu	1 - zonage, métrique euclidienne 2 - zonage, métrique non euclidienne 3 - zonage, plus court chemin dans un graphe	1,2,3 4 - métrique euclidienne 5 - métrique non euclidienne 6 - plus court chemin dans un graphe
connu	sans objet	1,2,3,4,5,6 7 - longueur du chemin associé à l'itinéraire parcouru

Certaines sont couramment utilisées. Le CETUR emploie généralement lors du traitement des enquêtes ménages la méthode 1. Les modèles d'affectation d'une demande TC de la SEMALY (TERESE par exemple) reposent sur la méthode 3 (CETE de Lyon, SEMALY et IRMA, 1975), comme d'ailleurs la détermination de certains indicateurs d'accessibilité géographique.

Une méthode de reconstitution des distances semble échapper à ce cadre : le recours à une typologie des vitesses (utilisable pour des enquêtes de type mobilité puisque la durée est connue). Mais l'élaboration de cette typologie nécessite, à moins de recourir à une enquête en circulation réelle enregistrant distance et durée, un calage préalable

qui, de fait, amène à retenir une des méthodes présentées ci-dessus.

2 - LA METHODE DE RECONSTITUTION

Des sept méthodes définies dans le tableau 3.1, une peut déjà être éliminée au vu des renseignements saisis : la septième, la meilleure, puisqu'elle nécessite la connaissance exacte des itinéraires. De plus, un rapide examen des questionnaires montre que les adresses n'ont pas toujours été parfaitement saisies.

Nous allons tout d'abord procéder à une première partition du fichier (cf. figure 3.1). Certains déplacements ne sont pas internes à l'agglomération. Voulant étudier les consommations urbaines ils ne peuvent nous intéresser. Dans la suite, les seuls déplacements considérés seront ceux ayant origine et destination dans l'agglomération.

Plutôt que d'adopter systématiquement l'une des méthodes 1, 2 ou 3 (méthode avec zonage), nous avons préféré partitionner à nouveau à ce stade le fichier étudié afin de pouvoir utiliser, lorsque cela était possible, les méthodes sans zonage. Nous obtenons ainsi deux sous-fichiers : le premier (sous-fichier "A") constitué de déplacements à origine et destination précises (si le déplacement est constitué de plusieurs trajets, ceci doit être vrai pour chacun d'entre eux) ; le second regroupant les autres déplacements (sous-fichier "B").

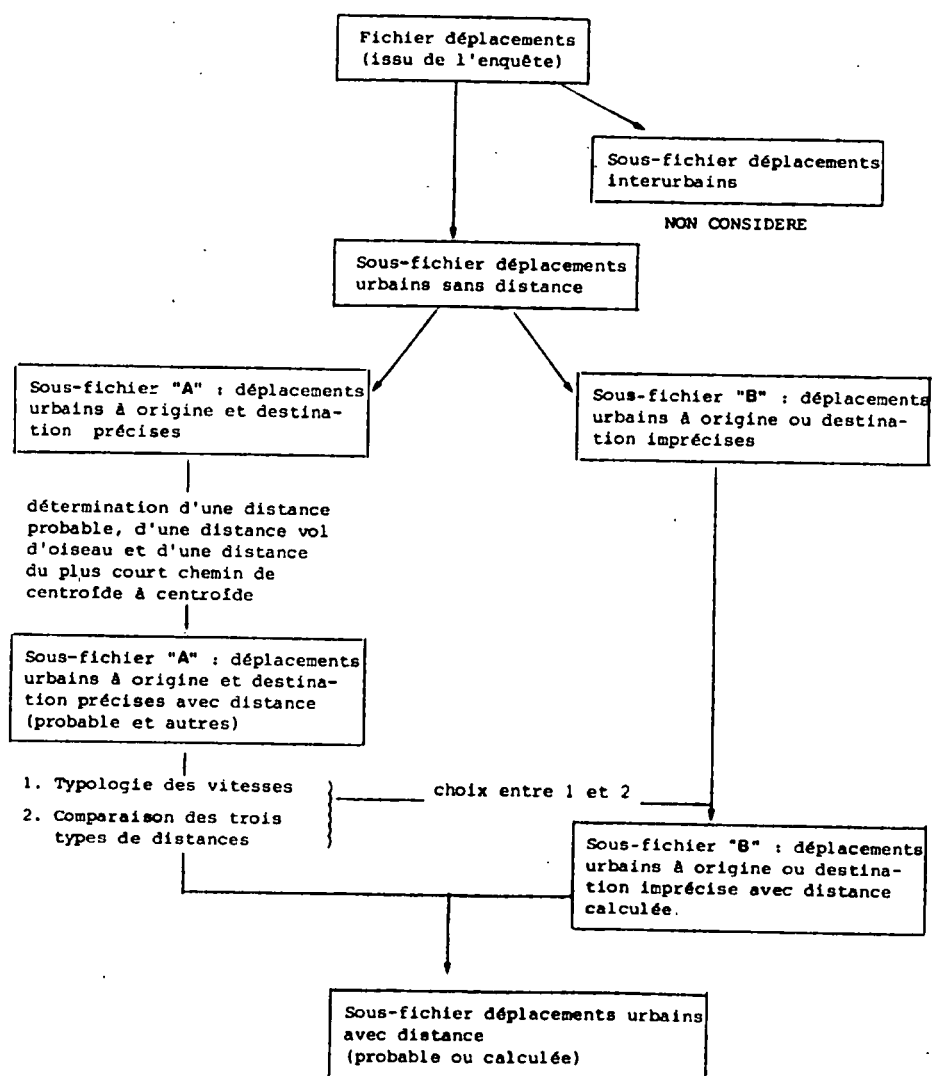
L'étape suivante est alors relative au premier sous-fichier. Tout d'abord, chaque déplacement va se voir attribuer une distance probable, calculée sur une carte à l'aide d'un curvimètre. Par distance probable, nous entendons longueur de l'itinéraire paraissant le plus adapté au mode utilisé, après regroupement des modes en cinq catégories : marche à pied (MAP), deux roues (2R), transports en commun (TC), voiture particulière (VP), complexe (utilisation des TC et de la VP). Cet itinéraire tient compte, lorsqu'il y a lieu, des sens uniques, du tracé des lignes de TC, des temps de parcours, ... Il est en fait très proche du plus court chemin dans le graphe associé à l'agglomération (méthode 6). De plus, on affecte à chaque déplacement, la distance à vol d'oiseau réelle (distance euclidienne entre l'origine et la destination exactes - méthode 4) et la distance du plus court chemin (utilisation d'une matrice de distances réalisée par la SEMALY) entre les centroïdes des zones d'arrivée et de départ lorsqu'elles sont distinctes (méthode 3). Le sous-fichier "A" ayant été enrichi de ces données, il est alors possible d'une part de comparer les trois distances retenues entre elles et d'autre part de mettre en évidence des typologies des vitesses pertinentes (vitesses porte à porte).

Ces résultats vont nous servir pour calculer des longueurs à affecter aux déplacements du second sous-fichier "B". Si la typologie des vitesses permet de mieux reconstituer la distance probable que le calage par rapport à la distance du plus court chemin entre centroïdes de zones (la distance euclidienne entre l'origine et la destination exactes n'est, par définition, pas disponible pour les déplacements du

sous-fichier "B"), on calcule alors la longueur parcourue à partir de la formule $\text{distance} = \text{vitesse} \times \text{temps}$. Dans le cas contraire, on utilise les calages mis en évidence. Chaque déplacement du sous-fichier "B" dispose ainsi à l'issue de cette étape d'une distance calculée.

Il ne reste plus qu'à réunir les deux sous-fichiers pour obtenir le fichier des déplacements urbains, caractérisés notamment par une distance parcourue (probable ou calculée).

FIGURE 3.1 Schéma de la méthode de reconstitution des distances de déplacement.



3 - LES LIMITES DE LA METHODE

La méthode retenue est susceptible de deux types de critiques : des critiques internes et des critiques externes, ces dernières liées au matériau sur lequel elle est utilisée.

3.1. - Critiques internes

Les premières se rapportent à la détermination de la distance probable et sont de deux ordres : théoriques et pratiques.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, la longueur du plus court chemin (même si c'est un chemin probable) dans le graphe associé est en fait une minoration de la distance réelle due à l'absence de prise en compte du choix par l'individu de son itinéraire. C'est à la fois une critique interne, car dépendant de la méthode, et externe, car commune à toutes les méthodes utilisables (avec les données existantes). Il faut également remarquer qu'un phénomène tel que la recherche d'une place de parking est totalement ignoré. Pourtant, il joue systématiquement dans le sens d'une augmentation des distances. Il est de plus probable que de tels biais grèvent plus lourdement les petites distances que les grandes. Enfin, les erreurs effectuées ici sont impossibles à quantifier.

Sur le plan pratique, l'utilisation d'un curvimètre ne permet pas de mesurer des distances parfaitement exactes. Le fond de plan utilisé joue également un grand rôle et peut entraîner des biais. Il est difficile de déterminer dans quel sens jouent ces différentes sources, mais, là encore, il est probable que les déplacements à courte distance sont les plus affectés. Très probablement, les distances probables sont globalement plus faibles que les réelles.

En ce qui concerne la VP, l'utilisation du curvimètre et d'un plan au 1/25 000 amène à affecter aux déplacements des distances inférieures, en moyenne, d'environ 5 % aux distances réelles (mesures effectuées sur une trentaine de déplacements dont la longueur avait été lue au compteur du véhicule - cf. annexe III). Sans bien sûr considérer pour autant que la différence distance réelle - distance probable est d'un ordre de grandeur analogue, on peut remarquer que la méthode des distances du plus court chemin entre centroïdes à partir d'un découpage de l'agglomération en 141 zones (découpage SEMALY) conduit à affecter aux déplacements effectués entre zones adjacentes des distances dont la moyenne est, en périphérie, de 4 300 mètres. L'erreur peut alors se chiffrer en centaines de %.

D'autres problèmes apparaissent lors du choix de la meilleure méthode de reconstitution. La méthode de comparaison des types de distances ne fournit aucun renseignement pour des déplacements internes à une zone.

La méthode de typologie des vitesses fournit des vitesses probables plus faibles, en moyenne, que les vitesses réelles (puisque vitesse = distance/temps, en supposant les temps de déplacement correctement déterminés). De plus, les deux méthodes présentent un caractère normatif qui ne peut qu'augmenter les incertitudes nées de la méconnaissance des itinéraires et nuire à la mise en évidence des déterminants individuels de la mobilité. L'univers subjectif de choix est purement et simplement assimilé à l'univers objectif de choix et les spécificités individuelles disparaissent donc.

Enfin, ce caractère normatif va se trouver encore amplifié lors de la détermination de la distance calculée. Celle-ci est, très probablement, plus faible, en moyenne, que la distance réelle mais l'enquête dont nous disposons ne permet ni de confirmer, ni d'infirmer le raisonnement tenu pour arriver à cette conclusion.

3.2 - Critiques externes

Tout d'abord, le fichier non redressé ne regroupe que 5 200 déplacements. Comme seule une minorité pourra donner lieu à la détermination d'une distance probable, les typologies retenues verront leur finesse limitée et les comparaisons entre types de distance porteront sur de faibles effectifs (rappelons que seuls les déplacements entre zones bénéficient d'une distance de centroïde à centroïde).

La critique externe la plus forte concerne les durées des activités et des déplacements. D'une part ces durées sont non pas des temps réels mais des temps perçus et l'on sait que les différences peuvent être sensibles. D'autre part toutes sont des multiples de cinq minutes. Là encore, le problème est plus aigu pour les déplacements de faible durée (5 minutes et moins) qui sont également les plus courts. Les vitesses calculées risquent ainsi d'être biaisées sans qu'il soit possible de déterminer dans quel sens. Enfin l'utilisation de la méthode de typologie des vitesses dans la dernière phase de reconstitution des distances se traduit alors par l'affectation aux déplacements concernés d'une distance multiple du rapport

$$d_{\min} = \text{vitesse issue de la typologie (en km/h)} \times 5/60$$

où $d_{\min}$ correspond à un déplacement de cinq minutes. Les courbes [nombre de déplacements, distances] qui s'en déduisent présentent ainsi des paliers. On peut cependant présumer que les courbes réelles sont continues et les approximer par un lissage des courbes expérimentales. Une nouvelle source de biais est alors introduite mais elle est mineure par rapport au problème, plus fondamental, des itinéraires.

3.3 - Opérationnalité de la méthode retenue

Arrivé à ce stade, nous disposons d'une méthode de reconstitution des distances. Ses phases peuvent être interprétées comme la détermination d'un modèle de calcul des distances (étape d'analyse), le calage de ce modèle et enfin son utilisation (étape de prévision). Il convient donc de s'interroger sur son opérationnalité.

Selon BONNAFOUS (1973), l'opérationnalité repose sur la conjonction de trois propriétés nécessairement contradictoires : la cohérence, la pertinence et la mesurabilité.

Partant d'une enquête existante, nous avons été conduits à négliger la pertinence au profit de la mesurabilité. L'absence de prise en compte des itinéraires, l'utilisation, ensuite, de méthodes normatives afin de pouvoir affecter une distance à chaque déplacement ont pour conséquence de réduire l'adéquation du modèle au réel tel qu'il a été appréhendé. Ainsi la distinction entre univers objectif de choix et univers subjectif de choix est, en partie, vidée de son sens. La cohérence, tant interne que par rapport aux objectifs du modèle, nous semble quant à elle bien respectée.

Ne s'agissant ici que d'une étude exploratoire, nous nous contenterons de la méthode proposée et utiliserons les défauts relevés à la définition de types d'enquête plus adaptés à notre propos (chapitre VIII), essayant ainsi de trouver un autre équilibre entre cohérence, pertinence et mesurabilité, assurant mieux la seconde.

II - RECONSTITUTION DES DISTANCES DE DEPLACEMENT

L'utilisation de la méthode de reconstitution présentée dans les pages précédentes nous a conduit à isoler dans le fichier de base un sous-fichier regroupant les déplacements à origine et destination saisies précisément. Avant de présenter les résultats obtenus sur ce sous-fichier en matière de comparaisons de distances et de typologie des vitesses et d'indiquer les choix effectués pour l'affectation d'une distance aux autres déplacements, nous allons d'abord présenter les quelques caractéristiques générales de cette base de données.

1 - LE SOUS-FICHIER

Le sous-fichier regroupe 30 % des déplacements urbains recensés lors des enquêtes (avant redressement). 1565 déplacements se sont ainsi vu affecter une distance probable.

1518 déplacements (97 %) sont du type origine-destination, 1 est une promenade et 46 sont des services passager (3%).

La marche à pied est utilisée 331 fois (21,1 %), les deux roues 72 fois (4,6 %), les transports en commun 322 fois (20,6 %). La voiture est le mode dominant, emprunté pour 811 déplacements (51,8 %). Enfin le mode complexe (utilisation dans un même déplacement de la voiture et des TC) a donné lieu à reconstitution dans 29 cas (1,9 %). Par rapport au fichier de base, une distance probable a été affectée à 18 % des déplacements à pied, à 28 % des déplacements deux roues, à 39 % des déplacements transport collectif, à 33 % des déplacements en voiture et à 85 % des déplacements en mode complexe. La marche est donc le mode le plus défavorisé par la reconstitution. Or c'est aussi le mode de prédilection des petites distances. Les plus petits déplacements (de quelques dizaines de mètres) sont en effet difficilement repérables et mesurables sur une carte.

213 déplacements (13,6 %) durent cinq minutes, 255 (16,3 %) durent dix minutes et 18 % seulement sont plus longs que la demi-heure.

Le tableau 3.2 montre la ventilation des déplacements entre les différents types de liaison, pour deux définitions du centre de l'agglomération. Dans les deux cas, chacun des quatre types est, en nombre, correctement représenté.

16,9 % des déplacements ont une distance probable strictement inférieure à 1 km, et 41,3 % une distance probable inférieure à 3 km.

TABLEAU 3.2 : Ventilation des déplacements à distance probable, selon le type de liaison, pour différentes définitions du Centre (%)

	Centre - Centre	Périphérie - Centre	Centre - Périphérie	Périphérie - Périphérie
Centre = Lyon	25,7	17,8	16,6	39,9
Centre = Lyon + Villeurbanne	29,0	18,2	16,9	35,9

La vitesse moyenne tous modes est de 15,3 km/h. Le rapport de la distance probable à la distance à vol d'oiseau (en abrégé DPDV) est, en moyenne, égal à 1,35. Le rapport de la distance probable à la distance de centroïde à centroïde (en abrégé DPDC) est légèrement plus faible, toujours en moyenne (DPDC = 1,27). Ce dernier ratio n'est calculé que sur 1 194 déplacements, à zones origine et destination distinctes.

Ainsi que l'on pouvait s'y attendre, les vitesses moyennes par mode sont nettement différentes (tableau 3.3). Mais les rapports DPDC et, moins clairement, DPDV sont également sensibles à une typologie des déplacements par mode. Aussi allons-nous étudier séparément chacun des modes retenus ici, en tenant compte, lorsque les effectifs le permettent, du type de déplacement considéré.

TABLEAU 3.3 : Vitesse moyenne, rapports DPDV et DPDC, selon le mode.

	MAP	2R	TC	VP	Complexe
Vitesse moyenne (km/h)	4,3	21,0	10,4	21,4	13,6
DPDV	1,32	1,34	1,38	1,36	1,35
DPDC	0,99	1,42	1,33	1,30	1,33

2 - ETUDE DES DISTANCES ET DES VITESSES DES DEPLACEMENTS DU SOUS-FICHER

La démarche a été identique pour chaque mode :

- l'étude des deux rapports DPDV et DPDC est basée sur une ventilation des déplacements en fonction du type de liaison.
- la recherche d'une typologie des vitesses moyennes repose sur l'analyse de l'influence d'une vingtaine de critères socio-économiques et spatiaux caractéristiques du déplacement et de l'individu l'effectuant. Nous n'avons retenu ici que celui fournissant les meilleurs résultats (analyse de variance).
- le choix de la grille de calcul appliquée aux déplacements à origine ou destination imprécise(s) peut alors être effectué.

2.1 - La marche à pied

Le rapport DPDV varie assez peu (tableau 3.4.). Sa plus faible valeur au centre de l'agglomération peut s'expliquer par la plus forte densité du réseau d'infrastructure. Le rapport DPDC est par contre extrêmement sensible au type de liaison. Ce résultat n'a rien d'étonnant si l'on se rappelle que la distance moyenne entre zones contigües est de 700 mètres au centre de l'agglomération et de 4 300 mètres en périphérie ! Or les déplacements à pied, tout au moins en périphérie, sont effectués dans leur très grande majorité soit à l'intérieur même d'une zone (cas éliminé ici), soit entre zones contigües.

TABLEAU 3.4 : Rapports DPDV et DPDC pour les déplacements MAP, selon le type de liaison (Centre = Lyon).

	Centre - Centre	Périphérie - Centre	Centre - Périphérie	Périphérie - Périphérie
DPDV	1,27	s.o.	s.o.	1,36
DPDC	1,18	s.o.	s.o.	0,35

s.o. = sans objet.

Sur les 331 déplacements à pied à distance reconstituée, 307 sont de type origine-destination, 23 sont des services passager et un seul est une promenade.

Le tableau 3.5 montre une très nette influence du secteur dans lequel a lieu le déplacement origine-destination sur la vitesse moyenne à pied. C'est probablement l'effet de l'agrégation de divers facteurs (âge, motif, structure du réseau, ...) mais il n'a pas été possible de le mettre en évidence.

TABLEAU 3.5 : Vitesse moyenne MAP pour les déplacements origine-destination, selon le secteur (km/h)

	Lyon	Villeurbanne	Secteur Nord	Secteur Sud-Est	Secteur Nord-Ouest
Vitesse moyenne	3,9	2,1	6,2	4,0	3,4

La vitesse moyenne des déplacements de type service passager (3,0 km/h) est plus faible que celle des déplacements origine-destination (4,2 km/h). L'accompagnement concernant généralement des enfants en bas âge, ce résultat n'est guère étonnant. Vu la minceur de l'échantillon, aucune décomposition a été faite.

2.2 - Les deux roues

Nous n'avons pas comparé ici les différents types de distance, la décomposition de l'échantillon selon la liaison conduisant à des classes extrêmement réduites.

Les 72 déplacements sont de type origine-destination et la meilleure typologie des vitesses correspond à une partition suivant l'âge de l'individu (tableau 3.6).

TABLEAU 3.6 : Vitesse moyenne 2R, selon l'âge (km/h)

	10 - 14	14 - 16	16 - 18	18 - 25	25 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 65	65 et +
Vitesse moyenne	12,4	16,5	17,4	19,3	31,4	49,4	28,9	11,2	17,4	24,1

La croissance de la vitesse moyenne jusque vers quarante ans s'explique par le passage progressif d'un usage exclusif du vélo à une forte utilisation des deux roues à moteur (en particulier motos). Deux points sont cependant à noter : les effectifs des cinq premières classes varient entre 7 et 15, ceux des cinq dernières entre 2 et 6 ; il est pour le moins regrettable de n'avoir pu séparer les différents types de deux roues...

2.3 Les transports collectifs

On retrouve dans le tableau 3.7 quelques tendances mises en évidence pour les déplacements pédestres.

Le rapport DPDV varie assez peu. Il est légèrement plus faible sur les liaisons radiales, à distance moyenne élevée.

Le rapport DPDC est, par contre, fortement lié au type de liaison. Il est particulièrement élevé en périphérie, là où l'offre TC est la plus mauvaise et oblige l'individu à des détours importants.

TABLEAU 3.7 : Rapport DPDV et DPDC pour les déplacements TC, selon le type de liaison (Centre = Lyon)

	Centre - Centre	Périphérie - Centre	Centre - Périphérie	Périphérie - Périphérie
DPDV	1,41	1,34	1,34	1,44
DPDC	1,32	1,25	1,26	1,57

En ce qui concerne les vitesses moyennes, la meilleure partition des 322 déplacements (tous de type origine-destination) est fournie par une ventilation selon le type de liaison.

TABLEAU 3.8. : Vitesse moyenne TC, selon le type de liaison (km/h)
(Centre = Lyon)

	Centre - Centre	Périphérie - Centre	Centre - Périphérie	Périphérie - Périphérie
Vitesse moyenne	6,8	13,0	12,2	11,7

La hiérarchie des types de liaison qui découle du tableau 3.8 nous semble intéressante, et peut reposer sur un arbitrage entre deux paramètres : d'une part la qualité de service perçue sous le seul angle des fréquences (temporelles) et d'autre part les conditions de circulation ainsi que le nombre moyen d'arrêts et leur plus ou moins grand éloignement. Il est en tout cas important de remarquer que les vitesses TC porte à porte (incluant donc les trajets terminaux à pied) sont particulièrement faibles en centre ville.

2.4 - La voiture particulière

DPDV, s'il prend des valeurs proches de celles rencontrées jusqu'ici pour les liaisons radiales et orthoradiales, est extrêmement élevé pour les liaisons internes au centre (tableau 3.9). L'existence d'un plan de circulation aux nombreux sens uniques n'est probablement pas étrangère à ce phénomène.

Enfin, DPDC confirme sa forte sensibilité au type de liaison. Il est faible sur les liaisons radiales (à distance moyenne importante) et élevé pour les autres types de liaison.

TABLEAU 3.9 : Rapports DPDV et DPDC des déplacements VP, selon le type de liaison (Centre = Lyon)

	Centre - Centre	Périphérie - Centre	Centre - Périphérie	Périphérie - Périphérie
DPDV	1,56	1,28	1,29	1,35
DPDC	1,51	1,19	1,17	1,40

La quasi-totalité des déplacements automobiles (97 %) est de type origine-destination.

La vitesse moyenne de ces déplacements est de 21,5 km/h, mais, ainsi que dans le cas des TC, la prise en compte du type de liaison permet d'affiner sensiblement le résultat. La meilleure typologie est fournie ici par l'identification du centre de l'agglomération avec les deux villes de Lyon et Villeurbanne (tableau 3.10).

TABLEAU 3.10 : Vitesse moyenne VP pour les déplacements OD, selon le type de liaison (km/h) (Centre = Lyon + Villeurbanne)

	Centre - Centre	Périphérie - Centre	Centre - Périphérie	Périphérie - Périphérie
Vitesse moyenne	12,1	25,9	26,1	20,4

Les conditions de circulation apparaissent ainsi nettement moins bonnes dans le centre de l'agglomération qu'en périphérie. Les liaisons radiales, par l'existence d'un certain nombre de grands axes, permettent des vitesses moyennes très élevées, sans que des problèmes liés aux pointes apparaissent clairement.

Les déplacements de type service passager ont une vitesse moyenne relativement faible (16,4 km/h) que la taille de l'échantillon (23) ne permet pas de mieux connaître.

2.5 - Le mode complexe

Les 29 déplacements en transport collectif et voiture particulière sont de type origine-destination. Leur vitesse moyenne est de 13,6 km/h, intermédiaire donc entre les vitesses VP et TC (mais plus proche de cette dernière). Ici encore, l'affinement qu'apporterait telle ou telle décomposition ne pourrait être qu'illusoire.

2.6 - Les grilles de calcul

Il est maintenant possible de choisir une grille de calcul permettant d'estimer la longueur des déplacements à origine ou destination imprécise(s).

Nous n'avons en fait que deux options possibles puisqu'en dépit des résultats relativement corrects qu'elle fournit, la distance à vol d'oiseau (qui est, rappelons-le, la distance exacte entre l'origine et la destination) n'est bien évidemment pas disponible pour les déplacements concernés.

La distance de centroïde à centroïde apparaît comme totalement inadéquate, dans un travail dont la problématique appelle une reconstitution fine des distances. Son choix ne pourrait que conduire à des aberrations. Il faut d'ailleurs remarquer que nous ne nous sommes attachés ici qu'aux seuls déplacements à zones d'origine et de destination distinctes : il resterait encore à résoudre le cas des déplacements intra-zones !

La meilleure solution nous semble donc le choix d'une typologie des vitesses. Cette méthode n'est bien évidemment pas sans inconvénient et nous en avons mentionné certains dans la section précédente : lissage du comportement des individus, problèmes liés à une enquête par pas de cinq minutes. Un autre problème est apparu à l'issue de la détermination des distances probables : peu de déplacements service passager et une seule promenade se sont vus affecter une distance probable. Si pour les services passager, les échantillons sont suffisants pour fournir des valeurs moyennes acceptables, ce n'est pas le cas des promenades. Postulant que leur vitesse moyenne est plus faible que celle des déplacements O-D, nous les confondrons, lorsque cela sera possible, avec les services-passager.

Le tableau 3.11 récapitule pour chaque mode les grilles retenues. Les typologies utilisées ont été présentées dans les pages précédentes, sauf en ce qui concerne les deux roues pour lesquels nous

avons préféré simplifier la partition effectuée selon l'âge : chaque classe dispose ainsi d'effectifs plus conséquents. Le tableau 3.12 présente les vitesses moyennes retenues pour ce mode.

TABLEAU 3.11 : Grilles de calcul, selon le mode et le type de déplacement

Mode Type de déplacement	Marche à pied	Deux roues	Transports collectifs	Voiture particulière	Complexe
Origine - destination	typologie basée sur le secteur géographique (tableau 3.5)	typologie basée sur les contrain- tes légales d'ac- cès aux diffé- rents véhicules à moteur (tableau 3.12)	typologie basée sur le type de liaison avec Centre = Lyon (tableau 3.8)	typologie basée sur le type de liaison avec Centre = Lyon + Villeurbanne (tableau 3.10)	vitesse moyenne constante : 13,6 km/h
Promenade	assimilé à Service passager	assimilé à Ori- gine - destination	sans objet	assimilé à Service passager	sans objet
Service passager	vitesse moyenne constante : 3 km/h	assimilé à Ori- gine-destination	sans objet	vitesse moyenne constante : 16,4 km/h	sans objet

TABLEAU 3.12 : Vitesse moyenne 2R, selon l'âge : typologie simplifiée (km/h)

	10-14 ans	14-18 ans	+ de 18 ans
Vitesse moyenne	12,4	17,1	24,4

III - DISTANCES DE DEPLACEMENT ET VITESSES MOYENNES DANS L'AGGLOMERATION LYONNAISE

Il est intéressant pour terminer ce chapitre de tenter une comparaison entre les vitesses moyennes obtenues à l'aide de notre méthode de reconstitution et celles issues de méthodes plus traditionnelles. Notre référence sera ici l'enquête ménages effectuée à Lyon en 1976. Toute comparaison de ce type est difficile, la méthode d'enquête aussi bien que l'échantillonnage différant sensiblement. Un autre handicap s'ajoute ici : le décalage temporel. Mais la confrontation des vitesses moyennes peut révéler des écarts importants, conséquences de choix méthodologiques opposés. Nous présenterons tout d'abord une synthèse de l'étude des rapports entre les trois types de distance qui éclairera ensuite l'analyse des vitesses.

1 - LES TROIS TYPES DE DISTANCE

Le rapport de la distance probable à la distance à vol d'oiseau varie peu en fonction du type de liaison (tableau 3.13). Sa valeur légèrement plus faible pour les liaisons de type centre-périphérie s'explique à la fois par la structure du réseau d'infrastructures de transport à la tendance radiale prononcée et par la forte longueur moyenne des déplacements de ce type. Il est d'autre part remarquable de constater que la valeur moyenne sur l'agglomération (1,35) est très proche du rapport moyen de la distance rectilinéaire à la distance vol d'oiseau (en cas de distribution aléatoire des déplacements) soit 1,27. Une comparaison entre distance rectilinéaire et distance probable, qui n'a malheureusement pas pu être effectuée ici, présenterait donc un grand intérêt.

TABLEAU 3.13. : Rapports DPDV et DPDC selon le type de liaison
(Centre = Lyon)

	Centre - Centre	Périphérie - Centre	Périphérie - Périphérie	Ensemble
DPDV	1,36	1,30	1,36	1,35
DPDC	1,22	1,20	1,02	1,17

Le rapport de la distance probable à la distance de centroïde à centroïde est, par contre, très dépendant du type de liaison. On peut voir là un effet de la longueur moyenne de déplacement qui varie beaucoup entre les trois types de liaison mais aussi et surtout une conséquence des choix méthodologiques effectués pour la reconstitution des distances. De plus, les valeurs moyennes présentées ici cachent des disparités importantes entre les modes. La faible valeur en périphérie est ainsi due à deux phénomènes antagonistes qu'explique l'effet de frontière. Les déplacements à pied, ont lieu pour la plupart entre zones contigües et concernent des points proches de la frontière commune, alors que les déplacements effectués à l'aide des autres modes présentent, au contraire, une plus grande diversité. La distance entre centroïdes surestime donc les distances à pied et sous-estime les autres.

Le caractère illusoire des valeurs moyennes, en ce qui concerne le rapport DPDC, se retrouve dans le tableau 3.14.

TABLEAU 3.14. : Rapports DPDV et DPDC, selon le mode.

	MAP	2R	TC	VP
DPDV	1,30	1,35	1,39	1,39
DPDC	0,92	1,41	1,33	1,37

En effet, le bon résultat obtenu pour la marche à pied n'est que l'agrégation de données particulièrement médiocres qui, par exemple, conduisent en périphérie à multiplier par 3 (en moyenne) les distances parcourues. L'effet de frontière joue ici pleinement.

On retrouve en revanche, la bonne stabilité de DPDV. La plus forte flexibilité des itinéraires marche à pied par rapport à ceux effectués avec d'autres modes se traduit par une valeur du rapport légèrement plus faible en ce qui concerne ce mode.

Enfin, si distance à vol d'oiseau et distance entre centroïdes semblent très similaires pour les transports collectifs et la voiture, l'étude de leur sensibilité au type de liaison montre que ce n'est pas là encore qu'un effet d'agrégation : pour ces deux modes DPDC est plus faible que DPDV sur les liaisons radiales et plus élevé sur les liaisons internes au centre ou à la périphérie.

Que retenir de cette comparaison des distances ?

La distance à vol d'oiseau entre l'origine et la destination exactes du déplacement, si elle est plus faible en moyenne que la distance probable, semble cependant, de par la faible variabilité du rapport DPDV,

être un indicateur fiable permettant, notamment, des comparaisons globales entre modes.

La distance entre centroïdes est par contre difficilement utilisable. Sa dépendance très forte aussi bien du mode que du type de liaison ne peut que biaiser toute tentative d'analyse. De plus, elle est totalement inadéquate en ce qui concerne les faibles distances.

2 - VITESSES MOYENNES DE DEPLACEMENT

Les vitesses moyennes de déplacement (vitesses probables porte à porte) sont très dépendantes du type de liaison (tableau 3.15). Le rapport est en effet de un à deux entre la vitesse Centre-Centre et la vitesse Périphérie-Périphérie, et de un à trois entre les vitesses Centre-Centre et Centre-Périphérie. C'est d'abord l'effet de différences importantes au sein de la répartition modale (le rapport des vitesses est du même ordre que celui des pourcentages de déplacements en voiture). Toutefois la ventilation de ces moyennes selon les quatre modes principaux montrerait une forte différence, pour chacun des modes motorisés, entre les liaisons Centre-Centre, lentes, et les autres, beaucoup plus rapides. Les conditions de circulation semblent donc plus difficiles à Lyon que dans le reste de l'agglomération.

TABLEAU 3.15. : Vitesses moyennes de déplacement, selon le type de liaison (Centre= Lyon)

	Centre - Centre	Centre - Périphérie	Périphérie - Périphérie	Ensemble
Vitesses tous modes (km/h)	6,2	20,4	13,8	11,2

Si l'on observe maintenant les vitesses moyennes par mode (tableau 3.16), on constate qu'elles diffèrent très sensiblement de celles fournies par l'enquête-ménages. La comparaison de la distance probable et de la distance entre centroïdes nous a montré les limites de cette dernière et sa faible fiabilité. Les résultats obtenus alors ne peuvent cependant pas être appliqués directement ici. En effet, le découpage de l'agglomération utilisé dans l'enquête ménages ne coïncide pas exactement avec le notre ; de plus, les distances entre centroïdes y sont calculées à vol d'oiseau et non selon le plus court chemin. Les ordres de grandeur obtenus lors des comparaisons entre distances subsistent néanmoins et permettent

de comprendre, par exemple, la plus faible vitesse pédestre. La forte évolution des vitesses des transports collectifs et des automobiles entre les deux enquêtes s'explique essentiellement par ces apports méthodologiques mais certaines améliorations dans les conditions de circulation peuvent y jouer un rôle : restructuration du réseau TC, étalement des pointes de trafic....

TABLEAU 3.16. : Vitesses moyennes de déplacement, selon le mode, et comparaison avec l'enquête ménages Lyon 1976. (km/h)

	MAP	2R	TC	VP
Vitesses	3,8	21,4	9,0	18,8
Vitesses enquête ménages	4,4	9,9	6,3	11,4

L'écart entre les deux vitesses moyennes automobiles nous semble particulièrement significatif. La prise en compte de considérations énergétiques vient encore en conforter l'intérêt :

- s'intéressant aux déplacements urbains des véhicules dans une perspective de modélisation de leur consommation d'énergie, COHEN (1981) note que dans les agglomérations de province de plus de 100 000 habitants, la vitesse automobile moyenne est de 25 km/h (28 km/h en région parisienne). La valeur que nous obtenons est cohérente avec ce résultat puisqu'il s'agit d'une vitesse porte à porte, incluant les trajets terminaux à pied, donc nécessairement moins élevée que la vitesse réelle moyenne du véhicule qui est celle mesurée par COHEN. La valeur enquête ménages apparaît par contre beaucoup trop faible.
- la vitesse moyenne obtenue ici est très proche de la vitesse moyenne du cycle Europe (19 km/h). Or, les consommations spécifiques des véhicules particuliers sont calculées après que les véhicules ont parcouru un certain nombre de ces cycles. Les essais sur banc à rouleaux sont également bien souvent, une simulation de cycle Europe. La modélisation qui en découle présuppose alors une vitesse urbaine moyenne de 19 km/h que l'on retrouve pratiquement dans cette étude mais qui est fort éloignée de la vitesse moyenne enquête ménages.

CHAPITRE IV

LES MODELES DE CONSOMMATION

Après avoir affecté une distance à chaque déplacement urbain, il reste maintenant à déterminer les consommations énergétiques correspondantes. Le chapitre II a montré l'inégal développement de la modélisation entre les différents modes motorisés. Mais même en ce qui concerne le mieux loti (la voiture particulière) nous ne disposons pas, à l'issue de l'étude bibliographique, d'un modèle complet, directement opérationnel.

L'objet du présent chapitre sera donc d'élaborer, pour chaque mode motorisé, un modèle de consommation applicable à l'agglomération lyonnaise et susceptible d'être informatisé. Nous envisagerons successivement la voiture particulière, les transports collectifs et les deux roues. Enfin, nous présenterons la solution retenue pour les déplacements nécessitant à la fois l'usage de la voiture et des transports collectifs (le mode complexe des chapitres précédents). La dernière étape consistera à déterminer les règles d'affectation des consommations véhicules aux individus.

I - LES VEHICULES LEGERS

Le modèle complet élaboré ici s'articule autour de quatre éléments :

- les lois d'échauffement et de refroidissement du moteur, permettant de suivre son histoire thermique et donc de calculer la surconsommation
- le modèle de surconsommation due au démarrage à froid
- le modèle de consommation moteur chaud
- la prise en compte de certains facteurs influençant la consommation globale du véhicule.

Rappelons que nous ne tiendrons pas compte des véhicules diesel, les assimilant aux véhicules à essence, et que le modèle ne s'applique qu'aux seuls déplacements urbains.

Enfin, les données nécessitées par le modèle ne correspondant pas toujours exactement à celles disponibles dans l'enquête, nous définirons une palette de simulations atténuant cet inconvénient.

1 - LES LOIS D'ECHAUFFEMENT ET DE REFROIDISSEMENT DU MOTEUR

Nous nous appuyons ici essentiellement sur l'étude de DELSEY et alii (1980). Nous admettrons que les moteurs sont en général thermostatés pour une température d'équilibre T_E d'environ 90°C, et que cette dernière est indépendante de la température ambiante T_A .

1.1 - La loi d'échauffement

A la suite d'une étude théorique des phénomènes d'échange de chaleur, DELSEY propose comme loi d'échauffement d'un moteur en fonction du temps la formulation suivante :

$$T = T_E - (T_E - T_A) e^{-Kt}$$

avec T température du moteur à l'instant t ($t = 0$: démarrage)

T_E température d'équilibre du moteur

T_A température ambiante

K constante (dépendant du type de véhicule)

En fait cette formulation minore le terme dT/dt . Nous l'utiliserons malgré tout pour notre modèle en remplaçant cependant l'expression Kt par $K'L$, où L est la longueur déjà parcourue par le véhicule et K' une constante.

En substituant L à t , on émet l'hypothèse implicite que le véhicule s'est déplacé à vitesse constante tout de suite après son démarrage.

Pour calculer K' , nous nous sommes appuyés sur deux expérimentations qui donnent les valeurs successives de la température d'huile d'un moteur de véhicule moyen lors de cycles Europe répétitifs avec démarrage moteur froid:

Essai d'un constructeur français sur un véhicule moyen récent
(1 400 cm³)

$$\left. \begin{array}{l} T_E = 90^\circ\text{C} \\ T_A = 20^\circ\text{C} \\ T = 60^\circ\text{C pour } L = 3 \text{ km} \end{array} \right\} K' = 0,28$$

Essais cités par DELSEY (1980) sur R 12 TL (1 300 cm³)

$$\left. \begin{array}{l} T_E = 90^\circ\text{C} \\ T_A = 0^\circ\text{C} \\ T = 60^\circ\text{C pour } L = 10 \text{ km} \end{array} \right\} K' = 0,10$$

Malgré l'influence évidente de la température ambiante sur le terme exponentiel (l'abaissement de la température ambiante ralentit l'échauffement du moteur), nous n'en tiendrons pas compte pour modéliser la loi d'échauffement, du fait de l'absence de données suffisantes. Comme par ailleurs les enquêtes de mobilité à partir desquelles nous calculerons les consommations de carburant ont été effectuées à une période où la température ambiante moyenne se situait aux environs de 9-10°C, nous avons choisi de prendre pour K' , une valeur intermédiaire entre les deux précédentes, soit 0,20.

La formule définitive devient donc :

$$T = T_E - (T_E - T_A) e^{-0,2 L} = f(T_A, L)$$

avec

$$T_E = 90^\circ\text{C}$$

T, T_A en $^{\circ}\text{C}$; L en km

Par la suite nous admettrons que le moteur est à sa température d'équilibre quand T atteint 85°C , ce qui permet de calculer, en fonction de la température ambiante, la distance correspondante que nous appellerons distance de référence L_R . Celle-ci vérifie :

$$85 = 90 - (90 - T_A) e^{-0,2 L_R}$$

soit
$$L_R = 5 \log \frac{90 - T_A}{5}$$

L_R en km ; T_A en $^{\circ}\text{C}$

Si donc la longueur du déplacement est supérieure à L_R , le moteur est considéré comme étant à l'équilibre thermique.

1.2 - La loi de refroidissement

Un calcul analogue à celui mené par ELSEY pour l'échauffement permet d'écrire la loi de refroidissement du moteur sous la forme :

$$T = T_S + (T_E - T_S) e^{-KT}$$

T température du moteur

T_S température du lieu de stationnement

T_E température d'équilibre du moteur pour le déplacement précédent

K constante (dépendant du type de véhicule).

L'estimation de K s'effectue de la manière suivante. Soit t_R le temps nécessaire au refroidissement complet du moteur. On considère que ce dernier est atteint lorsque le terme exponentiel ne vaut plus que 5 %, soit

$$e^{-Kt_R} = 0,05$$

On a ainsi
$$K \approx \frac{3}{t_R}$$

et donc :
$$T = T_S + (T_E - T_S) e^{-3 \frac{t}{t_R}} = g(t, T_S)$$

T, T_S, T_E en $^{\circ}\text{C}$; t, t_R en heures

En suivant MAURIN (1982), nous adopterons pour t_R les valeurs suivantes (les temps sont en heures) :

- Véhicule garé dans un espace libre

$$\begin{aligned} \cdot \text{ si } T_S > 15^\circ\text{C} & \quad t_R = 3 \\ \cdot \text{ si } 0^\circ\text{C} \leq T_S < 15^\circ\text{C} & \quad t_R = 2 + \frac{T_S}{15} \\ \cdot \text{ si } T_S < 0^\circ\text{C} & \quad t_R = 2 \end{aligned}$$

- Véhicule garé dans un local à l'abri des conditions atmosphériques

$$\begin{aligned} \cdot \text{ si } T_S > 15^\circ\text{C} & \quad t_R = 6 \\ \cdot \text{ si } 0^\circ\text{C} \leq T_S < 15^\circ\text{C} & \quad t_R = 4 + \frac{2 T_S}{15} \\ \cdot \text{ si } T_S < 0^\circ\text{C} & \quad t_R = 4 \end{aligned}$$

1.3 - La mise en oeuvre des formules

On notera d'abord que les lois retenues sont indépendantes du type de véhicule. Mais, là encore, les données empiriques manquent pour espérer mettre au point un modèle plus fin.

1.3.1 - La loi d'échauffement

Posons

- T_D température du moteur au démarrage
- L_D longueur du déplacement effectué par le véhicule
- T_A température ambiante
- T_M température du moteur à l'issue du déplacement

T_D, T_A, T_M en $^\circ\text{C}$; L_D en km.

Trois cas peuvent se présenter :

$$\begin{aligned} - T_D &= T_A \\ \cdot \text{ si } L_D \leq L_R & \quad T_M = f(T_A, L_D) \end{aligned}$$

- . si $L_D > L_R$ $T_M = T_E$
- $T_D > T_A$
 - Soit L' tel. que $T_D = f(T_A, L')$
 - . si $L_D + L' \leq L_R$ $T_M = f(T_A, L_D + L')$
 - . si $L_D + L' > L_R$ $T_M = T_E$
- $T_D < T_A$
 - Soit L'' telle que $T_A = f(T_D, L'')$
 - . si $L_D \geq L''$
 - . si $L_D - L'' \leq L_R$ $T_M = f(T_A, L_D - L'')$
 - . si $L_D - L'' > L_R$ $T_M = T_E$
 - . si $L_D < L''$ $T_M = f(T_D, L_D)$

1.3.2 - La loi de refroidissement

- Soit T_M température du moteur à l'issue du précédent déplacement
- t_A durée de l'arrêt
- T_S température du lieu de stationnement
- T_D température du moteur à la fin de l'arrêt (et donc au démarrage du déplacement suivant)

Deux cas peuvent se présenter :

- $T_M = T_E$
 - . si $t_A < t_R$ $T_D = g(t_A, T_S)$
 - . si $t_A \geq t_R$ $T_D = T_S$
- $T_M < T_E$
 - Soit t' tel que $T_M = g(t', T_S)$
 - . si $t_A + t' < t_R$ $T_D = g(t_A + t', T_S)$
 - . si $t_A + t' \geq t_R$ $T_D = T_S$

2 - LE MODELE DE SURCONSOMMATION DUE AU DEMARRAGE A FROID

Ici encore, nous nous appuyons sur l'ouvrage déjà cité de DELSEY et alii (1980), étude basée sur la répétition de cycles Europe. Certes, ce cycle n'est que peu représentatif des conditions réelles de circulation urbaine, mais nous restons tributaires d'un manque évident d'expérimentations.

La figure 4.1 (tirée de DELSEY) rend compte de l'évolution de la surconsommation en fonction de la distance parcourue, pour un moteur de véhicule moyen. Le départ a lieu à la température ambiante, quatre plages de température ayant été retenues. A partir de ces résultats expérimentaux, il convient donc de mettre au point un formulaire. Du fait de la procédure expérimentale (le cycle Europe mesure 1,013 mètres), nous traiterons séparément dans une première étape les déplacements de plus d'un kilomètre de ceux plus petits.

2.1 - Les déplacements de plus d'un kilomètre

En l'absence d'informations sur la forme théorique des courbes, la validation du modèle se trouvera dans la confrontation entre la surconsommation observée et la valeur prédite par le modèle.

L'aspect des courbes de la figure 4.1 incite à poser :

$$\Delta C(L, T_A) = C_1(T_A) + (C_\infty(T_A) - C_1(T_A)) (1 - e^{-(L-1)h(T_A)})$$

avec L distance parcourue (km)

T_A température ambiante (°C)

$\Delta C(L, T_A)$ surconsommation absolue des L premiers kms à T_A fixée (litre)

$C_1(T_A)$ surconsommation absolue au premier km (litre)

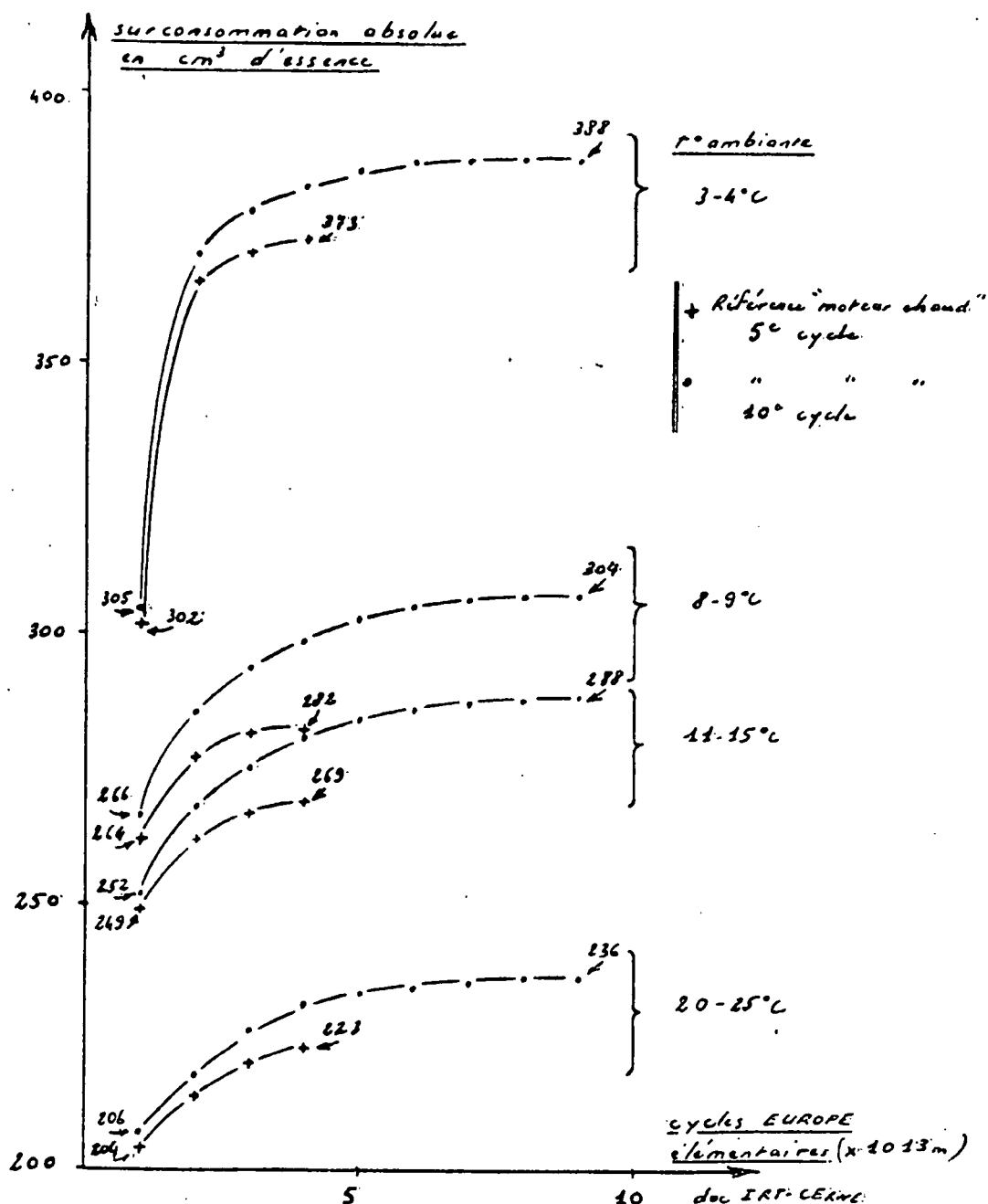
$C_\infty(T_A)$ surconsommation absolue totale (litre)

$h(T_A)$ fonction traduisant l'influence de la température ambiante sur la pente de ΔC

Il faut donc déterminer C_1 , C_∞ et h en fonction de T_A :

- C_1 est donné, pour les températures considérées, par l'ordonnée de la courbe au premier kilomètre : $\Delta C(1, T_A) = C_1(T_A)$

FIGURE 4.1 : Résultats expérimentaux de mesures de la surconsommation due aux démarrages moteur froid



Surconsommation absolue en cm³ d'essence après départ froid après 1, 2, ... 10 Km en utilisation urbaine (cycles Europe) et selon que la référence: "moteur chaud" est fournie par la consommation au cours du 5^e ou du 10^e Km (Véhicule 1300 cm³).

Exemple : après 4 Km avec départ froid et avec une température ambiante de 3-4°C le véhicule a consommé 821 cm³ (414 cm³ au 1^{er} Km, 175 au 2^eme, 118 au 3^eme, 114 au 4^eme) ce qui représente une surconsommation réelle de 373 cm³ en se basant sur la consommation au cours du 5^eme Km (soit 112 cm³) et de 383 cm³ en se basant sur la consommation au cours du 10^eme Km (soit 109,7 cm³).

- C_∞ sera assimilé, pour les températures considérées, à l'ordonnée au 10ème km, soit $\Delta C(10, T_A)$. Si, selon DELSEY, $\Delta C(15, T_A)$ paraît sensiblement différent de $\Delta C(10, T_A)$, les résultats expérimentaux disponibles paraissent cependant moins cohérents. Le choix retenu de $\Delta C(10, T_A)$ conduit ainsi à une légère sous-estimation de C_∞ .
- La fonction h peut être calculée, toujours pour les températures considérées, à l'aide de la pente de la tangente à la courbe au point d'abscisse 1. En effet, cette pente est égale à :

$$\left(\frac{\partial \Delta C(L, T_A)}{\partial L} \right)_{L=1} \text{ et donc à } (C_\infty(T_A) - C_1(T_A)) h(T_A)$$

La figure 4.1 fournit les valeurs de C_1 , C_∞ et de la pente au point d'abscisse 1 pour quatre plages de température ambiante. Elles sont reprises dans le tableau 4.1, ainsi que les valeurs résultantes de h .

TABLEAU 4.1 : C_1 , C_∞ et h pour différentes plages de température ambiante.

T_A (°C)	3-4	8-9	11-15	20-25
C_1 (litre)	0,305	0,266	0,253	0,206
C_∞ (litre)	0,388	0,307	0,288	0,236
pente au point 1	134	30	19	12
h	1,61	0,73	0,53	0,40

L'utilisation des valeurs du tableau 4.1 dans le modèle proposé donne de très bons résultats, puisque l'écart relatif de la surconsommation prédite à la surconsommation observée est toujours inférieur à 2 % pour les plages de température considérées et quelque soit la longueur du déplacement.

Nous allons maintenant mettre les termes $C_1(T_A)$, $C_\infty(T_A)$ et $h(T_A)$ sous forme analytique.

La surconsommation disparaît totalement lorsque le moteur a atteint son équilibre thermique, d'où $C_1(90) = C_\infty(90) = 0$. On pose alors :

$$C_1(T_A) = \alpha(90 - T_A)^p \quad \text{et} \quad C_\infty(T_A) = \beta(90 - T_A)^\delta$$

Un ajustement par la technique de la régression linéaire donne les résultats suivants :

$$\text{Log } 10^3 C_1(T_A) = 1,42 \text{ Log } (90 - T_A) - 0,62 \quad (R^2 = 0,94)$$

$$\text{Log } 10^3 C_\infty(T_A) = 1,68 \text{ Log } (90 - T_A) - 1,63 \quad (R^2 = 0,91)$$

T_A en °C; C_1 et C_∞ en litre.

Les coefficients des régressions sont significativement différents de 0 au seuil de 95 %.

Finalement, on a donc :

$$C_1(T_A) = 0,54 \cdot 10^{-3} (90 - T_A)^{1,42}$$

$$C_\infty(T_A) = 0,20 \cdot 10^{-3} (90 - T_A)^{1,68}$$

T_A en °C; C_1 et C_∞ en litre.

Les résultats obtenus sont assez satisfaisants dans la mesure où l'écart relatif entre les valeurs observées (tableau 4.1) et les valeurs calculées reste toujours inférieur à 10 %.

Il n'est pas possible de faire pour $h(T_A)$ la même hypothèse que pour C_1 et C_∞ , c'est-à-dire $h(90) = 0$; plus exactement, rien ne permet de le justifier. Aussi, s'est-on limité ici à rechercher le meilleur calage statistique. Deux formulations ont été testées :

$$h(T_A) = a e^{bT_A} \quad \text{et} \quad h(T_A) = a \left(1 - \frac{T_A}{90}\right)^b$$

La première conduit à un R^2 de 0,79 et la seconde à un R^2 de 0,76. En fait, les deux modélisations conduisent à des calages satisfaisants pour les températures élevées (au-delà de 8°C), mais s'écartent sensiblement des valeurs observées pour les températures les plus faibles. Le première formule fournit les meilleurs résultats sur la plage 3-4°C. Pour $a = 1,32$ et $b = 0,056$, on obtient en effet $h(3) = 1,12$ et $h(4) = 1,05$.

Il est alors possible de calculer pour chacune de ces températures l'écart maximal entre les surconsommations calculées à partir des valeurs observées de h (cf. tableau 4.1), que l'on

nommera $\Delta C^o(L, T_A)$, et les surconsommations calculées à partir des valeurs calculées de h , que l'on nommera $\Delta C^c(L, T_A)$. Si l'on pose $E(L) = \Delta C^o(L, T_A) - \Delta C^c(L, T_A)$, l'écart maximal (à T_A fixé) est donné par $E(L_0)$ où L_0 vérifie $E'(L_0) = 0$. En n'envisageant ici que le cas le plus défavorable (c'est-à-dire $T_A = 4^\circ\text{C}$), on a alors $L_0 = 1,76$ km et $E(L_0) = 0,0081$, soit en valeur relative 2,4 %. La sous-estimation provenant de la modélisation de $h(T_A)$ est donc faible sur la plage 3-4°C. La marge d'erreur est cependant probablement beaucoup plus élevée sur les températures inférieures à 0°C. Ne disposant pas d'expériences pour ces températures, on se contentera d'un modèle de la forme :

$$h(T_A) = 1,32 e^{-0,056 T_A}$$

En résumé, le modèle adopté pour le calcul des surconsommations dues au démarrage à froid (déplacements de plus d'un kilomètre) est le suivant :

Pour $L \geq 1$ km :

$$\Delta C(L, T_A) = C_1(T_A) + (C_\infty(T_A) - C_1(T_A)) (1 - e^{-(L-1) h(T_A)})$$

avec $h(T_A) = 1,32 e^{-0,056 T_A}$

$$C_1(T_A) = 0,54 \cdot 10^{-3} (90 - T_A)^{1,42}$$

$$C_\infty(T_A) = 0,20 \cdot 10^{-3} (90 - T_A)^{1,68}$$

L en km ; T_A en $^\circ\text{C}$ et C_1 , C_∞ et ΔC en litre.

Nous avons cherché à évaluer les performances de ce modèle sachant que les fluctuations autour des valeurs observées de chacun des termes C_1 , C_∞ et h jouent ici de façon simultanée. A cette fin nous avons calculé pour différentes valeurs de la température ambiante, la distance L_0 pour laquelle l'écart entre la surconsommation observée lue sur la figure 4.1 et la surconsommation calculée est maximal. Les résultats de cette analyse sont consignés dans le tableau 4.2. Les valeurs observées et calculées des termes C_1 , C_∞ et h s'y trouvent aussi pour mémoire. La lecture de la dernière colonne de ce tableau montre qu'en dessous de 4-5°C, le modèle a tendance à légèrement sous-estimer ΔC , qu'au-delà et jusqu'à 22°C c'est l'inverse, pour à nouveau sous-estimer ΔC au delà de 23 °C. Mais on retiendra surtout que l'écart reste toujours faible en valeur relative : il est maximal à 4°C, température pour laquelle il ne dépasse pas 10 %.

TABLEAU 4.2. : Performances du modèle global de calcul de la surconsommation due au démarrage à froid.

Température ambiante T_A	Terme C_1 (T_A)		Terme C_∞ (T_A)		Terme h (T_A)		Valeur de L pour laquelle l'écart est max. L_0	Surconsommation ΔC		$\frac{\Delta C^\circ}{\Delta C^\circ}$
	observé	calculé	observé	calculé	observé	calculé		observé C°	calculé C	
3	0,305	0,307	0,388	0,363	1,61	1,119	2,48	0,374	0,352	0,94
4	0,305	0,302	0,388	0,356	1,61	1,055	1,76	0,368	0,331	0,90
8	0,266	0,282	0,307	0,328	0,73	0,843	2,27	0,288	0,312	1,08
9	0,266	0,277	0,307	0,322	0,73	0,797	2,31	0,282	0,306	1,06
11	0,252	0,267	0,288	0,308	0,53	0,713	2,62	0,273	0,295	1,08
12	0,252	0,262	0,288	0,302	0,53	0,674	2,67	0,273	0,289	1,06
13	0,252	0,258	0,288	0,295	0,53	0,637	2,72	0,273	0,283	1,04
14	0,252	0,253	0,288	0,289	0,53	0,603	2,77	0,273	0,277	1,01
15	0,252	0,248	0,288	0,283	0,53	0,570	2,82	0,275	0,270	0,98
20	0,206	0,225	0,236	0,252	0,40	0,431	3,41	0,228	0,242	1,06
21	0,206	0,221	0,236	0,246	0,40	0,407	3,48	0,228	0,236	1,03
22	0,206	0,216	0,236	0,240	0,40	0,385	3,55	0,228	0,231	1,01
23	0,206	0,212	0,236	0,234	0,40	0,364	3,62	0,229	0,225	0,98
24	0,206	0,207	0,236	0,228	0,40	0,344	3,69	0,229	0,220	0,96
25	0,206	0,203	0,236	0,222	0,40	0,325	3,77	0,230	0,214	0,93

2.2 - Les déplacements de moins d'un kilomètre

La carence des données expérimentales nous contraint à formuler deux hypothèses :

- le véhicule ne se met pas en mouvement dès l'instant précis où le moteur commence à tourner ; un temps de latence existe (véhicule arrêté, moteur tournant) qui dépend d'ailleurs très probablement de la température ambiante. A ce temps de latence correspond un coût énergétique qui peut être appréhendé comme un coût fixe de surconsommation. La littérature étant très pauvre à ce sujet, nous avons adopté comme référence les seules valeurs mentionnées par DELSEY lors d'essais non purement urbains : "la quantité d'essence nécessaire au démarrage varie entre 25 et 100 cm³". Pour notre part, nous avons choisi une valeur unique indépendante de la température ambiante et égale à 0,05 l. Remarquons que cette valeur est très largement supérieure au coût du même démarrage effectué moteur chaud, lequel se situe entre 0,005 et 0,02 l.

- on assimile la courbe de surconsommation sur le premier kilomètre à une droite, ce qui constitue très certainement un biais important, mais qui présente l'indéniable avantage de simplifier le modèle en l'absence de données expérimentales. Pour les déplacements de moins d'un kilomètre le modèle est alors le suivant :

Pour $L \leq 1$ km :

$$\Delta C(L, T_A) = C_0 + (C_1(T_A) - C_0) L$$

avec $C_0 = 0,05$ litre

$$C_1(T_A) = 0,54 \cdot 10^{-3} (90 - T_A)^{1,42}$$

L en km; T_A en °C et C_0 , C_1 , ΔC en litre.

2.3 - La mise en oeuvre des formules

Les formules proposées, comme dans le cas des lois d'échauffement et de refroidissement, sont indépendantes du type de véhicule. Ici aussi, la faute en est au manque de données empiriques.

Posons

- T_D température du moteur au démarrage
- L_D longueur du déplacement
- T_A température ambiante
- ΔC surconsommation à l'issue du déplacement

T_D , T_A en °C ; L_D en km et ΔC en litre.

Deux cas peuvent se présenter :

$$- T_D = T_A$$

$$\cdot \text{ si } L_D \leq 1 \quad \Delta C = C_0 + (C_1(T_A) - C_0) L_D$$

$$\cdot \text{ si } L_D > 1 \quad \Delta C = C_1(T_A) + (C_\infty(T_A) - C_1(T_A)) (1 - e^{-(L-1)h(T_A)})$$

$$- T_D > T_A$$

Soit L' vérifiant $T_D = f(T_A, L')$

$$\cdot \text{ si } L_D + L' \leq 1 \quad \Delta C = (C_1(T_A) - C_0) L_D$$

$$\cdot \text{ si } L_D + L' > 1$$

$$\cdot \text{ si } L' \geq 1 \quad \Delta C = (C_\infty(T_A) - C_1(T_A)) (e^{-(L'-1)h(T_A)} - e^{-(L_D+L'-1)h(T_A)})$$

$$\text{si } L' < 1 \quad \Delta C = C_1(T_A) - C_O + (C_\infty(T_A) - C_1(T_A)) \cdot (1 - e^{-(L_D + L' - 1)h(T_A)}) \\ + (C_O - C_1(T_A)) \cdot L'$$

3 - LE MODELE DE CONSOMMATION MOTEUR CHAUD

Le chapitre II a montré qu'il n'était pas possible de disposer d'un modèle de consommation moteur chaud adapté à la région lyonnaise. Nous avons cependant retenu les deux familles de modèles paraissant les plus satisfaisantes par rapport à nos préoccupations:

- un modèle issu d'essais réalisés par ROUMEGOUX (1981) sur une R 12 TL à Lyon.
- un groupe de modèles proposé par COHEN (1981) correspondant à un ensemble de déplacements représentatif des déplacements urbains des français et concernant les trois gammes de véhicules (d'où découlait un modèle unique pour le véhicule moyen).

Sans revenir sur les conclusions émises alors, rappelons que les modèles de COHEN conduisent probablement à une surestimation des consommations réelles à Lyon alors qu'au contraire celui de ROUMEGOUX les sous-estime.

Notre choix s'est finalement porté sur le modèle de ROUMEGOUX. Les raisons, sans toutefois qu'aucune soit véritablement convaincante, sont multiples :

- le modèle de ROUMEGOUX est calé sur Lyon (sans être représentatif des déplacements des lyonnais) alors que ceux de COHEN concernent, d'une certaine manière, une agglomération française "moyenne".
- il est plus facile de nuancer une sous-estimation qu'une surestimation en prenant en compte des paramètres écartés du modèle initial.
- COHEN n'a pas éliminé totalement l'effet surconsommation due à l'échauffement du moteur. Or cet effet est pris en compte de façon autonome dans le modèle que nous élaborons.

La température ambiante influe sensiblement sur la consommation du moteur chaud (DELSEY et alii, 1980). Le modèle de ROUMEGOUX ayant été calibré sur la plage de température 10°C-20°C, nous appliquerons une correction $ET(T_A)$ pour tenir compte de cet effet.

La fonction $ET(T_A)$ prend la forme suivante :

- $T_A < 7^\circ\text{C}$ $ET(T_A) = 1,003 + 0,005 \times (7 - T_A)$
- $7^\circ\text{C} \leq T_A < 10^\circ\text{C}$ $ET(T_A) = 1 + 0,001 \times (10 - T_A)$
- $10^\circ\text{C} \leq T_A \leq 20^\circ\text{C}$ $ET(T_A) = 1$
- $T_A > 20^\circ\text{C}$ $ET(T_A) = 1 - 0,001 \times (T_A - 20)$

Le modèle final de consommation moteur chaud s'écrit ainsi $ET(T_A) \times CMC$ avec $CMC = 0,702 t_D + 0,067 L_D$ où t_D , durée du déplacement, est en heure, L_D , longueur du déplacement, en kilomètre et CMC en litre.

4 - LA PRISE EN COMPTE DES DIVERS FACTEURS INFLUENCANT LA CONSOMMATION

Le chapitre II montre la diversité de ces facteurs. Pour autant leur prise en compte est limitée par un certain nombre de conditions. Certains sont en effet déjà intégrés dans les modèles retenus par les conditions d'expérimentation elles-mêmes. D'autres n'ont fait l'objet d'aucune évaluation, ce qui interdit toute possibilité d'intégration, ou encore ces évaluations ne sont que très partielles (méconnaissance de la distribution du phénomène sur une population expérimentale). Enfin, une dernière classe de facteurs intervient, mais sans qu'on puisse déterminer le sens de variation de ses effets (majoration ou minoration).

L'analyse bibliographique conduit à ne retenir que quatre facteurs qui jouent tous sur la consommation totale (moteur chaud + démarrage à froid). Il s'agit :

- du mauvais réglage des moteurs
- du mauvais gonflage des pneumatiques
- de la charge des véhicules
- de l'utilisation des phares

Rappelons que les effets dus aux conditions climatiques sont bien évidemment intégrés dans les modèles eux-mêmes (prise en compte de la température ambiante). Les études considérées dans la suite sont toutes citées dans le rapport de 1982 du Groupe de Recherche Routière de l'O.C.D.E.

4.1 - Le mauvais réglage des moteurs

Ne disposant d'aucune estimation sur le parc français, nous avons adopté les conclusions d'une étude européenne, qui évalue à 2,4 % de la consommation totale le surcoût engendré par le mauvais réglage des moteurs. Aussi, nous retiendrons le facteur correcteur suivant :

$$RM = 0,024$$

4.2 - Le mauvais gonflage des pneumatiques

Une étude réalisée aux Etats-Unis montre qu'un gonflage correct des pneumatiques (forte proportion de pneus sous-gonflés) conduirait à une économie de 2,2 % de la consommation totale de carburant. Faute d'une étude similaire sur le parc français, nous adopterons cette valeur comme coefficient correcteur :

$$GM = 0,022.$$

4.3 - La charge des véhicules

Pour un véhicule moyen, le surcoût de consommation dû à un passager moyen est de l'ordre de 4 %. Aussi la consommation totale sera-t-elle multipliée par le facteur :

$$CV = 0,03 (NP-1)$$

où NP représente le nombre d'individus à l'intérieur du véhicule. Le poids des enfants étant surévalué par une telle formulation, on a pris un surcoût légèrement inférieur à celui observé.

4.4 - L'utilisation des phares

Diverses expériences ont montré que l'utilisation des phares conduisait à un surcoût de 0,4 à 0,8 l/100 km pour un véhicule moyen. Par ailleurs, compte tenu de la période d'enquête, seront pénalisés par ce coefficient les seuls déplacements réalisés avant sept heures le matin et après 19 heures le soir. En considérant des valeurs moyennes, nous adopterons alors comme coefficient correcteur :

début du déplacement avant 7 heures ou après 19 heures :

$$UP = 0,05$$

début du déplacement entre 7 heures et 19 heures :

$$UP = 0,00$$

mation totale, nécessite le suivi temporel du véhicule particulier.

Il a ainsi fallu, pour chaque ménage, créer à partir du fichier disponible un fichier véhicule retraçant l'histoire de son ou ses automobile(s). Cette reconstitution s'est effectuée manuellement, à partir des bordereaux d'enquête. Dans le cas d'utilisation de véhicules n'appartenant pas au ménage, nous avons systématiquement considéré que le premier déplacement avait lieu avec un démarrage moteur froid.

Enfin, le modèle exprime la consommation en litres de carburant. Pour la convertir en gep, nous utiliserons un coefficient d'équivalence énergétique égal à 744 (1 litre = 744 gep). Proposé par FRYBOURG (1980), il représente une moyenne pondérée des coefficients relatifs à l'essence ordinaire et au super carburant.

6 - LES SIMULATIONS

A côté d'un certain nombre de paramètres caractérisant l'état thermique du véhicule et de son environnement, le modèle complet élaboré jusqu'ici nécessite la connaissance de la durée et de la longueur de chaque déplacement du véhicule. Or les données disponibles dans l'enquête (saisies auprès des individus ou calculées ultérieurement) correspondent aux déplacements des individus et donc, le plus souvent à des trajets de porte à porte. Il n'y a pas concordance entre les exigences du modèle et les indicateurs disponibles.

Après la reconstitution des distances de déplacement, après l'adoption d'un modèle de consommation présentant diverses simplifications, cette inadéquation risque encore d'ajouter aux incertitudes déjà présentes. Comment mesurer la fiabilité des résultats que nous obtiendrons ?

Moins qu'une quantification exacte des phénomènes, cette recherche qui ne se veut qu'exploratoire a pour ambition la mise en évidence des déterminants principaux des consommations énergétiques et de la mobilité à faible distance. Il s'agit de pouvoir apercevoir des tendances lourdes, des comportements structurels. Cette exigence désigne une méthode permettant de dépasser les incertitudes introduites ici : le recours à un ensemble de simulations au fil desquelles nous pourrions tester la stabilité des tendances lourdes observées sur le fichier de base.

TABIEAU 4.3 : Prise en compte des trajets terminaux
(Centre = Lyon + Villeurbanne)

	Le déplacement a :		
	aucune extrémité dans le centre	une extrémité dans le centre	deux extrémités dans le centre
durée du trajet automobile : t_a	$t_a = t_d$	$\cdot t_d = 5 \quad t_a = t_d$ $\cdot 10 \leq t_d \leq 20 \quad t_a = 0,8 t_d$ $\cdot 20 < t_d \quad t_a = t_d - 5$	$\cdot t_d = 5 \quad t_a = t_d$ $\cdot 10 \leq t_d \leq 20 \quad t_a = 0,7 t_d$ $\cdot 20 < t_d \quad t_a = t_d - 8$

t_d : durée du déplacement porte à porte (mn)

6.1 - Des phénomènes ignorés

Le déplacement de porte à porte est nécessairement plus long (en temps et en distance) que le trajet en véhicule particulier. Il s'agit donc de diminuer la durée et la distance du déplacement. De manière arbitraire, nous avons décidé de jouer sur la durée, sachant que la distance en automobile est ensuite recalculée par application à la nouvelle durée de la typologie des vitesses définie au chapitre précédent. Le tableau 4.3 indique le mode précis de prise en compte des trajets terminaux. Le schéma de calcul repose sur l'hypothèse simplificatrice suivante : les trajets en périphérie s'effectuent de porte à porte.

La phase de reconstitution des distances de déplacement a ignoré l'allongement du trajet dû à la recherche d'un lieu de stationnement du véhicule. Ce phénomène, qui influe uniquement sur les distances parcourues, joue, en général, plus nettement au centre de l'agglomération qu'en périphérie. C'est pourquoi nous l'avons ignoré pour les déplacements se terminant dans la banlieue lyonnaise (Tableau 4.4).

TABLEAU 4.4. : Prise en compte de la recherche de stationnement
(centre = Lyon + Villeurbanne)

	Le déplacement se termine au centre	
	OUI	NON
Distance du trajet automobile : l_a	$l_a = l_d + 0,3$	$l_a = l_d$

l_d : longueur du déplacement porte à porte (km)

La recherche d'un lieu de stationnement peut se combiner à la nécessité d'effectuer des parcours terminaux. Ces deux éléments (pris conjointement ou séparément) se traduisent nécessairement par un accroissement de la vitesse moyenne du déplacement automobile. Aussi, plutôt que d'essayer de les appréhender à travers les grilles présentées ci-dessus, il est possible d'appliquer aux vitesses observées dans l'enquête un coefficient multiplicateur (bien évidemment arbitraire lui aussi) permettant de les intégrer directement dans la distance du déplacement. Ce coefficient a été volontairement choisi

élevé (1,20), afin d'obtenir ainsi un cas limite : la vitesse moyenne automobile atteint en effet plus de 23 kilomètres par heure.

Enfin, le modèle de consommation des véhicules légers s'applique à un véhicule moyen. Or, selon l'enquête Transport de l'INSEE (1977) il existe une relation forte entre revenus annuels du ménage et puissance fiscale du véhicule. Il convient alors de pondérer la consommation par un facteur correctif. En intégrant aux modèles de COHEN la vitesse moyenne issue de l'enquête, nous obtenons les valeurs suivantes : 1,00 pour la gamme basse, 0,96 pour la gamme moyenne et 1,20 pour le haut de gamme. Enfin, l'échelle des revenus proposée dans l'enquête étant simplifiée, il en résulte le tableau 4.5 .

TABLEAU 4.5 : Prise en compte de l'effet de gamme

	Revenus du ménage motorisé (francs 1979)			Ménage multi- motorisé
	< 55.000	> 55.000 et < 90.000	> 90.000	
Coefficient correcteur	1,0	0,96	1,20	1,00

6.2 - Les sept simulations

En combinant la prise en compte des trajets terminaux, de la recherche d'un lieu de stationnement et l'effet de gamme, nous avons ainsi défini les sept simulations suivantes qui viennent s'ajouter au jeu de données de base :

- prise en compte des trajets terminaux
- prise en compte des trajets terminaux et de la recherche d'un lieu de stationnement
- multiplication de la vitesse par un coefficient correcteur
- effet de gamme
- prise en compte des trajets terminaux et effet de gamme
- prise en compte des trajets terminaux, de la recherche d'un lieu de stationnement et effet de gamme
- multiplication de la vitesse par un coefficient correcteur et effet de gamme.

Enrichi de ces simulations le modèle de consommation des véhicules légers est enfin opérationnel.

II - LES AUTRES MODES MOTORISES

Les modèles correspondant aux transports collectifs et aux deux roues seront beaucoup plus simples que celui élaboré pour la voiture particulière. Ainsi que l'a montré l'analyse bibliographique, les bases empiriques sont en effet beaucoup plus réduites et ne se prêtent pas à une réexploitation ayant comme objectif une modélisation fine (ainsi que nous l'avons fait pour le modèle de surconsommation due à l'échauffement du moteur). Il est toutefois indispensable de pouvoir affecter aux déplacements correspondants une consommation énergétique. Aussi allons-nous maintenant sélectionner pour chacun de ces modes la meilleure solution disponible. Nous envisagerons ensuite le cas du déplacement en mode complexe (usage conjoint des transports collectifs et de la voiture particulière).

1 - LES TRANSPORTS COLLECTIFS

Si l'on met à part les taxis, qui doivent être traités comme des véhicules particuliers, trois types de transport collectif coexistent dans l'agglomération lyonnaise : autobus, trolleybus et métro. Or chacun de ces types se révèle hétérogène en ce qui concerne les matériels utilisés : le parc évolue peu à peu et regroupe des véhicules de générations différentes aux performances énergétiques sensiblement inégales.

Les consommations unitaires et spécifiques proposées par TCL sont alors des moyennes cachant une importante variabilité. Il n'est toutefois pas envisageable de leur opposer de modèle issu d'essais en circulation réelle, les rares modèles empiriques existant ayant été calés sur des véhicules bien particuliers et hors de l'agglomération lyonnaise. Quant aux modèles théoriques, ils nécessitent des paramètres impossibles à reconstituer.

En toute rigueur, il conviendrait d'affecter à chaque type de transport collectif sa consommation unitaire moyenne rapportée à la demande, si possible ventilée suivant la période de la journée pour tenir compte des disparités entre heures creuses et heures de pointe. Mais nous avons vu (chapitre II) que cette consommation n'est pas disponible pour les trolleybus, une estimation existant toutefois pour l'ensemble du réseau.

Nous avons finalement opté pour une consommation unitaire unique, indépendante du mode. La valeur retenue, 23 gep/pkt, surestime légèrement la consommation du réseau de surface et sous-estime plus nettement celle du métro. Le principal avantage du

modèle ainsi constitué est son extrême simplicité et son principal défaut est bien évidemment corrélatif, l'élimination de toutes les spécificités (type de transport, de véhicule, position dans la journée ...). Des raffinements ne seraient toutefois qu'illusoire en l'état actuel des choses.

2 - LES DEUX ROUES

Nous n'avons pas d'autre choix pour les deux roues que l'usage des consommations unitaires citées par FRYBOURG. Toutefois nous modulerons les conclusions tirées de l'étude bibliographique en remarquant que dans l'enquête disponible, le taux d'occupation est pratiquement égal à 1 et non à 1,1. Les valeurs obtenues au chapitre seront donc revues en hausse .

Les consommations disponibles sont ventilées par type de véhicule. Or celui-ci n'a pas été saisi lors de l'enquête. Cependant nous ne pouvons pas adopter ici la solution retenue pour les transports collectifs (une valeur unique pour les différents types). En effet, des contraintes légales reposant sur l'âge du conducteur pèsent sur l'accès à ces véhicules. Aussi avons-nous basé le modèle sur une typologie liée à cet âge :

- si le conducteur a moins de 14 ans, le véhicule est nécessairement une bicyclette, de consommation nulle ;
- de 14 à 15 ans, le conducteur peut utiliser un cyclomoteur, dont la consommation moyenne est évaluée à 15,4 gep/pkt ;
- enfin, un conducteur de plus de seize ans a les différents types de véhicule à sa disposition. Nous lui affecterons la consommation moyenne du véhicule le plus utilisé (vélomoteur 2 temps), soit 31,5 gep/pkt.

Ce modèle est, bien évidemment, peu satisfaisant. N'importe qui (ou presque), quelque soit son âge, peut utiliser une bicyclette et donc ne pas consommer d'énergie. Or, ici, les plus de 14 ans se déplacent nécessairement avec un deux roues à moteur. Il semblerait donc que les consommations deux roues soient surestimées par le modèle ; toutefois, le vélomoteur 2 temps étant moins énergophage que la plupart des motocyclettes, la valeur retenue pour les plus de seize ans est, probablement, une sous-estimation de la consommation des deux roues à moteur. Globalement, l'ordre de grandeur doit cependant être correct.

3 - LE MODE COMPLEXE

La consommation des déplacements effectués successivement en transport collectif et en voiture particulière peut être calculée en combinant les modèles retenus pour ces deux modes : le déplacement est séparé en ses deux trajets, chaque trajet se voit alors affecter une dépense énergétique, la consommation totale étant obtenue ensuite par simple sommation. Nous avons préféré définir un modèle spécifique pour ces déplacements, de même que leur distance avait été déterminée à l'aide d'une typologie spécifique des vitesses.

Le modèle repose sur une consommation unitaire du mode complexe, pondération des consommations unitaires des transports collectifs et de la voiture particulière :

- la pondération s'effectue au prorata des temps de déplacement (60 % en transport collectif, 40 % en voiture particulière)
- la consommation unitaire moyenne est issue, pour la voiture, de l'utilisation de la vitesse moyenne de déplacement dans le modèle de consommation de ce mode, le taux d'occupation étant pris égal à 2 (forte proportion d'accompagnement).

La valeur obtenue est de 30 gep/pkt.

4 - CONCLUSION

Les modèles définis dans cette section sont, au regard du modèle consacré à la voiture particulière, bien peu satisfaisants. Leurs faiblesses sont dues à la méconnaissance du comportement énergétique des différents modes (transports collectifs, deux roues) en circulation réelle. Le recours à des consommations unitaires gomme les disparités individuelles, dont le modèle VP, sans pour autant être parfait, rendait mieux compte. Il n'y avait cependant pas d'autre alternative.

III - L'AFFECTATION DES CONSOMMATIONS AUX INDIVIDUS

Les différents modèles présentés dans les pages précédentes affectent à chaque déplacement la consommation d'énergie correspondante. Se pose alors le problème de l'affectation de cette consommation aux individus effectuant le déplacement. Plusieurs approches sont en effet possibles. Mais la situation des différents modes n'est cependant pas similaire.

De par la forme même des modèles retenus, le passage de la consommation calculée à la consommation de l'individu s'effectue sans aucune difficulté en ce qui concerne les déplacements en transport collectif et en deux roues. En effet, le modèle affecte à chaque déplacement la consommation unitaire correspondante, c'est-à-dire le coût énergétique du véhiculage d'un individu.

A l'opposé, le modèle utilisé pour les automobiles fournit la consommation spécifique imputable au déplacement du véhicule. Il importe donc de se donner une clef de répartition de cette consommation entre les différents individus présents dans le véhicule. Trois méthodes peuvent être envisagées :

- chaque individu se voit attribuer la totalité de la consommation du déplacement. On considère ainsi que l'individu est seul utilisateur du véhicule. La sommation de l'énergie consommée par les différents individus d'un ménage ou d'une agglomération conduit à des comptes multiples.
- chaque individu se voit affecter la totalité de la consommation s'il conduit le véhicule, une consommation nulle s'il n'est que passager. Cette approche, qui peut éventuellement être nuancée pour certains types de déplacement (le service passager), n'entraîne pas de doubles comptes.
- enfin la consommation totale est répartie également entre les différents individus, éventuellement au prorata de la distance qu'ils parcourent avec le véhicule (si son taux d'occupation change durant le déplacement). Les comptes multiples sont également évités.

Ces trois méthodes conduisent à des résultats identiques lorsque le conducteur est seul dans son véhicule. Par contre, elles aboutissent à des conclusions divergentes lorsque l'on enregistre des pratiques d'accompagnement. La première méthode majore alors la consommation, les deux autres fournissant des valeurs qu'il est difficile de situer par rapport aux consommations réelles engendrées par chaque individu. En fait, c'est la notion même de consommation réelle de l'individu qui pose problème et ne permet pas de définir avec rigueur une méthode d'affectation.

Chacune des trois méthodes présente ainsi avantages et inconvénients. Pour la commodité de l'analyse, nous avons dû en privilégier une. Par analogie avec les modèles utilisés pour les autres modes motorisés, nous retiendrons dans la suite la troisième

méthode qui fournit, pour les véhicules particuliers, l'équivalent d'une consommation unitaire.

Le budget énergétique transport est alors la somme des consommations afférentes à l'ensemble des déplacements de l'individu sur une période de 24 heures . Il se décompose en trois parties : un budget énergétique voiture particulière, un budget énergétique transport collectif et un budget énergétique deux roues.

La première méthode d'affectation des consommations en voiture particulière se traduit, nous l'avons vu, par une surestimation de la consommation de l'individu. Tout se passe comme si chacun des passagers éventuels de l'automobile effectuait seul le déplacement dans un véhicule identique au véhicule commun : il n'y a plus de passagers, seulement des conducteurs. Le rapport entre les consommations issues de ce mode d'affectation et celles provenant de la méthode retenue ici est ainsi analogue à un taux d'occupation. Nous le désignerons dans la suite par l'expression d'"équivalent énergétique du taux d'occupation des véhicules particuliers".

Ces deux indicateurs sont très similaires à ceux définis par ORFEUIL (1980) ; seule la méthode d'affectation des consommations diffère.

TROISIEME PARTIE

A l'issue des parties précédentes, nous disposons d'une base de données susceptible de nous éclairer sur les déterminants des consommations énergétiques et la place des petits déplacements.

Cette base de données s'est construite à partir d'un certain nombre de méthodes et de modèles. Nous essaierons dans le chapitre V d'évaluer les biais ainsi introduits.

L'analyse sera ensuite menée en deux étapes.

Dans la première phase, nous allons tester l'influence sur la consommation d'énergie d'un certain nombre de variables traditionnellement retenues pour l'analyse de la mobilité (chapitre VI).

Fort de cet acquis, nous essaierons ensuite de synthétiser et approfondir ces résultats en élaborant des macro-variables à partir des comportements observés en matière énergétique et d'une typologie des déplacements fondée sur la distance. Il sera alors possible de mettre en regard petits déplacements et consommations d'énergie (chapitre VII).

Enfin, nous tirerons un bilan de cette analyse dans un dernier chapitre, bilan double puisqu'il portera sur les résultats obtenus et sur les améliorations méthodologiques à apporter pour affiner ces derniers.

CHAPITRE V

ELEMENTS D'EVALUATION DES METHODES D'ENRICHISSEMENT DES DONNEES

La seconde partie de ce travail a permis de proposer diverses méthodes (reconstitution des distances, simulations,...) visant à pallier l'inadéquation du matériau empirique disponible. La pertinence des résultats présentés dans cette troisième partie peut toutefois être remise en cause par certains artifices dus à ces méthodes. Il convient donc tout d'abord d'étudier rapidement leurs effets. Nous envisagerons successivement l'influence de la méthode de calcul des distances avant de peser les conséquences des diverses hypothèses fondant les simulations.

Pour des raisons de commodité de calcul, nous ne prendrons toutefois en compte dans ce chapitre que les seuls déplacements de moins de vingt kilomètres (ils représentent cependant plus de 99 % de l'échantillon urbain).

I - METHODES LIEES AUX DISTANCES : EFFETS DE LA RECONSTITUTION

La méthode de reconstitution des distances de déplacement, présentée et testée dans une précédente partie de ce travail, s'appuie notamment sur la détermination de typologies pertinentes des vitesses porte à porte. Mais l'application de ces vitesses à des déplacements dont la durée a été recensée par pas de cinq minutes conduit à des distances de déplacement multiples de quelques distances de base.

Les courbes "nombre de déplacements (selon telle ou telle caractéristique) - distance" apparaissent ainsi discontinues et présentent des paliers. Un lissage semble alors s'imposer mais il ne doit pas conduire à l'introduction de nouveaux inconvénients. Nous présenterons donc la stratégie retenue, avant d'en étudier la fiabilité sur un exemple concret.

1 - METHODE DE LISSAGE

La méthode repose sur une approche modale. En effet, le chapitre III a montré l'importance du mode de transport en ce qui concerne la distance parcourue ; or les typologies des vitesses se fondent d'abord sur une séparation des différents modes. Les courbes "nombre de déplacements - distance" résultent ainsi de l'agrégation de ces mêmes courbes construites pour chacun des modes.

Les modes sont alors regroupés en quatre catégories : la marche à pied (MAP), les deux roues (2R), les transports en commun qui incluent le mode complexe de la partie précédente (TC), et la voiture particulière (VP).

La méthode de lissage retenue est bien entendu similaire pour les quatre modes et consiste en un lissage manuel des courbes "pourcentage cumulé de déplacements-distance".

Un lissage manuel parce qu'un lissage automatique n'aurait rien apporté. D'une part, le gain de précision qu'entraîne l'utilisation de l'ordinateur est ici illusoire : la première partie a montré les limites de la méthode de reconstitution des distances et la faiblesse du fichier au point de vue statistique. D'autre part, la main permet plus facilement de prendre en compte certaines spécificités que l'automatisation risque de gommer.

Les courbes "pourcentage de déplacements cumulé-distance" parce qu'elles autorisent mieux, nous semble-t-il, que les courbes "nombre de déplacements-distance" d'apprécier quelle part d'une "bosse" ou d'un "creux" est un artefact et quelle part traduit

un phénomène effectivement observé.

Ainsi, l'étude de l'influence de telle ou telle caractéristique va-t-elle nécessiter la succession des phases suivantes, pour chacune de ses modalités :

- à partir d'un listing fournissant le nombre de déplacements par pas d'un kilomètre, construction de la courbe "pourcentage cumulé de déplacements-distance" pour chacun des modes ;
- lissage manuel de ces courbes. On dispose alors, pour chaque mode, du nombre de déplacements inférieurs à telle ou telle distance ;
- détermination, pour chaque mode, d'une courbe "pourcentage de déplacements-distance" ;
- cumul des quatres courbes modales.

Si la méthode est simple, elle est cependant assez longue à mettre en oeuvre.

La principale critique tient à la difficulté de séparer les phénomènes artificiels de ceux qui résultent de l'observation du réel tel qu'il a été appréhendé. Ce sont les conséquences de cette difficulté que nous allons essayer d'appréhender maintenant.

2 - ETUDE DE LA COURBE "POURCENTAGE CUMULE DE DEPLACEMENTS-DISTANCE"

La méthode de lissage n'a d'intérêt que si elle permet d'obtenir un même résultat par des chemins différents. La courbe "pourcentage cumulé de déplacements-distance" pour l'ensemble de l'échantillon peut être obtenue directement (c'est-à-dire par simple décomposition suivant les quatres modes), mais aussi en cumulant les courbes obtenues pour chacune des modalités de telle ou telle variable.

Nous avons retenu ici quatre courbes "pourcentage cumulé de déplacements-distance" : celle obtenue directement et celles agrégées résultant des trois variables "type de liaison", "motif" (typologie enquête-ménages) et "statut de l'individu" (respectivement 3, 3 et 10 modalités).

La figure 5.1 et le tableau 5.1 permettent de comparer les quatres courbes retenues. Elles apparaissent très similaires. Leurs différences sont cependant plus sensibles à partir de deux kilomètres, ce qui montre la bonne qualité de la méthode sur les petites distances. L'écart maximal se rencontre à 3 kilomètres. Selon la courbe motif, 64 % des déplacements font moins de 3 kms, alors que selon la courbe statut, ce n'est le cas que de 61 % ; la différence est en valeur absolue de 3 % et en valeur relative de moins de 5 %.

FIGURE 5.1 : Etude de la robustesse de la méthode de lissage

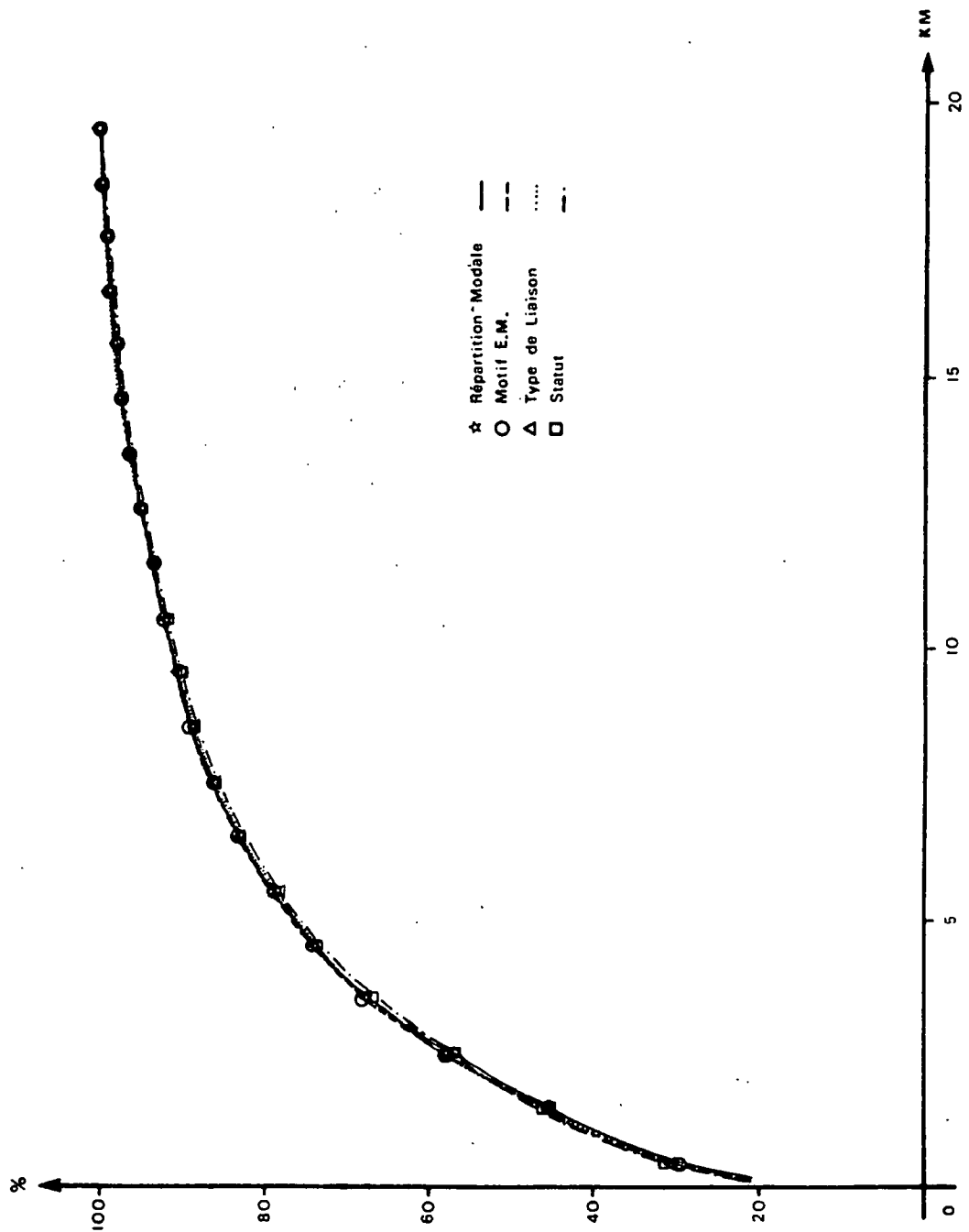


TABLEAU 5.1 : Etude de la robustesse de la méthode de lissage.

	% de déplacements ayant une distance inférieure à				
	1 km	3 km	5 km.	8 km.	10 km.
courbe "directe"	38	63	77	88	92
courbe "liaison"	38	63	77	87	91
courbe "motif"	39	64	77	87	91
courbe "statut"	39	61	76	87	91

Globalement, la courbe "statut" a d'ailleurs un comportement légèrement différent de celui des autres courbes. L'explication réside dans la très forte désagrégation de l'échantillon qui a présidé à sa constitution ; elle provient en effet du lissage de 38 courbes (10 modalités x 4 modes = 40 courbes, moins deux inexistantes dû au non usage de certains modes par certaines catégories) !

La méthode fournit donc des résultats légèrement différents suivant les cas dans lesquels elle est utilisée. Ces fluctuations, déjà marginales, deviennent tout à fait négligeables si l'on se souvient des réserves qui ont été faites précédemment sur la représentativité statistique de l'échantillon.

Si l'on en revient à la figure 5.1, il convient de remarquer le poids, tous modes confondus, des déplacements courts au sein de l'ensemble des déplacements : un déplacement sur trois fait moins de 750 mètres, un sur deux moins de 2 kilomètres, deux sur trois moins de 3 kilomètres. Simultanément, sur dix déplacements un seul fait plus de 9 kilomètres. En dépit de la grande taille de l'agglomération, les petits déplacements tiennent donc une place très importante. Nous ne disposons malheureusement pas des données qui permettraient de mesurer l'importance de ce facteur de taille.

II - METHODES LIEES AUX CONSOMMATIONS : EFFETS DES SIMULATIONS

Les simulations avaient pour ambition de suppléer à notre méconnaissance des distances et durées réelles de déplacement en automobile (seules les valeurs correspondant à des parcours porte à porte ont été reconstituées).

Huit jeux "distance, durée" ont donc été définis :

- SIM1 (qui nous servira de référence) renvoie aux valeurs porte à porte,
- SIM2 intègre un effet trajet terminal,
- SIM3 considère l'effet trajet terminal auquel s'ajoute la recherche de stationnement,
- SIM4 se fonde sur une multiplication de la vitesse de déplacement par un coefficient 1,2,
- SIM5, SIM6, SIM7, SIM8 correspondent respectivement à SIM1, SIM2, SIM3, SIM4 enrichis d'un effet de gamme (cf. chapitre IV).

Chaque déplacement s'est vu affecter ici la totalité de la consommation du véhicule sans prise en compte du taux d'occupation correspondant : nous nous intéressons ici à la sensibilité des consommations spécifiques, non à celle des consommations unitaires.

1 - APPROCHE GLOBALE

L'influence des simulations peut tout d'abord être évaluée à partir des différentes consommations moyennes obtenues pour l'ensemble des déplacements en voiture particulière.

TABLEAU 5.2 : Distances moyennes, consommations absolues moyennes, consommations en litres aux cent kilomètres par simulation (SIM1 = 100)

	SIM1	SIM2	SIM3	SIM4	SIM5	SIM6	SIM7	SIM8
Distance	100	96,6	98,9	120,0	100	96,6	98,9	120,0
Consommation absolue	100	95,4	96,5	109,6	101,0	96,3	97,4	110,7
Consommation kilométrique	100	98,8	97,5	91,3	101,0	99,7	98,5	92,2

L'effet des simulations semble à la lecture du tableau 5.2 assez faible, si toutefois l'on écarte les deux valeurs correspondant à une nette augmentation de la vitesse (SIM4 et SIM8). Les distances moyennes diminuent au plus de 3,4 % (par rapport à la solution de référence) tandis que les consommations absolues (exprimées en gep) évoluent entre + 1 % et - 4,6 %. Ces phénomènes ne se cumulant pas, la consommation kilométrique se situe dans une fourchette très resserrée : SIM3 se place à 97,5 et SIM5 à 101,0 (SIM1 étant à 100).

Une forte augmentation des vitesses VP (SIM4 et SIM8) conduit cependant à une baisse sensible de la consommation kilométrique : - 7,8 % et - 8,7 %. Mais ces deux simulations constituent, nous semble-t-il, des cas limites : en effet, elles correspondent à une vitesse moyenne, pour la voiture particulière (déplacement porte à porte) de 22,6 km/h, pratiquement double de celle obtenue lors de l'exploitation de l'enquête ménages (11,4 km/h). Même si la méthode de reconstitution des distances retenue conduit probablement à une sous-estimation des vitesses automobiles, celle-ci n'est probablement que de quelques pour cent et ne risque guère d'approcher vingt pour cent. Ces simulations fournissent ainsi une borne extrême qui ne saurait être atteinte.

L'approche globale montre donc que les simulations ne remettent pas véritablement en cause les résultats obtenus avec les données disponibles dans l'enquête. Précisons enfin qu'il n'y a pas là validation du modèle de consommation retenu et donc des niveaux absolus de consommation obtenus, mais plutôt, à modèle donné, stabilité de ces niveaux.

2 - APPROCHE DESAGREGEE

L'approche globale n'est pas suffisante pour appréhender l'impact des simulations. L'analyse des facteurs déterminants des consommations conduit en effet à rechercher l'influence des différentes modalités de telle ou telle variable sur les niveaux moyens de consommation et pour une variable explicative donnée (le sexe par exemple) à ordonner les modalités en fonction de ces niveaux moyens (proposition 1 : "les hommes consomment, en moyenne, plus que les femmes"). Mais la consommation d'énergie, au moins dans une première approche, est un indicateur quantitatif et l'on peut vouloir mesurer précisément les écarts entre niveaux moyens (proposition 2 : "les hommes consomment, en moyenne, deux fois plus d'énergie que les femmes, alors qu'ils effectuent 1,5 fois plus de déplacements"). Les simulations ont pour objectif de tester la qualité des résultats obtenus et de déboucher sur une évaluation de la précision des écarts observés entre niveaux moyens. Peut-on quantifier plus ou moins exactement ces écarts (proposition 2), faut-il se limiter à la mise en évidence de hiérarchies des modalités

(proposition 1) ou ne peut-on même pas observer de régularités structurelles parce que d'une simulation à l'autre les tendances s'inversent (tantôt les hommes consomment plus que les femmes, tantôt le contraire) ? L'examen de trois variables susceptibles d'influencer le niveau de consommation et qui illustrent bien ces trois alternatives va nous permettre de répondre. Il s'agit du lieu d'habitat, du statut de l'individu et du motif du déplacement. Les consommations absolues moyennes par déplacement, calculées en gep, seront saisies à l'aide d'indices.

Le lieu d'habitat a été regroupé en deux grandes catégories, le centre (Lyon et Villeurbanne) et la périphérie. Les déplacements des individus habitant en périphérie nécessitent en moyenne moins d'énergie que ceux des lyonnais et villeurbannais, si l'on se réfère au jeu de données de base (tableau 5.3).

TABLEAU 5.3 : Influence du lieu d'habitat sur les niveaux moyens de consommation par déplacement.

	Centre	Périphérie
SIM1	100,0	98,0

L'écart entre les deux niveaux obtenus est cependant très faible (2 %) et semble non significatif (rappelons ici les réserves émises sur la précision des distances reconstituées, précision qui est loin d'être aussi bonne !). Conclure à une équivalence de ces niveaux semble plus sage, ce que viennent confirmer les résultats des sept simulations. Dans trois cas (SIM4, SIM5 et SIM8), les habitants du centre sont les plus économes alors que dans les quatre autres (SIM2, SIM3, SIM6 et SIM7) la situation est inverse ; les écarts maxima restent toutefois réduits, la périphérie se situant à 96,0 pour SIM5 et à 103,9 pour SIM2 (Centre = 100).

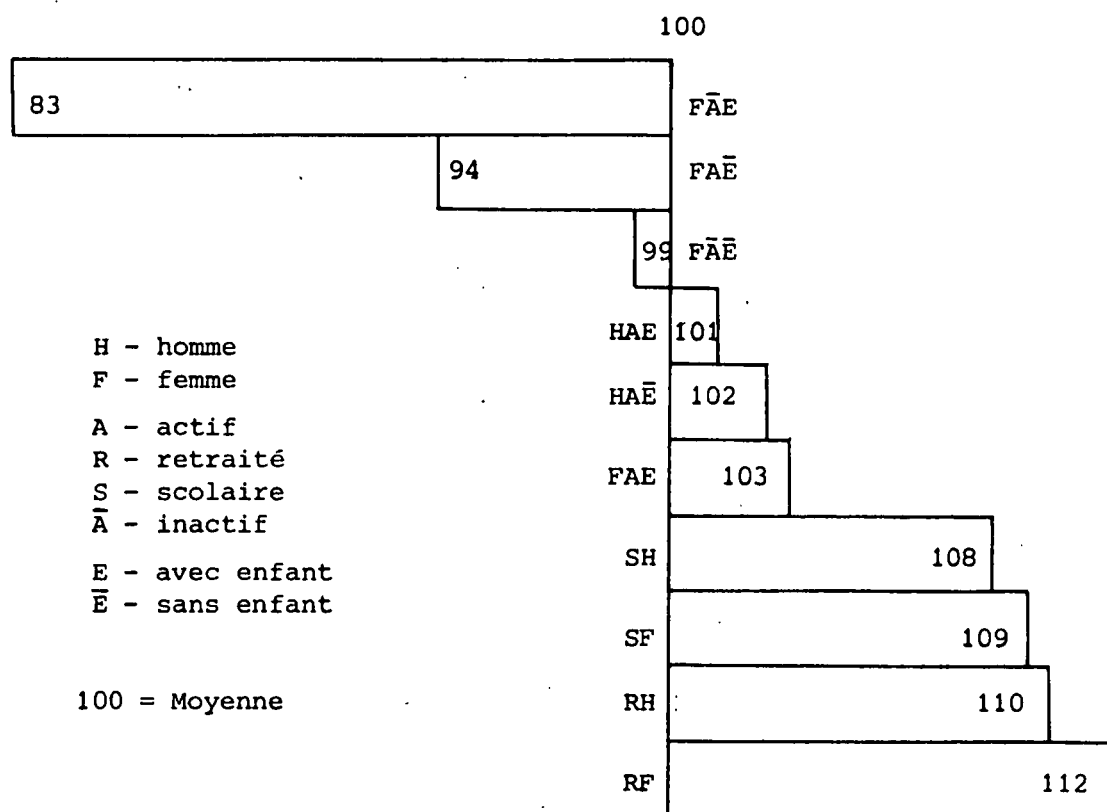
Un écart minime entre les niveaux de consommation de référence ne permet donc pas de mettre en évidence une hiérarchie des modalités, puisque le signe de cet écart n'est pas stable.

La prise en considération du statut de l'individu montre que des écarts plus importants ne sont pas sujets à ces péripéties (figure 5.2). Cette macro-variable qui intègre le sexe, le type d'activité et la présence d'enfant dans le ménage conduit en effet à mettre en évidence à partir du jeu de données de référence quatre catégories assez bien séparées :

- groupe 1 : les femmes inactives avec enfant (indice 83),
- groupe 2 : les femmes actives sans enfant (indice 94),
- groupe 3 : les femmes inactives sans enfant, les hommes actifs avec ou sans enfant et les femmes actives avec enfant (indice

- compris entre 99 et 103),
- groupe 4 : les scolaires hommes et femmes et les retraités hommes et femmes (indice compris entre 108 et 112).

FIGURE 5.2 : Influence du statut sur le niveau moyen de consommation par déplacement (données de base).



Le tableau 5.4 montre la bonne stabilité de ces catégories lorsque l'on fait intervenir les diverses simulations : en particulier, leurs frontières ne présentent pas de chevauchement.

Une mesure des écarts entre groupes peut même être avancée : le groupe 3 étant pris comme référence, le groupe 1 conduit à des valeurs nettement inférieures (-20 %) tandis que les groupes 2 et 4 ont un comportement symétrique (- 8 % et + 8 % respectivement).

Mais la hiérarchie à l'intérieur des groupes peut être remise en cause d'une simulation à l'autre (figure 5.3). Ainsi, dans le groupe 3, les hommes actifs avec enfant consomment plus que ceux n'en ayant pas selon SIM6 et SIM7 et moins dans les six autres cas (valeurs dans la situation de référence : 101,2 et 102,5). De même, dans le groupe 4, les scolaires hommes consomment plus que les scolaires femmes dans cinq cas et dépassent même les retraités

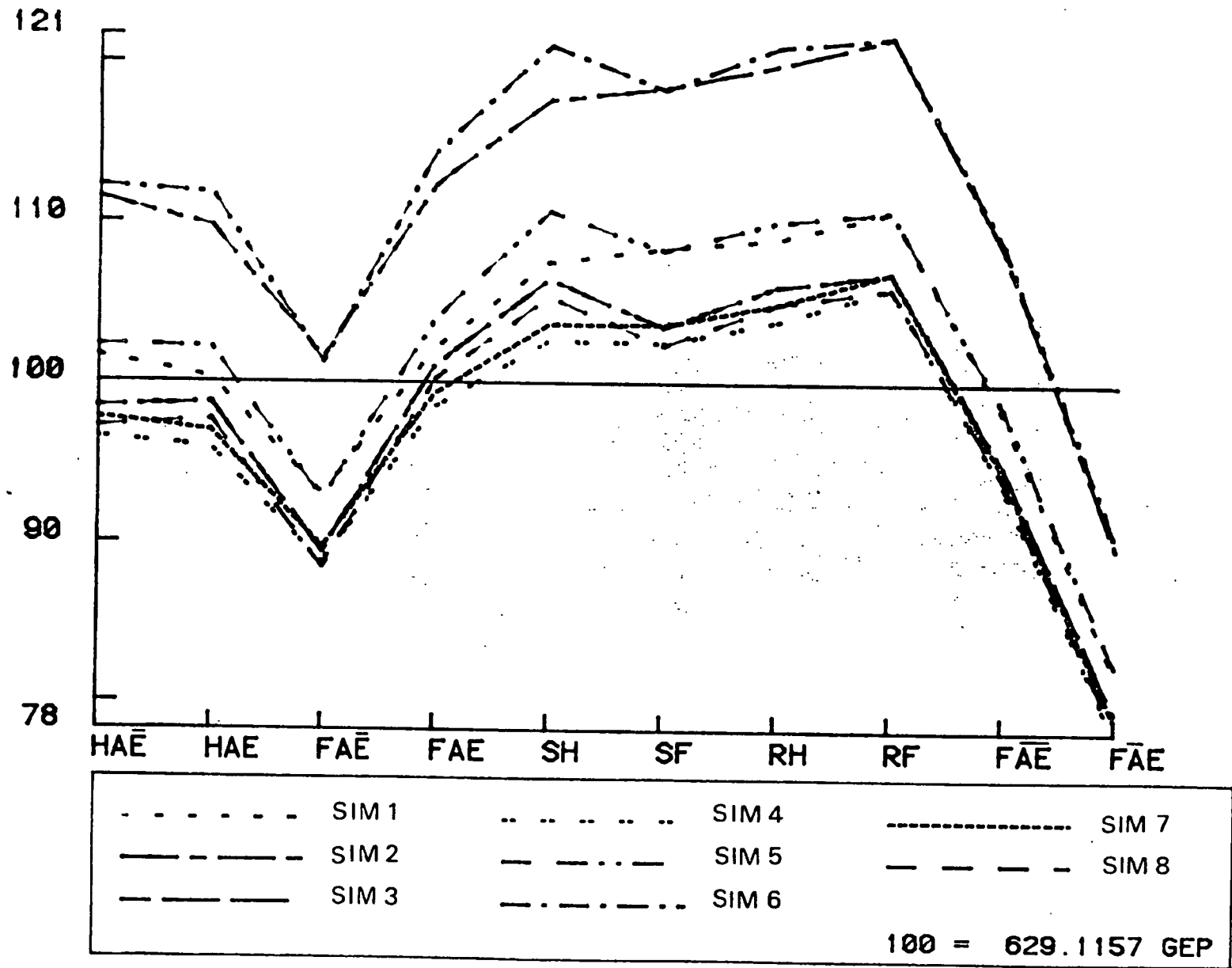


FIGURE 5.3 : CONSOM. VP SELON LE STATUT

hommes dans trois cas (valeurs dans la solution de départ 108,5, 109,4 et 110,0).

TABLEAU 5.4 : Intervalle de variation des niveaux moyens de consommation par déplacement, selon le statut (pour chaque simulation, l'indice 100 correspond à la consommation moyenne).

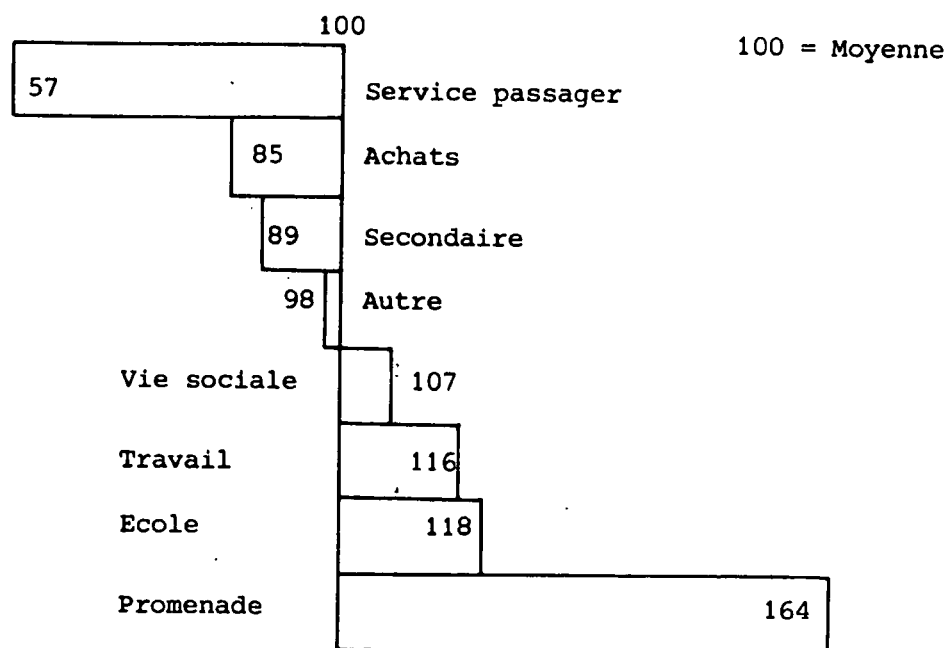
GROUPE	STATUT	INTERVALLE
1	F $\bar{A}\bar{E}$	82,3 - 82,8
2	FA $\bar{E}$	92,2 - 93,8
3	F $\bar{A}\bar{E}$	98,3 - 99,7
	HAE	101,0 - 102,3
	HA $\bar{E}$	101,8 - 102,6
	FAE	103,1 - 105,0
4	SH	108,3 - 110,6
	SF	107,2 - 109,4
	RH	109,8 - 110,3
	RF	110,6 - 112,0

L'examen de l'influence du statut précise ainsi les résultats obtenus lors de l'étude de l'impact du lieu d'habitat : des écarts de quelques pour cent sont très fluctuants et ne résistent pas toujours aux simulations mais dès qu'ils dépassent les cinq points, ils sont plus fiables et autorisent alors la mise en évidence de hiérarchies pour lesquelles les écarts entre niveaux peuvent être quantifiés.

L'analyse en termes de motif du déplacement confirme ces enseignements. La typologie retenue (qui sera explicitée par la suite) se traduit par des consommations moyennes par déplacement bien différenciées, sauf peut-être pour les déplacements domicile-travail et domicile-école. (Figure 5.4).

Cette hiérarchisation des motifs perdure au fil des simulations. Les valeurs obtenues, rapportées à la consommation moyenne tous motifs confondus, évoluent peu et les intervalles de variation ne se recoupent pas, même dans le cas le plus défavorable : la consommation moyenne école est toujours supérieure à la consommation moyenne travail (tableau 5.5). Mais il serait hasardeux de vouloir préciser trop cet écart, et les deux consommations peuvent être considérées comme équivalentes.

FIGURE 5.4 : Influence du motif sur le niveau moyen de consommation par déplacement (données de base).



TABEAU 5.5 : Intervalles de variation des niveaux moyens de consommation par déplacement selon le motif (pour chaque simulation, l'indice 100 correspond à la consommation moyenne).

MOTIF	INTERVALLE	MOTIF	INTERVALLE
Service passager	56,0 - 58,2	Vie sociale	105,9 - 106,7
Achats	84,4 - 86,3	Travail	115,5 - 116,0
Secondaires	88,8 - 90,0	Ecole	117,2 - 119,2
Autres motifs	97,1 - 98,9	Promenade	162,5 - 166,9

Ainsi, dans le cas du motif, la hiérarchie issue des données de base n'est nullement modifiée par la prise en compte des différentes simulations : la figure 5.5 le montre clairement, s'il en était encore besoin. Qui plus est, les écarts entre motifs sont assez facilement quantifiables. L'examen des influences du lieu.

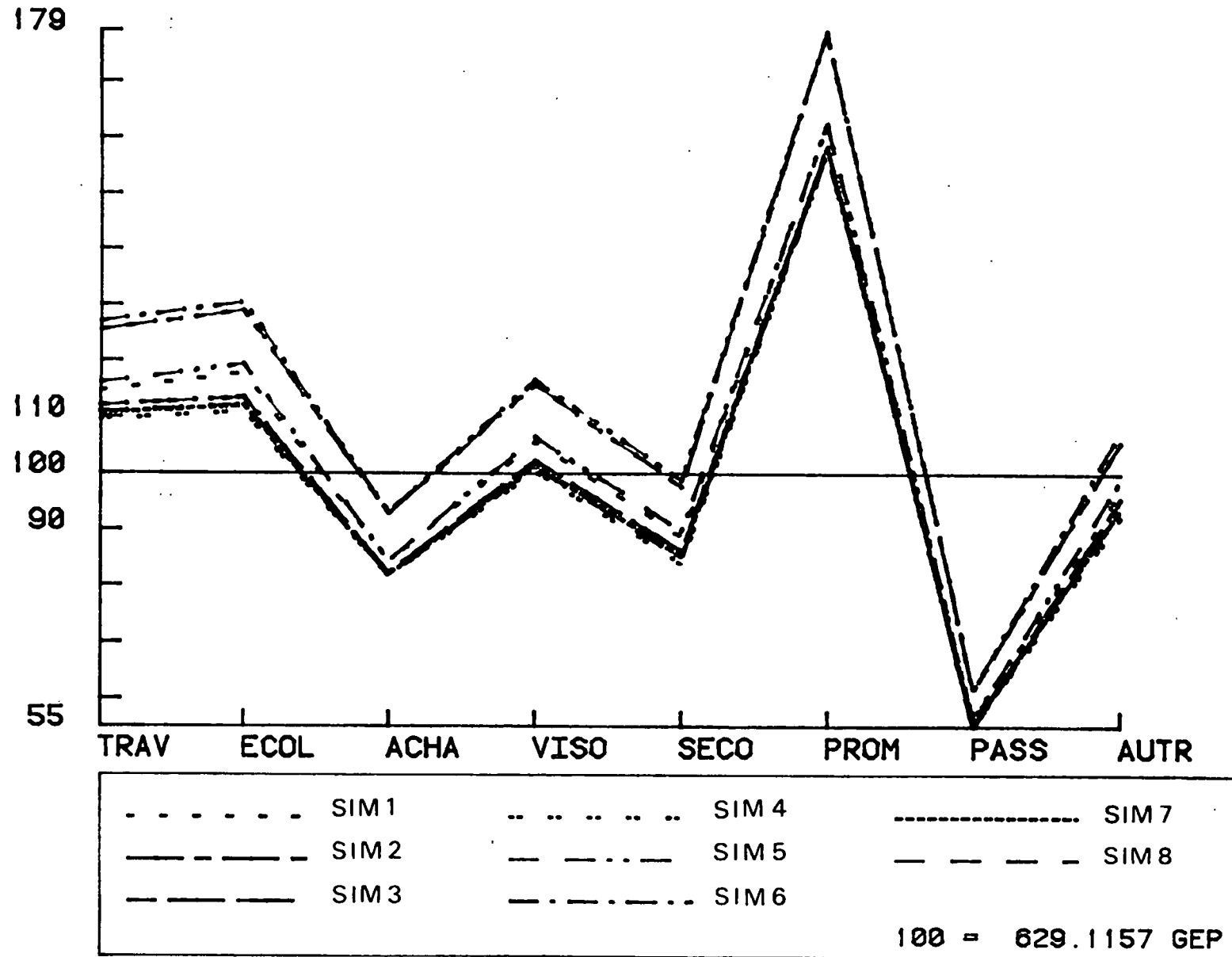


FIGURE 5.5 : CONSOM. VP SELON LE MOTIF

d'habitat et du statut incitent toutefois à une certaine prudence et des écarts trop faibles ne doivent pas être considérés.

3 - CONCLUSION

Les simulations étaient un moyen de tester la qualité de nos résultats. Aussi bien dans une approche globale que dans une approche désagrégée, ceux-ci ne sont pas remis en cause. Leur fiabilité semble même élevée : l'influence de tel ou tel indicateur socio-économique, dès lors qu'il conduit, pour ces diverses modalités, à des niveaux de consommation différenciés, apparaît nettement et les écarts entre ces niveaux peuvent être mesurés avec une précision satisfaisante. Les simulations nous montrent cependant que des écarts de quelques pour cent ne sont pas significatifs.

Il va donc nous être possible maintenant de rechercher les facteurs déterminants des consommations transport en ne nous intéressant qu'aux seuls résultats issus des données de base.

CHAPITRE VI

PREMIERE APPROCHE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

Après nous être longuement étendus sur divers points de méthode (reconstitution des distances, élaboration de modèles de consommation, ...), après avoir tenté d'évaluer la fiabilité des données ainsi produites, il n'est que temps de passer à l'analyse de ces données. Le présent chapitre en constituera la phase initiale, testant la sensibilité des volumes de consommation à quelques caractéristiques socio-économiques ou spatiales des déplacements et des individus.

Cette première mise en ordre des déterminants des consommations énergétiques, fondamentale pour l'élaboration de macro-variables synthétiques (chapitre suivant), s'effectuera à deux niveaux : les consommations moyennes par déplacement tout d'abord, les budgets énergétiques transport des individus ensuite.

I - LES CONSOMMATIONS MOYENNES PAR DEPLACEMENT

Après une première vue d'ensemble des consommations moyennes par déplacement placée sous le double aspect du mode utilisé et de la distance parcourue, nous appréhenderons les déplacements sous deux facettes complémentaires :

- en tant que révélateur de pratiques d'activités, à travers le motif,
- en tant que mode d'usage de l'espace, à partir de la forme de la sortie qui nous permettra de dépasser la stricte approche en termes de déplacement.

1 - PREMIER APERCU DES CONSOMMATIONS

Une rapide analyse de la répartition modale peut permettre de relativiser certaines valeurs de consommation. Aussi allons-nous commencer par examiner l'usage des modes et les consommations afférentes avant de nous attarder sur l'influence du type de liaison.

1.1 - La répartition modale des déplacements

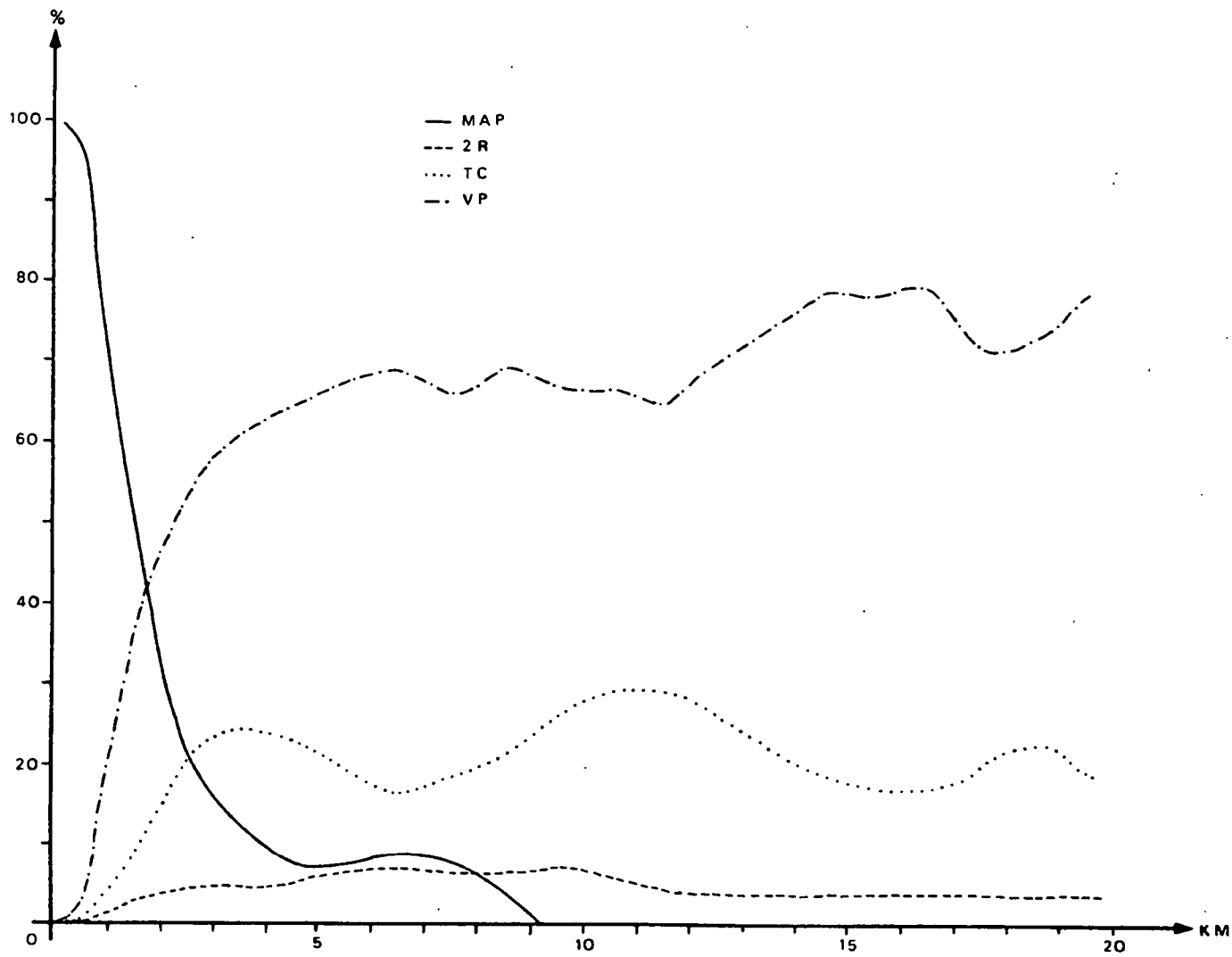
La figure 6.1 montre l'évolution de la répartition modale en fonction de la distance. Si les courbes sont à considérer avec précaution au delà de 13 ou 14 kilomètres, plusieurs constatations importantes sur les faibles distances s'imposent.

La part de la marche à pied décroît très rapidement (part moyenne : 42,2 %). Si ce mode est utilisé pour deux déplacements sur trois de 1 km, il ne l'est plus qu'une fois sur trois pour les déplacements de 2 km et une fois sur six pour les déplacements de 3 km.

Les deux roues sont assez peu employés, et ne dépassent jamais les 7 %. Leur part moyenne n'est d'ailleurs que de 3,5 %.

Les transports en commun sont rarement utilisés en dessous de 2 km. Si leur part moyenne est assez faible (13,3 %), ils sont cependant plus employés que la marche à pied dès que le déplacement fait plus de 2,5 kilomètres.

FIGURE 6.1 : Répartition modale, en fonction de la distance



La part de la voiture croît très rapidement jusque vers 4 km (elle dépasse alors 60 %), stagne ensuite pour recroître à partir du douzième kilomètre. L'automobile est le mode le plus utilisé pour les déplacements de plus de 2 km. Si elle est le mode quasi-unique des longs trajets, elle représente déjà un cinquième des déplacements de 1 km et la moitié des déplacements de 2,5 km.

Le tableau 6.1 traduit la concurrence entre les modes pour différentes coupures de distance. Si la marche à pied reste le mode le plus employé pour les petites distances, et le mode quasi-unique des déplacements de moins de 1 km, le quart des déplacements de moins de 3 km est effectué en voiture. Cette utilisation de la voiture sur les faibles distances, sans être négligeable (un déplacement automobile sur trois fait moins de 3 km), est cependant relativement faible. Quelles sont alors les conséquences en termes de consommation ?

TABLEAU 6.1 : Répartition modale selon différentes coupures de distance (%)

Déplacements de :	Marche à pied	Deux roues	Transports collectifs	Voiture particulière
moins de 1 km	90	1	2	7
moins de 3 km	65	2	8	25
moins de 5 km	54	3	11	32
plus de 5 km	4	6	21	69

1.2 - Les consommations moyennes par mode

L'observation des consommations moyennes par mode (tableau 6.2) confirme un certain nombre d'idées préconçues à propos des spécificités modales. L'automobile se révèle ainsi une forte consommatrice (elle capte à elle seule près de 90 % de l'énergie totale). Pour des distances moyennes finalement similaires, elle demande près de quatre fois plus d'énergie que les transports collectifs. Les résultats concernant les deux roues, quant à eux, sont à considérer avec précaution : la méconnaissance des caractéristiques des véhicules et les approximations afférentes expliquent,

en partie, la valeur élevée de la consommation moyenne des déplacements de ce mode.

TABLEAU 6.2 : Consommation et distance moyennes, selon le mode

	Marche à pied	Deux roues	Transports collectifs	Voiture particulière	Tous modes
Consommation (gep)	-	188	136	517	237
Distance (km)	1,0	6,9	5,7	6,0	3,9

Ces mauvaises performances énergétiques de l'automobile sont dues notamment à la surconsommation liée à l'échauffement du moteur. Elle représente, en effet, près du quart de la consommation totale de ce mode. Toutefois, son poids varie très sensiblement avec la distance parcourue (tableau 6.3). Entre les deux plages de distance extrêmes, la consommation totale par déplacement est multipliée par près de 4 et la surconsommation par 1,25 : son poids relatif passe ainsi de 38 à 13 %. Cette sensibilité de la part relative de la surconsommation se traduit par une forte variabilité de la consommation kilométrique, 1,8 fois plus élevée pour les déplacements de moins de 5 km que pour l'ensemble des déplacements.

TABLEAU 6.3 : Part de la surconsommation en fonction de la distance, pour les déplacements automobiles (%)

	- 5 km	5-10 km	10-15 km	15-20 km	Ensemble
Surconsommation	38	22	16	13	24

1.3 - L'équivalent énergétique du taux d'occupation

L'inefficacité énergétique de la voiture sur les faibles distances est cependant quelque peu tempérée par un meilleur usage. L'équivalent énergétique du taux d'occupation est en effet plus élevé sur les très faibles et très longues distances que sur les parcours intermédiaires (tableau 6.4). Il semble ainsi que le recours à l'automobile est d'autant plus facile, lorsque la distance est réduite, que le nombre d'individus concernés est élevé. L'inversion de tendance pour les longs parcours se justifie, peut-être, par d'autres considérations, notamment l'inadéquation des autres modes (en termes de temps de parcours, voire même de disponibilité) qui peut favoriser un usage plus collectif de l'automobile. Une analyse plus détaillée de la sensibilité à la distance de l'équivalent énergétique du taux d'occupation montrerait d'ailleurs que cette inversion se produit autour du douzième kilomètre, soit lorsque la part de l'automobile dans la répartition modale recommence à croître.

TABLEAU 6.4 : Equivalent énergétique du taux d'occupation (EETO) en fonction de la distance : déplacements automobiles.

	- 5 km	5-10 km	10-15 km	15-20 km	Ensemble
EETO	1,30	1,25	1,18	1,38	1,26

Ainsi, la consommation moyenne très élevée des déplacements automobiles s'explique par le jeu de plusieurs mécanismes contradictoires. A côté des caractéristiques techniques propres de chaque type de véhicule qui tendent à défavoriser la voiture, son usage sur de faibles distances creuse encore le handicap par rapport aux autres modes à travers la surconsommation nécessaire à l'échauffement du moteur. Toutefois, l'effet surconsommation est en partie compensé par une utilisation plus collective du véhicule sur ces mêmes distances.

1.4 - Consommations et types de liaison

L'analyse des déplacements sous l'angle du type de liaison conduit à des résultats très différenciés en termes de distance (tableau 6.5). Les déplacements internes à un secteur ont une distance moyenne de l'ordre de 2 ou 3 km alors que les déplacements radiaux et diamétraux mesurent plus de 10 km.

TABLEAU 6.5 : Distances moyennes, selon le type de liaison

	Lyon - Lyon	Lyon - Villeurbanne	Villeurbanne - Villeurbanne	Lyon, Villeurbanne Périphérie	Périphérie interne	Périphéries limitrophes ou opposées
Distance (km)	2,0	4,4	1,7	10,0	3,2	11,4
Poids (%)	38	3	7	16	35	1

L'usage des modes (figure 6.2) se ressent de ces écarts. La place de la voiture croît, au détriment essentiellement de la marche à pied, lorsque la distance moyenne augmente. Seuls les déplacements internes à Lyon ou à Villeurbanne s'effectuent préférentiellement à pied.

Cette hiérarchisation des types de liaison se retrouve lorsque l'on rapporte la consommation tous modes à la distance (figure 6.3). Mais si l'on s'en tient aux seuls déplacements automobiles (même figure et tableau 6.6) une inversion, surtout sensible pour la consommation kilométrique, se produit entre les déplacements "Lyon-Villeurbanne" et ceux internes à la périphérie. Deux groupes apparaissent alors : d'une part les déplacements internes au centre, à la consommation kilométrique élevée (due notamment à un fort taux de surconsommation) et d'autre part les déplacements radiaux et orthoradiaux, plus efficaces énergétiquement.

FIGURE 6.2 : Arbitrage entre marche et automobile, selon le type de liaison

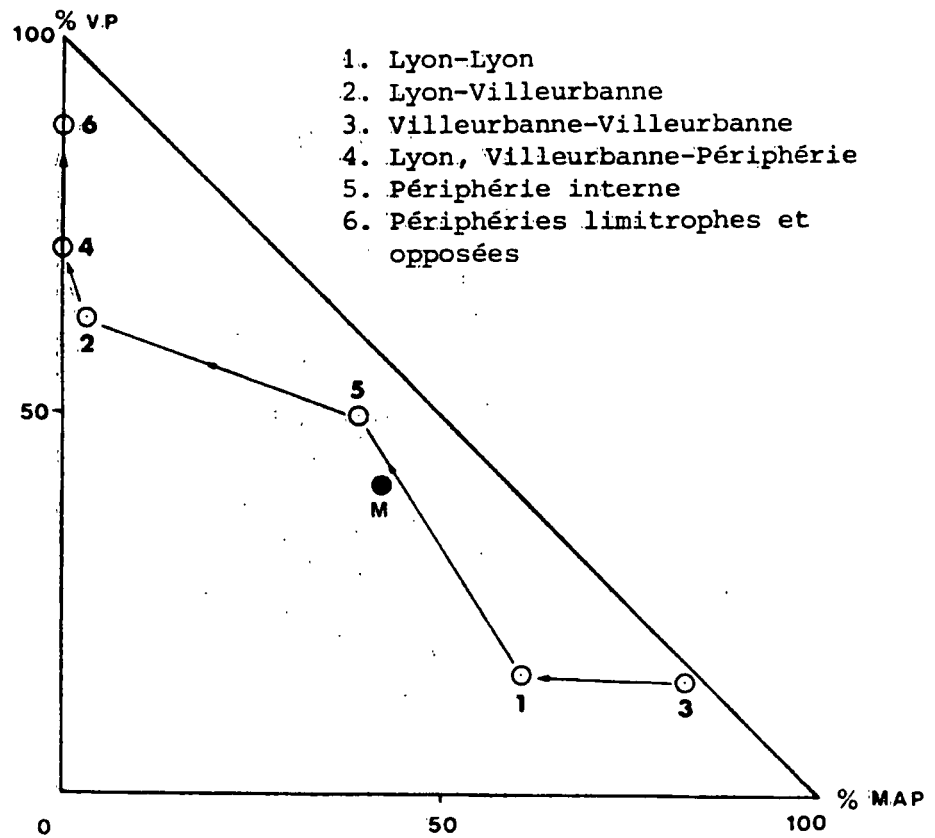
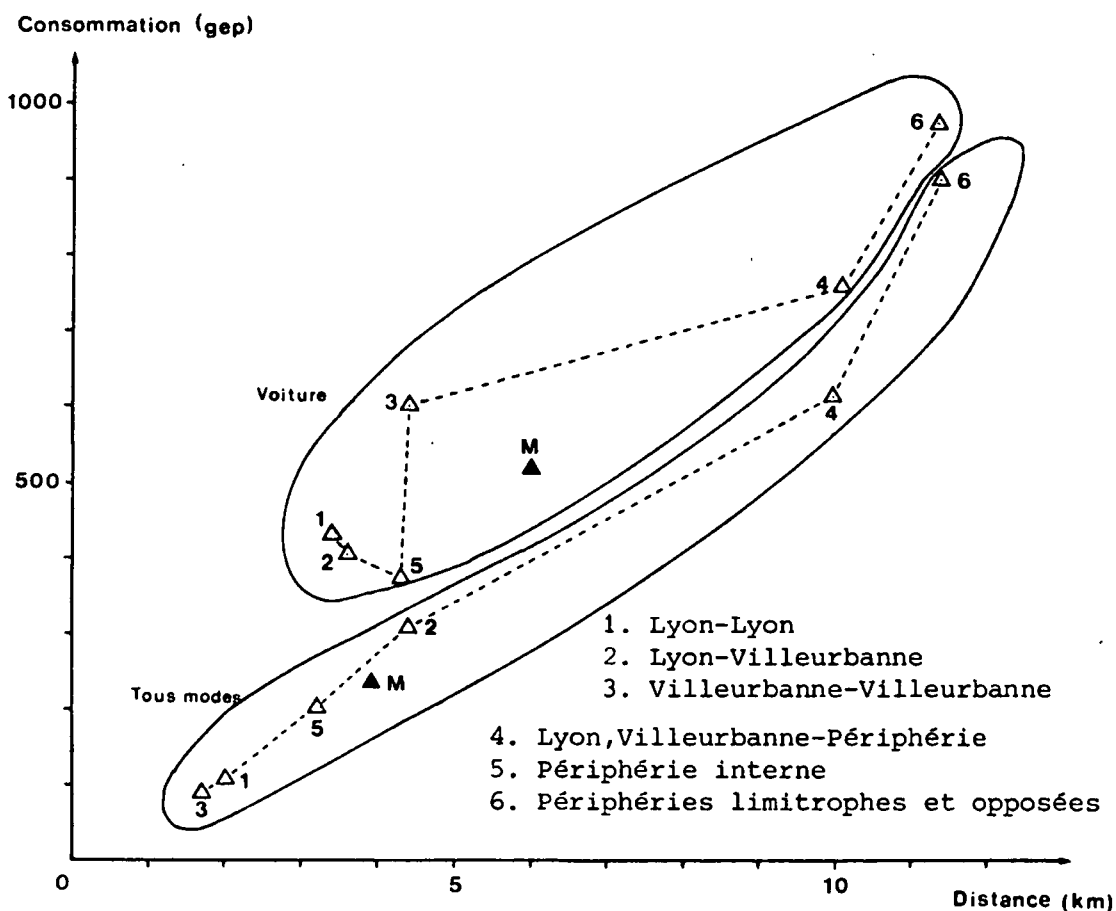


TABLEAU 6.6 : Consommation kilométrique et surconsommation, selon le type de liaison

	Lyon — Lyon	Lyon — Villeurbanne	Villeurbanne — Villeurbanne	Lyon, Villeurbanne — Périphérie	Périphérie interne	Périphéries limitrophes ou opposées	Ensemble
Consommation kilométrique (indice)	147	130	157	87	100	98	100
Surconsomma- tion (%)	30	33	31	18	28	16	24

FIGURE 6.3 : Consommation et distance moyennes, selon le type de liaison.



Nous retrouvons donc la mauvaise efficacité énergétique de la voiture sur les faibles distances, qui pénalise ici essentiellement les déplacements internes aux deux communes centre de l'agglomération (Lyon et Villeurbanne).

2 - L'INFLUENCE DU MOTIF

Suite à cette première approche des consommations moyennes, il convient d'approfondir leur analyse en s'intéressant à l'influence du motif de déplacement. En effet, dans la mesure où la mobilité est le moyen de réaliser un programme d'activités spatialement et temporellement localisées, l'étude d'une typologie des déplacements fondée sur le motif ne peut qu'améliorer la

compréhension de la formation de ces consommations moyennes. Après avoir présenté la typologie retenue, nous examinerons les consommations tous modes confondus avant de nous focaliser sur l'automobile.

2.1 - La typologie des motifs

Les exploitations de base des enquêtes ménages du CETUR utilisent une typologie des motifs de déplacement assez grossière. S'y distinguent :

- les déplacements Travail (du domicile au travail, ou l'inverse)
- les déplacements Ecole (du domicile à l'école, ou l'inverse)
- les déplacements Affaires et divers (du domicile à un lieu autre que le lieu de travail et l'école, ou l'inverse)
- les déplacements Secondaires (aucune extrémité au domicile).

Les déplacements Ecole et Affaires et divers sont souvent regroupés en déplacements Autres motifs.

A partir du support empirique disponible, une décomposition plus fine des motifs s'avère possible, sans aller toutefois jusqu'à reprendre les nomenclatures utilisées pour le codage de l'enquête (une cinquantaine d'activités, 3 catégories de déplacement).

Les déplacements secondaires, parce qu'ils correspondent à un affranchissement de l'individu vis-à-vis de son domicile et traduisent donc une certaine maîtrise de l'espace, et les déplacements liés au travail ou à l'école, parce que ces deux activités structurent très fortement l'utilisation du temps et de l'espace, nous semblent effectivement devoir constituer trois types autonomes.

La ventilation des déplacements en trois catégories va maintenant nous guider pour l'éclatement du motif "Affaires et divers". En effet, les déplacements promenade et les déplacements service passager, parce que leur finalité diffère profondément de celle des déplacements origine-destination (chapitre I), ne peuvent que constituer deux types autonomes.

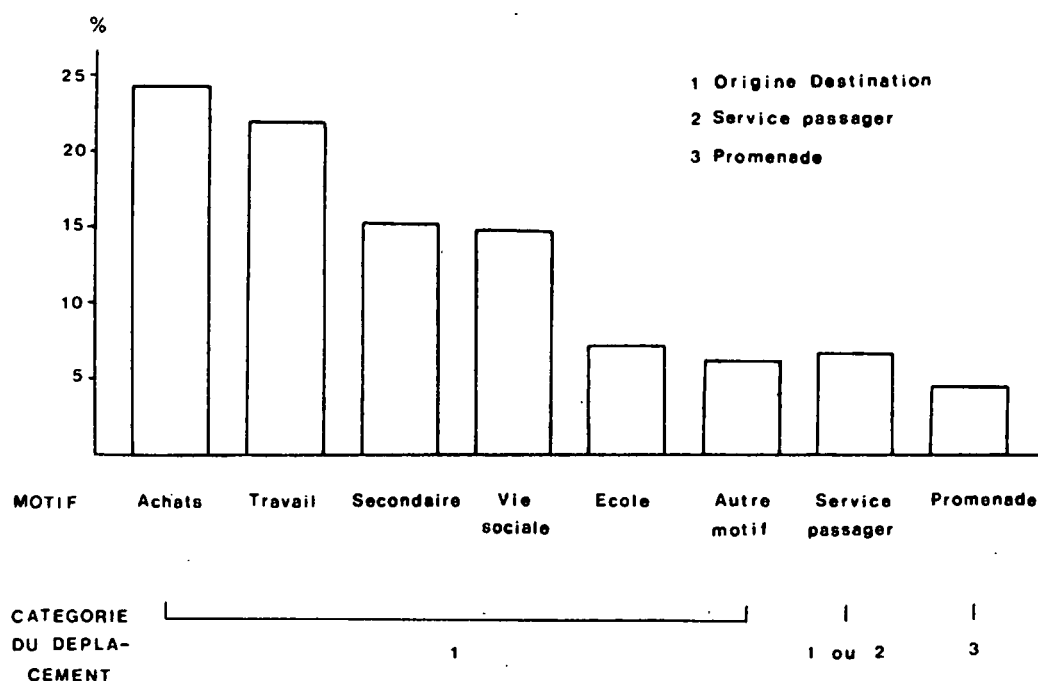
Si l'on revient à la définition du déplacement service passager (chapitre I), on voit que celui-ci s'accompagne nécessairement d'un déplacement origine-destination, à mêmes origine et destination (l'itinéraire emprunté peut toutefois être différent). Nous regrouperons celui-ci avec celui-là.

Deux autres types de déplacement (origine-destination) doivent encore être isolés : les déplacements liés aux achats, pour la spécificité de l'offre urbaine en matière de commerces, et les

déplacements liés à la vie sociale, en tant que signes d'extraversion de l'individu. Demeure alors un type fourre-tout, regroupant essentiellement des déplacements (origine-destination) liés notamment à certaines formes de loisir.

La figure 6.4 synthétise cette typologie et précise le poids relatif des différents types. "Travail" et "achats" sont les deux motifs dominants. A l'opposé, on notera la faible importance des déplacements "promenade" ainsi que le nombre réduit d'inclassables (6 % de déplacements "autre motif").

FIGURE 6.4 : La typologie des motifs

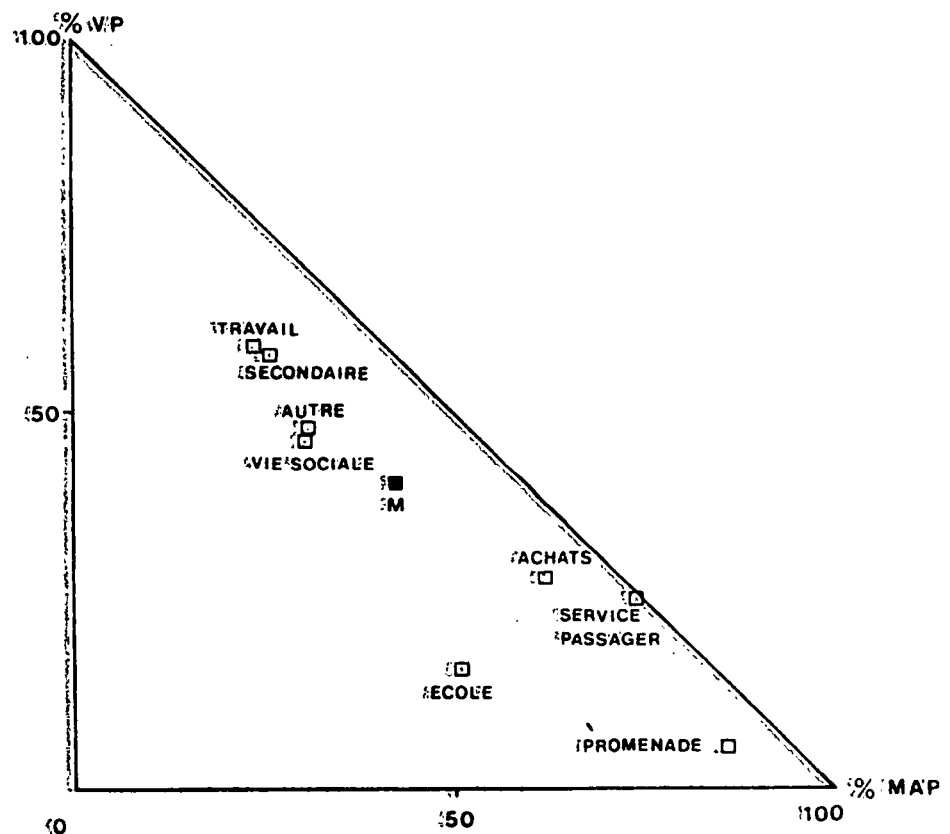


2.2 - Les consommations moyennes par motif

Le motif du déplacement influe fortement sur l'utilisation des modes. La figure 6.5 rend compte de l'arbitrage entre la marche et l'automobile (plus un point est éloigné de l'hypothèse du rectangle, plus l'usage des autres modes - transports collectifs ou deux roues - est élevé). Trois groupes se dégagent :

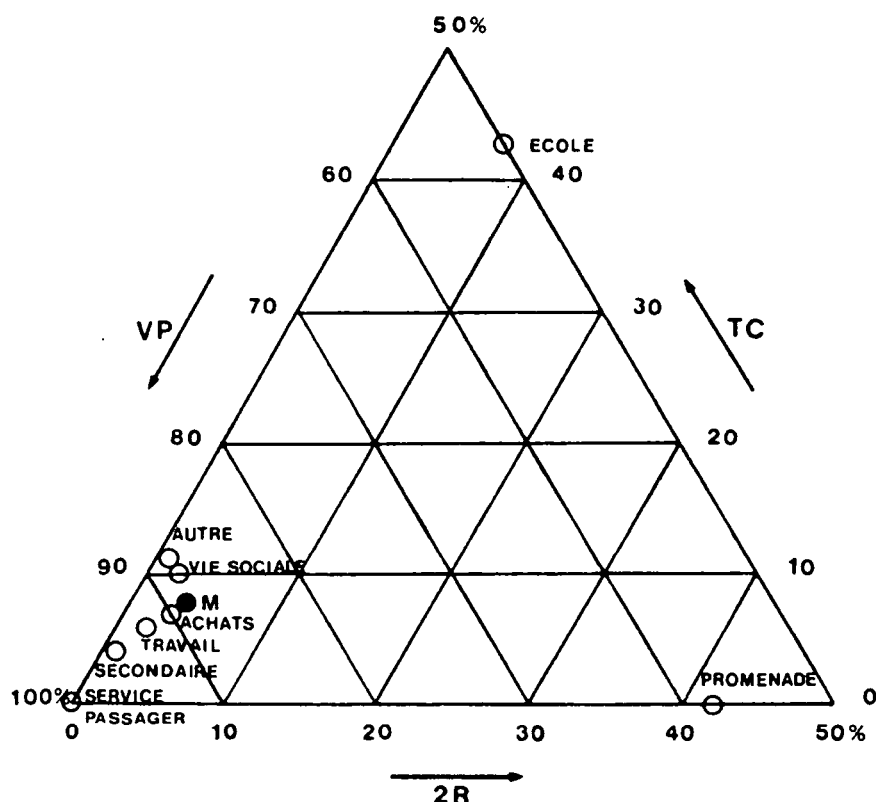
- Les déplacements "travail" et "secondaire" s'effectuent majoritairement en voiture particulière, la marche concernant à peine le quart des déplacements ;
- L'automobile est encore le premier mode utilisé pour les déplacements "vie sociale" et "autre motif", mais son usage est plus réduit que dans le groupe précédent ;
- Le troisième groupe réunit les quatre autres motifs autour d'un usage majoritaire de la marche. Toutefois, des spécificités marquées impliquent une forte hétérogénéité du groupe. Un tiers des déplacements "école" s'effectue en transport collectif ou en deux roues, alors que ces deux modes ne sont jamais utilisés pour des "services passagers" ; la marche est le mode quasi-exclusif des "promenades".

FIGURE 6.5 :: Arbitrage entre marche et automobile, selon le motif



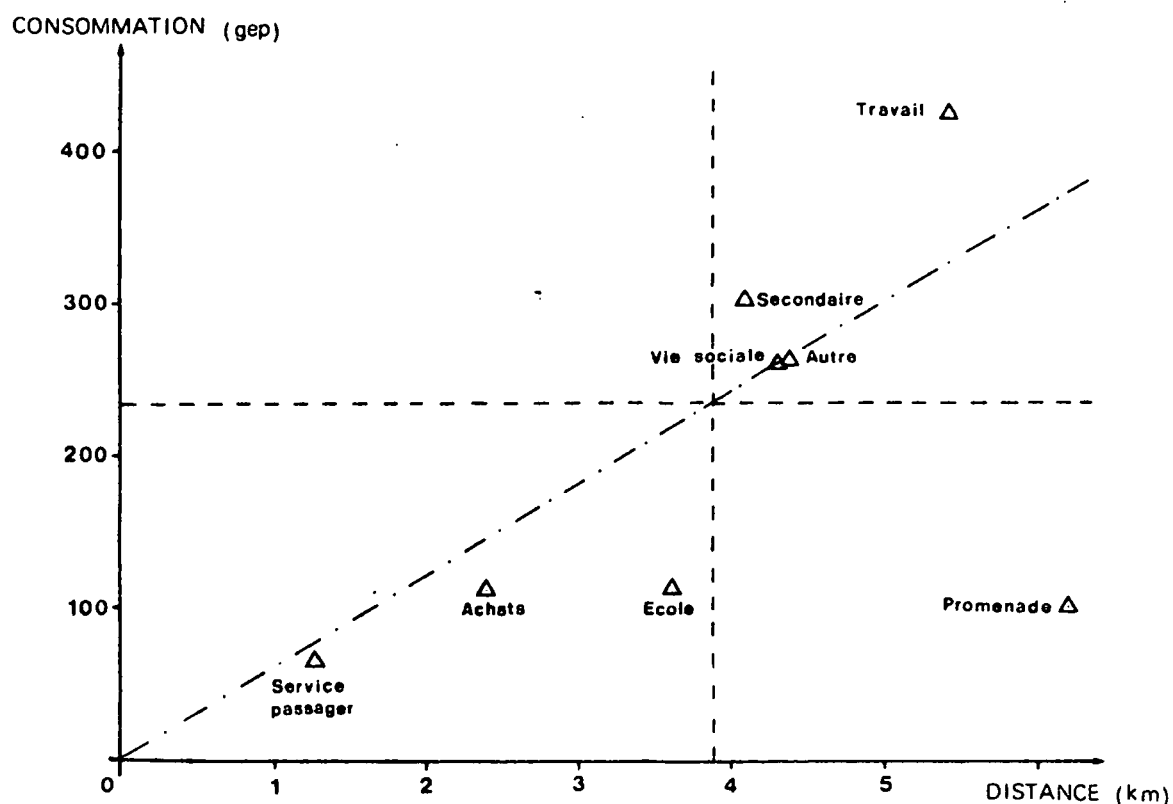
Ce troisième groupe éclate si l'on appréhende la répartition modale à travers l'énergie consommée (figure 6.6). Pour les "services passagers", toute la consommation est affectée à la voiture alors que pour les déplacements "école" et "promenade", l'automobile ne dépense que la moitié de la consommation au profit, respectivement, des transports collectifs et des deux roues. Les autres motifs, quant à eux, sont proches de la répartition moyenne, la part de la voiture se situant autour de 90 %.

FIGURE 6.6 : Répartition modale des déplacements motorisés, en termes de consommation, selon le motif



Le caractère déterminant du taux d'usage de la voiture se retrouve lorsque l'on examine les consommations moyennes rapportées aux distances (figure 6.7). Que ce soit en termes absolus (consommation) ou en termes relatifs (consommation kilométrique), les motifs les plus "énergivores" sont ceux pour lesquels l'utilisation de la voiture est la plus élevée.

FIGURE 6.7 : Consommation et distance moyennes, selon le motif



Derrière l'usage des modes, cette figure laisse transparaître l'influence d'un facteur explicatif des niveaux de consommation : l'offre urbaine. En effet, les motifs les moins consommateurs renvoient aux éléments de l'offre urbaine les plus diffus. Commerces et établissements d'enseignement (le service passager étant souvent un accompagnement d'enfant en bas âge à l'école) sont distribués plus uniformément que, par exemple, les lieux d'emploi. Est-ce à dire toutefois que les écarts observés entre distances ou consommations ne s'expliquent qu'à travers les formes d'implantation des différents lieux d'activité ? Une étude de l'usage de la voiture va nous permettre de répondre.

2.3 - L'usage de la voiture

Nous laisserons de côté dans la suite le motif "promenade" qui ne concerne qu'une vingtaine de déplacements automobiles. Que ce soit en termes de distance ou de consommation, les écarts entre les sept autres motifs sont beaucoup plus resserrés pour les seuls déplacements en voiture que tous modes confondus. Les consommations sont dans un rapport de 1 à 2,6 et les distances de 1 à 2 (tableau 6.7).

TABLEAU 6.7 : Consommation et distance moyennes, selon le motif : déplacements automobiles (indices)

	Travail	Ecole	Achats	Vie sociale	Secondaire	Service passager	Autre	Ensemble
Consommation	128	102	70	94	96	49	91	100
Distance	111	111	92	100	95	55	94	100
Consommation kilométrique	117	93	77	95	101	90	98	100

Toutefois, une nette diversité demeure. Ainsi, à des distances moyennes équivalentes peuvent correspondre des consommations kilométriques nettement distinctes (motifs "travail" et "école"). De la même manière, des consommations proches n'impliquent pas nécessairement des consommations kilométriques similaires (motif "école" et "secondaire"). Les variations de la part de surconsommation et du taux d'occupation du véhicule expliquent ces phénomènes (tableau 6.8). Le motif "travail" se caractérise ainsi par une forte surconsommation (grand nombre de déplacements avec départ moteur froid) et un faible équivalent énergétique du taux d'occupation (la voiture est le plus souvent utilisée par une seule personne) qui se traduisent par une consommation kilométrique élevée. Les déplacements "secondaire" sont par contre faiblement surconsommateurs : le moteur du véhicule a pu s'échauffer durant les déplacements précédents. L'usage de la voiture demeure toutefois très individuel. Enfin, les déplacements "école" ou "achats", effectués collectivement et surconsommant peu, présentent une consommation kilométrique basse.

TABLEAU 6.8 : Surconsommation et équivalent énergétique du taux d'occupation, selon le motif : déplacements automobiles

	Travail	Ecole	Achats	Vie sociale	Secondaire	Service passager	Autre	Ensemble
Surconsommation (%)	27	21	21	25	19	25	25	24
EETO	1,12	1,40	1,54	1,41	1,21	1,45	1,35	1,26

Le véhicule particulier est donc utilisé différemment selon le motif du déplacement. Mais ce n'est pas là une conséquence de la variété des formes d'implantation des lieux d'activité. Ce que les remarques précédentes laissaient entendre, le tableau 6.9 le confirme : la distance du déplacement n'est que l'un des éléments qui va entraîner le recours au véhicule particulier. Pour un déplacement court, la voiture aura 2,5 fois plus de chance d'être empruntée s'il s'agit d'aller au travail que d'aller effectuer des achats. Cette inégalité entre motifs recouvre en fait une inégalité entre individus : l'accès à la voiture résulte d'un arbitrage au sein du ménage qui n'est pas lié qu'à des considérations de distance entre son domicile et les lieux d'activité de chacun de ses membres (DE LA MORSANGLIERE, 1982 ; AVEROUS, GODARD, MATALON et ORFEUIL, 1979).

TABLEAU 6.9 : Usage de la voiture sur les faibles distances (moins de 3 km)

	Travail	Ecole	Achats	Vie sociale	Secondaire	Service passager	Autre
Part de la voiture (%)	41	4	16	29	99	19	36

2.4 - Conclusion

Des écarts sensibles existent donc entre les consommations moyennes liées aux différents motifs de déplacement. Entre le service passager et le déplacement domicile-travail, le rapport des consommations automobiles est de 1 à 2,6 tandis que celui des consommations tous modes est nettement plus élevé (de 1 à 6,5).

Mais au delà de ces écarts, l'analyse du motif de déplacement, révélateur de pratiques d'activité, suggère surtout deux remarques :

- parce que les activités sont spatialement localisées, les formes d'implantation des différents types d'activité se retrouvent derrière la hiérarchisation des motifs selon leur consommation moyenne : dissémination des établissements d'enseignement, maintien d'une offre de commerces de quartier, concentration des lieux d'emploi, ...
- parce que les activités sont pratiquées par des individus, les consommations par déplacement se ressentent des autres activités, du mode de vie de ces mêmes individus.

3 - CONSUMMATIONS D'ENERGIE ET SORTIES DU DOMICILE

L'analyse du motif de déplacement met en évidence les conséquences énergétiques de l'organisation spatiale de l'agglomération. Mais l'usage de cet espace par les individus n'apparaît pas clairement. Avant de nous intéresser à différentes caractéristiques des individus, et notamment à leur façon d'investir l'espace, nous allons essayer de poser quelques jalons en en restant à l'analyse non plus des déplacements élémentaires, mais des sorties du domicile.

La sortie du domicile (mais plus encore la structure spatiale des déplacements de l'individu, que nous étudierons dans la prochaine section) renvoie à des pratiques de l'espace et du temps organisées durant la journée, alors que le déplacement fait référence à des pratiques juxtaposées. En passant du déplacement à la sortie, on passe ainsi d'un temps "durée" à un temps "organisé", d'un espace "ponctuel" à un espace "diffus". La pertinence de l'analyse ne peut que s'accroître mais d'importants problèmes d'opérationalité apparaissent alors. Ces problèmes expliquent probablement la rareté des travaux directement consacrés aux sorties du domicile. En France, on notera essentiellement les différents travaux de la RATP sur la mobilité des habitants de l'agglomération parisienne (LE FOLL, MENEAU, et MOLINA, 1980) et un travail actuellement en cours au LET sur l'agglomération grenobloise (RUJOPAKARN).

3.1 - La typologie des sorties

Toutes les sorties sont organisées autour du domicile (il serait possible de définir des sorties secondaires, centrées, par exemple, sur le lieu de travail). Cependant le rôle de celui-ci peut être plus ou moins prégnant. Deux grandes familles se dégagent

toutefois à partir de la forme spatiale de la sortie :

- les sorties centrées sur le domicile : chaque déplacement a au moins une extrémité au domicile. On y rencontre quelques déplacements circulaires (par exemple des promenades), mais surtout des allers et retours. Nous les nommerons par la suite "pétale".
- les sorties traduisant un certain affranchissement vis-à-vis du domicile : au moins un déplacement n'a pas d'extrémité au domicile (déplacement "secondaire"). On retrouve ici les sorties regroupant au moins 3 déplacements, que nous désignerons dorénavant par "boucle".

Il aurait été possible de désagréger plus les sorties en faisant référence à leur seule forme spatiale ; en particulier, les boucles peuvent être ventilées selon le nombre de déplacements qu'elles regroupent. Il nous a semblé plus intéressant de faire explicitement référence dans notre typologie des formes de sortie à l'organisation de l'ensemble des déplacements de l'individu, c'est-à-dire à la structure spatiale de ses déplacements.

Cette structure sera ici appréhendée à partir de quatre groupes (BONNAFOUS, PATIER-MARQUE, PLASSARD, 1981) :

- Aller et retour : une seule sortie durant la journée, de type pétale
- Etoile : plusieurs sorties en pétale
- Boucles : une ou plusieurs boucles
- Complexe : au moins deux sorties, l'une en boucle, l'autre en pétale.

Le croisement des deux formes élémentaires de sortie avec cette typologie des structures spatiales de déplacement conduit à un éclatement en cinq classes des formes de sortie (figure 6.8).

3.2 - Description des différentes formes de sortie

Les 3 371 sorties urbaines sont, pour les trois quarts, des pétales, une sur deux étant un pétale d'étoile (figure 6.9).

Les deux types de boucle se différencient nettement par leur nombre moyen de déplacements. Il est de 3,2 pour la boucle de complexe mais atteint 4,0 pour la boucle de boucles.

Les distances parcourues varient sensiblement d'un type à l'autre (tableau 6.10). Les pétales d'étoile et de complexe sont le reflet d'un mode de vie très focalisé sur le domicile : pour deux de ces sorties sur cinq, le plus long déplacement mesure entre 1 et 1,4 km. A l'opposé, les autres formes de sortie correspondent à un éloignement certain du domicile qui se révèle claire-

FIGURE 6.8 : Forme de la sortie et structure spatiale des déplacements

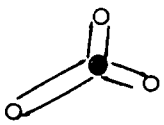
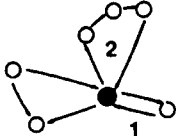
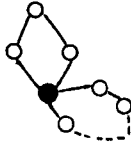
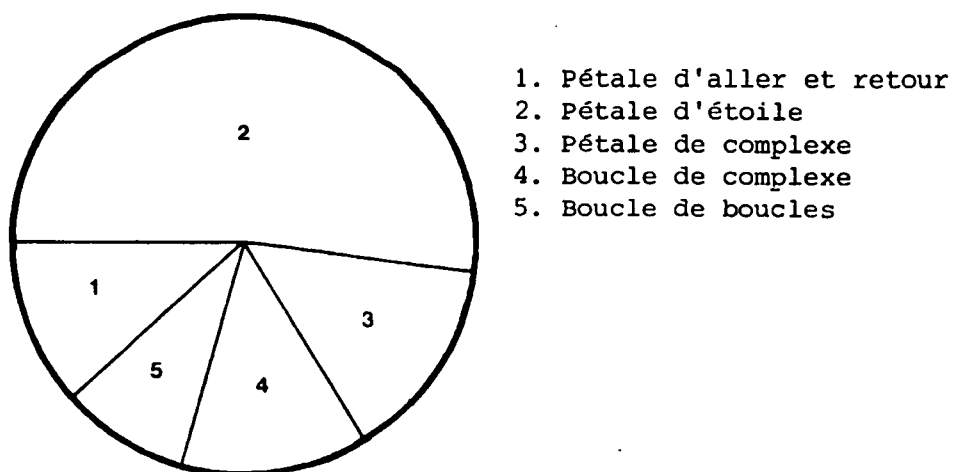
	Structure des déplacements	Forme de la sortie
	Aller et retour	Pétale d'aller et retour
	Etoile	Pétale d'étoile
	Complexe	1. Pétale de complexe 2. Boucle de complexe
	Boucles	Boucle de boucles

FIGURE 6.9 : Poids des différentes formes de sortie



ment dans la surreprésentation des distances de plus de 10 km en ce qui concerne la longueur du plus grand déplacement de la sortie. Une hiérarchie, basée sur l'utilisation de l'espace (sous les deux aspects de distance et de complexité), se dégage ainsi.

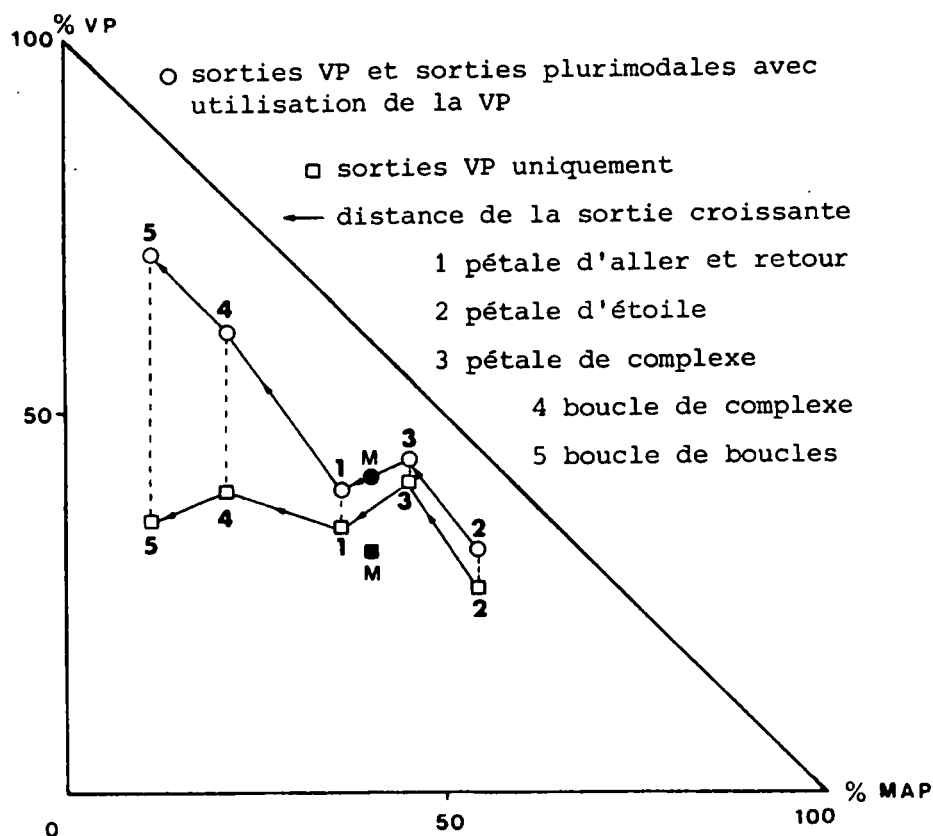
TABLEAU 6.10 : Distance moyenne par type de sortie (km)

	Pétale d'étoile	Pétale de complexe	Pétale d'aller et retour	Boucle de complexe	Boucle de boucles	Ensemble
Distance de la sortie	5,8	6,1	10,3	13,2	20,9	8,8
Distance moyenne par déplacement	3,0	3,1	5,3	4,1	5,2	3,9

L'examen de l'usage des modes permet de préciser la description des cinq formes de sortie. Remarquons tout d'abord que plusieurs modes peuvent être utilisés au cours d'une même sortie : 14 % des sorties sont ainsi pluri-modales (10 % avec recours à la voiture, 4 % sans), les deux tiers étant de forme boucle de complexe ou boucle de boucles. Complexification de l'usage des modes et de l'usage de l'espace vont ainsi de pair.

L'arbitrage marche à pied/automobile oppose nettement pétales et boucles (figure 6.10). La forme pétale d'aller et retour se trouve cependant dans une position médiane et s'accompagne d'un fort usage des autres modes de transport. Mais si la part des sorties pédestres diminue logiquement lorsque la distance moyenne de la sortie augmente, ce n'est guère au profit des sorties exclusivement automobiles : l'utilisation de la voiture se fait de plus en plus à travers des sorties pluri-modales.

FIGURE 6.10 : Arbitrage entre marche et automobile, selon la forme de la sortie



3.3 - Forme de la sortie et consommation d'énergie

Les consommations moyennes tous modes présentées dans le tableau 6.11 reflètent parfaitement les observations précédentes. En particulier, la hiérarchie des formes de sortie fondée sur la richesse de l'usage de l'espace subsiste.

TABLEAU 6.11 : Consommation moyenne tous modes, selon le type de sortie

	Pétale d'étoile	Pétale de complexe	Pétale d'aller et retour	Boucle de complexe	Boucle de boucles	Ensemble
Consommation (indice)	60	78	102	163	262	100

Si l'on se limite aux sorties purement automobiles (32 % de l'ensemble), l'examen des consommations kilométriques ne bouleverse pas cette hiérarchie en dépit d'une inversion des deux types de boucle (tableau 6.12). Leur éventail est cependant très resserré, deux phénomènes jouant en sens inverse :

- la part de la surconsommation s'abaisse, du fait de l'accroissement des distances, mais aussi parce que les boucles diminuent le poids des démarrages à froid ;
- l'usage de la voiture est de moins en moins collectif. Plus la forme de la sortie est complexe et donc les activités pratiquées sont nombreuses, plus il est difficile d'accorder les programmes d'activité de plusieurs individus.

TABLEAU 6.12 : Consommation kilométrique, part de la surconsommation et équivalent énergétique du taux d'occupation, selon la forme de la sortie : sorties automobiles

	Pétale d'étoile	Pétale de complexe	Pétale d'aller et retour	Boucle de complexe	Boucle de boucles	Ensemble
Consommation kilométrique (indice)	104	104	98	96	97	100
Surconsommation (%)	26	28	26	21	20	24
EETO	1,28	1,30	1,31	1,27	1,21	1,26

3.4 - Synthèse

Les spécificités de chaque forme de sortie se dessinent maintenant plus clairement :

- les sorties pétale d'étoile correspondent à une fréquentation essentiellement pédestre des environs proches du domicile et sont donc peu consommatrices ;
- les sorties pétale de complexe se distinguent des précédentes par un usage de la voiture et des modes motorisés plus important, la distance restant faible. Leur consommation tous modes est donc plus élevée, surtout rapportée à la distance parcourue ;
- les sorties pétale d'aller et retour se caractérisent, par rapport aux autres sorties en pétale, par l'éloignement du domicile et, en conséquence, un accroissement de l'utilisation de la voiture

mais aussi des autres modes motorisés. Leur consommation moyenne tous modes, comme d'ailleurs la plupart des indicateurs, les rapproche de la moyenne de l'ensemble des sorties ;

- avec les sorties boucle de complexe, l'affranchissement vis-à-vis du domicile se conforte. L'usage de l'espace s'enrichit par l'apparition de déplacements secondaires et l'usage des modes devient plus complexe. La consommation tous modes augmente nettement, en dépit d'une faible consommation kilométrique automobile ;
- enfin, les sorties boucle de boucles, regroupant en moyenne quatre déplacements, voient pratiquement disparaître le rôle central du domicile. Les distances s'accroissent considérablement et, la voiture (à travers surtout les sorties pluri-modales) étant plus employée, la consommation tous modes atteint des valeurs extrêmes. Toutefois, la consommation kilométrique automobile demeure faible, bien que l'usage de la voiture soit plus personnel que pour les autres sorties.

L'analyse des formes de sortie (comme d'ailleurs celle des motifs de déplacement) conduit à la mise en évidence de groupes présentant des consommations moyennes très contrastées. Mais sorties et déplacements résultent d'actions réalisées par des individus, ils sont le produit et le révélateur de comportements. Aussi convient-il maintenant de s'attacher aux individus.

II - LES BUDGETS ENERGETIQUES TRANSPORT

Le budget énergétique transport cumule, pour un individu, les dépenses d'énergie enregistrées dans les trois modes motorisés, un jour de semaine. Il est ainsi un excellent révélateur des inégalités de consommation entre individus. Ces inégalités une fois mises en évidence, nous essaierons de les référer à diverses caractéristiques socio-économiques (lieu d'habitat, sexe, ...).

1 - SOUS LE SIGNE DE L'INEGALITE

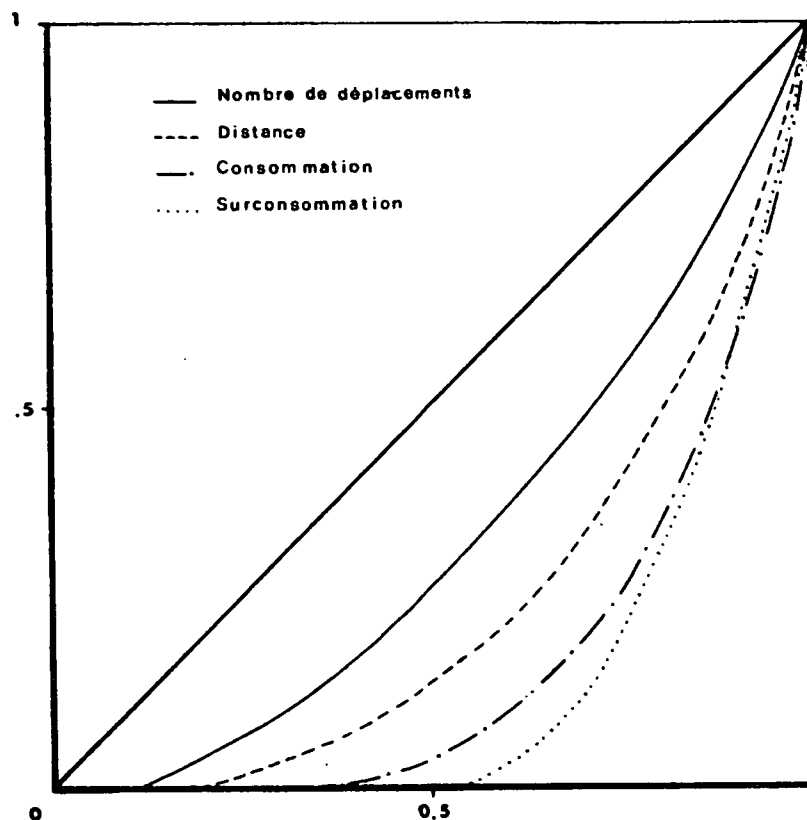
Le tracé de la courbe de concentration (ou courbe de LORENZ) de la distribution de la consommation d'énergie permet de révéler les inégalités entre individus. Une fois les individus ordonnés par consommation croissante, cette courbe reflète la variation de la part relative d'énergie consommée par les i % d'individus les plus économes lorsque i croît de 0 à 100.

La figure 6.11 regroupe les courbes de concentration relatives à divers indicateurs de mobilité (pour l'ensemble de la population et tous modes confondus). L'inégalité, déjà élevée lorsque l'on considère le nombre de déplacements quotidiens, ne fait qu'augmenter lorsque l'on raisonne en termes de distance, puis de consommation et enfin de surconsommation. Ainsi l'écart de mobilité entre les deux moitiés de la population se monte successivement à 3, 6, 24 et ... l'infini (la surconsommation automobile concerne moins de 50 % de la population). Réciproquement, 29 % des individus effectuent la moitié des déplacements, mais ils ne sont plus que 19 % à parcourir la moitié des distances et 13 % à s'attribuer la moitié de la consommation (et de la surconsommation). Le raisonnement en termes énergétiques exacerbe les disparités.

L'usage de la voiture explique dans une large mesure ce phénomène. La figure 6.12 reprend les quatre indicateurs précédents, mais en se limitant à la seule mobilité automobile. Les quatre courbes se sont nettement rapprochées : de 11 à 13 % des individus concentrent la moitié de cette mobilité. Mais c'est au prix d'un fort accroissement de l'inégalité globale : plus d'un individu sur deux n'accède pas à l'automobile.

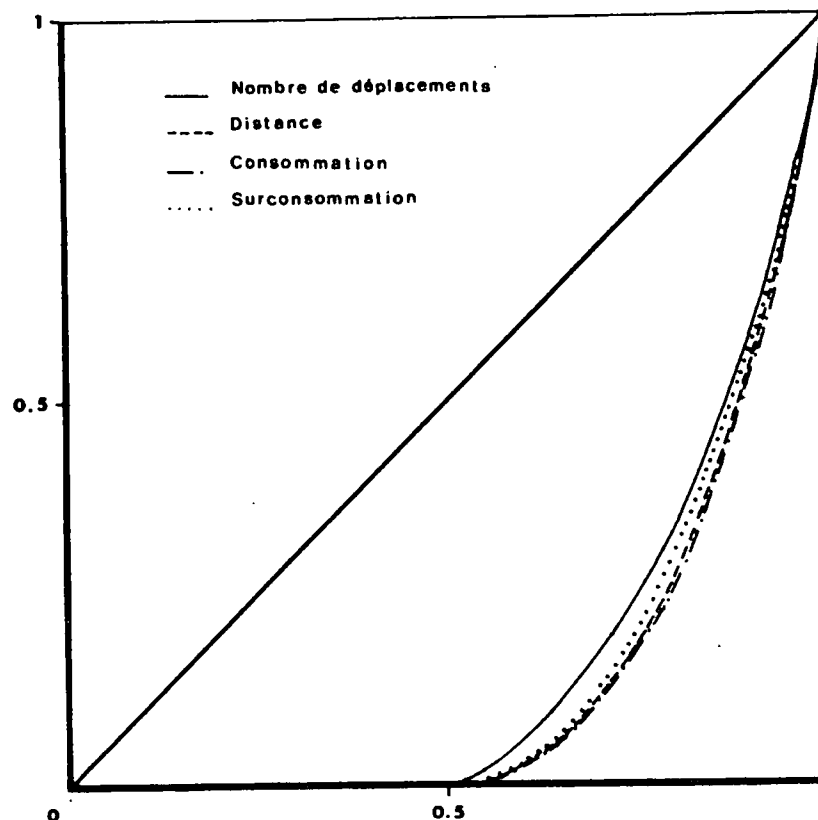
Une courbe de concentration identique aux précédentes mais ne concernant plus que les utilisateurs de la voiture (c'est-à-dire ayant emprunté au moins une fois une automobile durant la journée) confirmerait que les inégalités sont moins marquées entre ces individus. Les écarts observés dans la figure 6.11 naissent ainsi plus de la possibilité d'accès à la voiture que de son utilisation, une fois cet accès assuré.

FIGURE 6.11 : Courbes de LORENZ, pour différents indicateurs de mobilité tous modes (tous individus)



COURBE DE LORENZ : les 50 % d'individus se déplaçant le moins effectuent 27 % des déplacements (tous individus)

FIGURE 6.12 : Courbes de LORENZ, pour différents indicateurs de mobilité automobile (tous individus)



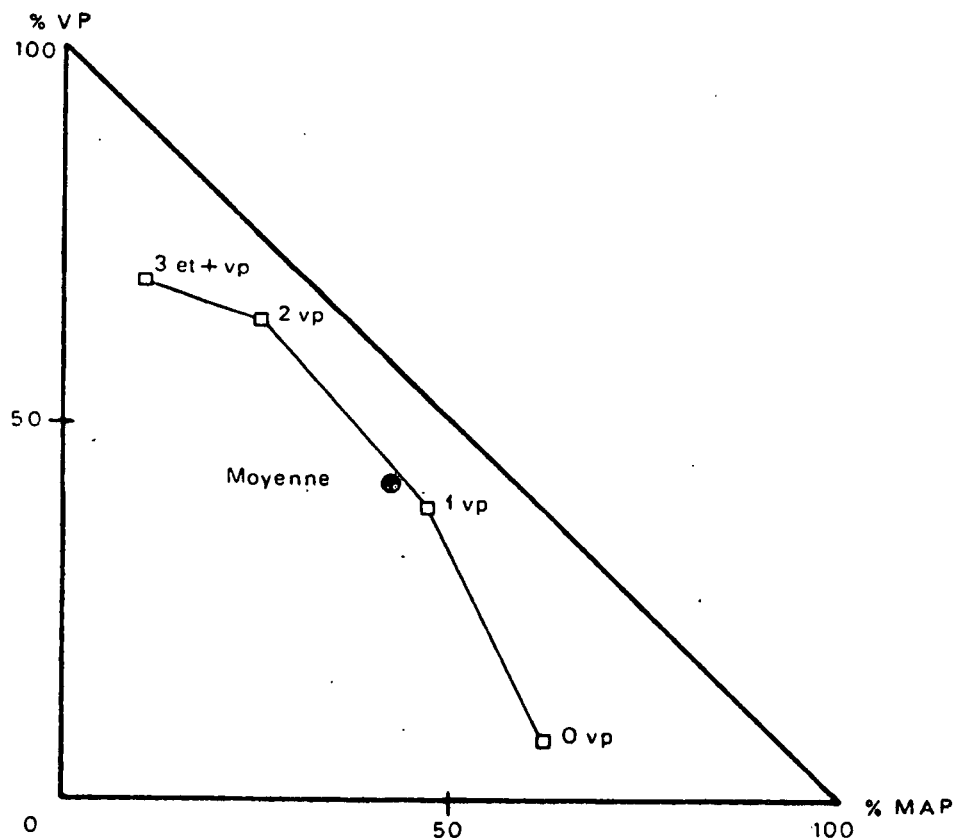
COURBE DE LORENZ : les 50 % d'individus qui se déplacent le moins en VP effectuent 0 % des déplacements VP (tous individus, déplacements VP)

2 - LE NOMBRE DE VOITURE DU MENAGE

Le nombre de voiture du ménage n'est qu'un pis aller lorsqu'il s'agit d'évaluer les possibilités d'accès de l'individu à un véhicule particulier. Toutefois faute d'avoir enregistré lors de l'enquête la disponibilité effective d'une automobile à chaque instant de la journée il nous faudra nous en satisfaire.

Les comportements varient fortement d'un groupe à l'autre et l'usage des modes se ressent de l'équipement du ménage en automobile (figure 6.13). Les individus issus de ménages non motorisés se déplacent principalement à pied, le recours à la voiture étant rare. A l'opposé, ceux appartenant à des ménages tri-motorisés se servent essentiellement de la voiture, emploient notablement les transports collectifs mais délaissent la marche. Les utilisateurs de la voiture ne sont d'ailleurs que 13 % dans le premier groupe et 85 % dans le dernier.

FIGURE 6.13 : Arbitrage entre marche et automobile, selon le nombre de voiture du ménage.



Dans le même temps où il augmente, l'usage de la voiture se modifie (tableau 6.13). Il devient moins collectif, mais également moins tributaire de la surconsommation.

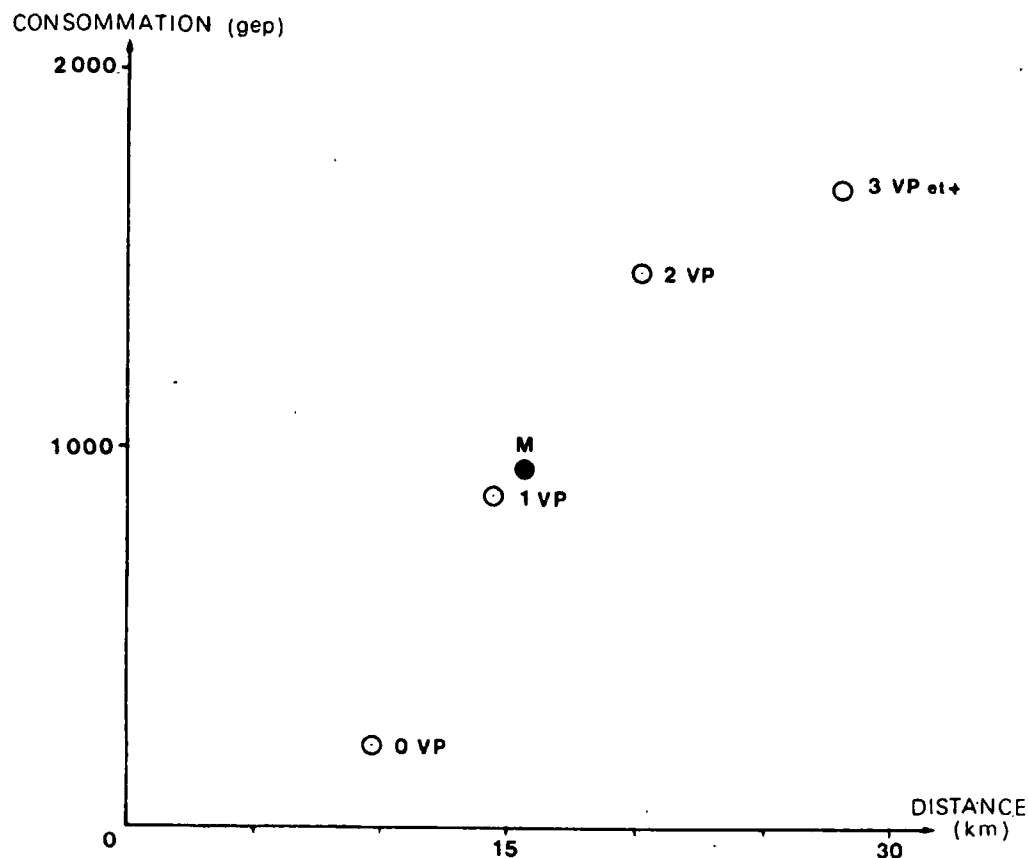
TABLEAU 6.13 : Surconsommation et équivalent énergétique du taux d'occupation, selon le nombre de voiture du ménage.

	0 VP	1 VP	2 VP	3 VP et +
Surconsommation (%)	34	24	24	21
EETO	2,07	1,27	1,23	1,28

Rien d'étonnant alors à ce que le budget énergétique croisse avec l'équipement du ménage en automobile (figure 6.14), cette croissance étant d'ailleurs plus sensible lors de l'accès à la mono-motorisation (le budget est multiplié par 4) pour s'ame- nuiser lors du passage à la bi, puis à la tri-motorisation. Le budget distance, en dépit d'une augmentation concomittante du nom- bre de déplacements quotidiens et de la distance moyenne par déplacement évolue moins rapidement (sauf lors de l'acquisition du 3ème véhicule, du fait du fort usage des transports collectifs).

L'accroissement du budget énergétique transport des individus est donc bien le produit d'un double phénomène, allonge- ment des distances et recours à des modes plus consommateurs, lorsque le ménage dispose de plus en plus de véhicules.

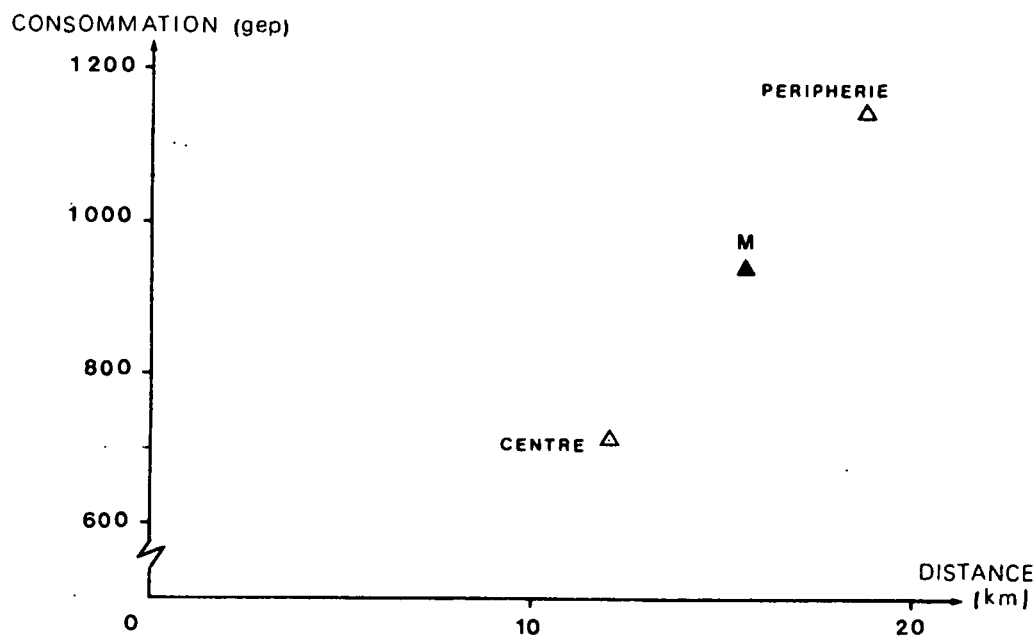
FIGURE 6.14 : Budgets consommation et distance, selon le nombre de voiture du ménage.



3 - LE LIEU D'HABITAT

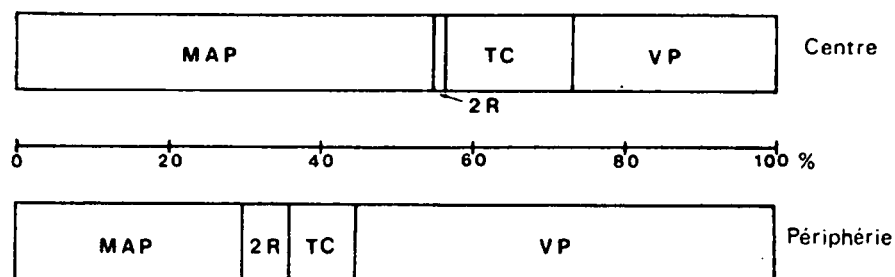
Le nombre de voiture du ménage est très lié à la localisation de son lieu d'habitat. Entre les deux communes centre (Lyon et Villeurbanne) et la périphérie de l'agglomération, le taux de motorisation moyen passe de 0,83 à 1,26 et les budgets énergétiques tous modes sont multipliés par 1,6 (figure 6.15). Le rapport des budgets distances est du même ordre, en dépit d'un nombre moyen de déplacements légèrement plus élevé chez les habitants du centre (et donc d'une distance moyenne par déplacement beaucoup plus faible).

FIGURE 6.15 : Budgets consommation et distance, selon le lieu d'habitat.



Simultanément, la répartition modale est profondément bouleversée entre les deux zones : la marche et l'automobile y jouent, pratiquement, des rôles symétriques (figure 6.16). Les utilisateurs de la voiture particulière ne regroupent ainsi que 40 % des individus résidant dans le centre mais 56 % des habitants de la périphérie.

FIGURE 6.16 : Répartition modale des déplacements, selon le lieu d'habitat.



On pourrait alors s'attendre à ce que l'analyse en termes énergétiques amplifie les écarts observés entre distances. Or nous avons vu que ce n'était pas le cas. La raison en est à chercher dans l'usage plus fréquent des transports collectifs dans le centre, mais surtout dans l'efficacité énergétique de l'automobile : la consommation kilométrique est plus élevée d'un tiers au centre. Deux facteurs l'expliquent (tableau 6 .14) :

- la surconsommation est sensiblement plus élevée pour les habitants du centre, du fait notamment de distances moyennes par déplacement automobile plus faibles (5,1 km contre 6,4 km) ;
- l'utilisation de la voiture est plus collective en périphérie.

TABLEAU 6.14 : Surconsommation et équivalent énergétique du taux d'occupation, selon le lieu d'habitat.

	Centre	Périphérie
Surconsommation (%)	26	23
EETO	1,18	1,31

Il conviendrait de mieux cerner l'influence de la localisation du domicile, notamment en isolant des zones homogènes (vis à vis des niveaux d'offre urbaine) en périphérie. Cette étude n'ayant pu être menée à bien avec les données disponibles, on notera tout de même que la typologie très pauvre retenue ici conduit cependant à des écarts de consommation très marqués.

4 - LE SEXE DE L'INDIVIDU

Le nombre de voiture du ménage comme le lieu d'habitat permettaient d'isoler des individus dont les ménages étaient en situation contrastée vis-à-vis de la possession de véhicules particuliers. Avec le sexe, nous touchons à l'usage et à l'affectation de ces voitures au sein même du ménage.

En moyenne, les hommes consomment deux fois plus que les femmes, pour une distance supérieure de 50 %. L'écart entre les deux taux de croissance est lié à l'usage de la voiture. Alors que 56 % des hommes mais seulement 41 % des femmes ont effectué au moins un déplacement automobile, la répartition modale est nettement en faveur de la voiture chez les hommes (plus d'1 déplacement

sur 2) ce qui n'est pas le cas chez les femmes (1 sur 3 en voiture et 1 sur 2 à pied). Cette utilisation plus élevée chez les hommes s'accompagne d'une plus mauvaise efficacité énergétique : le rapport des consommations kilométriques est de 1,15, l'équivalent énergétique du taux d'occupation étant dans un rapport similaire .

L'affectation prioritaire d'un véhicule particulier aux hommes se retrouve quelque soit le nombre de voiture du ménage (figure 6.17). Le cas des ménages monomotorisés est alors exemplaire : que l'on regarde le pourcentage d'utilisateurs de la voiture, l'arbitrage entre les modes (figure 6.18) ou l'équivalent énergétique du taux d'occupation (tableau 6.15), les différences entre sexes sont fortement amplifiées dans ce type de ménage. Nous retrouvons ici certaines des conclusions émises dans le cadre des travaux de l'IRT sur Dijon (AVEROUS et alii, 1979) à propos de l'usage des automobiles. Possession d'un véhicule par le ménage n'est guère synonyme de disponibilité de cette automobile pour les femmes.

FIGURE 6.17 : Taux d'utilisateurs de la voiture, selon le sexe et le nombre de voiture du ménage.

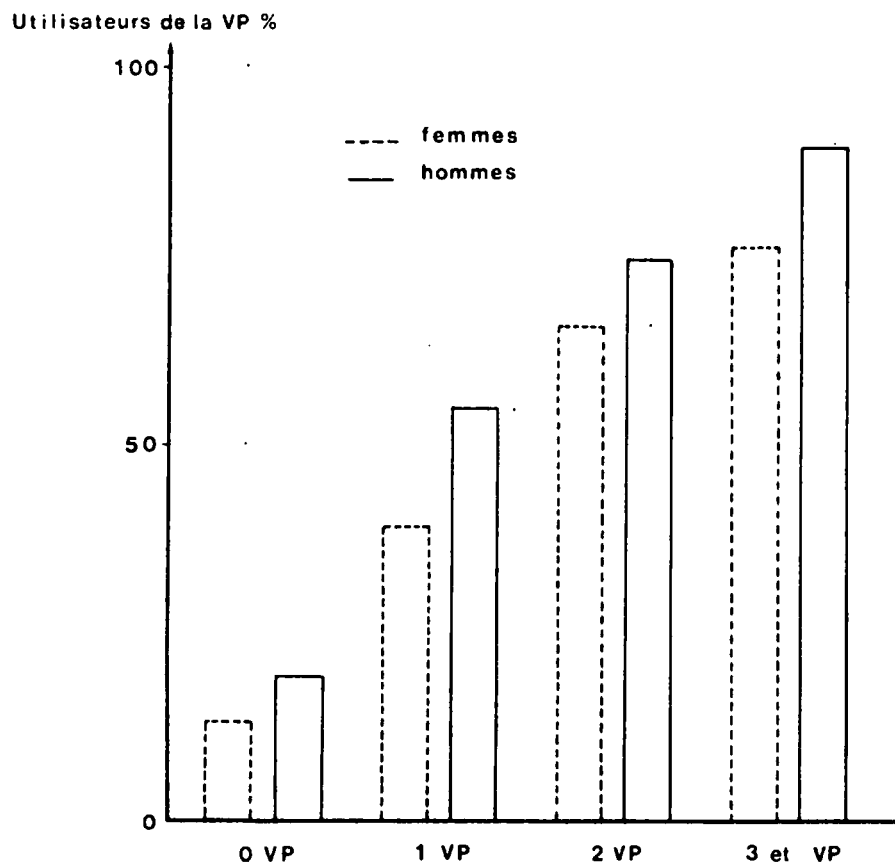


FIGURE 6.18 : Arbitrage entre marche et automobile, selon le sexe et le nombre de voiture du ménage.

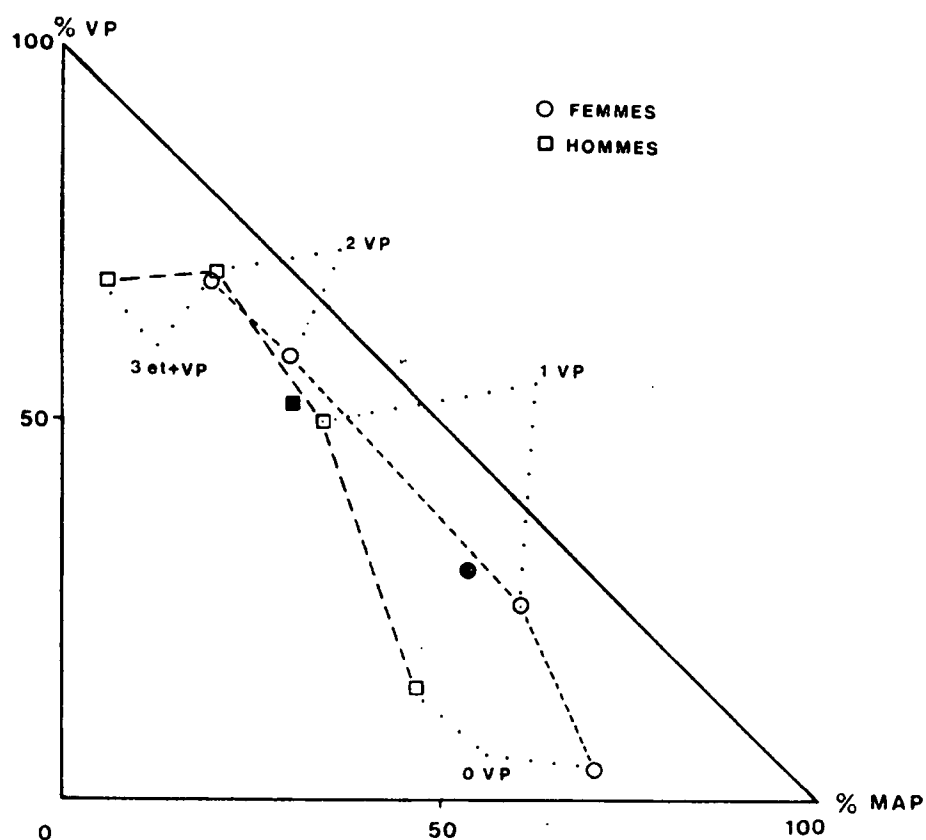
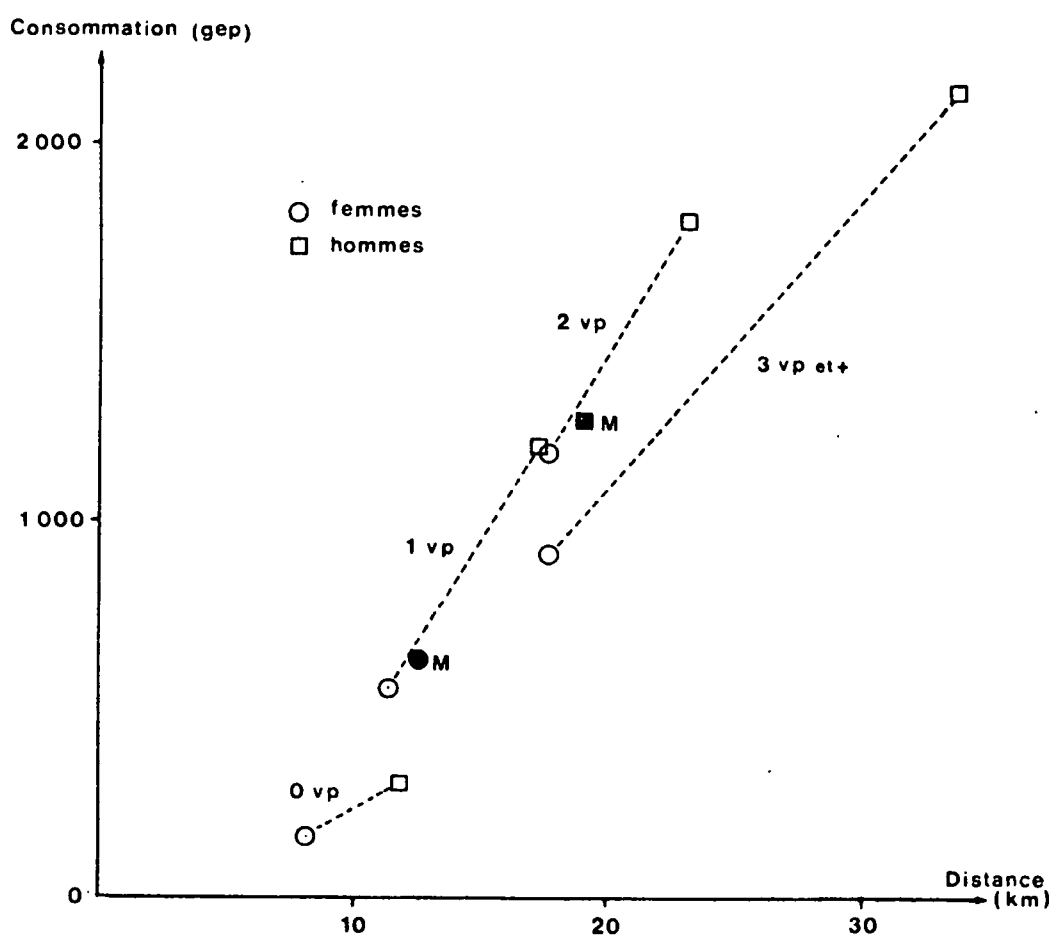


TABLEAU 6.15 : Equivalent énergétique du taux d'occupation, selon le sexe et le nombre de voiture du ménage.

Nombre de voiture	0	1	2	3 et +
Femmes	2,10	1,44	1,30	1,75
Hommes	2,06	1,19	1,18	1,20

Ainsi, au delà des écarts (de consommation, mais aussi de distance) entre individus résultant de décisions structurelles de leurs ménages d'appartenance (taux d'équipement, localisation du domicile, ...), des inégalités sensibles existent entre membres d'un même ménage. Il est ainsi symptomatique de constater que les hommes appartenant à des ménages monotorisés consomment deux fois plus d'énergie que leurs compagnes, mais autant que les femmes dont le ménage possède deux voitures (figure 6 .19). Bien que ceci ne soit que le reflet d'interdépendances familiales (DE LA MORSANGLIERE, 1982), il n'en demeure pas moins qu'en rester aux seules caractéristiques matérielles du ménage est insuffisant. Les disparités entre individus sont, aussi, la conséquence de leurs caractéristiques socio-économiques propres.

FIGURE 6 .19 : Budgets consommation et distance, selon le sexe et le nombre de voiture du ménage.



5 - LE STATUT DE L'INDIVIDU

Le statut de l'individu est issu de la combinaison de trois variables de base :

- le type d'activité professionnelle recensé en quatre catégories : actif, scolaire, retraité, inactif (la distinction des scolaires et des retraités permet également d'isoler des effets d'âge) ;
- le sexe de l'individu ;
- la présence d'enfant(s) de moins de 16 ans dans le ménage (pour les deux seules catégories d'actifs et d'inactifs).

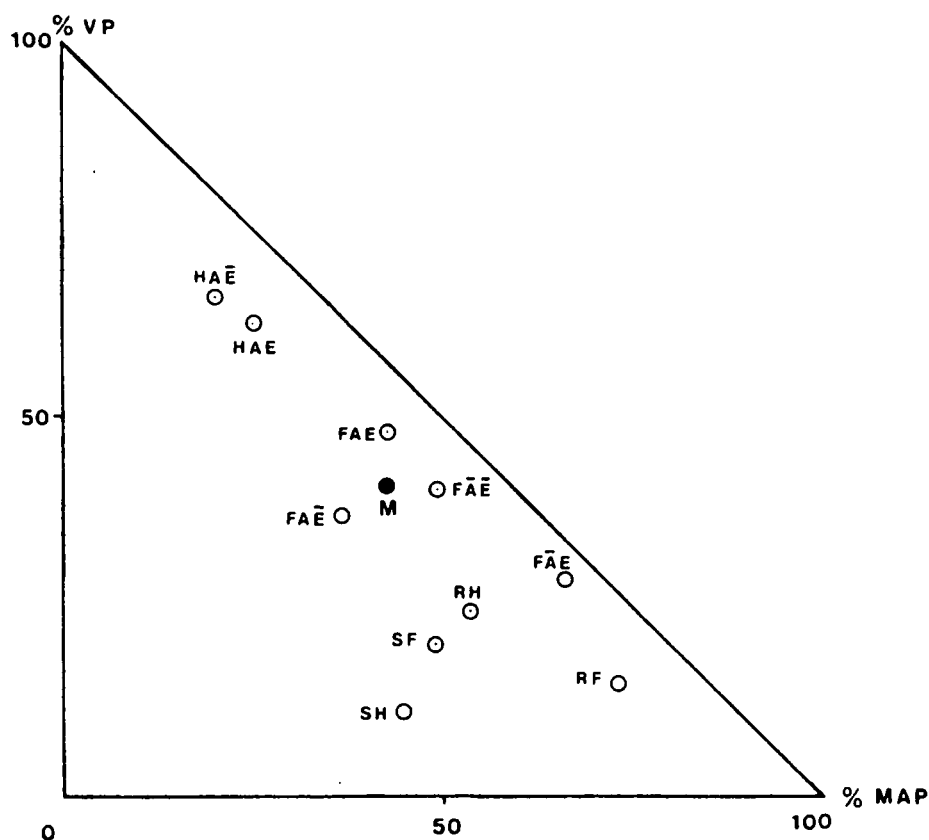
Dix catégories apparaissent ainsi :

Actif	homme	sans enfant	(HAE) : 15 %	de la population
		avec enfant	(HAE) : 19 %	"
	femme	sans enfant	(FAE) : 11 %	"
		avec enfant	(FAE) : 7 %	"
Scolaire	homme		(SH) : 6 %	"
	femme		(SF) : 9 %	"
Retraité	homme		(RH) : 8 %	"
	femme		(RF) : 9 %	"
Inactif	femme	sans enfant	(FAE) : 5 %	"
		avec enfant	(FAE) : 11 %	"

5.1 - Caractérisation des différents types

Une étude antérieure (PLAT, 1982) nous avait permis de caractériser les comportements des différents statuts. Nous en reprenons ici les principaux éléments. La mobilité renverra ici au nombre moyen de déplacements durant la journée. Rappelons que les activités contraintes regroupent le travail, les travaux ménagers et les achats alors que les activités non contraintes sont constituées des loisirs, de la télévision et de la vie sociale (cf. chapitre I). Enfin la figure 6.20 précise l'arbitrage entre marche et automobile.

FIGURE 6.20 : Arbitrage entre marche et automobile, selon le statut.



Les hommes actifs sans enfant ont une forte mobilité, liée principalement au travail. Ils consacrent un temps important aux activités contraintes et, tout en ayant un budget temps de transport élevé, ils passent plus de neuf heures hors de leur domicile. La VP est leur mode préférentiel.

Les hommes actifs avec enfant(s) ont une mobilité moyenne, essentiellement structurée autour du travail. Leur budget temps de transport est également moyen, mais ils passent un temps élevé hors du domicile. Ils utilisent beaucoup la voiture.

Les femmes actives sans enfant se déplacent principalement pour le travail et les achats. Elles ont légèrement plus d'activités contraintes que la moyenne de la population. Le temps qu'elles passent hors de leur domicile, tout en étant supérieur au temps moyen de l'échantillon, est cependant nettement plus faible que celui de leurs homologues masculins. Elles se partagent entre la marche, la voiture et, à un moindre degré toutefois, les transports en commun.

Les femmes actives avec enfant(s) constituent le groupe ayant le plus d'activités contraintes. Leur mobilité est élevée et le travail y tient une plus petite place que chez les autres actifs. Marche et voiture sont les deux modes principaux.

Les scolaires hommes ont une faible mobilité, due presque uniquement aux déplacements domicile-école. Ils sont le seul groupe à utiliser notablement les deux roues (un déplacement sur cinq) mais ils se déplacent surtout pédestrement.

Les scolaires femmes se déplacent nettement plus que les hommes et passent un temps non négligeable hors domicile. Elles font un déplacement sur deux à pied et un sur quatre en transports collectifs.

Les retraités hommes se déplacent beaucoup pour achats, en dépit d'une mobilité très faible. Leur budget temps de transport est très élevé, dû notamment à des promenades. La marche est leur mode de prédilection, loin devant la voiture.

Les retraitées femmes consacrent beaucoup de temps aux activités non contraintes, moins toutefois que les retraités hommes. Leur budget temps de transport et leur mobilité sont très faibles et elles passent un temps important au domicile. Elles font trois déplacements sur quatre à pied.

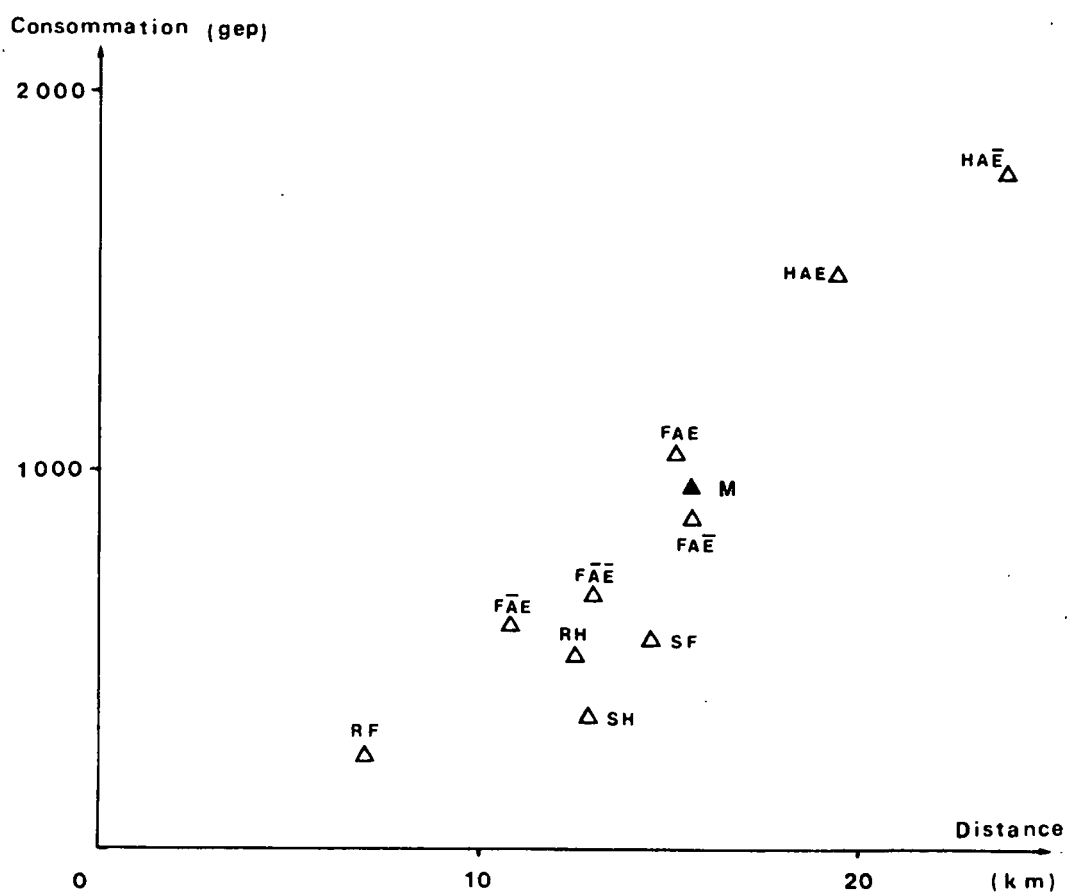
Les femmes inactives sans enfant ont également une assez faible mobilité, articulée essentiellement autour des achats. Elles passent peu de temps hors du domicile et lorsqu'elles se déplacent, elles utilisent la marche ou la voiture.

Les femmes inactives avec enfant(s) constituent le groupe le plus mobile. Elles ont un budget temps de transport important, pour un temps hors domicile très faible. Elles font beaucoup d'achats mais également beaucoup de services passager. Deux fois sur trois elles se déplacent à pied.

5.2 - Les budgets

Entre les deux catégories extrêmes (hommes actifs sans enfant et retraitées femmes), le budget consommation est multiplié par 7,5 et le budget distance par 1,8 (figure 6.21). Les actifs sont plus consommateurs (d'espace et d'énergie) que les autres catégories et les hommes que les femmes (mais nous le savions déjà). La présence d'enfant ne joue pas de la même manière chez tous les individus : si elle semble systématiquement réduire les distances parcourues, elle se traduit chez les femmes actives par un accroissement significatif du budget consommation alors qu'au contraire

FIGURE 6.21 : Budgets consommation et distance, selon le statut



pour les hommes actifs et les femmes inactives on note sa diminution. Ces femmes se singularisaient déjà en matière d'arbitrage modal (figure 6.20) : une substitution partielle de la voiture par les transports collectifs s'y remarque en effet pour celles sans enfant, du fait essentiellement de l'équipement automobile du ménage d'appartenance. Le quart des femmes actives sans enfant est issu de ménages non motorisés alors que pour les autres catégories d'adultes (hors retraités), ce pourcentage ne dépasse pas 12 %.

Si, en termes de consommation, la voiture est toujours le premier mode, sa part varie sensiblement. De 95 % chez les hommes actifs et les femmes avec enfant, elle n'est plus que de 80 à 90 % chez les femmes sans enfant et les retraités (au profit des transports collectifs) pour atteindre 70 % chez les scolaires femmes (toujours au profit des transports collectifs) et tomber à 45 % chez les scolaires hommes (en faveur des transports collectifs et des deux roues). Cette substitution de la voiture par des modes plus économes se retrouve nécessairement dans les budgets.

Enfin, l'usage de la voiture n'est pas homogène (tableau 6.16) :

- les utilisateurs de la voiture sont majoritaires dans certains statuts (hommes actifs), rares dans d'autres (retraités et scolaires) ;
- l'utilisation du véhicule est tantôt très personnelle (hommes actifs), tantôt très collective. En dépit d'un poids de la surconsommation assez stable, la consommation kilométrique présente donc une grande variabilité.

TABLEAU 6.16 : Utilisateurs de la voiture, équivalent énergétique du taux d'occupation et consommation kilométrique, selon le statut.

	HAE	HAE	FAE	FAE	SH	SF	RH	RF	FÂE	FÂE
Utilisateurs %	72	64	47	58	20	33	36	22	51	42
EETO	1,19	1,16	1,33	1,31	1,76	1,46	1,38	1,66	1,51	1,39
Consommation kilométrique	104	110	98	97	71	91	90	74	78	94

Les individus ayant une consommation kilométrique élevée étant également ceux utilisant le plus la voiture (tableau 6.17), les écarts sont encore amplifiés lorsque l'on observe les budgets énergétiques automobiles (des individus l'ayant utilisée).

TABLEAU 6.17 : Nombre de déplacements, budget distance et budget consommation imputables à la voiture pour ses utilisateurs, selon le statut.

	HAĒ	HAE	FAĒ	FAE	SH	SF	RH	RF	FĀĒ	FĀE
Nombre de déplacements	4,1	3,9	3,3	3,4	1,8	2,5	2,3	2,1	2,7	2,5
Budget distance (km)	25,5	23,4	18,3	20,3	11,5	14,7	14,6	14,1	16,9	16,2
Budget consommation (indice)	130	127	89	97	40	66	65	51	65	75

La forte croissance des budgets énergétiques transport entre les catégories extrêmes résulte ainsi de la conjonction de trois phénomènes :

- une augmentation de la mobilité aussi bien en termes de nombre de déplacements que de distance,
- un double glissement de la marche vers les modes motorisés et des modes motorisés les plus économes vers la voiture,
- un usage de la voiture moins efficace (notamment plus personnel).

La hiérarchie entre statuts qui découle des consommations énergétiques peut être référée aux pratiques d'activités des individus. Les plus consommateurs (hommes actifs) sont ceux qui effectuent le plus de déplacements liés au travail alors qu'à l'opposé une mobilité principalement liée aux achats (retraités) ou à l'école (scolaires) se traduira par une faible dépense énergétique. Parce qu'entre statut et structure des déplacements par motif existe une relation forte, les écarts entre consommations moyennes par motif se retrouvent partiellement entre statuts, nuancés toutefois par la prise en compte de caractéristiques individuelles (le sexe).

6 - LA STRUCTURE SPATIALE DES DEPLACEMENTS

La structure spatiale des déplacements permet une appréhension très simplifiée de la dimension spatiale des programmes d'activité. L'ayant présentée dans la précédente section (3.1), nous nous contenterons de rappeler que nous l'avons saisie à partir de 4 types (les 5 % d'individus ne s'étant pas déplacés sont bien évidemment écartés ici) :

- aller et retour (24 % des individus)
- étoile (39 % des individus)
- boucles (16 % des individus)
- complexe (21 % des individus).

Près de deux individus sur trois n'effectuent donc que des pétales durant la journée. Les personnes se déplaçant en "étoile" sortent en moyenne 2,5 fois du domicile, autant que celles réalisant une structure "complexe".

L'arbitrage entre marche et voiture (figure 6.22) est conforme à ce que l'étude des formes de sortie laissait entrevoir. La prééminence de la voiture pour les sorties en boucle et de la marche pour les sorties en pétale se traduit parfaitement dans la position des trois types "boucles", "complexe" et "étoile". Le type "aller et retour" semble alors mal situé. L'étude des sorties correspondantes ("pétale d'aller et retour") nous avait montré qu'elles différaient sensiblement des autres sorties en pétale, en particulier par une distance importante. Le facteur distance jouait ainsi à l'encontre de la marche à pied et favorisait le recours à l'automobile.

Mais la structure de la répartition modale masque le nombre de déplacements concernés. Or il varie notablement, de 1,8 par individu pour l'"aller et retour" à 6,3 pour le "complexe" (4,5 pour les deux autres types). Ces écarts importants expliquent que les budgets (consommation et distance) ne s'ordonnent pas en fonction de la place de la voiture dans la répartition modale (figure 6.23). "Boucles" et "complexe" correspondent ainsi à un affranchissement du domicile qui n'est pas seulement qualitatif (à travers les déplacements secondaires) mais aussi quantitatif. Toutefois cet affranchissement passe par un surcoût énergétique : la consommation moyenne par déplacement est multipliée par 1,3 entre le type "aller et retour" et la "boucle" (pour une distance identique).

FIGURE 6.22 : Arbitrage entre marche et automobile, selon la structure spatiale des déplacements.

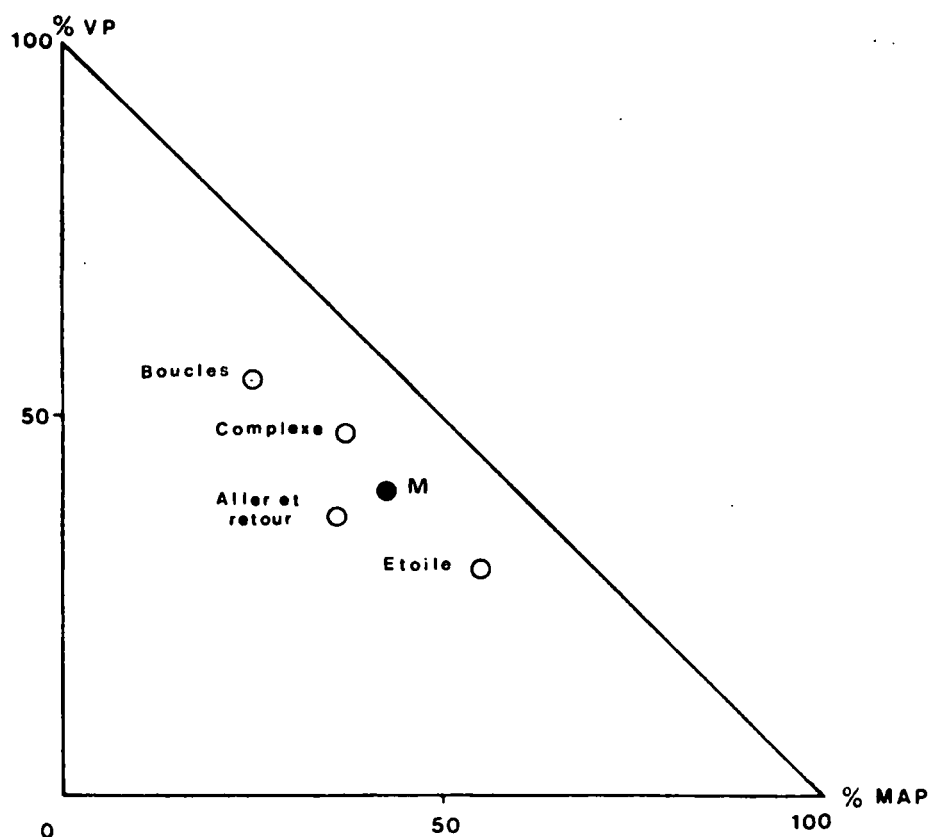
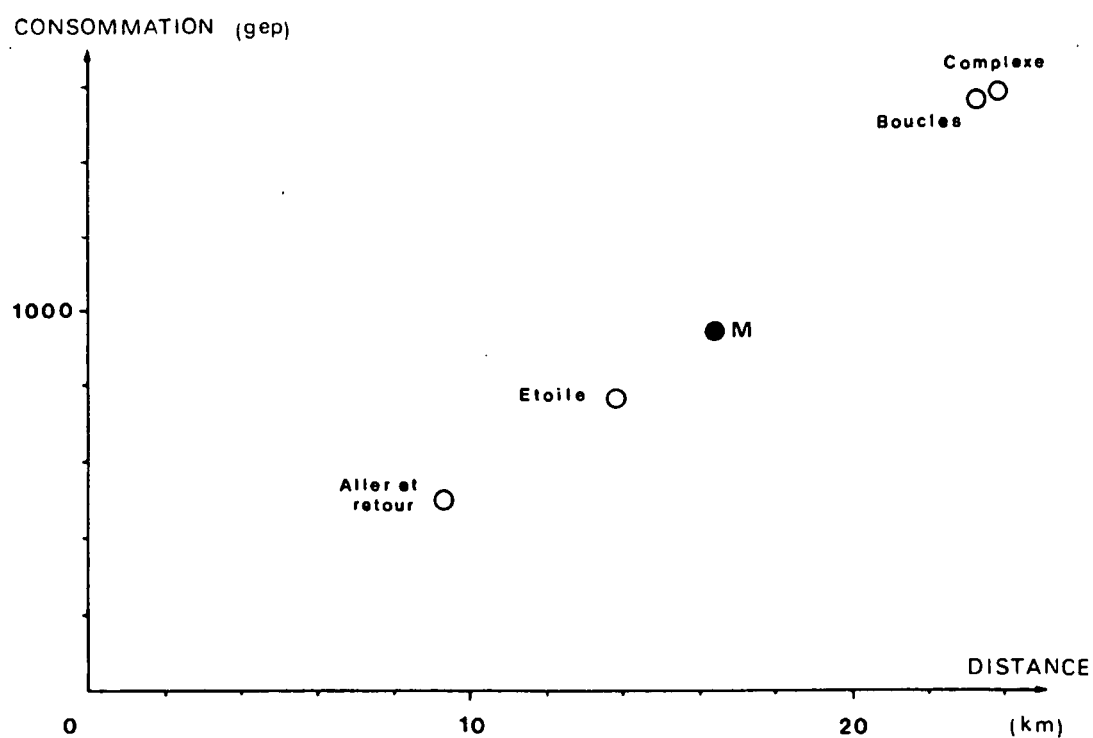


FIGURE 6.23 : Budgets consommation et distance, selon la structure spatiale des déplacements.



L'usage de l'espace, à mesure qu'il s'enrichit, devient donc de plus en plus consommateur d'énergie. L'augmentation corrélative des distances n'en est que partiellement responsable, le recours à la voiture s'accroissant à distance moyenne par déplacement équivalente.

7 - CONCLUSION

L'examen de quelques caractéristiques socio-économiques des individus a fait apparaître des inégalités conséquentes. Entre sexes, entre statuts, comme entre individus de ménages plus ou moins équipés en voiture particulière, des écarts sensibles se révèlent sous l'angle énergétique. Ces écarts ne peuvent être imputés uniquement à des budgets distance hétérogènes, le recours aux différents modes et plus particulièrement l'usage de l'automobile pesant clairement sur la consommation d'énergie.

Mais les quelques caractéristiques étudiées ne sont pas indépendantes. Les ménages de retraités sont plus faiblement motorisés que ceux d'actifs, l'usage de l'espace n'est pas le même au centre et en périphérie. Pour essayer de tenir compte de ces liaisons, nous allons maintenant construire des macro-variables.

CHAPITRE VII

CONSOMMATIONS D'ENERGIE ET PETITS DEPLACEMENTS

Nous avons jusqu'à présent étudié les consommations d'énergie suivant divers critères mais en ne distinguant pas petits et grands déplacements. Il s'est cependant confirmé que la voiture, déjà plus dispendieuse que les autres modes, se révélait fort peu efficace pour les déplacements les plus courts. On peut alors se demander quel potentiel d'économies d'énergie réside dans un report modal de ses déplacements automobiles courts vers, notamment, la marche à pied.

Afin d'évaluer ces économies potentielles, nous allons construire deux macro-variables qui nous permettront de dégager des classes de déplacement et des groupes d'individus homogènes et ainsi de mieux comprendre les mécanismes de formation de cette "micro-mobilité" et les économies à attendre.

I - L'ELABORATION DES MACRO-VARIABLES

La construction des macro-variables passe nécessairement par un approfondissement de la notion de petit déplacement. Si, en effet, nous les voulons pertinentes par rapport à la "micro-mobilité", elles ne peuvent que naître d'une confrontation entre la combinaison de caractéristiques des déplacements ou des individus et la typologie des déplacements basée sur cette notion.

1 - UNE TYPOLOGIE DES DEPLACEMENTS FONDEE SUR LA DISTANCE

La notion de petit déplacement renvoie à un critère de distance : en dessous d'une certaine distance-seuil (qui reste d'ailleurs à déterminer !), le déplacement peut être qualifié de "petit". Il est alors possible d'observer son motif, le mode utilisé ...

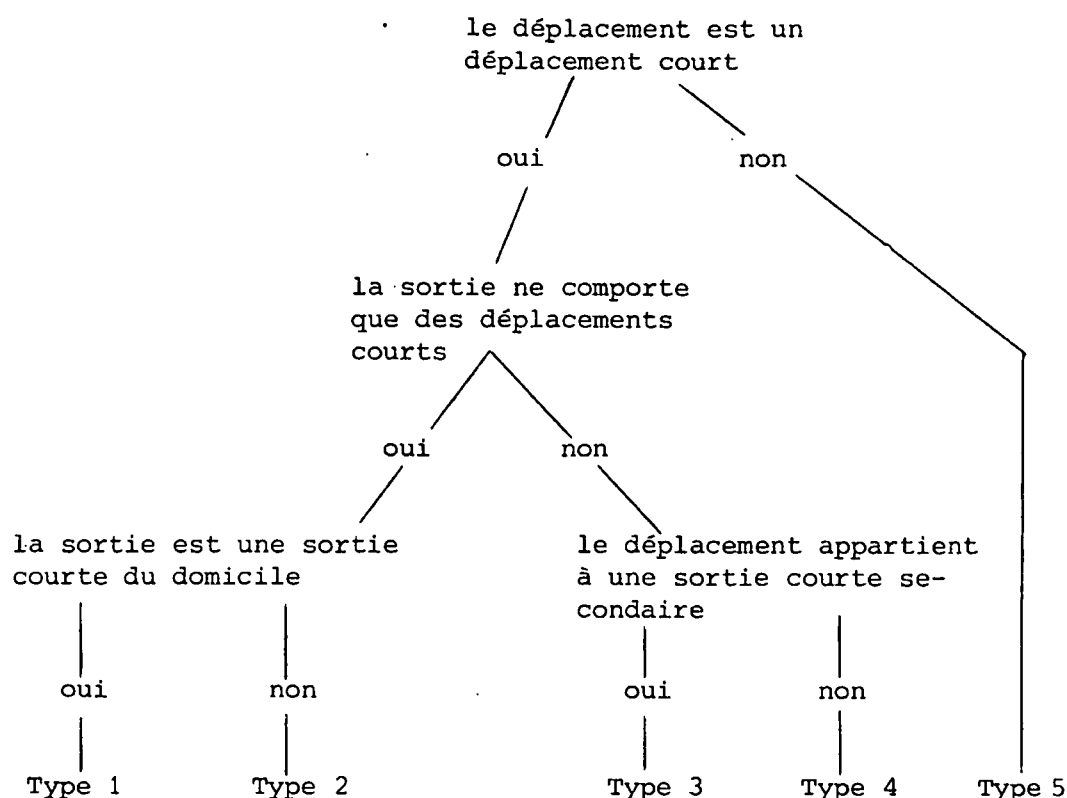
Mais en demeurer à la seule distance du déplacement s'avère insuffisant. Le déplacement s'insère dans une chaîne constituant la sortie du domicile, chaîne dont les maillons sont interdépendants. Le choix modal, par exemple, ne s'effectue pas en fonction des caractéristiques du seul déplacement, mais en y intégrant certains attributs des autres éléments de la chaîne, voire des indicateurs inhérents à la chaîne elle-même : la distance totale à parcourir lors de la sortie est de ceux-ci, la distance du plus long déplacement de ceux-là. D'autres éléments interviennent, bien évidemment, dans le choix modal : nous y reviendrons dans la dernière section.

Enfin, si, comme nous l'avons vu, le domicile est bien le point central autour duquel la plupart des individus structurent leur utilisation du temps et de l'espace, certains lieux, comme le lieu de travail, jouent parfois un rôle de pôle secondaire pour lequel on peut alors définir des sorties secondaires : une sortie du domicile (ou, plus rapidement, sortie) peut ainsi englober une sortie secondaire, organisée autour du lieu de travail.

A partir de ces quelques critères, il est possible de bâtir une typologie des déplacements en cinq catégories (figure 7.1). Les quatre premiers types regroupent les déplacements dont la distance est inférieure à un certain seuil, la différenciation entre eux s'effectuant en fonction des caractéristiques de distance de la sortie à laquelle appartient le déplacement (distance du plus grand déplacement et distance totale).

FIGURE 7.1 : Typologie des déplacements, selon leur distance

On appellera ici déplacement court, un déplacement dont la distance est inférieure à un seuil (restant à définir) et sortie courte (du domicile ou secondaire) une sortie dont la longueur totale est inférieure à une longueur seuil (restant également à définir).



Il reste, pour rendre cette typologie opératoire, à fixer les deux distances seuils qui y sont utilisées. La distance de déplacement peut être évaluée en fonction des distances pédestres, le déplacement court étant alors susceptible d'être effectué à pied par un individu disposant de capacités physiques normales. De même, la distance totale de la sortie peut être prise en référence à la distribution des distances de sortie pédestre.

Nous avons défini deux couples de distance-seuil, afin de mieux mesurer, dans la dernière section, les potentialités d'économies d'énergie. Le couple de référence se présente comme un cas limite, une évaluation optimiste des possibilités de report vers la marche : les deux distances correspondantes (2,4 km pour le déplacement et 3,9 km pour la sortie) permettent en effet de regrouper 90 % des déplacements et des sorties pédestres. Elles sont, d'une certaine manière, des distances pédestres maximales. Le second couple se déduit du précédent : sa distance seuil de sortie correspond à la distance seuil de déplacement du couple de référence

(2,4 km) et sa distance-seuil de déplacement a été prise arbitrairement égale à la moitié de la distance seuil de sortie de référence (1,9 km). 85 % des déplacements et 75 % des sorties pédestres ont des distances inférieures à ces seuils. Ce couple est ainsi moins optimiste : la distance limite de sortie est la distance "maximale" de déplacement.

La figure 7.2 permet tout à la fois d'évaluer le poids des déplacements courts et d'observer les évolutions liées à l'abaissement des distances seuils. Plus d'un déplacement sur deux (dans la solution de référence) est court. Les déplacements courts (dans des sorties courtes (type 1) sont les plus nombreux, quatre fois plus fréquents que les déplacements courts isolés (type 4). Les deux autres types de déplacement court sont beaucoup plus rares. L'abaissement des distances se traduit, bien sûr, par une augmentation du nombre de déplacements longs au détriment de tous les types de déplacements courts. Toutefois, les déplacements qui appartiennent à des sorties longues quoique constituées uniquement de déplacements courts (type 2) voient leur nombre plus que doubler : près de 20 % des déplacements courts inclus dans des sorties courtes de la solution de référence se retrouvent dans ce type. L'abaissement de la distance limite de sortie rééquilibre le poids des différents types de déplacements courts.

2 - LES MACRO-VARIABLES

La méthode de constitution des deux macro-variables (déplacements et individus) est similaire :

- choix des variables de base
- croisement de ces variables et regroupement éventuel de modalités de poids très faibles
- détermination de la typologie définitive, avec un nombre de type réduit, à l'aide de méthodes d'analyse de données (analyse factorielle des correspondances puis classification).

La macro-variable déplacement résulte de la combinaison de trois variables : le mode et le motif du déplacement, la forme de la sortie à laquelle il appartient. La macro-variable individu en regroupe quatre : le lieu d'habitat et le nombre de voiture du ménage, la structure spatiale des déplacements et le statut de l'individu. Après les quelques regroupements dus à des effectifs réduits, elles présentent respectivement 38 et 50 modalités (cf. annexe IV). La figure 7.3 synthétise le schéma de constitution des deux indicateurs.

FIGURE 7.2 : L'effet de l'abaissement des distances seuls
(les flux inférieurs à 1 % de l'échantillon
sont omis)

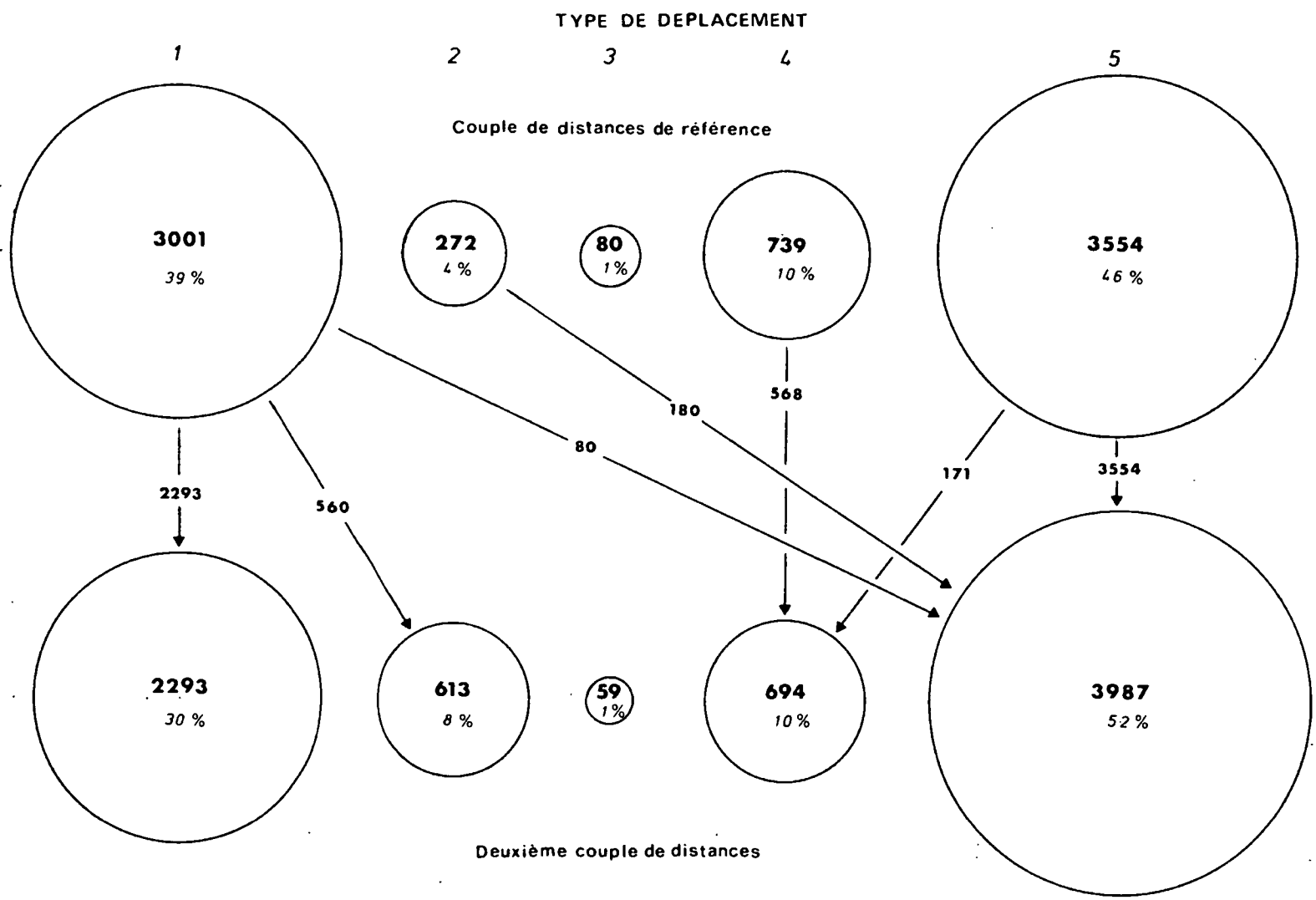


FIGURE 7.3 : Schéma de constitution des deux macro-variables.

MACRO-VARIABLE DEPLACEMENT
(38 classes)

<u>Motif</u>	×	<u>Mode</u>	×	<u>Forme de la sortie</u>
. Travail	. Secondaire	. Marche à		. Pétale d'aller et
. Ecole	. Promenade	pied		retour
. Achats	. Service	. Deux roues		. Pétale d'étoile
. Vie	passager	. Transports		. Pétale de complexe
sociale	. Autre	collectifs		. Boucle de complexe
		. Voiture		. Boucle de boucles

MACRO-VARIABLE INDIVIDU
(50 classes)

<u>Statut</u>	×	<u>Nombre de voiture</u>	×	<u>Localisation</u>	×	<u>Structure spa-</u>
		<u>du ménage</u>		<u>du domicile</u>		<u>tiale des</u>
. Hommes actifs		. 0		. Centre		<u>déplacements</u>
. Femmes actives		. 1		(Lyon et		. Aller et
. Scolaires		. 2 ou plus		Villeur-		retour
. Retraités				banne)		. Etoile
. Femmes inactives				. Périphérie		. Boucles
sans enfant						. Complexe
. Femmes inactives						
avec enfant						

Les méthodes d'analyse multidimensionnelle nous ont alors servi pour réduire considérablement le nombre de modalités des deux macro-variables en les référant à leur distribution selon les typologies de déplacement fondées sur la distance. Cette réduction n'a pas entraîné de trop grandes pertes d'information : un regroupement en six modalités permettait de conserver 75 % de l'inertie du nuage original en ce qui concerne la macro-variable individu et plus de 90 % dans le cas de la macro-variable déplacement.

Enfin, lorsque nous parlerons maintenant de types de déplacement, nous ferons référence à la typologie fondée sur la distance tandis que les classes de déplacement renverront à la macro-variable déplacement.

II - LES DEPLACEMENTS

Les six classes de déplacement sont le produit de l'agrégation de 38 modalités. Examiner leurs caractéristiques en fonction des variables de base est alors le prélude à la compréhension de leurs différences.

1 - LA CARACTERISATION DES SIX CLASSES

L'examen des six classes sera successivement abordé sous deux angles complémentaires :

- en privilégiant l'aspect qualitatif, c'est-à-dire en cherchant à simplifier au maximum le problème de la détermination de la classe d'appartenance d'un nouveau déplacement. Autrement dit, quel a été le mécanisme de formation des classes ?
- en se focalisant sur la ventilation de chaque classe selon les modalités des variables de base. L'approche est alors plus quantitative.

1.1 - La genèse des classes

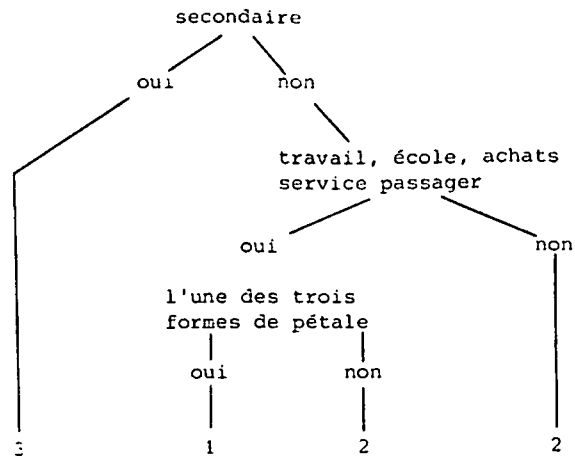
Les six classes semblent très composites (tableau 7.1). Toutefois, quelques lignes de force transparaissent, notamment les clivages modaux. Les trois premières classes regroupent exclusivement les déplacements pédestres (si l'on veut bien excepter les promenades) tandis que les déplacements automobiles se retrouvent dans les trois dernières. Une fois connu le mode d'un déplacement, il est ainsi relativement aisé de déterminer sa classe d'appartenance. La figure 7.4 schématise le processus pour chacun des modes. Un élément surtout nous semble en ressortir : le regroupement pratiquement systématique de la forme de la sortie en ses deux modalités de base. Les trois formes de pétale (si l'on excepte les déplacements achats en voiture), pour un motif et un mode donné, se retrouvent toujours dans la même classe, comme d'ailleurs les deux formes de boucle. La décomposition en cinq formes s'avère ainsi trop fine pour notre propos.

TABLEAU 7.1 : Les six classes de déplacement

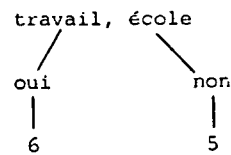
	MODE	MOTIF	FORME DE LA SORTIE
CLASSE 1 (25,3 %)	marche à pied	travail école achats service passager	les trois formes de pétale les cinq formes les trois formes de pétale les trois formes de pétale
CLASSE 2 (9,4 %)	marche à pied	travail achats vie sociale autre	les deux formes de boucle les deux formes de boucle les cinq formes les cinq formes
CLASSE 3 (4,0 %)	marche à pied	secondaire	les deux formes de boucle
CLASSE 4 (17,3 %)	marche à pied transports collectifs voiture	promenade secondaire achats secondaire autre	les deux formes de boucle les deux formes de boucle les deux formes de boucle les deux formes de boucle les cinq formes
CLASSE 5 (14,3 %)	marche à pied deux roues voiture	promenade achats vie sociale secondaire promenade service passager autre achats vie sociale service passager	les trois formes de pétale les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes pétales d'étoile et de complexe les trois formes de pétale les cinq formes
CLASSE 6 (29,7 %)	deux roues transports collectifs voiture	travail école travail école achats vie sociale autre travail école achat vie sociale promenade	les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes les cinq formes pétale d'aller et retour les deux formes de boucle les cinq formes

FIGURE 7.4 : Schéma d'affectation d'un déplacement à l'une des six classes (hors promenades)

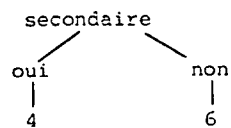
- déplacement pédestre



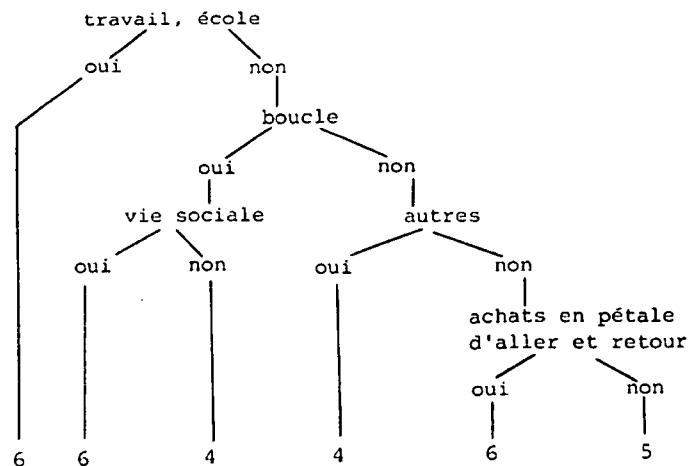
- déplacement en deux roues



- déplacement en transport collectif



- déplacement en automobile



1.2 - La composition des classes

Une analyse plus quantitative permet de préciser le contenu de chaque classe.

Si la marche à pied est le mode unique des trois premières classes, elle n'est cependant pas totalement absente des classes 4 et 5 (tableau 7.2). Mais il s'agit là uniquement de promenade. La voiture domine les classes 4, 5 et 6. Toutefois près de deux déplacements de la dernière classe sur cinq sont effectués en transport collectif.

TABLEAU 7.2 : Répartition modale des déplacements, selon la classe (%)

	1	2	3	4	5	6
Marche	100	100	100	7	18	
Deux roues					15	5
Transport collectif				12		38
Automobile				81	67	57

En ce qui concerne les motifs, la première classe, liée aux activités contraintes, est dominée par les déplacements pour achats (tableau 7.3). La troisième classe est également très homogène, puisque constituée uniquement de déplacements secondaires. Les autres classes (surtout la 5) sont moins cohérentes, en dépit de la prééminence souvent forte d'un seul motif : vie sociale pour la classe 2, secondaire pour la classe 4 ou travail pour la dernière.

TABLEAU 7.3 : Motif de déplacement, selon la classe de déplacement (% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

	1	2	3	4	5	6
Travail	15	8				58
Ecole	14					11
Achats	51	24		14	28	9
Vie sociale		48			37	16
Secondaire			100	62		
Promenade				7	20	
Service passager	20				12	
Autres		20		17		

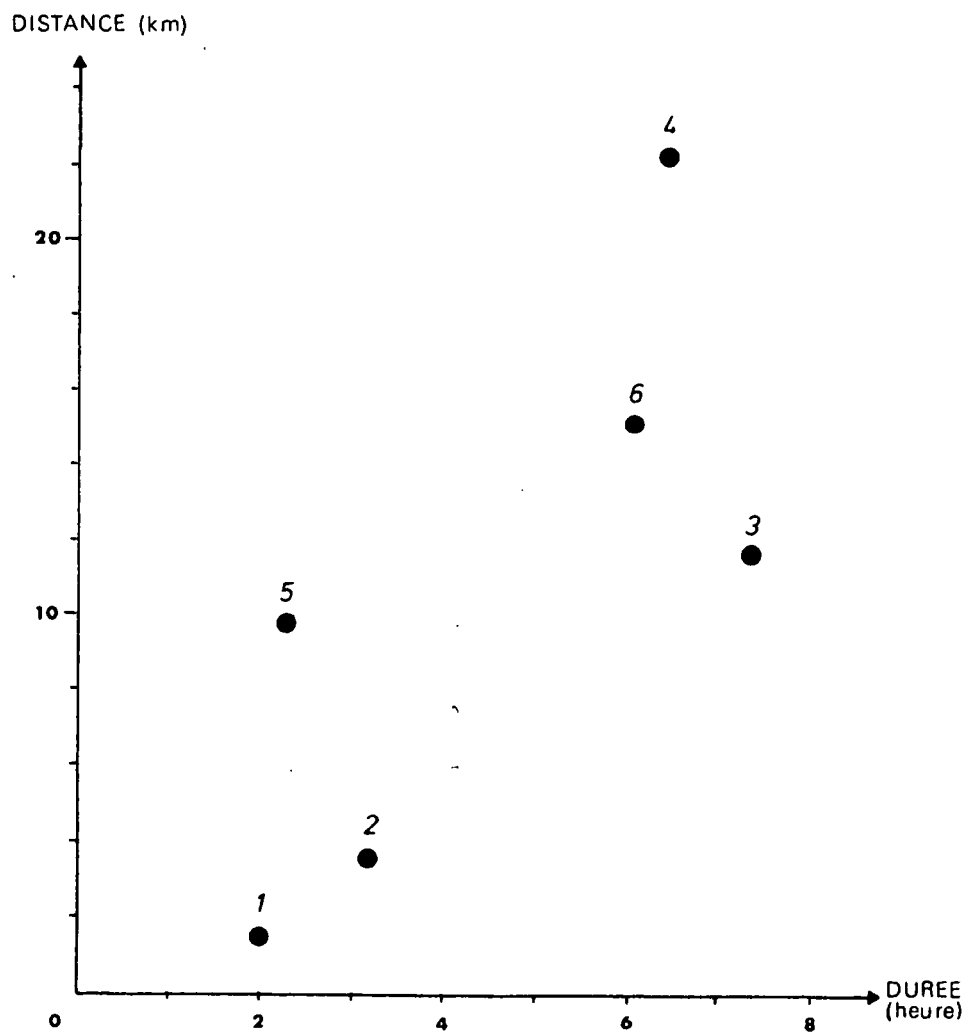
Enfin, la répartition entre les cinq formes de sortie varie sensiblement d'une classe à l'autre, le caractère propre de chacune apparaissant déjà lorsque l'on se limite aux deux formes de base. Les classes 1 et 5 sont ainsi constituées (presque) uniquement de pétales, les classes 3 et 4 étant au contraire dominées par les boucles. La classe 2 (avec autant de pétales que de boucles) et la classe 6 (avec deux tiers de pétales) sont ainsi dans une position intermédiaire (tableau 7.4).

Les six classes de déplacement se distinguent non seulement par la forme de la sortie mais aussi par sa durée et la distance parcourue alors (figure 7.5). Les déplacements des classes 1 et 2 appartiennent à des sorties de faible durée, effectuées près du domicile. Pour une durée équivalente, les sorties correspondant aux déplacements de la classe 5 présentent une distance beaucoup plus importante. Enfin, les sorties regroupant les déplacements des classes 3, 6 et 4 conjuguent un temps important passé hors du domicile et un éloignement certain du domicile (encore plus net pour la classe 4).

TABLEAU 7.4 : Forme de la sortie, selon la classe de déplacement
(% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

		1	2	3	4	5	6
Pétales	d'aller et retour	12				8	18
	d'étoile	70	38			64	39
	de complexe	16	10			24	10
Boucle	de complexe		33	49	46		16
	de boucles		15	51	45		17

FIGURE 7.5 : Durée et distance de la sortie, selon la classe de déplacement



1.3 - Classes et types de déplacement

Ainsi que l'étude de la répartition modale pouvait le laisser présager, les trois premières classes de déplacement regroupent essentiellement des déplacements courts, alors que les trois autres réunissent plutôt des déplacements longs (tableau 7.5).

TABLEAU 7.5 : Types de déplacement, selon la classe
(% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

Classe \ Type		1	2	3	4	5	6
Déplacements courts	1	94	72	34	6	27	8
	2			6			
	3			16			
	4		17	43	20		7
Déplacements longs	5		6		68	65	82

Chaque classe possède toutefois son originalité. La première est très homogène, ne réunissant pratiquement que des déplacements courts inclus dans des sorties courtes (type 1). Les déplacements courts isolés (type 4) viennent battre en brèche cette hégémonie dans la classe 2 avant que la classe 3 juxtapose les quatre types de déplacement court (avec toutefois un avantage aux deux types présents dans la classe 2). Ces mêmes déplacements courts ne représentent plus qu'un tiers des déplacements des classes 4 et 5, la classe 4 attirant de préférence des isolés (type 4) et la classe 5 ceux inclus dans des sorties courtes (type 1). La classe 6 draine, quant à elle, principalement des déplacements longs.

2 - CLASSES DE DEPLACEMENT ET CONSOMMATION

Il est maintenant possible de caractériser précisément chaque classe de déplacement et d'observer distance et consommation moyennes (tableaux 7.6 et 7.7).

TABLEAU 7.6 : Distance et consommation moyennes, selon la classe de déplacement

	1	2	3	4	5	6
Distance (km)	0,7	0,8	0,6	5,2	5,2	6,5
Consommation (indice)	0	0	0	165	122	182
Poids en termes de consommation (%)	0	0	0	28	17	55

TABLEAU 7.7 : Consommation kilométrique, part de la surconsommation et équivalent énergétique du taux d'occupation, selon la classe de déplacement (déplacements automobiles)

	1	2	3	4	5	6
Consommation kilométrique (indice)	-	-	-	96	89	107
Part de surconsommation (%)	-	-	-	20	25	26
EETO	-	-	-	1,28	1,47	1,19

La classe 1 correspond à des déplacements effectués dans les environs immédiats du domicile. Les distances moyennes de déplacement et de sortie sont très faibles et les déplacements courts inclus dans des sorties courtes sont ici la règle. Il s'agit d'une mobilité liée à des activités contraintes (en particulier les achats), organisée en pétales. La marche en est le mode unique.

La classe 2 est moins homogène. On y trouve en effet simultanément des déplacements liés à des activités contraintes appartenant à des boucles et des déplacements correspondant à des activités non contraintes. Le poids du domicile s'affaiblit par rapport au groupe précédent : la sortie est plus longue (en temps et en distance), le déplacement également. Néanmoins, les distances restent tout à fait compatibles avec un usage exclusif de la marche. Les déplacements courts isolés apparaissent à côté des déplacements courts inclus dans des sorties courtes.

Les déplacements secondaires à pied forment la classe 3. Les quatre types de déplacement court y coexistent donc. La distance parcourue durant la sortie est modérée par rapport à sa durée, mais il faut surtout remarquer la très faible distance moyenne de déplacement.

La classe 4 est également dominée par les déplacements secondaires, mais s'y rencontrent également des déplacements à motif "autre" et "achats". Tous se situent au sein de boucles. Deux déplacements sur trois sont longs, leur moyenne est d'ailleurs élevée. Rien d'étonnant donc à ce que la marche à pied ait pratiquement disparu au profit essentiellement de la voiture. La consommation moyenne est alors importante. Toutefois l'usage de la voiture s'avère relativement efficace. La surconsommation, en particulier, tient une part réduite.

La classe 5 est peut-être la plus hétérogène. Aucun motif de déplacement ne se dégage mais tous les déplacements sont inclus dans des pétales. La marche est utilisée pour près d'un déplacement sur cinq (en fait, des promenades) et l'on retrouve un fort pourcentage de déplacements courts inclus dans des sorties courtes. Pour une distance moyenne de déplacement équivalente à celle de la classe précédente, la consommation est plus faible d'un quart. Une répartition modale moins favorable à la voiture mais aussi une utilisation de celle-ci beaucoup plus collective l'expliquent.

La classe 6 qui regroupe moins de 30 % des déplacements voit son poids pratiquement doubler en termes de consommation. Transports collectifs et surtout voiture particulière sont les deux modes de prédilection de ces déplacements majoritairement liés au travail. Déplacements à longue distance au cours de sorties de durée élevée, usage de la voiture peu efficace (très personnel et sujet à la surconsommation), telles sont les caractéristiques de

cette classe.

Positions relatives du domicile et des lieux d'activité, usage de l'espace plus ou moins centré sur le domicile, enfin recours accentué à la voiture ou non permettent, même s'ils sont très corrélés, de distinguer les six classes de déplacement et conduisent à des consommations extrêmement diverses.

III - LES INDIVIDUS

Le choix d'intégrer la structure spatiale des déplacements dans la macro-variable individu conduisait nécessairement à isoler les individus ne s'étant pas déplacé le jour d'enquête. Nous les examinerons donc rapidement avant de dépeindre les six groupes de personnes s'étant déplacées.

1 - LES SEDENTAIRES

Un individu sur vingt ne s'est pas déplacé. Les retraités (hommes et surtout femmes) forment plus du tiers de ces sédentaires (tableau 7.8) mais les femmes, actives aussi bien qu'inactives, sont également présentes en nombre. De fait, deux sédentaires sur trois sont des femmes. La répartition en termes de statut se traduit par une déformation de la pyramide des âges gonflant les classes de plus de 40 ans.

TABLEAU 7.8 : Le statut des sédentaires (% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

	HA $\bar{E}$	HAE	FA $\bar{E}$	FAE	SH	SF	RH	RF	F $\bar{A}\bar{E}$	F $\bar{A}E$
Sédentaires		7	9	9	6		18	27	7	12
Tous individus	15	19	11	7	6	9	8	9	5	11

Trois personnes sur quatre résident en périphérie, mais elles appartiennent à des ménages assez mal équipés en voiture particulière. Structure des revenus du ménage tirée vers le bas et forte proportion de ménages à chef inactif expliquent ce sous-équipement.

Une population plutôt vieille, aux nombreux retraités, défavorisée financièrement et ayant un accès réduit à la voiture particulière, tels sont donc les sédentaires : non pas réplique parfaite de l'échantillon enquêté, mais groupe autonome, présentant des spécificités marquées.

2 - LES SIX GROUPES D'INDIVIDUS

Caractéristiques socio-économiques et pratiques d'activité différencient les six groupes d'individus et induisent des comportements de déplacement divergents.

2.1 - Les caractéristiques socio-économiques

Les tableaux 7.9, 7.10 et 7.11 permettent de prendre connaissance de la structure des groupes en fonction des trois variables socio-économiques ayant présidé à leur constitution.

Le groupe 1 (19 %), essentiellement féminin, rassemble des non-actifs habitant majoritairement à Lyon ou Villeurbanne et appartenant à des ménages aux revenus faibles et peu équipés en voiture particulière. La bimotorisation étant ici l'exception, on peut s'attendre à ce que ces individus, plutôt âgés, n'aient qu'un faible accès à la voiture particulière.

Le groupe 2 (22 %) présente des traits moins marqués. En dépit de revenus moyens, la quasi-totalité des ménages est motorisée. Tous les statuts sont représentés, à l'exception des scolaires, ce qui tire l'âge moyen vers le haut.

Plus d'un individu sur deux du groupe 3 (14 %) est un homme actif et les femmes y sont donc minoritaires. Pour des ménages habitant le centre de l'agglomération, l'équipement en voiture particulière est correctement développé.

Le groupe 4 (10 %) rassemble des actifs et des scolaires résidant préférentiellement en périphérie. Il s'agit d'individus jeunes, un sur cinq appartenant à un ménage non motorisé.

Le groupe 5 (11 %) est assez proche du précédent en termes de statut : les hommes actifs y sont plus nombreux, au détriment des femmes actives, mais surtout un individu sur dix est une femme inactive. Les caractères marquants du groupe, aux revenus très élevés, sont toutefois à chercher ailleurs : pratiquement tous résident en périphérie et la multimotorisation est la règle.

Le groupe 6 (19 %), enfin, est un groupe d'actifs (principalement des hommes) demeurant en périphérie, d'âge et de revenus moyens. Comme le groupe 4, une bimotorisation forte va de pair avec le maintien d'un noyau de ménages non motorisés.

TABLEAU 7.9 : Statut, selon le groupe d'individus
(% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

		1	2	3	4	5	6
Homme actif	sans enfant		9	22	19	22	28
	avec enfant		13	24	22	28	36
Femme active	sans enfant		11	11	25	8	17
	avec enfant		7		6	7	13
Scolaire homme		14			9	9	
Scolaire femme		17		6	19	16	
Retraité		19	16	6			
Retraitée		16	13	9			
Femme inactive	sans enfant	12	6			10	
	avec enfant	27	17	14			

TABLEAU 7.10 : Lieu d'habitat, selon le groupe d'individus
(% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

	1	2	3	4	5	6
Centre	65	53	96	30	10	22
Périphérie	35	47		70	90	78

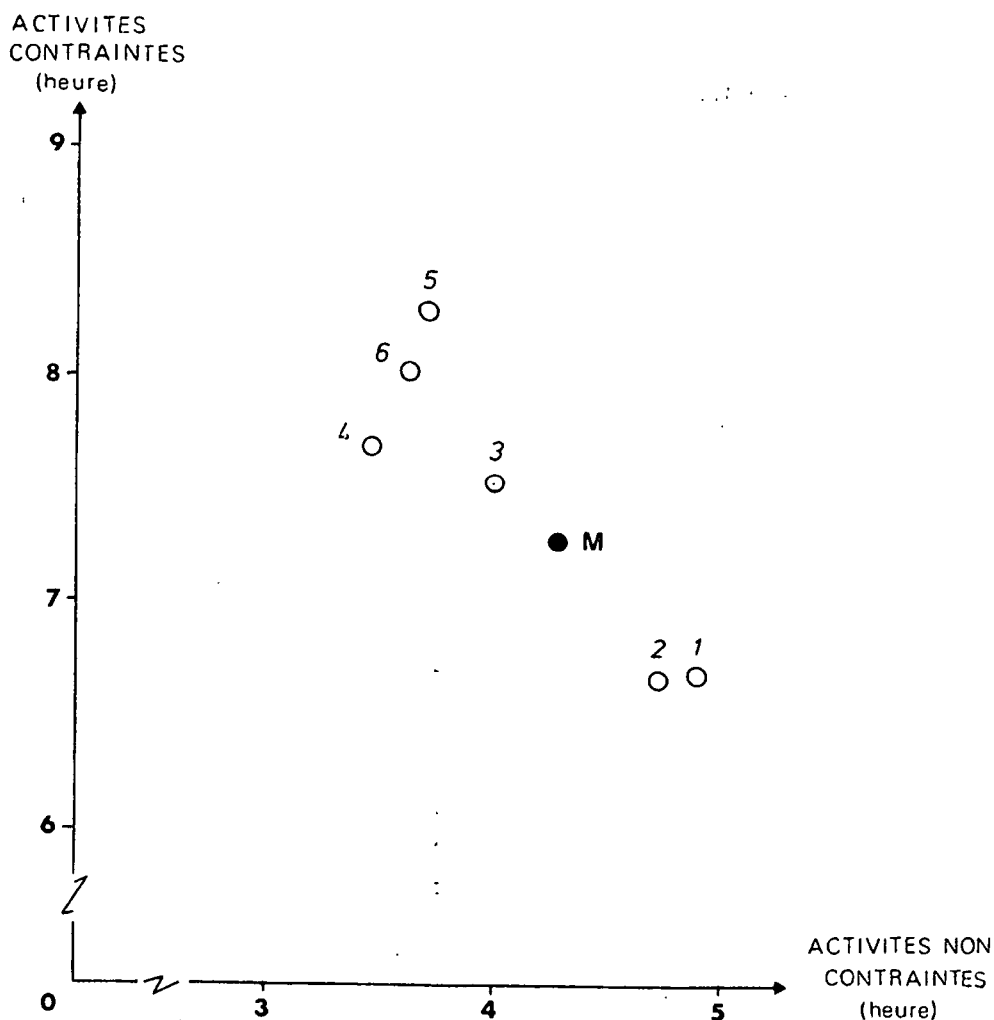
TABLEAU 7.11 : Nombre de voitures du ménage, selon le groupe d'individus (% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

	1	2	3	4	5	6
0	37	8	10	20		18
1	53	71	63	41	45	46
2 et +	10	21	27	39	55	36

2.2 - Les pratiques d'activité

De par l'hétérogénéité des différents groupes en matière de caractéristiques socio-économiques et notamment de statut, les budgets temps moyens consacrés tant aux activités contraintes (travail, école, travaux ménagers, achats) qu'aux activités non contraintes (vie sociale, loisirs, télévision) se situent tous dans une plage d'environ une heure et demie (figure 7.6). Les deux premiers groupes se singularisent par un temps libre important (près de cinq heures) alors que les quatre autres se différencient par des variations assez amples du temps contraint (de sept heures et demie à près de huit heures trente) face à un temps libre faible mais peu sujet à variation (moins de quatre heures).

FIGURE 7.6 : Budgets temps activités contraintes et non contraintes, selon le groupe d'individus.



L'utilisation du temps libre s'avère plus homogène entre les six groupes que la pratique des activités contraintes (figures 7.7 et 7.8). Le temps consacré aux achats varie peu en part relative (entre 3 et 8 % du temps contraint) et moins encore en valeur absolue, puisque sa place augmente lorsque le budget temps activités contraintes diminue. Par contre, temps de travail ou d'école et temps de travaux ménagers sont très variables : en schématisant, plus le groupe compte de femmes, plus l'arbitrage est favorable aux travaux ménagers. Le groupe 4 ne s'inscrit pas dans ce cadre, probablement parce qu'une grande partie des femmes est encore scolaire : elles effectuent ainsi peu de travaux ménagers du fait de leur âge. En ce qui concerne le temps libre, la part des loisirs est pratiquement constante (40 %), les écarts les plus importants se révélant entre télévision et vie sociale. Les groupes 3 et 4 consacrent plus de temps à la vie sociale (le tiers du temps libre) qu'à la télévision (de 25 à 30 % de ce temps) tandis qu'à l'opposé les individus du groupe 5 occupent près de la moitié de leur temps libre à regarder la télé tout en ayant une vie sociale brève.

FIGURE 7.7 : Structure du budget temps activités contraintes, selon le groupe d'individus

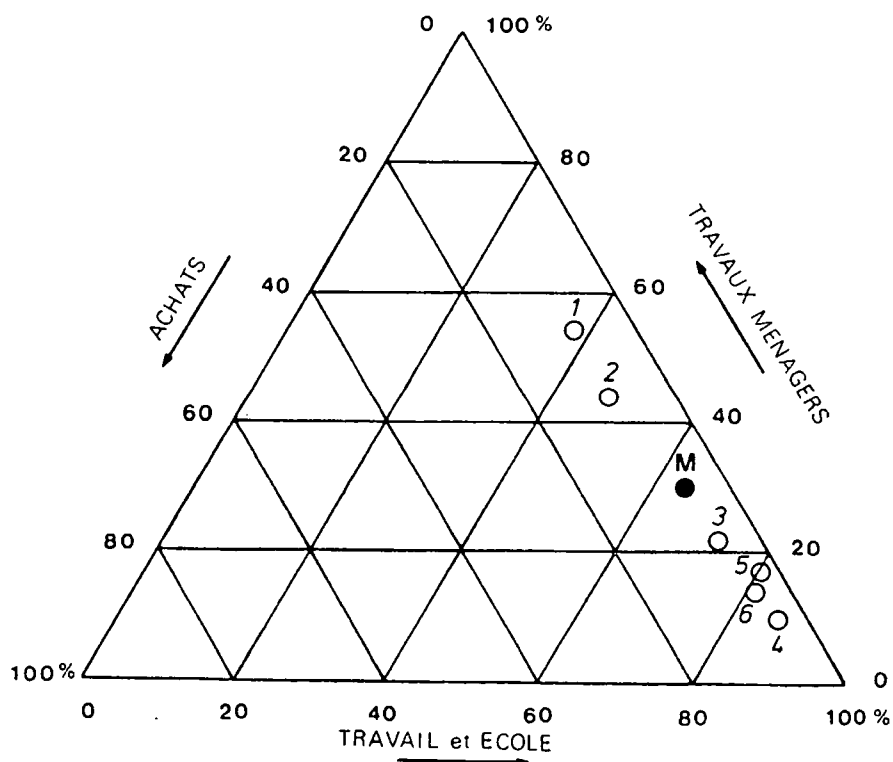
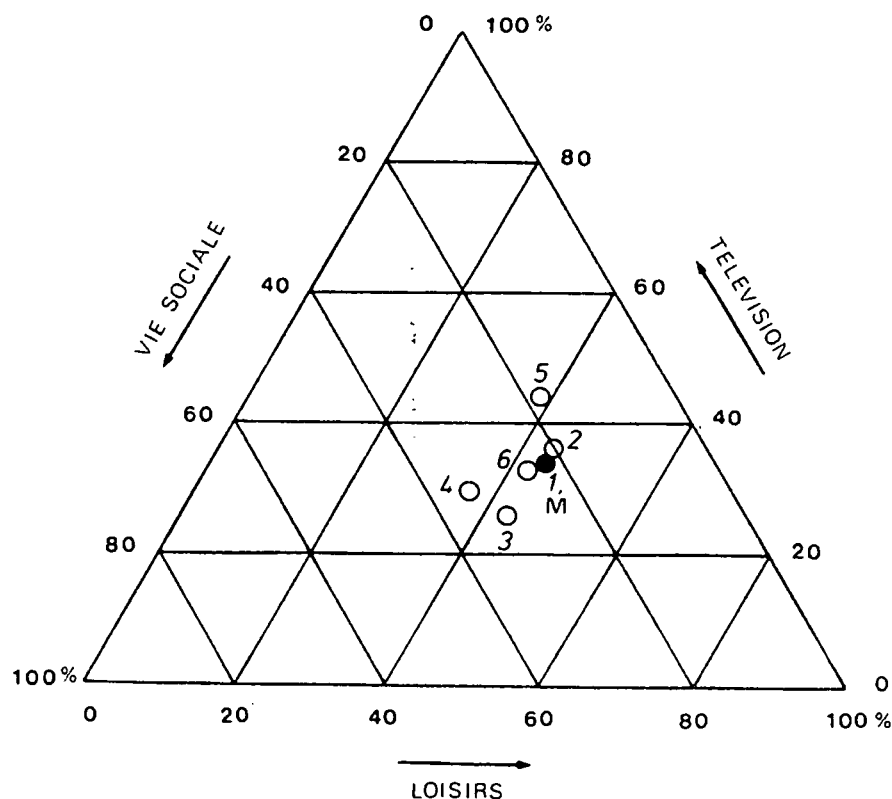


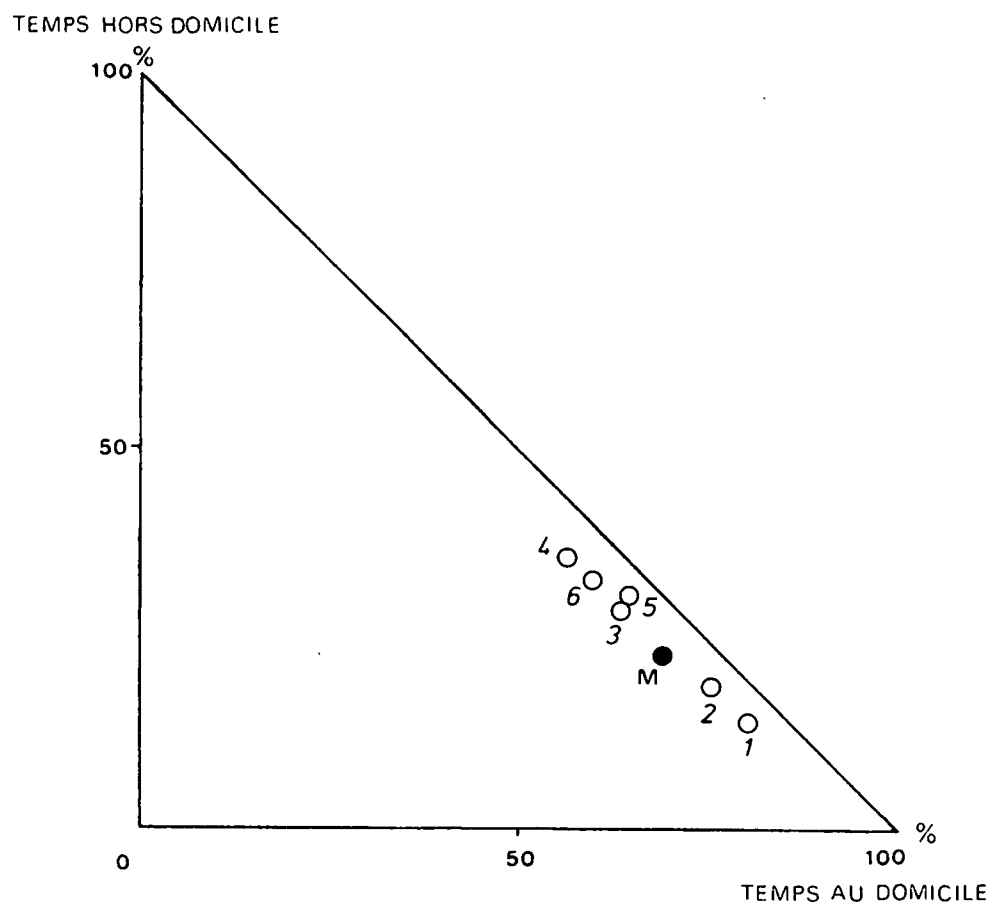
FIGURE 7.8 : Structure du budget temps activités non contraintes, selon le groupe d'individus



Les deux oppositions télévision-vie sociale et travail-travaux ménagers recouvrent en fait largement celle entre activités au domicile et activités pratiquées à l'extérieur. La figure. 7.9, qui rend compte des variations de l'arbitrage entre temps au domicile et temps hors domicile, prend alors tout son sens (plus le point est éloigné de l'hypothénuse, plus le budget temps de transport est important).

Les individus des groupes 1 et 2, qui se détachent nettement du reste de la population, passent peu de temps hors de leur domicile, respectivement trois heures et demie et quatre heures et demie. Leur temps libre est important mais peu tourné vers la vie sociale. Les travaux domestiques constituent l'essentiel de leurs activités contraintes. Le groupe 1 s'avère le plus casanier.

FIGURE 7.9 : Temps passé hors et au domicile, selon le groupe.



Les groupes 3 et 5 paraissent similaires à ne considérer que les temps passés hors domicile (environ sept heures) et au domicile. Mais les individus du groupe 3 consacrent en proportion plus de temps aux travaux ménagers et à la vie sociale que leurs homologues du groupe 5. Leur proximité n'est donc qu'artificielle, d'autant que pour des budgets temps activités non contraintes similaires, les premiers consacrent une heure de moins que les seconds aux activités contraintes.

Le temps passé hors domicile s'accroît encore lorsque l'on passe au groupe 6 (huit heures) puis au groupe 4 (huit heures trente). Cette croissance est à relier à l'augmentation simultanée des temps de travail et de vie sociale.

2.3 - Les comportements de déplacements

Ces pratiques différenciées ne peuvent que conduire à des mobilités contrastées. Ce contraste apparaît déjà dans l'organisation même des sorties du domicile.

2.3.1 - Les sorties

La structure spatiale des déplacements a contribué à l'élaboration de la macro-variable. Le tableau 7.12 rend compte de sa distribution pour les six groupes d'individus. Cette structure se complexifie au fur et à mesure que le temps passé hors domicile augmente. Simultanément le nombre d'individus étant sorti de l'agglomération s'accroît (2 % dans le groupe 1, 13 % dans le groupe 4).

TABLEAU 7.12 : Structure spatiale des déplacements, selon le groupe d'individus (% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

	1	2	3	4	5	6
Aller et retour	22	24	31		36	26
Etoile	75	64			62	10
Boucles		6	12	68		29
Complexe		6	56	32		35

Cette complexification s'accompagne d'une double croissance : de la durée et de la distance de la sortie (tableau 7.13). Ainsi l'éloignement du domicile est-il à la fois temporel et spatial : entre les groupes extrêmes, les durées sont multipliées par 3 et les distances par près de 5.

L'affranchissement du domicile se retrouverait dans l'observation des distances moyennes du plus long déplacement quotidien. Mais si les quatre groupes les plus "casaniers" s'y ordonnent bien selon la séquence espérée (1,2,3,5), le quatrième et le sixième y sont inversés (comme d'ailleurs pour la distance moyenne de sortie). Cependant il n'y a pas là de contradiction : pour le

groupe 4 (et à un moindre degré le groupe 3), l'éloignement du domicile résulte plus de l'enchaînement au cours d'une sortie en boucle de deux déplacements que de l'accomplissement d'un long déplacement durant une sortie en pétale.

TABLEAU 7.13 : Durée et distance moyennes de sortie, selon le groupe d'individus

	1	2	3	4	5	6
Durée (mn)	121	168	235	381	266	323
Distance (km)	3,4	7,0	8,2	14,1	11,0	15,3

2.3.2 - Les déplacements

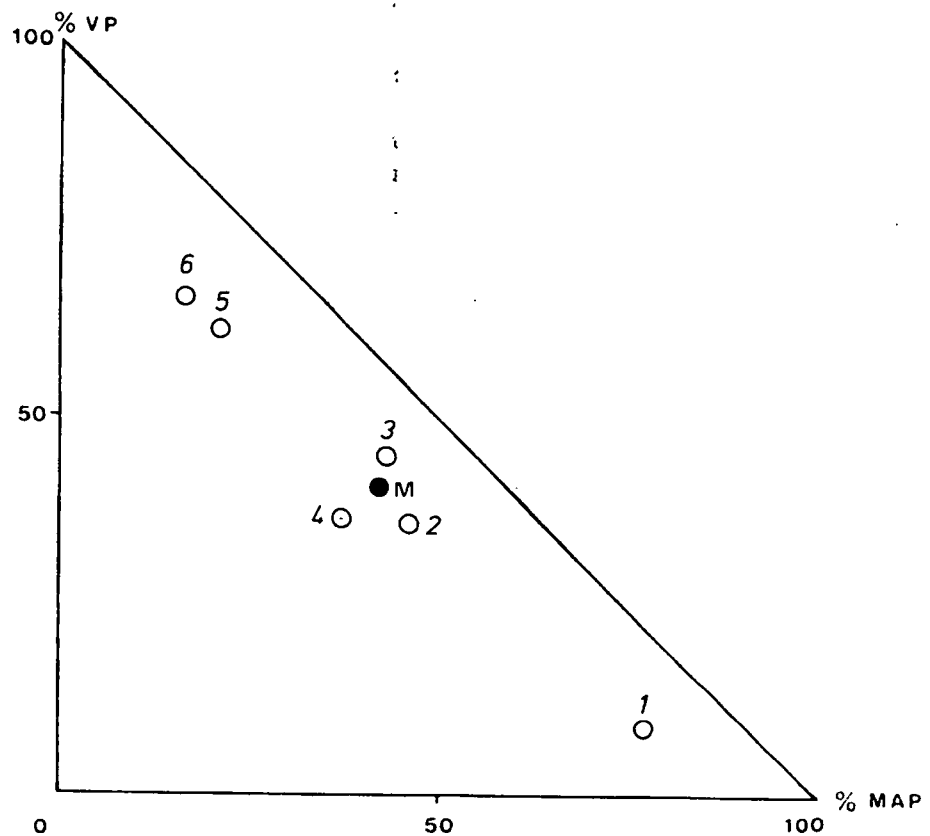
L'examen de la répartition des déplacements de chaque groupe entre les cinq types vient confirmer ce raisonnement (tableau 7.14). Les individus du groupe 1 n'effectuent pratiquement que des déplacements courts inclus dans des sorties courtes, tandis qu'à l'autre extrême la mobilité des individus des groupes 5 et 6 repose sur des déplacements longs. Les trois autres groupes ont une mobilité à longue distance moyenne mais les groupes 3 et 4 se singularisent par un fort pourcentage de déplacements courts isolés (et de déplacements courts inclus dans des sorties secondaires courtes, pour le seul groupe 4). Pour ces deux groupes, l'éloignement du domicile passe donc bien par la juxtaposition de deux déplacements, l'un à longue distance, l'autre plus court.

TABLEAU 7.14 : Types de déplacement et groupes d'individus
(% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

		1	2	3	4	5	6
Déplacements courts	1	77	44	34	21	31	15
	2		6		8		
	3				6		
	4			18	19		15
Déplacements longs		19	46	46	46	66	66

L'arbitrage entre les modes se ressent nécessairement de cet usage de l'espace. La marche est le mode quasi unique des individus du groupe 1. Les membres des groupes 2,3 et 4 effectuent à peu près autant de déplacements en voiture qu'à pied, ceux du groupe 4 se singularisant toutefois par un fort recours aux autres modes motorisés. Les groupes 5 et surtout 6 rassemblent des individus peu portés sur la marche, utilisant la voiture pour deux déplacements sur trois (figure 7.10).

FIGURE 7.10 : Arbitrage entre marche et automobile, selon le groupe d'individus



Quels sont alors les motifs de ces déplacements ?

La mobilité des individus du groupe 1 repose notamment sur les achats mais ces individus se caractérisent surtout par un grand nombre de services passager et des déplacements liés à l'école. Les membres du groupe 2 se déplacent également principalement pour achats mais l'école y est remplacée par le travail tandis que les services passager, tout en étant plus présents que

dans les quatre autres groupes, y voient leur part s'amenuiser. La mobilité du groupe 3 est plus équilibrée, les déplacements secondaires y tenant toutefois une place équivalente à ceux liés aux achats. Mais c'est pour le groupe 4, bien évidemment, que l'on enregistre une nette domination des déplacements secondaires (près de deux déplacements sur cinq). Les individus du groupe 5 se déplacent essentiellement pour travailler : plus d'un déplacement sur deux concerne le travail ou l'école. Quant aux membres du groupe 6, si le travail est également leur premier motif de déplacement, les déplacements secondaires y tiennent une place importante (tableau 7.15).

TABLEAU 7.15 : Motifs de déplacement, selon le groupe d'individu (% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

	1	2	3	4	5	6
Travail		24	20	21	47	32
Ecole	20			8	9	
Achats	33	36	23	10	21	15
Vie sociale	17	17	14	13	11	13
Secondaire			23	38		27
Promenade		5	5			
Service passager	18	8				
Autre			10	7		6

Ces divers éléments se retrouvent lorsque l'on ventile les déplacements selon les six classes étudiées dans la précédente section (tableau 7.16). Les individus du premier groupe s'adonnent principalement aux déplacements de la classe 1, mobilité contrainte de proximité effectuée en pétale. Le groupe 2 présente un comportement moins homogène, mais peu tourné vers les déplacements secondaires. Un tiers de leurs déplacements appartiennent à la classe 1. Au contraire, les groupes 3 et 4 effectuent une part importante de déplacements des classes 3 et 4. Ce poids des déplacements secondaires est bien évidemment à référer à la structure spatiale des déplacements, très tournée vers les boucles et complexe. Les individus du groupe 5 pratiquent de nombreux déplacements de classe 6, déplacements longs surtout consacrés au travail. Enfin, le dernier groupe semble peu priser les déplacements pédestres, ne réalisant que très peu de déplacements des trois premières classes.

TABLEAU 7.16 : Classes de déplacement et groupes d'individus
(% - les pourcentages inférieurs à 5 sont omis)

Classes \ Groupes	1	2	3	4	5	6
1	59	33	17	7	17	
2	13	7	13	15		
3			8	13		
4		6	29	31		35
5	14	24	9		20	13
6	13	28	24	30	57	39

3 - GROUPES D'INDIVIDUS ET CONSOMMATIONS

De ces comportements dissemblables résultent des budgets énergétiques transport disparates (figure 7 .11). L'écart entre les deux groupes extrêmes (groupes 1 et 6) s'avère supérieur à 8 alors qu'en termes de distance il n'atteint pas 3,5, la différence entre ces deux taux étant due à la croissance de la consommation kilométrique et donc à un glissement vers les modes les plus consommateurs (multipliée par 2,5). L'usage de la voiture se modifie également, ainsi que le montre le tableau 7 .17 : il a tendance à devenir de moins en moins collectif tandis que simultanément la surconsommation voit sa part baisser.

Le portrait de chaque groupe se dessine maintenant plus clairement.

Les individus du groupe 1, principalement des femmes, sont des non actifs à la vie sociale réduite. Plutôt âgés, ils s'éloignent peu du domicile lors de leurs rares activités à l'extérieur. Cette mobilité de proximité conjuguée à un accès très difficile à la voiture particulière (ménages peu équipés) se traduit par des budgets distance et énergie réduits.

Moins casaniers que les précédents, les individus du groupe 2 ont un usage de l'espace plus riche quoique les déplacements courts restent majoritaires. Ils passent cependant peu de temps hors du domicile. Marche et automobile (de manière très collective) sont aussi utilisées l'une que l'autre. Les budgets, bien que faibles, sont nettement plus élevés que pour le groupe précédent.

FIGURE 7.11 : Budgets distance et consommation, selon le groupe d'individus

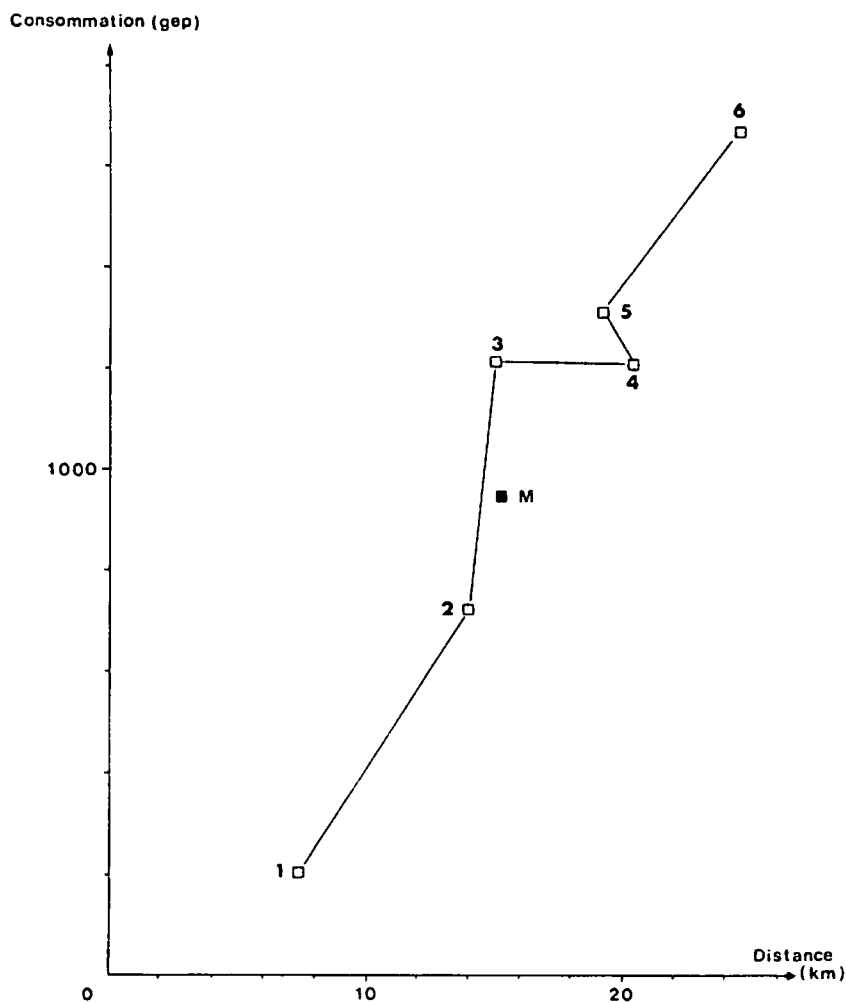


TABLEAU 7.17 : Surconsommation, équivalent énergétique du taux d'occupation, consommation kilométrique des déplacements automobiles et budget distance automobile, selon le groupe d'individus.

	1	2	3	4	5	6
Surconsommation (%)	28	25	26	21	25	22
EETO	1,48	1,40	1,13	1,28	1,25	1,27
Consommation kilométrique (indice)	102	92	124	93	98	96
Budget distance automobile (km)	1,6	7,7	10,7	12,9	14,1	17,9

Le groupe 3 rassemble essentiellement des hommes actifs habitant le centre de l'agglomération. Très portés sur la vie sociale, ils n'hésitent pas à effectuer de nombreux déplacements secondaires. Cette complexification des formes de sortie va les amener à utiliser la voiture de manière très individuelle (beaucoup plus en tout cas que dans les autres groupes). Pour un budget distance équivalent à celui du groupe précédent, le budget énergétique est ainsi multiplié par 1,7. L'enrichissement de l'usage de l'espace s'accompagne, comme nous l'avons vu dans le précédent chapitre, d'un important surcoût énergétique, mais il signifie aussi une augmentation (un doublement) du nombre d'activités pratiquées (à nombre d'activités égal, on verrait au contraire apparaître des économies).

Les individus du groupe 4 sont aussi des actifs mais résidant en périphérie. Ils passent un temps important hors domicile et leur vie sociale est également très développée. Leurs sorties sont rarement organisées en pétale mais l'usage des modes se caractérise surtout par un fort recours aux modes motorisés autres que la voiture. Du fait d'une surconsommation réduite, l'utilisation de la voiture s'avère particulièrement efficace. Comme pour le groupe précédent, les déplacements longs sont encore minoritaires. Le budget consommation est alors similaire à celui du groupe précédent bien que le budget distance soit plus important.

Le groupe 5 se singularise par de hauts revenus et une multimotorisation élevée. Les déplacements longs liés au travail sont alors la norme, combinés à un fort usage de la voiture. Organisant leurs déplacements en pétale, ils présentent, pour un nombre d'activités plus faible, des budgets proches de ceux du groupe précédent.

Les individus du groupe 6 qui montrent les budgets les plus importants sont plutôt des hommes actifs résidant en périphérie. Leurs sorties du domicile sont très longues (en temps et en distance), souvent structurées en boucle. La marche est ici pratiquement ignorée et le budget consommation s'en ressent.

Les écarts de consommation renvoient ainsi à des pratiques d'activités différenciées et à une empreinte de la voiture sur le partage modal plus ou moins accentuée. Mais ces comportements sont eux-mêmes à relier à des caractéristiques socio-économiques de l'individu ou de son ménage bien typées.

IV - PETITS DEPLACEMENTS ET ECONOMIES D'ENERGIE

Avant d'examiner les potentialités d'économies d'énergie, nous nous attarderons d'abord sur les petits déplacements et leurs caractéristiques.

1 - LES PETITS DEPLACEMENTS

Nous allons essayer de répondre ici à quatre questions : qui fait des petits déplacements, pourquoi, comment et à quel prix ?

1.1 - Qui et pourquoi ?

Les déplacements courts inclus dans des sorties courtes (type 1) se rencontrent préférentiellement dans les classes de déplacement 1 et 2 et chez les groupes d'individus 1 et 2. Ils sont liés à des activités contraintes, essentiellement les achats et les services passager, mais aussi le travail lorsqu'il est à proximité du domicile (et qu'une voiture particulière n'est pas disponible). Effectués principalement par des non actifs (retraités) habitant le centre de l'agglomération et appartenant à des ménages assez mal équipés en voiture, ils correspondent à des déplacements inclus dans des allers et retours.

Les déplacements qui appartiennent à des sorties longues quoique constituées uniquement de déplacements courts (type 2) sont plutôt le fait des individus des groupes 2 et 4 (et notamment des femmes actives). Achats et vie sociale en sont les principaux motifs.

Les déplacements courts inclus dans des sorties secondaires courtes (type 3) renvoient, bien évidemment, à des déplacements secondaires, apparaissant donc au cours de boucles. Extrêmement rares, ils ne se rencontrent que dans les classes 3 et 4. Ils sont dus à des actifs ou à des scolaires demeurant en périphérie (groupe 4).

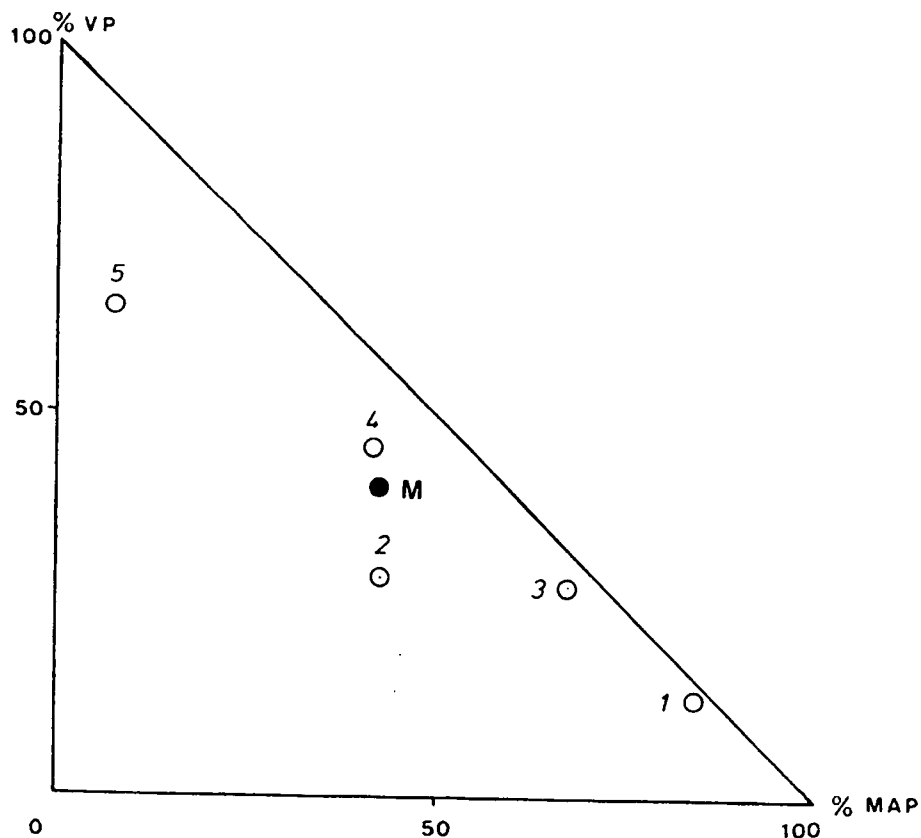
Accomplis au cours de boucles, déplacements secondaires et, à un moindre degré, déplacements domicile-travail (classes 4, 6 et 3) coexistent au sein des déplacements courts isolés (type 4), effectués essentiellement par des hommes actifs (groupe 3 et 6).

Amalgamant la totalité des déplacements définis comme longs, le type 5 se caractérise surtout par son hétérogénéité (groupes 6 et 2). On retiendra toutefois une certaine prééminence des actifs, qui se reflète d'ailleurs dans la place prépondérante du motif travail au détriment des achats (classe 6).

1.2 - Comment ?

L'usage des modes paraît très dépendant du type de déplacement (figure 7.12). Les déplacements courts inclus dans des sorties courtes sont essentiellement pédestres (à 85 %). Les déplacements courts inclus dans des sorties secondaires courtes (type 3) présentent un recours moins important à la marche mais celle-ci reste plus fréquente que les modes motorisés. Ces deux types se signalent aussi par un très faible usage des deux roues et des transports collectifs. La marche perd son rôle prépondérant lors des déplacements courts des deux autres types, au profit principalement de la voiture pour les déplacements courts isolés (type 4) et de la voiture et des transports collectifs pour les déplacements du type 2. Enfin, elle disparaît presque totalement pour les déplacements longs.

FIGURE 7.12 : Arbitrage entre marche et automobile, selon le type de déplacement



Mais ces variations dans l'usage des modes ne peuvent être imputées uniquement à la distance du déplacement (tableau 7.18). Plus que cette distance elle-même, ce sont la distance totale de la sortie et la distance de son plus long déplacement qui pèsent le plus lourdement sur l'utilisation des modes.

TABLEAU 7.18 : Distance de déplacement et de sortie, selon le type de déplacement.

		Déplacements courts				Déplacements longs
		1	2	3	4	5
déplacement	Distance	0,8	1,8	0,9	1,3	7,2
de :						
(km)	sortie	1,6	4,7	21,9	14,6	18,3

1.3 - A quel prix ?

Les déplacements courts voient leur poids diminuer considérablement lorsque l'on ne raisonne plus en termes de nombre de déplacements mais de distance (tableau 7.19). Les déplacements courts inclus dans des sorties courtes sont, bien évidemment, les plus touchés par cette réduction. Mesuré à partir des consommations, ce poids diminue encore, sauf pour les déplacements courts isolés (du fait du fort usage de la voiture pour ce type). Près de 90 % des distances parcourues et de l'énergie consommée sont ainsi à imputer aux seuls déplacements longs.

TABLEAU 7.19 : Poids selon divers indicateurs des différents types de déplacement.

Type du déplacement		Court				Long
		1	2	3	4	5
Poids	déplacements	39	4	1	10	46
en	distances	8	2	0	3	87
termes						
de :	consommations	5	1	0	5	89

La part de la consommation des véhicules particuliers dans la consommation totale est assez peu sensible au type de déplacement. Elle se situe entre 85 % (type 2) et 96 % (types 1 et 3), la valeur moyenne se situant à 90 % alors que la voiture n'est utilisée que pour 41 % des déplacements et ne parcourt que 61 % des distances.

Les trois quarts des déplacements automobiles sont des déplacements longs (tableau 7.20). Le poids de ces déplacements est évidemment plus élevé en termes de consommation (88 %), mais sans pour autant être équivalent à celui mesuré en termes de distance (93 %). La "remontée" corrélative des déplacements courts lorsque l'on passe des distances aux consommations est effective pour les quatre types mais notable surtout pour les déplacements courts inclus dans des sorties courtes.

TABLEAU 7.20 :: Poids selon divers indicateurs des différents types de déplacement automobile.

Type du déplacement	Court				Long
	1	2	3	4	5
déplacements	12	2	1	11	74
Poids en termes de distance	3	1	0	3	93
de consommation	6	1	0	5	88

Cette meilleure tenue des déplacements courts en termes de consommation que de distance est entièrement à imputer à la surconsommation nécessaire à l'échauffement du moteur : elle représente en effet près de 50 % de la consommation totale pour les différents types de déplacements courts et seulement 21 % de cette même consommation pour les déplacements longs (tableau 7.21). Les consommations unitaires moyennes varient ainsi pratiquement du simple au double entre les déplacements longs et les déplacements courts inclus dans des sorties courtes (type 1). L'équivalent énergétique du taux d'occupation est par contre très peu sensible au type de déplacement : on remarque seulement une utilisation très collective de la voiture lors des déplacements courts inclus dans des sorties secondaires courtes. Cependant, cette mauvaise efficacité énergétique des petits déplacements doit être référée à leur importance toute relative (12 % de la consommation des voitures).

TABLEAU 7.21 : Surconsommation, équivalent énergétique du taux d'occupation et consommation kilométrique des déplacements automobiles, selon le type de déplacement.

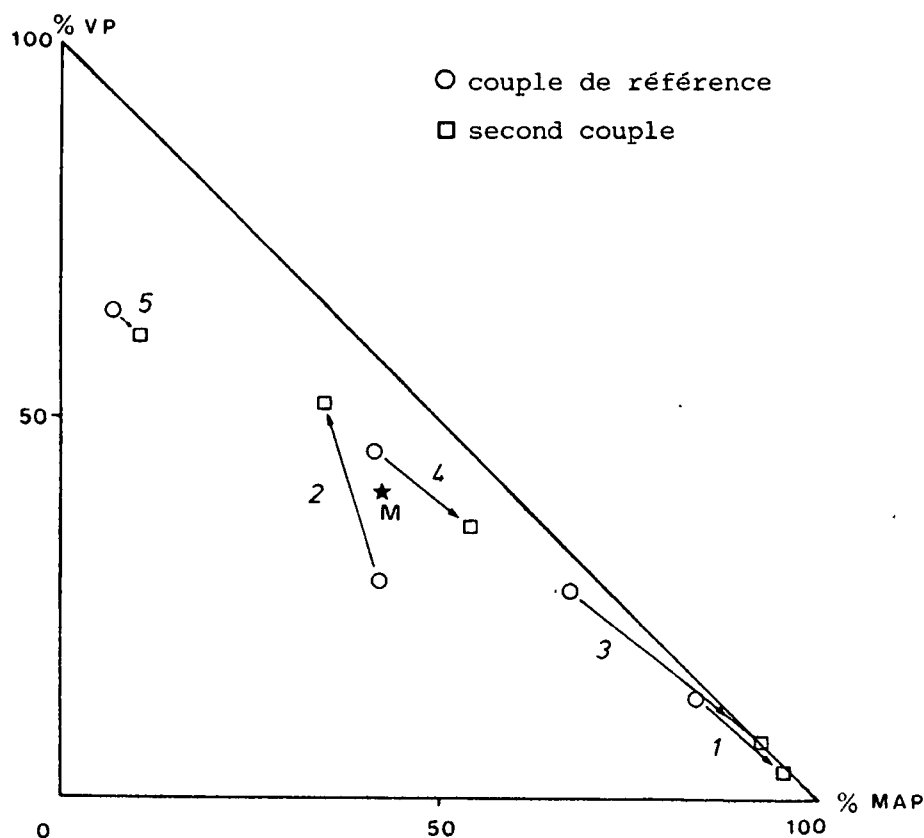
Type de déplacement	Court				Long 5	Ensemble
	1	2	3	4		
Surconsommation (%)	50	43	43	44	21	24
EETO	1,26	1,18	1,73	1,26	1,27	1,27
Consommation kilométrique (indice)	179	178	118	164	95	100

1.4 - L'effet de l'abaissement des distances seuil

L'abaissement des distances seuil se traduit par un accroissement de la place de la marche au détriment de la voiture particulière pour tous les types de déplacement, à l'exception du type 2 (figure 7.13). Les déplacements appartenant à des sorties longues quoique constituées uniquement de déplacements courts, qui voyaient déjà leur nombre augmenter, présentent en effet le phénomène inverse : la part de la marche, mais aussi celle des deux roues et des transports collectifs, y diminuent au profit de l'usage de la voiture particulière. L'effet de l'abaissement des distances seuil est ainsi de mieux cerner les déplacements les plus courts (type 1 et 3), la voiture y voyant alors baisser son influence.

Cette perte de terrain de la voiture a des conséquences énergétiques importantes (tableau 7.22). Tous modes confondus aussi bien que pour la seule mobilité automobile, le poids des déplacements courts baisse globalement et se restructure. Le type 2 devient le plus consommateur tandis que la place des trois autres types se contracte, voire disparaît presque (type 1).

FIGURE 7.13 : Effet de l'abaissement des distances seuils sur l'arbitrage entre marche et automobile



TABEAU 7.22 : Poids en termes de consommation des différents types de déplacement (%)

Type de déplacement	Court				Long
	1	2	3	4	
Tous déplacements	1	4	0	3	92
Déplacements VP	1	5	0	3	91

Le poids énergétique des déplacements courts automobiles, déjà faible avec le couple de distances de référence, s'amoindrit considérablement (25 %) lorsque les seuils de distance retenus deviennent légèrement moins optimistes. Les évolutions en termes

de nombre de déplacement sont alors sans commune mesure avec les bouleversements enregistrés pour les consommations. Le phénomène "déplacement court automobile" est extrêmement sensible au choix des seuils de distance.

2 - QUELLES ECONOMIES D'ENERGIE ?

La focalisation sur les petits déplacements visait à mettre en évidence les potentialités d'économies d'énergie liées à un report de la voiture vers les modes plus économes. Nous sommes maintenant en mesure d'en tenter une évaluation grossière avant d'envisager d'autres sources d'économies. L'examen des budgets consommation automobile moyens des différents groupes d'individus va d'abord nous suggérer une constatation surprenante.

2.1 - Report modal et groupes d'individus

La précédente section nous a montré que la part de la voiture variait sensiblement entre groupe d'individus : d'un groupe extrême à l'autre, elle passait ainsi du statut de mode utilisé exceptionnellement à celui de mode quasi-unique. Les consommations d'énergie afférentes, plus encore que l'usage de la voiture, était alors très inégalitaire. Rapporté à l'ensemble des individus du groupe et non plus aux seuls utilisateurs de la voiture, le budget énergétique automobile est multiplié par plus de 10 entre les deux groupes extrêmes (tableau 7 .23). Les individus du groupe 6, actifs résidant en périphérie et ayant un accès aisé à la voiture particulière, consomment, en moyenne, dix fois plus d'énergie en automobile que ceux du groupe 2, non actifs demeurant dans le centre et appartenant à des ménages peu motorisés. Toutefois les budgets consommation limités aux seuls déplacements courts sont beaucoup moins dispersés (de 1 à 5 entre les deux groupes extrêmes). Ce qui sépare donc nos six groupes, et qui est traduit ici en termes de consommation, c'est moins un accès différencié à la voiture pour les petits déplacements que la possibilité d'utilisation de ce véhicule lors de déplacements longs. L'usage de l'automobile est mieux partagé sur les trajets courts. Restreindre le recours à la voiture sur les faibles distances risquerait ainsi d'accroître encore l'inégalité de son usage.

TABLEAU 7.23 : Budgets énergétiques automobiles, selon le groupe d'individus, tous déplacements confondus et déplacements courts uniquement

Groupe d'individus	1	2	3	4	5	6	Ensemble
Budget énergétique tous déplacements automobile (indice)	16	70	131	113	137	168	100
déplacements courts	33	83	141	87	104	162	100

2.2 - Le report modal : essai d'évaluation

Nous pouvons maintenant revenir aux potentialités d'économies d'énergie gisant dans les petits déplacements automobiles urbains.

Les quatre types de déplacements courts ne représentent que 12 % de la consommation totale des voitures particulières, les déplacements courts inclus dans des sorties courtes et les déplacements courts isolés en étant les principaux sinon les uniques responsables. Mais ces divers types ne se prêtent pas de la même manière à la substitution modale. Remarquons d'abord que, de par les distances concernées (de l'ordre du kilomètre), les transports collectifs semblent peu aptes à accueillir des transfuges de l'automobile. Deux roues mais surtout marche à pied sont ainsi les modes cibles d'un tel report modal. Si les déplacements courts inclus dans des sorties courtes (type 1) appartiennent à des sorties qui sont aisément reportables vers la marche à pied à se limiter au seul critère de distance, un report modal des déplacements courts isolés (type 4), inclus dans des sorties automobiles longues, paraît difficile sans remise en question de l'usage de la voiture sur tout ou partie de la sortie : il dépend en fait directement d'un changement de mode pour les déplacements longs.

L'enjeu énergétique lié à un report modal des seuls petits déplacements automobiles dans l'agglomération lyonnaise semble ainsi excéder difficilement 5 à 6 %. Or nous avons raisonné jusqu'à maintenant dans un cadre très favorable à cette substitution modale, en nous centrant sur les résultats issus de la typologie des déplacements de référence. Le couple de distances seuil y est en effet, rappelons-le, très optimiste vis-à-vis de l'usage de la marche. Si maintenant nous examinons le poids énergétique des déplacements courts selon la deuxième grille de distances seuil, (voir le tableau 7.22), force est de constater que l'enjeu énergétique s'est encore amenuisé. Les déplacements courts inclus dans

des sorties courtes y représentent environ 1 % de la consommation automobile totale. Une part des déplacements appartenant à des sorties longues quoique constituées uniquement de déplacements courts est peut-être reportable vers la marche à pied mais cela ne saurait être le cas de la totalité de ces parcours. L'enjeu se situe alors autour de quelques pour cent, 2 ou 3 probablement.

Mais la distance n'est pas le seul déterminant du choix modal et divers facteurs peuvent venir le limiter (voir notamment BRÖG, HEUWINKEL et NEUMANN, 1977). Certains sont directement liés à l'offre de transport : ses caractéristiques objectives comme les représentations qu'en ont les individus peuvent conduire à des situations de captivité (absence possible de desserte en transport collectif, perception des différents modes, ...). D'autres renvoient plus aux caractéristiques du déplacement lui-même et de la sortie correspondante : motif, lieux traversés, nombre de personnes l'effectuant simultanément (et présence d'enfants), position dans la journée (jour ou nuit), ... D'autres encore sont à relier aux caractéristiques socio-démographiques et économiques des individus (sexe, âge, profession, ...). Si l'on intègre ces contraintes, ce n'est finalement qu'une très faible part des petits déplacements automobiles qui est susceptible de donner lieu à un report modal.

Il est toutefois difficile d'évaluer précisément les économies à attendre d'un encouragement du report modal :

- si, pour l'agglomération lyonnaise et avec les distances seuil retenues comme référence, elles paraissent nettement inférieures à 5 % du volume des consommations automobiles, l'étude ne fournit pas les données permettant d'affiner ce résultat et de l'étendre à l'ensemble des agglomérations françaises ;
- mais surtout, le raisonnement tenu jusqu'ici repose sur une hypothèse très lourde : le véhicule, abandonné par l'individu qui en a habituellement l'usage, n'est pas réutilisé par d'autres membres du ménage. Or le report modal chez une personne peut se traduire, pour l'ensemble du ménage, par un accroissement de la mobilité automobile ; le bilan énergétique risque alors d'être négatif. Il conviendrait de tenir compte de ce phénomène lors du calcul des économies envisageables, ce qui n'était pas réalisable ici.

Cette dernière remarque permet d'élargir le problème du substitut du petit trajet automobile.

2.3 - Transports urbains et économies d'énergie

Les substituts du déplacement court automobile, plus que dans le report modal, sont à inscrire dans des formes plus larges de substitution entre des organisations différentes de la vie

quotidienne ou entre des pratiques spatiales elles-mêmes différenciées. Puisque la mobilité résulte d'un programme d'activités doublement localisé (espace et temps), il importe de s'attacher aux facteurs qui, dans l'évolution du système urbain, pèsent le plus sur ces deux dimensions complémentaires. Les décisions en matière d'urbanisme ou les évolutions des rythmes sociaux engendrent de profondes restructurations des programmes d'activité et se traduisent par des évolutions souvent durables des volumes d'énergie consommée par le secteur des transports (sans d'ailleurs que ces conséquences énergétiques soient toujours maîtrisées).

Peu d'évaluations de ces impacts ont été tentées jusqu'à maintenant. Sans chercher à être exhaustifs, nous mentionnerons deux travaux récents :

- selon ORFÈUIL (1984), le cinquième de l'augmentation de la consommation de carburant observée entre les deux derniers recensements peut être directement imputé aux mutations de l'usage du sol (développement d'une urbanisation individuelle lointaine) ;
- pour POYER et TOUGARD (1984), une procédure d'affectation des logements HLM ayant comme objectif explicite de minimiser les distances domicile-travail, tout en respectant, bien sûr, un certain nombre de contraintes (loyer, date de libération), peut permettre des économies de carburant sensibles. Ainsi, pour l'agglomération rouennaise, ils estiment que le gain de carburant se situerait autour de 12 % pour le motif domicile-travail.

Le secteur des transports semble ainsi capable de dégager des volumes importants d'économie d'énergie. Certains ne peuvent provenir que d'inversions de tendances lourdes dans les modes d'utilisation du sol : il s'agit alors plus d'évolutions sur le long terme. A plus ou moins court terme, d'autres sont susceptibles d'apparaître à partir d'adaptations de processus administratifs, d'améliorations des véhicules, d'aménagements d'horaires (quel est l'impact du développement de la journée continue ?), ... Les évolutions dans l'usage des modes sont l'une de ces sources d'économies, mais l'enjeu actuel lié aux seuls déplacements courts automobiles paraît bien minime.

CHAPITRE VIII

UN BILAN

L'analyse des consommations énergétiques transport au sein de l'agglomération lyonnaise a permis de mettre en évidence un certain nombre de facteurs les influençant. Toutefois leur liste n'est pas exhaustive et leurs interrelations n'ont pas toujours été bien mesurées. Cette analyse et celle des déplacements courts, comme les travaux antérieurs (reconstitution des distances, élaboration d'un modèle de consommation) qui les ont permises, montrent également, et peut-être surtout, la nécessité d'améliorations méthodologiques.

Ce chapitre se structurera donc autour de deux aspects : un inventaire des résultats et des réflexions méthodologiques.

I - LES DETERMINANTS DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE ET DE LA MICRO-MOBILITE

Nous allons d'abord reprendre les principales réponses apportées à nos deux objectifs initiaux, puis nous retrouverons certains de ces résultats à partir d'un nouvel éclairage permettant de les mettre en ordre.

1 - LES DETERMINANTS DES CONSOMMATIONS TRANSPORT

Les écarts entre niveaux de consommation sont bien évidemment, avant tout, le résultat de l'utilisation des modes. L'automobile se révèle ainsi une forte consommatrice, captant à elle seule près de 90 % de l'énergie totale. Pour des distances moyennes similaires (environ 6 km), elle demande près de quatre fois plus d'énergie que les transports collectifs. Ces mauvaises performances énergétiques de l'automobile sont dues notamment à la surconsommation liée à l'échauffement du moteur, qui représente, en moyenne, près du quart de la consommation totale de ce mode. Toutefois, son poids varie très sensiblement avec la distance parcourue. Pour des longueurs inférieures à 5 km, la surconsommation représente 38 % de la consommation totale, mais seulement 13 % pour des distances de 15-20 km. Ce phénomène se retrouve très clairement dans l'analyse des consommations moyennes selon le type de liaison. Les déplacements automobiles internes au centre, avec de faibles distances moyennes, présentent des consommations kilométriques très élevées (de 30 à 60 % supérieures à la moyenne), le taux de surconsommation étant de l'ordre de 30 %. Par contre, les déplacements radiaux et surtout orthoradiaux, plus longs, se montrent plus efficaces énergétiquement.

Le caractère déterminant du taux d'usage de la voiture se retrouve lorsque l'on examine les consommations moyennes selon le motif du déplacement. Les motifs les plus "énergivores" (surtout "travail" mais également "secondaire" et "vie sociale") sont ceux pour lesquels l'utilisation de la voiture est la plus élevée. Entre les déplacements "service passager", les moins consommateurs, et les déplacements domicile-travail, le rapport des consommations tous modes est de 1 à 6,5. Mais plus qu'une quantification des écarts de consommation, l'analyse révèle que la hiérarchisation des motifs selon leur consommation moyenne est à référer essentiellement à la richesse de l'offre urbaine. Les motifs les moins consommateurs ("service passager", "achats", "école") renvoient aux éléments de l'offre urbaine les plus diffus.

Cependant ces activités résultent de pratiques des individus. Les consommations par déplacement se ressentent alors des autres activités, du mode de vie de ces individus et il convient de dépasser l'examen des consommations moyennes par déplacement pour analyser les budgets énergétiques des individus. Ces budgets sont répartis très inégalement dans la population : 13 % des individus consomment la moitié de l'énergie. La désagrégation de la population selon les caractéristiques socio-économiques traditionnelles montre des différences sensibles entre groupes d'individus.

Il en est ainsi du lieu d'habitat. L'usage des modes comme l'usage de l'espace est sensiblement différent selon le lieu de résidence. Aussi entre le centre et la périphérie le budget énergétique tous modes est multiplié par 1,6.

Le sexe présente également un fort pouvoir discriminant. En moyenne, les hommes consomment deux fois plus que les femmes, pour une distance supérieure de 50 %. L'écart entre les deux taux est lié à l'usage de la voiture nettement plus développé pour les hommes.

Ainsi, au delà des écarts (consommation, distance) entre individus résultant de décisions structurelles de leurs ménages d'appartenance, des inégalités sensibles existent entre membres d'un même ménage. Il est symptomatique de constater que les hommes appartenant à des ménages monomotorisés consomment deux fois plus d'énergie que leur compagnes mais autant que les femmes des ménages bimotorisés.

Le statut de l'individu permet de lier le sexe à l'activité professionnelle. Entre les hommes actifs et les retraitées, les écarts de consommation sont considérables : de l'ordre de 7,5. Des groupes plus contrastés peuvent être mis en évidence. L'analyse de la micro-mobilité nous a amené à construire une macro-variable caractérisant l'individu à partir du lieu d'habitat, du nombre de voiture du ménage, de la structure spatiale de ses déplacements et de son statut. L'écart entre les groupes extrêmes est alors supérieur à 12. Cette croissance des budgets énergétiques est à relier à trois facteurs explicatifs fondamentaux :

- les pratiques d'activités se modifient; le travail supprime les achats : les activités entraînant les déplacements les plus "énergivores" se développent au détriment des activités de proximité ;
- l'usage de l'espace se complexifie ; les mêmes activités sont effectuées plus loin du domicile pour les hommes actifs que pour les retraitées ;
- l'usage des modes se transforme ; le glissement vers la voiture est très sensible.

Mais l'analyse des budgets énergétiques en fonction de la structure spatiale des déplacements de l'individu montre que l'usage de l'espace, à mesure qu'il s'enrichit, devient de plus en

plus consommateur d'énergie. L'augmentation corrélative des distances n'en est que partiellement responsable, le recours à la voiture s'accroissant à distance moyenne par déplacement équivalente.

2 - PETITS DEPLACEMENTS ET ENERGIE

Pour essayer de dépasser la caractérisation du petit déplacement à partir de sa seule distance, nous avons combiné trois éléments :

- la sortie
- la distance, du déplacement considéré et de la sortie
- les lieux à partir desquels se structurent l'utilisation du temps et de l'espace, c'est-à-dire, le domicile et, à un moindre degré, le lieu de travail (sortie secondaire).

A partir de ces critères, cinq types de déplacement apparaissent. Les valeurs choisies ici pour les distances-seuil semblent très optimistes vis-à-vis de l'usage de la marche.

Les déplacements courts, qui représentent plus de la moitié des déplacements, sont ventilés en quatre types. Ils se différencient en fonction des caractéristiques physiques de la sortie à laquelle ils appartiennent (distance du plus grand déplacement et distance totale). Toutefois, la quasi-totalité des déplacements courts (72 %) appartient à des sorties courtes (type 1) et les trois autres types sont beaucoup plus rares, deux n'étant même présents qu'à l'état de traces.

Ces types ont pu être caractérisés en fonction des différents critères socio-économiques considérés précédemment, notamment le motif et le statut. Mais c'est surtout par l'usage des modes qu'ils se distinguent. En effet, il semble que, plus que la distance du déplacement, ce soient la distance totale de la sortie et la distance de son plus long déplacement qui jouent le plus nettement sur le choix modal. Ainsi, les déplacements courts inclus dans des sorties courtes s'effectuent essentiellement à pied tandis qu'à l'opposé les déplacements courts isolés donnent lieu à un usage équivalent de la marche et des modes motorisés.

Les déplacements courts ne représentent que 13 % des distances parcourues et 11 % des consommations, la part de la voiture étant peu affectée par le type de déplacement.

Si l'on observe les seuls déplacements courts automobiles, on retrouve l'impact négatif de la surconsommation sur les faibles distances : elle représente pratiquement 50 % de leur consommation totale. Leur poids (par rapport à l'ensemble des déplacements)

ments automobiles) est ainsi de 7 % en termes de distance, mais de 12 % en termes de consommation.

Ce dernier pourcentage ne désigne cependant pas l'enjeu énergétique théorique lié à un report modal systématique des petits déplacements automobiles. En effet, les différents types de déplacement court ne se prêtent pas de la même manière à la substitution modale. Cet enjeu théorique se situe plus probablement aux alentours de la dépense énergétique des déplacements automobiles courts inclus dans des sorties courtes, soit environ 5 % de la consommation automobile totale. Toutefois, bien d'autres facteurs que la distance interviennent dans le choix modal et l'enjeu réel, tant au moins pour l'agglomération lyonnaise, est bien inférieur au maximum théorique.

Si divers gisements d'économies d'énergie subsistent dans le secteur des transports urbains, les potentialités actuelles liées aux déplacements courts automobiles sont probablement très limitées.

3 - UN ESSAI DE MISE EN ORDRE DES DETERMINANTS

La typologie des individus constituée en fonction de leur micro-mobilité va nous permettre, en guise de conclusion, de recadrer les trois facteurs explicatifs mis en évidence précédemment et dont l'examen de la structure spatiale des déplacements avait montré les interférences.

Cette typologie distingue six groupes, qui sont révélateurs des influences croisées de quelques unes des variables identifiant l'individu. Ces groupes présentent des mobilités très différenciées, notamment en ce qui concerne l'arbitrage entre déplacements courts et longs, et les budgets énergétiques qui en découlent sont très disparates. Ces mobilités hétérogènes renvoient en fait à un usage de l'espace comme à une pratique des activités et des modes qui se modifient profondément d'un groupe à l'autre. Il est alors intéressant d'essayer d'évaluer l'impact de ces divers facteurs.

Le budget énergétique résulte du produit de quatre éléments :

- le nombre de déplacements quotidiens
- la structure des déplacements selon le motif
- la distance moyenne par motif
- la consommation kilométrique moyenne par motif.

Les deux premiers facteurs sont le reflet des activités pratiquées par l'individu : lesquelles réalise-t-il et dans quel volume ? Le troisième élément introduit la dimension spatiale : où les effectue-t-il ? Le quatrième enfin renvoie à l'usage des modes : comment se rend-il sur ces lieux ? Pris séparément, ces quatre éléments ont chacun une influence sur le niveau du budget énergétique. Toutes choses égales par ailleurs (i.e. les trois autres facteurs n'évoluent pas), la variation des lieux d'activités se traduira par une croissance de $x\%$ du budget énergétique lorsque l'on passe de tel groupe à tel autre. De la même manière, la déformation de la structure des motifs va impliquer, les trois autres facteurs étant neutralisés, une croissance de $y\%$ du budget. Mais la croissance de la distance moyenne par déplacement n'est pas nécessairement le produit de ces deux effets : ils peuvent se cumuler ou au contraire se contrecarrer. Ainsi, si les activités pour lesquelles la distance à parcourir s'accroît le plus sont aussi celles qui voient leur part dans la structure des motifs s'amenuiser fortement, la distance moyenne par déplacement augmentera moins que la simple multiplication des taux de croissance élémentaires le laissait présager. Cet effet de composition traduit les interactions entre facteurs explicatifs, les corrélations repérables dans leurs évolutions.

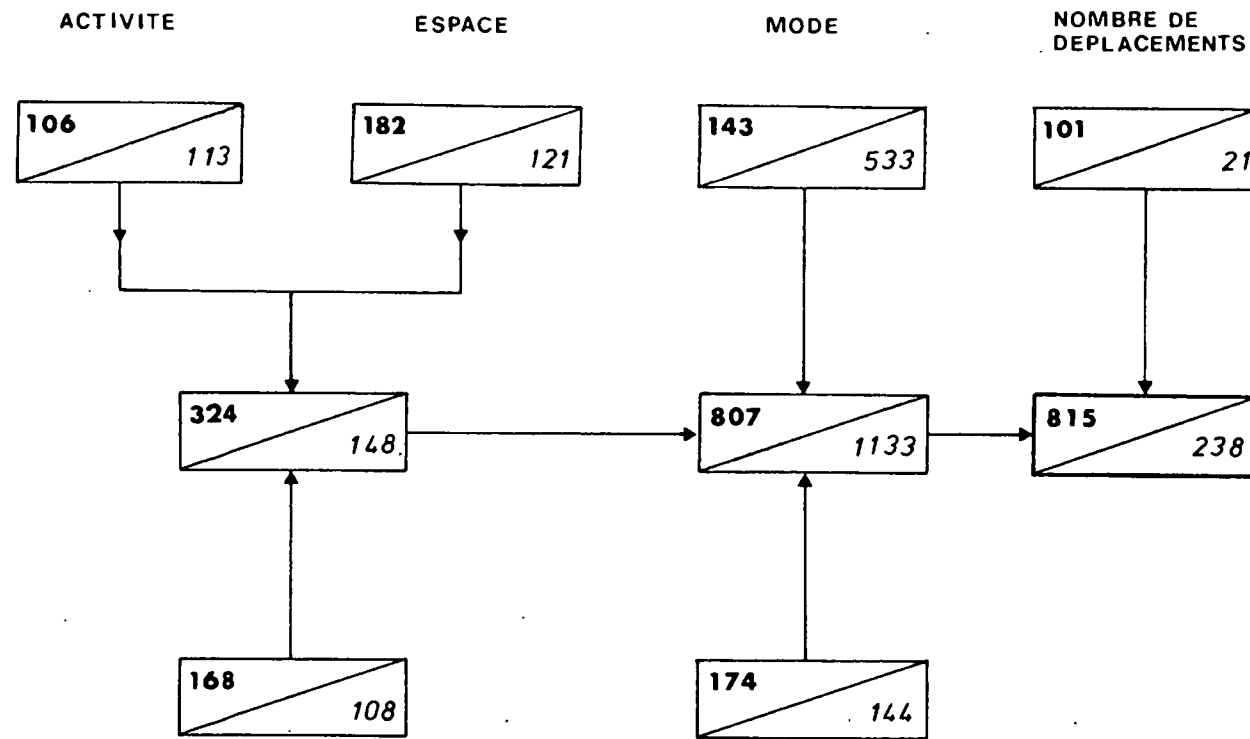
La figure 8.1 s'attache à démêler l'influence de ces quatre éléments dans la croissance du budget énergétique entre les deux groupes extrêmes de la population (groupes 1 et 6), tous déplacements confondus et pour les seuls déplacements courts inclus dans des sorties courtes (qu'elles soient du domicile ou secondaires).

Tous déplacements confondus, trois faits retiennent l'attention. La modification de la structure des activités n'a que peu d'influence directe sur le budget consommation. Les interactions entre effets sont du même ordre de grandeur que l'effet le plus important (allongement des distances). Le nombre moyen de déplacements est pratiquement constant entre les deux groupes. Ainsi, la croissance du budget consommation entre le groupe 1 (femmes non actives résidant au centre de l'agglomération et ayant un accès difficile à la voiture particulière) et le groupe 6 (hommes actifs résidant en périphérie et disposant d'un véhicule) est principalement imputable à un usage de l'espace plus riche et, à un moindre degré, à un glissement vers des modes plus consommateurs. Mais surtout, les quatre effets, déjà tous favorables à cette croissance, se confortent : les activités qui voient leur part augmenter sont celles pour lesquelles les distances s'accroissent le plus et l'utilisation de la voiture se développe notablement. L'évolution n'est pas due à des transformations indépendantes dans l'usage de l'espace, des modes et des activités mais à une déformation conjointe de ces trois pratiques, toujours favorable à une croissance du budget consommation.

Si l'on se limite aux seuls déplacements courts de type 1 et 3, l'augmentation (d'ailleurs plus faible) du budget

FIGURE 8.1 : Décomposition de l'augmentation du budget consommation (tous déplacements et déplacements courts confondus et de 533 entre les groupes d'individus 1 et 6.

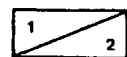
EFFETS



INTERACTIONS

ACTIVITE-ESPACE

ACTIVITE-ESPACE-MODE



1 TOUS DEPLACEMENTS

2 DEPLACEMENTS COURTS (TYPE 1 et 3)

Le schéma se lit : "L'effet 'mode' se traduit par une augmentation de 143 % du budget consommation entre les deux groupes extrêmes tous déplacements confondus et de 533 % pour les seuls déplacements courts".

consommation ne peut plus être expliquée de la même manière. L'effet "espace" perd de son influence : par définition, l'espace est ici limité à une zone proche du domicile (rappelons le très faible poids des déplacements de type 3). Néanmoins, cet espace de proximité est plus "vaste" pour les individus du groupe 6 que pour ceux du groupe 1. Les interactions entre effets s'affaiblissent : les effets "espace" et "activité" sont même pratiquement indépendants. Enfin, les effets "mode" et "nombre de déplacement" sont très importants, mais, jouant en sens contraire, se neutralisent presque : les hommes actifs habitant la périphérie font beaucoup moins de déplacements courts que les habitantes non actives du centre, leur usage de la voiture étant toutefois beaucoup plus systématique. La répartition modale nettement favorable à l'automobile chez les individus du groupe 6 est ainsi contrebalancée par une micro-mobilité plus faible.

Il est donc possible de référer la croissance du budget énergétique transport entre les deux groupes extrêmes de la population à des évolutions dans l'utilisation de l'espace, les pratiques d'activités et l'usage des modes. Il nous est apparu que ces évolutions étaient fortement liées et, qui plus est, ne se contrecarraient pas mais au contraire se renforçaient.

Les trois facteurs explicatifs renvoient finalement à l'insertion de l'individu dans les trois sous-systèmes constitutifs du système urbain : localisation, relations et pratiques sociales, transport. Les corrélations entre leurs influences respectives montrent les limites d'une action focalisée sur un seul des sous-systèmes. L'étude des consommations d'énergie en transport urbain n'est alors qu'une étude de la mobilité, grossissant un certain nombre de phénomènes (la place des modes, par exemple) et amplifiant encore les inégalités.

II - REFLEXIONS METHODOLOGIQUES

La recherche peut être décomposée en trois phases :

- une évaluation des distances de déplacement, indispensable pour repérer les déplacements courts
- une détermination des consommations par déplacement, nécessaire pour le calcul des budget énergétiques
- une analyse de la mobilité, centrée sur les deux aspects consommation et micro-mobilité.

Nous allons les reprendre successivement et en tirer quelques enseignements méthodologiques.

1 - EVALUER LES DISTANCES

Le chapitre III a montré l'inadéquation des méthodes traditionnelles d'enquête, lorsque la perspective d'analyse est centrée sur les distances de déplacement. La méthode de reconstitution des distances proposée précédemment, si elle présente de nombreux avantages par rapport notamment au recours à une distance de centroïde de zone à centroïde de zone, n'en reste pas moins critiquable sur certains aspects, le principal étant le nivellement des comportements des individus. Mais ce lissage des disparités individuelles est un handicap commun à toutes les méthodes "indirectes" de reconstitution ex post.

Par méthode "indirecte", nous désignons une démarche qui, volontairement (dans un souci d'économie, par exemple) ou involontairement (parce qu'il n'y a pas d'autre solution possible), va affecter à un déplacement une distance obtenue par un procédé normatif. La méthode que nous avons proposée est indirecte, aussi bien dans la phase de mesure sur plan des distances probables (ignorance des itinéraires) que dans l'ultime phase d'utilisation des typologies de vitesse. Ces méthodes indirectes ont toutes en commun de ne demander la saisie d'aucun renseignement complémentaire lors des passations de questionnaire. Nous allons envisager successivement la possibilité d'appréhender directement durant l'enquête les distances parcourues, puis étudier quels seraient les renseignements nécessaires à l'utilisation d'une méthode directe de reconstitution ex post.

1.1 - La saisie des distances au moment de l'enquête

La possibilité d'une saisie des distances durant l'enquête est en fait très liée au mode utilisé pour le déplacement. Plus exactement, il est nécessaire de considérer non pas le déplacement porte à porte mais les différents parcours qui le composent (en définissant un parcours par l'unicité du mode utilisé). Deux classes apparaissent alors, que nous allons examiner successivement.

1.1.1. - Les parcours en voiture particulière et en deux roues disposant d'un compteur kilométrique

La présence d'un compteur kilométrique (voire hectométrique) sur les véhicules particuliers et sur certains deux roues permet à l'utilisateur de connaître à l'issue d'un parcours la longueur de celui-ci. Une enquête auto-administrée, de type carnet de bord est alors bien adaptée. C'est une telle démarche qui a été retenue dans le cadre de l'enquête sur l'utilisation réelle de la voiture (EUREV) de l'IRT-CERNE : un carnet de bord a été affecté à chaque véhicule des ménages sélectionnés, carnet sur lequel le conducteur doit noter, pour chaque déplacement, quelques renseignements dont la longueur, lue directement au compteur (VALLET, YGNACE, MAURIN, 1982).

En plus des problèmes inhérents aux enquêtes carnets de bord (coût élevé, nécessité d'un suivi rigoureux, ...), des incertitudes sur les distances réellement parcourues peuvent être importantes. Les longueurs ne sont le plus souvent connues qu'à ± 1 km près, car les véhicules disposent rarement d'un compteur hectométrique, en particulier les voitures ou deux roues bas de gamme. Les biais sur les petits déplacements risquent alors d'obérer gravement la qualité du fichier obtenu.

1.1.2 - Les parcours en transport en commun, en deux roues sans compteur kilométrique et à pied

Les trajets terminaux à pied, qui pour certains déplacements sont très importants, entrent dans cette catégorie.

Il paraît très difficile de saisir lors de l'enquête la distance parcourue en transport en commun, à pied ou en deux roues

sans compteur kilométrique car l'individu n'a pas la possibilité de la connaître avec précision. On pourrait certes lui demander de l'estimer, enregistrant ainsi la distance perçue, de la même manière que l'on appréhende des temps perçus et non des temps réels. Mais on ne dispose pas, dans le domaine spatial, du garde-fou qu'est, au niveau temporel, la méthode des programmes d'activité : les distances indiquées par les individus ne seraient alors que de peu d'utilité, dans la perspective qui est la notre tout au moins.

1.1.3 - Conclusion

Une enquête pluri-modale enregistrant les distances réelles apparaît ainsi impossible à réaliser. Des études centrées sur la VP peuvent par contre utiliser une enquête de type carnet de bord, bien qu'il faille remarquer l'incertitude importante qui pèse sur les petits déplacements.

1.2 - Reconstitution directe ex post

Nous envisagerons ici deux méthodes, se différenciant par la qualité des distances issues de la reconstitution et par le type d'information à recueillir, mais adaptables toutes deux à des recueils de données de type programme d'activité ou enquête ménages.

1.2.1 - Enregistrement de l'itinéraire exact

Il s'agit ici de demander à l'utilisateur d'indiquer sur une carte le chemin exact qu'il a emprunté durant le déplacement. Il est possible alors au moment du codage des questionnaires soit de calculer manuellement la distance parcourue (à l'aide d'un curvimètre), soit de coder l'itinéraire parcouru puis informatiquement de calculer sa longueur. Les résultats obtenus sont alors de très bonne qualité.

Les problèmes sont de deux ordres. D'une part, tous les individus ne savent pas se repérer sur une carte : le rôle des enquêteurs est alors essentiel, mais risque dans certains cas d'être limité (mauvaise volonté de l'enquêté, ...). D'autre part, le travail de calcul des distances est astreignant : si le fichier est de petite taille, il peut être plus simple d'opérer manuellement

mais si l'on pense recueillir un grand nombre de déplacements, il peut être plus économique d'affecter manuellement, dès avant l'enquête, une longueur à chaque arc du graphe associé au réseau de transport, de saisir ces données et de travailler ensuite informatiquement ; dans les deux cas, le travail demandé est long.

1.2.2 - Enregistrement de points de passage

On ne saisit pas ici l'itinéraire de l'individu mais seulement son passage en certains points de l'agglomération, définis avant l'enquête et fixés pour l'ensemble de l'échantillon. Si l'on dispose d'une matrice des distances du plus court chemin entre ces points, il est alors très simple informatiquement d'affecter une distance au déplacement.

Cette méthode est moins lourde que la précédente, la constitution de la matrice des distances du plus court chemin demandant toutefois un travail préparatoire assez important. Mais les distances obtenues sont de moins bonne qualité, notamment pour les petits déplacements. On a là une méthode intermédiaire entre la reconstitution directe et la reconstitution indirecte.

1.2.3 - Conclusion

Si l'on essaie de replacer ces deux méthodes dans la grille d'analyse présentée dans le tableau 3.1, on voit que la première correspond à la solution optimale (type 7), alors que la seconde est de type 6 (plus court chemin dans un graphe) et peut être encore simplifiée en repérant origine et destination par un zonage, éventuellement un carroyage (type 3).

L'arbitrage entre les deux méthodes dépend de la qualité des informations que l'on aimerait recueillir mais aussi des problèmes de coût. On sait que des enquêtes ménage ou programme d'activité sont très onéreuses. Si, de plus, s'y intègrent des préoccupations touchant aux distances de déplacement, les coûts ne peuvent qu'augmenter encore. La saisie du graphe associé au réseau d'infrastructure et des distances s'y rapportant est un travail important mais le fichier obtenu peut, au prix d'actualisations périodiques prenant en compte les modifications (marginales) du réseau, être utilisé pour des enquêtes ultérieures. De plus ce fichier est susceptible d'être utilisé pour d'autres applications (études d'accessibilité, ...). Mais, sauf pour la première méthode, force est de constater que les déplacements courts sont encore les plus mal lotis.

2 - DETERMINER LES CONSOMMATIONS

Comme l'évaluation des distances, la détermination des consommations peut s'effectuer au moment même de l'enquête ou donner lieu à un travail complémentaire ultérieur.

2.1 - La saisie des consommations lors de l'enquête

Ainsi que pour la saisie des distances, les différents modes ne peuvent pas être traités ici sur le même pied : la consommation d'un déplacement en transport collectif ne peut guère être enregistrée à l'occasion de l'enquête. Par contre, la situation est différente pour les deux roues à moteur et, surtout, les voitures particulières. Deux options sont alors possibles : l'enregistrement de la consommation due à chaque déplacement, l'enregistrement des déplacements effectués entre deux pleins du réservoir. Si, dans les deux cas, il s'agit bien d'un suivi du véhicule plus que de l'individu, les modalités en sont différentes.

L'enregistrement de la consommation due à chaque déplacement passe nécessairement par une instrumentation des véhicules. Celle-ci permet de recueillir en plus des conditions de fonctionnement du véhicule des indications sur l'utilisation de la voirie et les caractéristiques des trajets effectués (DELSEY, 1980). Notons toutefois que l'instrumentation des véhicules de particuliers est souvent difficile à réaliser, les contraintes techniques étant plus lourdes que lorsqu'il s'agit de véhicules-laboratoire. Les résultats obtenus sont alors de bonne qualité. Le plus gros handicap de l'instrumentation des véhicules est néanmoins son coût lorsqu'elle a lieu à grande échelle.

Si l'on peut se limiter à la connaissance de la consommation d'un groupe de déplacements (parce que l'on dispose d'un modèle permettant de redescendre aux déplacements élémentaires), une enquête de type carnet de compte des déplacements du véhicule permet de recenser les caractéristiques énergétiques souhaitées pour peu que la période d'enquête soit incluse entre deux pleins du réservoir. L'enquête EUREV déjà citée (VALLET, YGNACE, MAURIN, 1982) s'inscrit dans une telle perspective. Compte tenu de ses objectifs, les données recueillies dans cette enquête ont été les suivantes :

- des données "ménages" par le biais d'un questionnaire ménage classique
- des données "véhicules" à l'aide d'un questionnaire portant sur l'entretien, l'équipement et l'identification des véhicules

- des données "déplacements" sur la base d'un carnet de compte hebdomadaire portant sur les pleins de carburant et la description des déplacements (durée, motif et distance, itinéraire et types des voies utilisées, charge des véhicules, ...).

La fiabilité de ces dernières a été tout à fait satisfaisante.

Les deux procédures décrites précédemment semblent en fait complémentaires. Une enquête de type EUREV limitée à une agglomération fournit, sur un échantillon de taille importante, l'histoire des véhicules et la quantité totale d'énergie consommée durant la période. Une instrumentation parallèle de quelques uns de ces véhicules permet de caler un modèle, qui sert alors à affecter une consommation à chaque déplacement de l'enquête. Il ne s'agit pas (ou pas toujours) de la consommation réelle mais l'erreur est minimisée puisque l'estimation s'effectue sous contrainte.

2.2 - La reconstitution ultérieure des consommations

La reconstitution des consommations après enquête passe par le recours à un modèle. Or nous avons vu lors de l'étude bibliographique que les modèles actuels étaient, à des degrés divers, éminemment perfectibles. L'effort principal doit porter, nous semble-t-il, sur une modélisation reposant sur des expérimentations en conditions réelles de circulation et représentatives des parcours urbains de l'agglomération étudiée. La voiture particulière, de par sa place dans la répartition modale exprimée en termes de consommation, en est la cible principale.

2.3 - Conclusion

L'instrumentation de véhicules privés s'avère, à l'issue de ce bref survol, l'unique méthode entièrement fiable de recueil des consommations réelles par déplacement. Toutefois, son coût la rend difficilement abordable dès lors que l'on s'intéresse à des échantillons conséquents. Son couplage avec une enquête carnet de bord peut fournir des résultats, certes moins pertinents, mais également moins onéreux. Dans tous les cas, l'instrumentation doit déboucher sur une modélisation de consommations énergétiques.

3 - ANALYSER LA MOBILITE

La méthode des programmes d'activité paraît tout à fait satisfaisante aussi bien pour étudier les consommations énergétiques que pour mieux cerner la micro-mobilité. Quelques améliorations du questionnaire utilisé ou un enrichissement des fichiers de travail pourraient toutefois améliorer sensiblement les possibilités d'analyse.

Nous avons vu qu'à distance égale, des choix modaux divergents pouvaient conduire à des consommations très éloignées. La meilleure compréhension des déterminants du choix modal passe par la connaissance des modes de transport effectivement disponibles pour le déplacement. Cette disponibilité est non seulement objective mais aussi subjective et il convient, notamment pour la voiture particulière, de l'appréhender lors de l'enquête.

Les caractéristiques de l'offre urbaine étaient également bien mal intégrées dans notre enquête. En fait, au delà de la très grossière distinction entre communes, nous ne disposons ici d'aucune information. Or ces caractéristiques et la perception qu'en ont les individus comptent parmi les principaux déterminants des choix de localisation des activités. La mise au point d'indicateurs d'offre urbaine contribuerait grandement à un enrichissement des fichiers disponibles.

Enfin, une enquête spécifique sur la mobilité de proximité, réalisée à l'aide d'entretiens, devrait permettre d'exhiber les mécanismes de perception par l'individu de l'environnement de son domicile. En particulier, l'appréhension de l'offre urbaine de proximité et d'éventuels déterminants spécifiques du choix modal pourraient ainsi être révélés. Une telle enquête serait alors précieuse pour définir les indicateurs d'offre urbaine que nous évoquons plus haut.

4 - QUELLES METHODES POUR QUELS OBJECTIFS ?

Quatre objectifs intermédiaires apparaissent à la lecture des remarques précédentes :

- améliorer la reconstitution des distances
- modéliser les consommations énergétiques
- connaître les consommations réelles
- élaborer des indicateurs d'offre urbaine.

Parallèlement quatre grandes familles de méthodes se sont dégagées :

- une enquête sur les itinéraires, pour laquelle deux types ont été présentés
- l'instrumentation de véhicules, pouvant ou non concerner des véhicules de particuliers
- une enquête carnet de bord, de type EUREV (limitée au milieu urbain)
- une enquête par entretien qualitatif sur l'environnement du domicile et la mobilité de proximité.

Le tableau 8.1 permet de croiser objectifs et méthodes. Une méthode pouvant satisfaire avec plus ou moins de bonheur plusieurs objectifs, nous avons pondéré les liaisons ainsi obtenues par l'échelle suivante :

- 1 : objectif central de la méthode
- 2 : objectif secondaire de la méthode
- 3 : objectif annexe de la méthode.

TABLEAU 8.1 : Objectifs et méthodes

Méthodes Objectifs	Enquête itinéraires	Instrumen- tation de véhicules	EUREV urbaine	Enquête par entretiens
reconstituer les distances	1		2	
modéliser les consommations		1	2	
connaître les consommations réelles		3	1	
appréhender l'offre urbaine				1

Pour ces préalables à l'analyse des consommations et de la micro-mobilité, la réalisation d'une enquête de type EUREV sur une agglomération donnée semble susceptible d'apporter les résultats les plus complets. A l'inverse, chaque objectif est satisfait par au moins une méthode. Remarquons à ce propos que des travaux très éloignés de nos perspectives pourraient contribuer à atteindre certains de nos objectifs. Ainsi la mise en place d'observatoires urbains permanents ne peut qu'améliorer notre appréhension de l'offre urbaine.

5 - CONCLUSION

Si maintenant nous revenons à nos deux objectifs principaux, recherche des déterminants des consommations et étude des déplacements courts, il apparaît qu'une méthode unique ne saurait permettre de les atteindre. Les résultats les plus probants ne peuvent naître ici que de la conjonction de plusieurs méthodes.

Ainsi une enquête programme d'activités touchant un échantillon représentatif de ménages et s'accompagnant d'un carnet de compte (portant, lui, sur plusieurs journées) pour chaque véhicule du ménage nous semble la stratégie la plus prometteuse, si toutefois elle va de pair avec l'instrumentation de quelques véhicules et une enquête par entretien auprès de plusieurs ménages. De fait, cette stratégie ne présente vraisemblablement que deux défauts : sa lourdeur et son prix. Ils sont malheureusement conséquents.

Plus modestement, l'intégration, même marginale, de la dimension énergétique dans les enquêtes ménages traditionnelles (de types CETUR ou programmes d'activités) permettrait certainement, à défaut d'en obtenir une vision globale, de préciser certains de ses aspects mis ici en évidence. Mais, après tout, si la mobilité elle-même est encore mal connue comment pourrait-ilen être autrement d'une de ses composantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AVEROUS B., MATALON B.,
GODARD X., ORFEUIL J.P.
Recherche sur la mobilité des
personnes en zone urbaine. Exploita-
tion de l'enquête de Dijon. Motori-
sation et usage individuel de la
voiture.- Arcueil : IRT, 1979, Rap-
port de recherche N° 38 (tome.III),
70 p.
- BOLARD J., CLUZEL, G.
Mesure de la consommation d'essence
des véhicules automobiles avec
départ à froid et estimation de son
impact pratique.- Pétrole et tech-
nique N° 254.
- BONNAFOUS A.
La logique de l'investigation éco-
nométrique.- Paris/Bruxelles/
Montréal : Dunod, 1973, 307 p.,
(Coll. Cournot).
- BONNAFOUS A.
La demande de transports de voya-
geurs en milieu urbain. Méthodo-
logie de l'analyse et de la prévi-
sion. Paris : CEMT, 32^e Table
Ronde d'économie des transports,
4-5 décembre 1975.- Paris : CEMT,
1977, 83 p.
- BONNAFOUS A.
Suivi du métro : budget-temps et
mobilité.- Lyon : IEE, 1978,
novembre, 15 p. + annexes. (Note
de travail 78-22)
- BONNAFOUS A., PATIER-MARQUE D.,
PLASSARD F.
Mobilité et vie quotidienne : Suivi
du métro de Lyon.- Lyon : Presses
Universitaires de Lyon, 1981, 172 p.
(Coll. Transport Espace Société)

-
- BROG W., HEUWINKEL D.,
NEUMANN K.H. Motifs psychologiques qui guident les usagers. Paris : CEMT, 34^e Table ronde d'économie des transports, 6-7 mai 1976.- Paris : CEMT, 1977, 83 p.
- CETE, SEMALY, IRMA TERESE, affectation d'une demande TC.- Bron : CETE, 1975, avril, 60 p.
- CETUR, CETE Bilan énergétique du métro de Lyon. Note de synthèse.- Bagneux, Bron : CETUR, CETE, 1982, 38 p.
- CLAISSE G., DIAZ OLVERA L.,
DE LA MORSANGLIERE H., PLAT D. Mise au point d'un modèle complet de consommation de carburant des véhicules légers en milieu urbain.- Vaulx-en-Velin : LET, 1983, avril, 39 p. (Note de travail)
- COHEN S. Influence du nombre d'arrêts sur la consommation d'énergie des voitures légères en milieu urbain.- Arcueil : IRT, 1980.
- COHEN S. Consommation d'énergie et déplacements des voitures particulières en milieu urbain.- Arcueil : IRT, Division Exploitation de la Route, 1981, Rapport de recherche N° 50, 78 p.
- COHEN S. Economies d'énergie et conduite rationnelle des autobus urbains.- Bulletin Recherche-Transports, 1982, N° 37, janvier, pp. 1-13.
- DE LA MORSANGLIERE H. Structure familiale et comportements de déplacements : chaînes d'activités et de déplacements communs au sein du ménage.- Vaulx-en-Velin : LET, 1983, avril, 223 p. + annexes. (Coll. Etudes et Recherches)
- DELSEY J. L'instrumentation des véhicules en vue des études de consommation d'énergie; matériel de prises de données, stockage et traitement de données.- Bron : IRT - CERNE, 1980, décembre, 29 p.

- DELSEY J., BAC J.P., VIDON R. Influence de la température ambiante et de la longueur du trajet sur la consommation de carburant des automobiles. Rapport d'avancement.-Bron: IRT-CERNE, 1980, décembre, 42 p. + annexes.
- DERYCKE P.H. Economie et planification urbaines. 1. L'espace urbain.- Paris : Presses Universitaires de France, 1979, 412 p. (Coll. Thémis, Sciences Economiques)
- DIAZ OLVERA L., PLAT D. Consommation d'énergie en milieu urbain et mobilité de proximité. Université de Sussex, Brighton : 12^e Séminaire d'été PTRC, atelier (H) Méthodes de planification des transports, 10-13 juillet 1981.- Londres: PTRC, 1984 (P 257).
- FRYBOURG A. Les consommations unitaires d'énergie dans les transports.- Paris : Documentation Française, 1980, 148 p.
- INSEE Enquête transports .- Paris : INSEE, 1977, N° 63/64. (Coll. M)
- JONES P.M., DIX M.C.,
CLARKE M.I., HEGGIE I.G. Understanding Travel Behaviour. Final Report to the Social Science Research Council.- Oxford : Transport Studies Unit, 1980, juin, 393 p. (TSU 119/PR)
- LE FOLL Y., MENEAU J.C.,
MOLINA J.M. Etude de la mobilité des habitants de la proche banlieue parisienne. Analyse de la structure des comportements en matière de déplacement: Rapport N° 2 .- s.l., Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Département d'informatique, 1979, octobre, 39 p.
- MAURIN M. La consommation des véhicules. Un modèle complet. Note de travail.- Bron : IRT-CERNE, 1982, février, 12 p.
- MAURIN M. La consommation des véhicules. Un modèle complet. Note de travail N° 2.- Bron : IRT-CERNE, 1982, avril, 12 p.

- MERLIN P. Comment économiser l'énergie dans les transports .- Paris : Documentation Française, 1977, 62 p. (Coll. Etudes prioritaires interministérielles)
- MICHELET J.P. La voiture particulière et les transports publics urbains face aux économies d'énergie .- Revue des transports publics urbains et régionaux, 1979, N° 766, novembre, pp. 23-27.
- MULLER J.M. La cartographie d'une métrique non-euclidienne : les distances-temps.- L'espace géographique, 1979, N° 3, pp. 215-227.
- OCDE (GROUPE RECHERCHE ROUTIERE) Consommation de carburant par les automobiles dans des conditions de circulation réelles .- Paris : OCDE, 1982, 113 p.
- ORFEUIL J.P. Le budget énergie-transport des ménages en région parisienne. Note N° 1 - Résultats généraux .- Arcueil : IRT, Division transports urbains, 1980, septembre, 29 p.
- ORFEUIL J.P. Le budget énergie-transport des ménages en région parisienne. Note N° 2 - L'influence du revenu.- Arcueil : IRT, Division transports urbains, 1981, février, 32 p.
- ORFEUIL J.P. Les budgets énergie transport : un concept, une pratique, des résultats .- Recherche Transports Sécurité, 1984, N° 2, avril, pp. 23-29.
- PERREUR J., THISSE J.F. Une application de la métrique circum-radiale à l'étude des déplacements urbains .- Revue Economique, 1974, pp. 298-315.
- PLAT D. Distances de déplacement : le cas de l'agglomération lyonnaise .- Université Lyon II, 1982, novembre, 100 p. + annexes. (Mémoire de DEA)

-
- POYER P., TOUGARD C. Le choix d'un logement ou de l'intérêt de rationaliser le couple lieu domicile-lieu de travail; cas de l'agglomération rouennaise .- Transports Urbanisme Planification, 1984, 1^{er} trimestre, pp. 97-107.
- ROUMEGOUX J.P. Consommation de carburant en trafic urbain. Rapport final .- Bron : IRT-CERNE, 1979, décembre, 44 p.
- ROUMEGOUX J.P., GUITTON J.P., VIDON R. Consommation de carburant des voitures particulières et des autobus en zone urbaine. Rapport final .- Bron : IRT-CERNE, 1981, octobre, 117 p.
- RUJOPAKARN W. Analyse de boucles de déplacement dans l'agglomération grenobloise .- Lyon, Vaulx-en-Velin : Université Lyon II, ENTPE, thèse de docteur ingénieur (en cours).
- VALLET M., YGNACE J.L., MAURIN M. Enquête sur l'utilisation réelle des voitures en France (EUREV) .- Bron: IRT-CERNE, 1982, 141 p.

ANNEXE I

Documents d'enquête

ETUDE "DEPLACEMENTS DES MENAGES"

CODE CARTE	N° Zone	N° Ménage	téléphone	refus	0
				oui	1
1	2 3	4 5	6	non	2
				en cours	3

I - RENSEIGNEMENTS "MENAGE"

C.S.P. CHEF (écrire en clair)

Pour ces rubriques noter les réponses de 1 à 9. Si le nombre est supérieur à 9 coder 9

.....	TAILLE	NB	NB ENF.	NB ENF.	NB PERS.	NB	NB
.....	MENAGE	ACTIF	<16 ANS	>16 ANS	INTERR.	VP	2 ROUES
7 8	9	10	11	12	13	14	15

ADRESSE COMPLETE (écrire en clair)

.....

.....

.....

16	17	18

RESEAU
(tranche)

19

JOUR D'ENQUETE

Lu 1
Ma 2
Me 3
Je 4
Ve 5
Sa 6
Di 7

Refus 0
0 - 1 an 1
1 - 2 ans 2
2 - 5 ans 3
5 - 10 ans 4
+ de 10 ans 5

Nombre de permis
de conduire dis-
ponible dans le
ménage

21

TYPE
D'HABITAT

individuel 1
collectif 2

STATUT
D'OCCUPATION

refus : 0
propriétaire 1
locataire 2
autre 3

22

23

Nombre d'enfants
de moins de 16 ans
se rendant seul à
des activités en-
cadrées

24

Depuis combien
de temps habitez-vous
dans le quartier ?

25

LOCALISATION

Pour quelle raison habitez-vous ce
logement

26

refus ou ne sait pas : 0
site :
"qualité de vie" :
position par
rapport aux activités
du ménage : 2
avantage financier : 3
autres : 4

JOUR ET DATE DE L'INTERVIEW :

OBSERVATIONS DE L'ENQUETEUR :

OBSERVATION DE L'ENQUETE :

NOM DE L'ENQUETEUR :

II - RENSEIGNEMENTS "PERSONNE"

CODE CARTE	N° ZONE	N° MENAGE	N° PERSONNE	SEXE	AGE
2				F1 M2	
1	2 3	4 5	6	7	8

10 < 14 ans	0
14 < 16 ans	1
16 < 18 ans	2
18 < 25 ans	3
25 < 30 ans	4
30 < 40 ans	5
40 < 50 ans	6
50 < 60 ans	7
60 < 65 ans	8
65 et +	9

POSITION DANS LE MENAGE

Chef 1 Enfants 4
Conjoint 2 Autres 5
Ascendants- 3
Beaux-Parents

C.S.P.
(écrire en clair)

.....
.....
.....

A combien d'Associations ayant des activités locales appartenez-vous

ADRESSE DU LIEU DE TRAVAIL (ACTIF)
ECOLE POUR ETUDIANTS

.....
.....
.....

9

10 11

12

13 14 15

POSITION LE JOUR DE L'ENQUETE

R.A.S. 1
en congé maladie 2
en chômage 3
en congé légal 4

16

REVENU (mensuel)
Présenter la carte

17

NOMBRE D'ACTIVITES

18 19

Possibilité d'aménager les horaires de travail :

20

refus 0
matin 1
soir 2
matin et soir 3
ne sait pas 4
non 5
ne travaille pas 6

Participez-vous à l'utilisation collective d'un véhicule automobile :

lors de vos déplacements domicile-travail

21

refus 0
souvent 1
quelquefois 2
jamais 3
ramassage entreprise 4
ne travaille pas 5

lors de vos déplacements concernant d'autres activités

22

refus 0
souvent 1
quelquefois 2
jamais 3

Les jeunes de moins de 16 ans bénéficient-ils de pré-arrangement lors de leurs déplacements concernant des activités encadrées : (si la personne n'est pas chef de famille, coder 0)

23

refus 0
oui VP 1
oui autre mode 2
non 3

Hier, pouviez-vous utiliser une voiture pendant les périodes suivantes :

MATINEE (9-10 ; 10-11 ; 11-12)

24

APRES-MIDI (14-15 ; 15-16 ; 16-17)

25

FIN D'APRES-MIDI (17-18 ; 18-19 ; 19-20)

26

CODER LE NOMBRE DE PLACES
HORAIRES PENDANT LESQUELLES
UNE V.P. ETAIT DISPONIBLE
(0,1,2 ou 3)

Accepteriez-vous de participer à une enquête ultérieure (Avril-Mai) sur l'utilisation collective des véhicules particuliers ?

OUI - NON (rayer la mention inutile)

III - RENSEIGNEMENTS "TEMPS"

CODE CARTE

3

N° ZONE

2 3

N° MENAGE

4 5

N° PERSONNE

6

HEURE	MN	ACTIVITE	FR	ENAT	MODE	ADRESSE	
		<i>écrire en clair</i>				<i>écrire en clair</i>	
7		12	13			18	1
19		24	25			30	2
31		36	37			42	3
43		48	49			54	4
55		60	61			66	5
67		72	73			78	6
7		12	13			18	7
19		24	25			30	8
31		36	37			42	9
43		48	49			54	10
55		60	61			66	11
67		72	73			78	12
7		12	13			18	13
19		24	25			30	14
31		36	37			42	15
43		48	49			54	16
55		60	61			66	17
67		72	73			78	18
7		12	13			18	19
19		24	25			30	20
31		36	37			42	21
43		48	49			54	22
55		60	61			66	23
67		72	73			78	24
7		12	13			18	25
19		24	25			30	26
31		36	37			42	27
43		48	49			54	28
55		60	61			66	29
67		72	73			78	30

CATEGORIES SOCIO-PROFESSIONNELLES

- 10 Agriculteurs exploitants
- 11 Salariés agricoles

2 - Patrons de l'Industrie et du Commerce

- 21 Industriels
- 22 Artisans
- 23 Patrons pêcheurs
- 26 Gros commerçants
- 27 Petits commerçants

3 - Professions libérales et cadres supérieurs

- 30 Professions libérales
- 32 Professeurs - Professions littéraires et scientifiques
- 33 Ingénieurs
- 34 Cadres administratifs supérieurs

4 - Cadres moyens

- 41 Instituteurs - Professions intellectuelles diverses
- 42 Services médicaux et sociaux
- 43 Techniciens
- 44 Cadres administratifs moyens

5 - Employés

- 51 Employés de bureau
- 53 Employés de commerce

6 - Ouvriers

- 60 Contremaitres
- 61 Ouvriers qualifiés
- 63 Ouvriers spécialisés
- 65 Mineurs
- 66 Marins et pêcheurs
- 67 Apprentis ouvriers
- 68 Manoeuvres

7 - Personnels de service

- 70 Gens de maison
- 71 Femmes de ménage
- 72 Autres personnels de service

8 - Autres catégories

- 80 Artistes
- 81 Clergé
- 82 Armée et police

9 - Personnes non activées

- | | |
|--------------------------|---|
| 91 Etudiants et élèves | 95 Retraités du service public |
| 92 Militaires contingent | 96 Anciens salariés du secteur privé |
| 93 Anciens agriculteurs | 97 Autres pers. non actives 17ans |
| 94 Retirés des affaires | 99 Autres pers. non act. (essent. pers. ne travaillant pas, femme au foyer) |

REVENUS 1979/1980

REVENUS MENSUELS DE LA PERSONNE		
CODES		
Année	1979	1980
1	Moins de 800 F	
2	de 800 à moins de 2 000	de 1 000 à moins de 2 200
3	de 2 000 à moins de 3 000	de 2 200 à moins de 3 300
4	de 3 000 à moins de 4 000	de 3 300 à moins de 4 400
5	de 4 000 à moins de 5 000	de 4 400 à moins de 5 500
6	de 5 000 à moins de 6 000	de 5 500 à moins de 6 600
7	de 6 000 à moins de 7 000	de 6 600 à moins de 7 700
8	de 7 000 à moins de 8 000	de 7 700 à moins de 9 000
9	+ de 8 000 F	+ 9 000 F
0	refus de répondre	

REVENUS ANNUELS DU MENAGE		
CODES		
Année	1979	1980
1	Moins de 11 000 F	Moins de 12 000 F
2	de 11000 à moins de 30000	de 12000 à moins de 35000
3	de 30000 à moins de 45000	de 35000 à moins de 50000
4	de 45000 à moins de 55000	de 50000 à moins de 60000
5	de 55000 à moins de 70000	de 60000 à moins de 75000
6	de 70000 à moins de 85000	de 75000 à moins de 95000
7	de 85000 à moins de 100000	de 95000 à moins de 110000
8	de 100000 à moins de 120000	de 110000 à moins de 130000
9	+ de 120 000 F	+ de 130 000 F
0	refus de répondre	

NOMENCLATURE DES ACTIVITES

CODES	INTITULES
1 11 12 13 14 15 16 18	<u>TRAVAIL</u> Travail normal Travail exceptionnel Formation permanente si pendant heures de travail Formation permanente en dehors des heures de travail Enseignements reçus Participation au conseil d'entreprise Travail étudiants à la maison
2 20 21 22 23 24	<u>TEMPS PASSE A LA MAISON</u> Travaux ménagers ordinaires Réparations, entretiens Soins aux enfants Temps passé avec les enfants
3 31 32 33 34	<u>BESOINS PRIVES</u> Besoins privés Repas Sommeil Repas sur le lieu de travail
4 41 42 43 44 45 46 47 48 49	<u>VIE SOCIALE ET LOISIRS COLLECTIFS</u> Vie politique ou syndicale Réceptions, visites Aller au café, bar... Spectacles sportifs Théâtres... Musée, expositions Activités religieuses Vie associative Ensemble des activités de loisirs collectifs
5 51 52 53 54 56	<u>ACHATS, SOINS, SERVICE</u> Alimentations, entretiens ordinaires Achats exceptionnels Soins médicaux, personnels, services Services administratifs Soins médicaux aux enfants
6 et 7 (1) (2) 61 71 63 73 64 74 65 75 66 76	<u>LOISIRS</u> Sport, excursion, chasse, pêche Bricolage, collections, ouvrage de dames Création artistique, littérature, musique, chant, jeux de société Télévision Radio, disques, livres, revues, journaux Lettres, se détendre... Conversations (y compris au téléphone) (1) En famille ou individuels (2) Dans un cadre collectif
8 80 81 82	<u>TRANSPORTS</u> Déplacement O.D. Déplacement promenade Déplacement service passager
90 9(n)	Attente pour rien Attente pour l'activité n (1 à 8)

Fréquence activité

1 fois par jour	1
plusieurs fois par jour	2
1 fois par semaine	3
plusieurs fois par semaine	4
1 fois par mois	5
plusieurs fois par mois	6
1 fois par an	7
plusieurs fois par an	8
exceptionnel	9
N.S.P. ou refus	0

Nature du local

habitat individuel	1
habitat collectif	2
autres	3
grandes surfaces	4
commerces traditionnels	5
locaux ouverts au public	6
locaux non ouverts au public	7
lieu de travail habituel	8
lieu de travail exceptionnel	9

Mode de déplacement

2 roues	0
V.P. ménage	1
V.P. entreprise	2
passager V.P.	3
passager V.P. autre que ménage	4
T.C. bus	5
T.C. métro	6
Train	7
Taxi	8
Marche à pied	9

ANNEXE II

La mobilité interurbaine

La mobilité interurbaine correspond à 4,3 % de l'ensemble des déplacements soit 0,2 déplacements par personne et par jour.

Les trois-quart de ces déplacements sont dus à des hommes (32 % à des hommes actifs sans enfant et 41 % à des hommes actifs avec enfant(s)).

95 % sont des déplacements origine-destination, 38 % ayant pour motif le travail et 36 % ont aucune extrémité au domicile. Mais si l'on regarde le motif à la destination et non plus le motif enquête ménages, on voit que 64 % se rapportent au travail. Un bon nombre de ces déplacements hors agglomération semble donc être réalisé dans la région lyonnaise, certains individus devant franchir pour leur travail le cadre trop strict de l'agglomération. On a là, d'une certaine manière, apparition de deux types de déplacements hors agglomération : une mobilité interne au Lyonnais et une mobilité interrégionale, voire interurbaine.

Enfin on constatera que neuf déplacements sur dix sont effectués en voiture particulière.

ANNEXE III

Biais dus à l'utilisation du curvimètre et du fond de plan

Il ne s'agit pas ici d'essayer de mesurer l'écart entre distance probable et distance réelle, mais plus simplement d'essayer de connaître l'influence de l'utilisation du curvimètre et du fond de plan, une fois que l'on a supposé l'identité des deux distances.

Ce petit test n'a pas d'ambition statistique et repose sur 34 déplacements essentiellement de type centre-périphérie. 6 déplacements font moins de 5 kilomètres et 1 plus de 15 kilomètres, ce qui montre bien le manque de représentativité.

Les distances réelles ont été mesurées à partir du compteur hectométrique du véhicule et les distances probables à l'aide du curvimètre et du fond de plan utilisés pour l'étude.

Globalement, la distance réelle est égale à 1,044 fois la distance probable. Le rapport est toutefois plus élevé sur les distances inférieures à cinq kilomètres (1,19), cette forte valeur s'expliquant cependant par la présence d'un déplacement du quai Saint-Antoine à la Part Dieu très mal reconstitué (2,4 km au lieu de 4,5 !). On notera enfin que la sous-estimation n'est supérieure à 10 % que dans 3 cas.

L'usage du curvimètre et du fond de plan permet donc, en supposant l'itinéraire connu, d'approximer très correctement la distance réelle.

ANNEXE IV

Les deux macrovariables

MODALITES DE LA MACROVARIABLE DEPLACEMENT

Modalité	Motif	Mode	Forme de la sortie
1	travail, école	2R	les cinq formes
2	achats, vie sociale, secondaire, promenade, service pas- sager, autre	"	"
3	travail	MAP	les trois formes de pétale
4	"	"	les deux formes de boucle
5	"	TC	les trois formes de pétale
6	"	"	les deux formes de boucle
7	"	VP	pétale d'aller et retour
8	"	"	pétale d'étoile pétale de complexe
9	"	"	les deux formes de boucle
10	école	MAP	les cinq formes
11	"	TC	"
12	"	VP	"
13	achats	MAP	pétale d'aller et retour
14	"	"	pétale d'étoile pétale de complexe
15	"	"	les deux formes de boucle
16	"	TC	les 5 formes
17	"	VP	pétale d'aller et retour
18	"	VP	pétale d'étoile pétale de complexe
19	"	"	les deux formes de boucle

.../...

20	vie sociale	MAP	les trois formes de pétale
21	"	"	les deux formes de boucle
22	"	TC	les cinq formes
23	"	VP	les trois formes de pétale
24	"	"	les deux formes de boucle
25	secondaire	MAP	boucle de complexe
26	"	"	bouclé de boucles
27	"	TC	les cinq formes
28	"	VP	boucle de complexe
29	"	"	boucle de boucles
30	promenade	MAP	les trois formes de pétale
31	"	"	les deux formes de boucle
32	service passager	MAP	les cinq formes
33	"	VP	"
34	autre	MAP	"
35	"	TC	"
36	"	VP	les trois formes de pétale
37	"	"	les deux formes de boucle
38	promenade	VP	les cinq formes

MODALITES DE LA MACROVARIABLE INDIVIDU

Modalité	Statut	Nombre de voiture du ménage	Localisa- tion du domicile	Structure spatiale des déplacements
1	hommes actifs	0	centre périphérie	les quatre struc- tures
2	"	>0	centre	aller et retour
3	"	"	"	étoile
4	"	"	"	boucles
5	"	"	"	complexe
6	"	"	périphérie	aller et retour
7	"	"	"	étoile
8	"	"	"	boucles
9	"	"	"	complexe
10	femmes actives	0	centre	aller et retour étoile
11	"	"	"	boucles complexe
12	"	"	périphérie	les quatre struc- tures
13	"	1	centre	aller et retour
14	"	"	"	étoile
15	"	"	"	boucles complexe
16	"	"	périphérie	aller et retour
17	"	"	"	étoile
18	"	"	"	boucles complexe
19	"	2 ou +	centre	les quatre struc- tures
20	"	"	périphérie	aller et retour étoile
21	"	"	"	boucles complexe
22	scolaires	0	centre périphérie	les quatre struc- tures
23	"	>0	centre	aller et retour étoile
24	"	"	"	boucles complexe

.../...

h	- fonction de la température ambiante traduisant son influence sur la pente C
HAE	- homme actif avec enfant
HAE	- homme actif sans enfant
K	- constante
l_a	- longueur du trajet automobile
l_d	- longueur du déplacement porte à porte
L	- longueur du déplacement, distance parcourue
L_D	- longueur du déplacement
L_R	- distance de référence
MAP	- marche à pied
OD	- origine-destination
pass	- service passager (motif)
prom	- promenade (motif)
RF	- retraitée
RH	- retraité
SECO	- secondaire (motif)
SF	- scolaire femme
SH	- scolaire homme
SIM1	- simulation de référence qui renvoie aux valeurs porte à porte
SIM2	- simulation intégrant un effet trajet terminal
SIM3	- simulation considérant les effets trajet terminal et la recherche de stationnement
SIM4	- simulation fondée sur la multiplication de la vitesse de déplacement par un coefficient 1, 2.
SIM5	- simulation analogue à SIM1, mais intégrant un effet de gamme
SIM6	- simulation analogue à SIM2, mais intégrant un effet de gamme
SIM7	- simulation analogue à SIM3, mais intégrant un effet de gamme
SIM8	- simulation analogue à SIM4, mais intégrant un effet de gamme
t	- durée du déplacement
t_a	- durée du trajet automobile
t_d	- durée du déplacement porte à porte
t_r	- temps de refroidissement
trav	- travail (motif)

T	- temps de déplacement
T	- température du moteur à l'instant t
TC	- transports collectifs
T _A	- température ambiante
T _D	- température du moteur au démarrage
T _E	- température d'équilibre du moteur
T _M	- température du moteur à l'issue du déplacement
T _S	- température du lieu de stationnement
V	- vitesse moyenne de déplacement
viso	- vie sociale (motif)
VP	- voiture particulière.

ANNEXE VI

Sigles

AFME	- Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie
CETE	- Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
CETUR	- Centre d'Etudes des Transports Urbains
INSEE	- Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IRT	- Institut de Recherche des Transports
IRT-CERNE	- Centre d'Evaluation et de Recherche des Nuisances et de l'Energie de l'Institut de Recherche des Transports
OCDE	- Organisation de Coopération et de Développement Economiques
ONSER	- Organisme National de Sécurité Routière
RATP	- Régie Autonome des Transports Parisiens
RVI	- Renault Véhicules Industriels
SEMALY	- Société d'Etudes du Métro de l'Agglomération Lyonnaise
TCL	- Transports en Commun Lyonnais