



Jimmy Armoogum  
Jean-Loup Madre  
Zoran Krakutovski

## **VALIDATION ET AMELIORATION DE L'APPROCHE DEMOGRAPHIQUE DE LA MOBILITE URBAINE**

**INRETS-DEST-EEM**

Décembre 2002

## SOMMAIRE :

Introduction.....	5
Chapitre 1.....	7
Méthodologie et outils statistiques.....	7
1.1 Pourquoi une approche démographique de la demande de transport ?.....	7
1.1.1 Présentation du modèle démographique.....	8
1.1.2 Principe d'estimation d'un modèle Age-Cohorte.....	8
1.2 Méthodes proposées pour la validation.....	9
1.2.1 Comparaison des résultats du modèle avec ceux des enquêtes.....	9
1.2.2 Les intervalles de confiance de projection.....	10
Encadré 1 : Intervalle de confiance des données d'enquête.....	10
Encadré 2 : Intervalle de confiance des résultats du modèle.....	11
Chapitre 2.....	13
Cheminement adopté et tests pour améliorer le modèle.....	13
2.1 Motorisation individuelle.....	13
2.2 Mobilité globale.....	13
2.3 Répartition modale.....	14
2.4 Comment introduire les effets de l'offre et des facteurs économiques ?.....	14
2.5 Les tests effectués pour améliorer le modèle.....	16
Chapitre 3.....	17
Plusieurs optiques de validation sur différents exemples.....	17
3.1 Faut-il séparer les déplacements de proximité ?.....	17
3.1.1 Répartition modale.....	18
3.2 Validation par la régression : une optique globale pour comparer les ajustements.....	19
3.3 Validation par les intervalles de confiance : une optique plus désagrégée.....	21
3.4 Une mesure de l'incertitude sur les projections.....	30
Chapitre 4.....	35
Synthèse des résultats.....	35
4.1 Bilan comparatif des études.....	35
4.1.1 Budget-distance.....	35
4.1.2 Budget-temps.....	36
4.1.3 Fréquence des déplacements.....	37
4.1.4 Volumes de trafic.....	39
4.1.5 Vitesse moyenne des déplacements.....	41
4.1.6 Partage modal des déplacements.....	41
4.1.7 Portée moyenne des déplacements.....	43
4.2 Impact du desserrement de la population.....	45
Encadré 3 : Différents scénarios démographiques.....	45
4.2.1 Scénarios de population.....	45
4.2.2 Résultats sur les mobilités.....	46
4.2.3 Résultats sur les volumes de trafic.....	47
5 Conclusion.....	53
BIBLIOGRAPHIE :.....	55
ANNEXES :.....	59

## FIGURES :

Figure 1 Comparaison de résultats modèle-enquêtes - budget-distance en Ile-de-France .....	22
Figure 2 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-temps en Ile-de-France .....	23
Figure 3 Comparaison de résultats pour le nombre de déplacements en Ile-de-France .....	24
Figure 4 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-distance à Montréal .....	25
Figure 5 Comparaison de résultats modèle-enquêtes nombre de déplacements à Montréal .....	26
Figure 6 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-distance à Lille .....	27
Figure 7 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-temps à Lille .....	27
Figure 8 Comparaison de résultats modèle-enquêtes nombre de déplacements à Lille .....	28
Figure 9 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-distance à Lyon .....	29
Figure 10 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-temps à Lyon.....	29
Figure 11 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le nombre de déplacements à Lyon .....	30
Figure 12 Intervalles de confiance sur les projections pour le budget-distance en Ile-de-France.....	31
Figure 13 Intervalles de confiance sur les projections pour le budget-temps en Ile-de-France .....	31
Figure 14 Intervalles de confiance sur les projections pour le nombre de déplacements en Ile-de-France.....	32
Figure 15 Intervalles de confiance sur les projections pour le budget-distance à Montréal.....	32
Figure 16 Intervalles de confiance sur les projections pour le nombre de déplacements à Montréal .....	33
Figure 17 Projection du budget-distance dans les quatre agglomérations .....	36
Figure 18 Projection du budget-temps dans les trois agglomérations françaises .....	37
Figure 19 Projection de la fréquence des déplacements dans les quatre agglomérations .....	39
Figure 20 Vitesse moyenne de déplacements dans les trois agglomérations françaises .....	41
Figure 21 Projection de la répartition modale des déplacements en Ile-de-France .....	42
Figure 22 Projection de la répartition modale des déplacements à Montréal .....	43
Figure 23 Projection de la répartition modale des déplacements à Lille .....	43
Figure 24 Projection de la portée des déplacements dans les 4 agglomérations .....	44
Figure 25 Projection de la population en Ile-de-France selon les 4 scénarios démographique de l'INSEE.....	46
Figure 26 Projection de voyageurs-kilomètres en Ile-de-France selon les 4 scénarios démographiques de l'INSEE .....	47

## TABLEAUX :

Tableau 1 Deux approches pour le calcul d'élasticités du trafic TC en Ile-de-France (bornes des intervalles de confiance à 95%) ; période d'estimation: 1981-93	15
Tableau 2 Validation par la régression sur la mobilité des Franciliens	17
Tableau 3 Validation par la régression sur le partage modal des Franciliens – modèle global	18
Tableau 4 Validation par la régression sur le partage modal des Franciliens – modèle avec 3 tranches d'âge et 3 zones de résidences	18
Tableau 5 Validation par la régression du modèle sur le nombre de déplacements à Lille	19
Tableau 6 Validation par la régression du modèle sur le budget-temps à Lille	20
Tableau 7 Validation par la régression du modèle sur le budget-distance à Lille	20
Tableau 8 Validation par la régression des modèles à Lyon	21
Tableau 9 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budgets-distances en Ile-de-France	21
Tableau 10 Intervalles de confiance sur les résultats du modèle : le budget-distance en Ile-de-France	22
Tableau 11 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : les budget-temps en Ile-de-France	22
Tableau 12 Intervalle de confiance sur les résultats du modèle : les budget-temps en Ile-de-France	23
Tableau 13 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le nombre des déplacements en Ile-de-France	23
Tableau 14 Intervalle de confiance sur les résultats du modèle : le nombre des déplacements en Ile-de-France	24
Tableau 15 Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-distance à Montréal	24
Tableau 16 Intervalle de confiance sur les résultats du modèle : le budget-distance à Montréal	25
Tableau 17 Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes : le nombre des déplacements à Montréal	25
Tableau 18 Intervalle de confiance sur les résultats du modèle : le nombre des déplacements à Montréal	26
Tableau 19 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-distance à Lille	26
Tableau 20 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-temps à Lille	27
Tableau 21 Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes : le nombre des déplacements à Lille	28
Tableau 22 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-distance à Lyon	28
Tableau 23 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-temps à Lyon	29
Tableau 24 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le nombre des déplacements à Lyon	30
Tableau 25 Population, volume de voyageurs-kilomètres et volumes des déplacements dans les 4 agglomérations	40
Tableau 26 Projection de la population en Ile-de-France selon les 4 scénarios démographiques de l'INSEE (en million)	46



## Introduction

Voici une quinzaine d'années que nous développons une approche démographique de projection à long terme. Dans un premier temps, c'est au niveau national que ces recherches ont été appliquées : d'abord au volume du parc automobile et à la circulation sur le réseau national [Madre et Lambert, 1989], puis à la structure du parc et du marché de l'automobile [Gallez 1994, 1995 et 2000]; les projets Européens SCENARIOS et SCENES ont fourni l'occasion de développer des comparaisons international [Berri, Madre et al., 1998 et 1999; Dargay, Madre et Berri, 2000]. En suivant chaque génération au cours de son cycle de vie, on constate notamment que la démotorisation des personnes âgées est modérée et tardive, et que les décalages entre générations sont importants pendant la période de grande diffusion de l'automobile dans chaque pays (jusqu'à celles qui sont nées vers 1940 en Amérique du Nord, vers 1960 en Europe occidentale et ils le sont toujours en Europe centrale).

L'analyse des régions urbaines permet de montrer les effets d'un autre phénomène maîtrisé par les démographes: la mobilité résidentielle. L'étalement urbain, permis par l'automobile, modifie les comportements de mobilité quotidienne (allongement des distances parcourues, déplacements plus diffus pour lesquels il est difficile d'adapter la desserte des transports collectifs,...). C'est sur les exemples de Grenoble, de l'Ile-de-France et de la Région Métropolitaine de Montréal que nous avons commencé à travailler [Armoogum, Bussière, Madre et al., 1994 et 1995; Armoogum et Madre 1996]. Les comparaisons Nord-Sud entre villes riches et vieillissantes d'une part, villes jeunes et pauvres (notamment Sao Paulo) d'autre part, se sont avérées très éclairantes [Bussière et Madre, 2002].

En matière de formalisation de la mobilité urbaine, la démarche classique est le modèle "à quatre étapes" et ses aménagements successifs Bonnel 2002; CERTU 2002]. Il considère successivement :

- la génération des déplacements à partir des zones de résidence,
- leur distribution sur la base des zones d'activité (ou d'attraction),
- leur partage entre modes de déplacement,
- et enfin leur affectation sur les différents réseaux (voirie ou TC).

En général, les paramètres de ce modèle sont calés "de manière transversale", c'est-à-dire sur la base de données d'enquêtes recueillies à une seule date. Ceci ne pose pas trop de problèmes pour des applications en projection à court terme, mais on peut s'interroger sur la stabilité à long terme des relations ainsi mises en évidence.

Notre optique consiste à privilégier les dynamiques de long terme à travers les différentes dimensions mises en lumière par l'approche démographique: spécificité de chaque génération, vieillissement de la population, rapprochement des comportements des hommes et des femmes, étalement urbain et motorisation croissante. Nous nous concentrons donc sur l'étape de génération. La mobilité y est considérée selon trois composantes:

- la distance parcourue, qui résulte des deux premières étapes dans le modèle classique; faute de données, nos idées sur l'adaptation de l'étape de distribution à l'approche démographique n'ont pu être mises en œuvre;
- le temps passé à se déplacer, que nous n'avons pas encore considéré dans nos travaux antérieurs; la conjecture de stabilité des budgets-temps [Zahavi et al. 1980] pourra ainsi être discutée à la lumière des facteurs démographiques.
- la fréquence des déplacements (leur nombre moyen par jour et par personne), qui constitue l'unité de base pour le modèle à quatre étapes.

Nous envisagerons aussi le partage modal, mais l'étape d'affectation est clairement en-dehors de notre champ. L'application de cette approche en projection suppose l'articulation entre deux composantes:

- l'estimation des comportements, que nous réalisons habituellement sur la base de modèles Age-Cohorte, à partir desquels on a tenté d'introduire des effets d'offre et de facteurs économiques (prix et revenus);
- les projections de population par âge, sexe et zone de résidence, fournies par l'INSEE; ces projections viennent d'être révisées sur la base du recensement de 1999 et prolongées jusqu'à 2030, ce qui allonge sensiblement l'horizon de projection (nos travaux antérieurs ne dépassaient pas 2020); en outre, l'hypothèse de calcul "sans déménagement" permet, par différence avec l'hypothèse centrale, de mettre clairement en lumière les effets de l'étalement urbain.

Nous allons donc revenir sur les villes traitées antérieurement et qui ont réalisé de nouvelles enquêtes: Montréal et l'Île-de-France en 1998. Et nous élargirons l'éventail des études de cas aux agglomérations de Lyon et de Lille. Compte tenu des inflexions apparues dans les années 90 (la marche à pied ne recule plus, les budgets-temps augmentent un peu en province,...), nous porterons une attention particulière aux déplacements de proximité, qui posent généralement problème aux approches classiques, car ils sont internes aux zones d'analyse.

Mais l'objectif de ce rapport n'est pas seulement de compléter et d'améliorer les travaux antérieurs. Il consiste aussi à valider les résultats en rapprochant modèle et observations compte tenu des incertitudes sur ces données. Trois approches seront proposées :

- la régression des résultats du modèle sur ceux des enquêtes pour les centaines d'observations obtenues en croisant les dimensions prises en compte (sexe, tranches d'âge, motorisation, zone de résidence et date); le modèle sera validé si la constante ne diffère pas significativement de 0, la pente de 1 et si le R2 est proche de 1 ;
- le passage des trajectoires définies par le modèle dans les intervalles de confiance calculés à partir des enquêtes pour la plupart des points d'observation (on peut s'accorder 5% d'exceptions pour des intervalles à 95%) ;
- enfin, pour les villes où l'on dispose d'au moins quatre enquêtes, la méthode du Jackknife permet de calculer un intervalle de confiance autour de la trajectoire modélisée, ceci servira non seulement à vérifier si les observations se trouvent à l'intérieur de ces intervalles de confiance, mais également à estimer l'incertitude sur les projections.

Compte tenu du foisonnement des travaux développés autour de l'approche démographique de la mobilité urbaine, nous nous efforcerons de rendre ce rapport synthétique et renverrons par une liste de références aux mémoires, travaux de thèses, communications et ouvrages qui concourent à cette recherche.

# Chapitre 1

## Méthodologie et outils statistiques

### 1.1 Pourquoi une approche démographique de la demande de transport ?

Notre objectif est de projeter à long terme (horizon 2030) la mobilité urbaine dans les grandes régions métropolitaines (l'Ile-de-France, Montréal, Lille, ...). La méthodologie proposée consiste à suivre les comportements des générations successives au cours d'une quinzaine d'années de leur cycle de vie et à prolonger ces tendances en séparant les phénomènes liés à l'âge et ceux qui sont liés à la génération. Partant d'une demande globale de mobilité (mesurée en distance parcourue, en budget-temps et en nombre de déplacements), nous distinguons cinq modes de déplacement: voiture conducteur, voiture passager, transports en commun, sans oublier la marche et les "autres modes" (principalement les deux-roues). L'estimation de ces modèles se fait à partir d'enquêtes auprès des ménages :

- 4 Enquêtes Globales Transports pour l'Ile-de-France (1976, 1983, 1991 et 1998) ;
- 6 Enquêtes Origine-Destination (O-D) de la Région Métropolitaine de Montréal (1974, 1978, 1982, 1987, 1993 et 1998) ;
- 3 Enquêtes Ménages pour l'agglomération de Lyon (1977, 1986 et 1995) ;
- 3 Enquêtes Ménages pour l'agglomération de Lille (1976, 1987 et 1998).

Les projections s'appuient sur les données démographiques issues des recensements (1975, 1982, 1990, 1999 pour les agglomérations françaises). Nous traitons donc de tendances de long terme (5 à 30 ans). Les déménagements étant traités de manière tendancielle, l'INSEE ne fournit pas de projections de population sur des zones abritant moins de 50 000 habitants, ce qui limite la désagrégation spatiale. Nous travaillons donc sur des zones relativement vastes.

Néanmoins, afin de cerner le desserrement de la population, il serait nécessaire de distinguer au minimum un centre, une banlieue agglomérée et une périphérie dans chaque région urbaine.

Toutefois, sauf à Paris et Montréal où les enquêtes couvraient l'essentiel de la région urbaine dès les années 70, ce n'est que par la suite que le périmètre d'enquête a été étendu dans la périphérie des villes de province (à l'ensemble de l'arrondissement de Lille en 1987). Comme au moins 3 enquêtes sont nécessaires pour estimer le modèle, on se limitera à la zone agglomérée à Lyon (où l'on ne considère que 2 zones: centre et banlieue) et à Lille (où la banlieue est répartie entre une zone dense et une zone "moins dense").

L'origine de cette approche est double :

- elle réside en premier lieu dans la critique des modèles économétriques traditionnels de projections à long terme ; par exemple, en coupe instantanée, le revenu reste l'une des variables les plus discriminantes de la motorisation ou de la mobilité, il ne peut néanmoins, au stade de la diffusion de l'automobile, être considéré comme le seul moteur de la croissance du parc et des trafics;
- en second lieu, le choix d'une nouvelle approche correspond également à la nécessité de situer l'analyse dans un cadre temporel précis, en prenant explicitement en compte l'histoire de la diffusion de l'automobile et des comportements de déplacement, de manière, par exemple, à endogénéiser d'éventuels phénomènes, sans toutefois considérer de seuil comme fixé a priori.

La plupart des profils de demande individuelle au cours du cycle de vie subissent des déformations temporelles, sous l'influence conjuguée du remplacement des générations (élévation des niveaux

d'instruction,...) et des facteurs économiques tels que l'évolution du niveau de vie, des goûts du consommateur ou de la modification de la structure d'offre. Seule une analyse longitudinale, ou suivi du comportement de générations successives, permet d'évaluer l'importance relative et la persistance de ces évolutions.

### 1.1.1 Présentation du modèle démographique

L'analyse longitudinale met en évidence le rôle complexe du facteur âge, qui, dans un contexte temporel daté, consiste dans la combinaison de trois dimensions liées:

- Le moment du cycle de vie, qui mesure l'importance de l'âge de l'individu dans ses décisions d'équipement. L'évaluation des effets du moment du cycle de vie permet d'obtenir une courbe caractéristique des évolutions imputables à l'âge (que nous appellerons profil-type), correspondant à un comportement stabilisé ;
- La génération (ou cohorte), qui identifie les comportements selon l'appartenance à un ensemble d'individus nés pendant la même période, donc ayant le même "vécu". L'introduction de l'effet génération (que nous mesurons généralement sous forme de décalages) constitue un premier amendement à cette vision statique d'équilibre, et contribue à replacer ce profil dans une perspective de long terme. Dans le cas de l'équipement des ménages en biens durables, cette spécification est particulièrement pertinente, puisqu'elle permet de souligner l'importance des phénomènes de diffusions liés par exemple à l'évolution des modes de vie, des contraintes institutionnelles, des besoins du consommateur ou des caractéristiques de l'offre.
- La période, qui indique l'influence du contexte économique global sur les phénomènes observés. La prise en compte de l'effet période mesure l'importance des facteurs affectant au même moment l'ensemble des individus et des ménages. Nous pouvons les négliger s'il s'agit de déséquilibre de court terme, mais ils entreront dans la modélisation quand on aura montré que ce sont plutôt des dérives temporelles structurelles non expliquées par les décalages entre générations (pour la répartition modale par exemple).

Comme les hypothèses sur la permanence des effets de période sont fragiles en projection, on commence généralement par tester la significativité de ces effets et on se ramène généralement à une spécification Age-Cohorte [Gallez, 1994]. Elle est assimilable à un modèle d'analyse de la variance à deux facteurs, dans lequel à chaque modalité d'âge ou de génération correspond une variable indicatrice.

### 1.1.2 Principe d'estimation d'un modèle Age-Cohorte

Le modèle s'écrit :

$$\pi_{a,k} = \alpha_a + \gamma_k + \varepsilon_{a,k}$$

avec :

$\pi_{a,k}$  : est la mesure d'un comportement (par exemple, le pourcentage de ménages sans voiture, la distance moyenne parcourue par jour et par personne,...) observé quand l'âge de la personne de référence (l'individu quand on traite de mobilité, le chef de ménage quand on s'intéresse au parc automobile) est égal à a, sachant qu'elle appartient à la génération k (définie par sa période de naissance) ;

$\alpha_a$  : mesure le comportement de la génération de référence à l'âge a ; on définit ainsi un "profil-type" au cours du cycle de vie ;

$\gamma_k$  : est le décalage de la trajectoire de la génération k par rapport à la courbe de référence ; on fixe  $\gamma_{k_0} = 0$  pour la génération de référence  $k_0$  ;

$\varepsilon_{a,k}$  : est le terme d'erreur du modèle.

Le modèle additif Age-Cohorte repose sur le postulat selon lequel il existe un profil-type décrivant l'impact relatif de la position dans le cycle de vie. A cette première dimension permanente des comportements est associée une composante qui rend compte de l'évolution historique à travers une simple translation du profil d'âge, estimé relativement à une génération de référence  $k_0$ . En d'autres termes, la trajectoire de motorisation (ou de mobilité) d'une génération quelconque  $k$  est obtenue en extrapolant la courbe de la génération de référence  $k_0$  parallèlement au profil-type estimé précédemment, puis en déplaçant cette courbe d'une distance égale à l'écart  $\gamma_k$  calculé pour cette génération.

Tant pour la définition des générations que pour les profils au cours du cycle de vie, l'unité de mesure du temps est de cinq ans, ce qui correspond aux grilles utilisées le plus souvent par les démographes pour leurs projections :

- le cycle de vie est découpé en 17 tranches d'âge : 5-9 ans, 10-14 ans, ..., 80-84 ans et les "85 ans ou plus".
- les générations observées correspondent aux années de naissance : "avant 1915", 1916-1920, ..., 1991-1995, auxquelles il faut ajouter pour projeter jusqu'en 2030 six cohortes (1996-2000, ..., 2021-2025) dont on n'a pas encore pu observer le comportement. Cette extrapolation des décalages pour les générations nouvelles constitue un exercice délicat et suppose tout d'abord de s'interroger sur la fiabilité des décalages estimés pour les dernières générations observées.

Le modèle démographique de projection à long terme comporte ainsi deux parties :

- la projection de la structure de la population qui permet de prendre en compte les phénomènes démographiques au sens large : vieillissement de la population, mais aussi étalement urbain.
- l'estimation d'un profil standard au long du cycle de vie et de son évolution au cours du temps qui est envisagée à partir d'un modèle simple d'analyse de la variance à trois facteurs : l'âge, la génération et éventuellement la période.

Nous concentrerons l'effort sur le coeur du modèle, en nous appuyant sur les données de population des enquêtes (pour la partie rétrospective) et sur les calculs des démographes (modèle Omphale de l'Insee) pour traiter la première partie.

## **1.2 Méthodes proposées pour la validation**

Pour valider l'adéquation du modèle aux données, nous procéderons à l'aide de deux approches: la première consiste à comparer les résultats du modèle à ceux des enquêtes et la deuxième réside dans le calcul des intervalles de confiance des projections [T. Delaunay, 2002 ; Z. Krakutovski, 2002].

### **1.2.1 Comparaison des résultats du modèle avec ceux des enquêtes**

Le modèle donnant des résultats pour les années en 0 ou en 5 (de 1975 à 2030), nous avons dû estimer par interpolations linéaires les résultats correspondant aux années d'enquêtes. Deux méthodes sont proposées : la première permet une analyse assez détaillée sur la base d'intervalles de confiance, l'autre donne une vision globale à partir des résultats d'une régression.

Le premier test consiste à vérifier que la trajectoire modélisée passe à l'intérieur des intervalles de confiance calculés sur les enquêtes (encadré 1). Il est d'autant moins sévère que l'on considère des sous-populations plus limitées, donc des échantillons plus étroits conduisant à des intervalles plus larges. Nous l'avons appliqué essentiellement aux marges, c'est-à-dire la zone de résidence, la motorisation individuelle, le sexe, ou encore la tranche d'âge, ces critères étant croisés avec les périodes d'enquête.

Pour comparer les résultats entre observations et modèle de manière plus globale, nous avons effectué une régression entre les valeurs observées et les estimations du modèle au niveau le plus fin, c'est-à-dire le croisement des variables :

- zone de résidence (2 ou 3 zones) ;
- motorisation (0, une seule ou plusieurs voitures dans le ménage);
- sexe (2) ;
- tranche d'âge quinquennale (17) ;
- dates d'enquête (3 ou 4).

Nous avons ainsi plus de 600 points de comparaison. Le modèle sera validé si :

- le  $R^2$  est proche de 1 ;
- la pente est proche de 1 et
- la constante ne diffère pas significativement de 0.

Cette dernière méthode nous permettra de choisir parmi les modèles possibles la spécification la plus proche des données. Dans sa spécification actuelle, elle ne privilégie pas la dimension temporelle donc la forme des courbes, contrairement à la première méthode. Pour y remédier, on pourrait envisager de l'appliquer aux évolutions entre deux enquêtes successives plutôt qu'à des données ponctuelles aux dates d'enquête.

## 1.2.2 Les intervalles de confiance de projection

Le calcul des intervalles de confiance des résultats du modèle repose sur la technique du Jackknife (encadré 2). Cette méthode nécessite au moins 4 enquêtes ; nous ne pourrions donc l'appliquer qu'à la Région Métropolitaine de Montréal et à l'Île-de-France. Elle donne naturellement des intervalles plus larges que ceux qui sont calculés sur les observations d'enquête et reposent seulement sur les fluctuations d'échantillonnage. Ce test n'est donc pas très sévère.

### Encadré 1 : Intervalle de confiance des données d'enquête

Si on souhaite estimer un intervalle de confiance pour la moyenne de la variable  $y$  (selon un plan de sondage aléatoire simple sans remise) :

l'estimation de la moyenne est donnée par :  $\hat{y} = \sum_{k=1}^n \frac{y_k}{n}$

et l'estimation de la variance de  $\hat{y}$  est égale à :

$$\hat{\text{var}}(\hat{y}) = \frac{(N-n)\hat{S}_y^2}{nN}$$

Bien souvent  $N \gg n$ , on peut alors simplifier la formule de la variance par :  $\hat{\text{var}}(\hat{y}) \approx \frac{S_y^2}{n}$ .

Un intervalle de confiance pour  $\hat{y}$  à 95% est donné par :

$$\text{IC}(\hat{y}) = \left[ \hat{y} - 1,96 \sqrt{\hat{\text{var}}(\hat{y})} ; \hat{y} + 1,96 \sqrt{\hat{\text{var}}(\hat{y})} \right]$$

NB : l'hypothèse sous-jacente est que  $\hat{y}$  suit une loi normale.

Aux deux techniques d'estimation des intervalles de confiance correspondent deux points de vue pour l'analyse :

- Un intervalle de confiance sur les données d'enquête permet de voir si les résultats du modèle sont dans la fourchette des erreurs (d'échantillonnage) des données d'enquête ;
- Un intervalle de confiance sur les résultats du modèle permet de voir si les données d'enquêtes sont dans la fourchette des erreurs (estimation du modèle et échantillonnage).

Par l'intermédiaire du calcul des intervalles de confiance, l'adéquation des modèles pour décrire les données d'enquêtes a été vérifiée, particulièrement leur capacité à restituer les tendances.

### Encadré 2 : Intervalle de confiance des résultats du modèle

On considère un sondage non stratifié à un seul degré ayant produit un échantillon  $s$  de taille  $n$ . La technique du jackknife fonctionne de la manière suivante :

Soit  $\theta$  le paramètre réel inconnu à estimer, et  $\hat{\theta}$  son estimateur :

$$\hat{\theta} = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_n)$$

où les  $(1 \leq j \leq n)$  sont  $n$  identifiants des individus constituant l'échantillon  $s$ , avec  $j$  représentant le numéro d'ordre du tirage.

• Etape 1 : L'objectif est de calculer  $A$  pseudo-estimateurs sur le même modèle que  $\hat{\theta}$ . Pour ce faire, on partitionne l'échantillon  $s$  en  $A$  groupes et on estime pour chaque groupe ( $a=1, \dots, A$ ) :  $\hat{\theta}_a$ , un estimateur de  $\theta$  mais estimé uniquement à partir des individus du groupe  $a$ .

• Etape 2 : On définit ensuite pour  $a=1, \dots, A$  :  $\hat{\theta}_a^* = A * \hat{\theta} - (A - 1) * \hat{\theta}_a$ .

• Etape 3 : L'estimateur du jackknife de  $\theta$  est donnée par :  $\hat{\theta}_{JK} = \frac{1}{A} \sum_{a=1}^A \hat{\theta}_a^*$

l'estimateur de la variance par la technique du jackknife est donnée par :

$$\hat{V}(\hat{\theta}_{JK}) = \frac{1}{A * (A - 1)} \sum_{a=1}^A (\hat{\theta}_a^* - \hat{\theta}_{JK})^2$$

Un intervalle de confiance à 95% est donné par :  $IC(\hat{\theta}_{JK}) = \hat{\theta}_{JK} \pm 1,96 * \sqrt{\hat{V}(\hat{\theta}_{JK})}$



## Chapitre 2

### Cheminement adopté et tests pour améliorer le modèle

Notre principale idée directrice a été d'utiliser au mieux les facteurs d'âge (avec ses composantes de cycle de vie, de génération et de période soulignées plus haut), de sexe et de répartition spatiale pour expliciter les dynamiques de la motorisation, de la mobilité et de la répartition modale.

Les déplacements sont très contraints par les moyens de transport en présence, et en tout premier lieu par la disponibilité d'une voiture [Bonnafous, 1992]. Le taux de motorisation apparaît en effet comme une variable "clé" du phénomène de mobilité. Nous commençons donc par étudier la motorisation au niveau des individus en vue d'introduire ce facteur essentiel dans l'étude de la mobilité. Cette analyse, qui confronte les mesures en fréquence de déplacements et en distances parcourues pour appréhender la mobilité, est menée d'abord au niveau global (tous modes confondus), puis en terme de répartition par mode de déplacement.

#### 2.1 *Motorisation individuelle*

Les enquêtes ne permettent pas toutes de cerner la disponibilité des véhicules en général (détention du permis de conduire) ou pour un déplacement donné. On a donc retenu une mesure plus fruste de la présence de l'automobile : l'appartenance de l'individu à un ménage sans voiture, mono-équipé ou multi-motorisé. Même s'il n'est pas optimal, ce critère est très discriminant quant à l'intensité de la mobilité (croissante en fonction de la motorisation, surtout quand on la mesure par la distance parcourue) et à la répartition modale (par exemple, chez les ménages sans voiture, il y a très peu de déplacements au volant d'un véhicule emprunté, mais quelques déplacements comme passager). En mettant en relief les effets de la diffusion de la seconde voiture, ce critère est finalement plus riche que la simple dichotomie entre titulaires et non titulaires du permis.

#### 2.2 *Mobilité globale*

La mobilité globale sera mesurée de trois manières :

- le budget-distance (distance parcourue par jour et par personne) ; nous l'avons calculé sur la base du vol d'oiseau entre les zones d'origine et de destination des déplacements. Pour que les évolutions aient un sens, il est essentiel de conserver le même zonage, c'est-à-dire en général le plus ancien et le moins détaillé, pour traiter les enquêtes successives ; par contre, les distances ainsi calculées ne sont pas strictement comparables d'une région urbaine à l'autre ;
- le budget-temps (temps de transport par jour et par personne) ; la durée des déplacements est calculée par différence entre des heures d'arrivée et de départ généralement arrondies ; les données individuelles sont donc assez imprécises, mais les moyennes sur des échantillons importants sont plus robustes et s'avèrent comparables, en niveau comme en évolution, d'une région urbaine à l'autre (sauf à Montréal où cette information n'est pas saisie) ;
- et la fréquence (nombre de déplacements par jour et par personne).

Les rapports entre ces trois mesures de la mobilité donnent également des indications intéressantes sur les tendances d'évolution de :

- la vitesse moyenne comme quotient entre le budget-distance et le budget-temps,
- la portée des déplacements, c'est-à-dire leur longueur moyenne.

Nous spécifierons trois modèles Age-Cohorte afin de modéliser les trois types de mobilité globale. Compte tenu de l'importance des enjeux en termes de consommation d'énergie et d'émissions polluantes, notamment pour les gaz à effet de serre, nous mettrons l'accent sur les distances parcourues plutôt que sur la mesure classique de la mobilité en terme de fréquence. En outre, nos travaux antérieurs sur l'Ile-de-France [Armoogum et Madre, 1996] et les prévisions de trafic figurant au Schéma Directeur de 1994 [DREIF, 1994] montrent que la portée des déplacements (leur longueur moyenne) constitue un déterminant majeur de l'évolution à long terme de la demande de transport.

## **2.3 Répartition modale**

Nous avons distingué cinq modes de déplacement :

- conducteur d'une voiture, ce qui permet d'estimer des véhicules-kilomètres quand on mesure la mobilité en distance parcourue ;
- passager d'une voiture, ce qui permet de calculer le taux moyen d'occupation des véhicules quand on rapproche cette information de celle qui concerne les conducteurs ;
- transports en commun urbains ;
- marche à pied ;
- autres modes (deux-roues, ramassage scolaire ou employeur, taxis,...).

Comme les effets de génération sont déjà intervenus deux fois (dans le modèle de motorisation individuelle et dans celui de mobilité globale), il n'est pas trop étonnant que les coefficients de génération s'avèrent non significatifs dans l'analyse des répartitions modales. Par contre, il subsiste des tendances temporelles marquées, liées en partie à des effets d'offre : dynamisme de l'automobile et des transports en commun, déclin de la marche et des deux-roues. Pour calculer les parts modales, on a donc estimé une tendance linéaire séparément pour chacune des catégories résultant du croisement entre la zone de résidence, la motorisation, le sexe et trois groupes d'âge (6-24 ans, 25-54 ans et "55 ans ou plus"). L'ajustement rigoureux d'une tendance à partir de seulement 3 ou 4 points entachés de fluctuations d'échantillonnage est assez hasardeux; c'est pourquoi nous avons effectué des corrections "à la main" en ajustant le total des cinq parts modales sur 100%.

## **2.4 Comment introduire les effets de l'offre et des facteurs économiques ?**

Nous prendrons l'exemple des trafics transports collectifs en Ile-de-France .

Nous les avons analysés en suivant deux approches très différentes, à partir de données éclairant des facettes complémentaires: comparaison entre réseaux de Transport Collectif (TC) dans des villes différentes d'une part, concurrence avec l'automobile en Ile-de-France d'autre part [Bresson et al., 2002]. Il s'agit:

- d'un panel de réseaux de TC dans 62 Périmètres de Transports Urbains, traité avec une procédure bayésienne qui permet d'estimer des élasticités différentes pour chaque ville du panel, donc des résultats spécifiques pour Paris; bien que ce soit, de loin, la plus grande ville analysée, les comportements y sont semblables à ceux que l'on a mis en évidence pour la plupart des villes de province;
- de séries temporelles sur les TC et les trafics routiers en Ile-de-France considérées comme système d'équations simultanées.

Ici encore, nous avons introduit dans le même modèle des facteurs:

- économiques (effet direct des tarifs TC et effet croisé des prix des carburants),
- d'offre (volume de places-km dans les deux approches, fréquence et densité de réseau pour mesurer la qualité dans l'approche panel, allongement du réseau autoroutier en banlieue et construction de places de parking dans Paris pour mesurer l'offre routière dans l'approche séries temporelles),
- structurels (la diffusion de l'automobile, le desserrement de la population, la part décroissante des jeunes dans la population ont un impact négatif sur l'utilisation des TC); la note 2 du tableau 2 précise la construction de l'indicateur retenu pour mesurer ces phénomènes.

La confrontation des deux modèles estimés sur la même période (1981-93) et avec le même ensemble de variables explicatives montre (tableau 2):

- des élasticités modérées au volume d'offre (environ 0,35) et aux tarifs (de l'ordre de -0,3),
- une faible sensibilité aux prix des carburants (inférieure à 0,1), sachant que la concurrence avec l'automobile se manifeste également via la motorisation que nous avons intégrée dans les facteurs structurels,
- une faible sensibilité aux facteurs structurels d'après l'approche panel, vraisemblablement plus forte mais dont l'estimation est très imprécise d'après les séries temporelles,
- quant au revenu, qui n'a pas pu être retenu dans cet exercice comparatif, son influence directe est apparemment négative (les TC seraient ce que les économistes appellent "un bien inférieur"); leur impact devient faiblement positif dans les grandes agglomérations (faiblement négatif dans les petites villes) quand on intègre la motorisation parmi les facteurs structurels; c'est donc le lien entre revenu et motorisation, qui s'affaiblit au cours du temps, qui donne aux TC ce caractère de "bien inférieur".

**Tableau 1 Deux approches pour le calcul d'élasticités du trafic TC en Ile-de-France (bornes des intervalles de confiance à 95%) ; période d'estimation: 1981-93**

	Séries temporelles	Panel
Trafic en t-1 (1)	0,78 à 0,94	0,42 à 0,43
Facteurs structurels (2)	0,11 à 1,97	0,18 à 0,20
Tarifs TC	> -0,30	-0,31 à -0,32
Prix des carburants	-	0,05 à 0,07
Places-km offertes	0,24 à 0,51	0,34 à 0,35
Qualité de l'ajustement MAPRE	0,335	1,207
Erreur de prévision pour:		
1994	0,186	0,380
1995	1,874	1,504

Source: calculs ERMES [Bresson et al., 2002].

- (1) Les séries temporelles étant mensuelles et le panel annuel, il n'est pas étonnant que ce coefficient diffère notablement entre les deux approches.
- (2) L'indicateur synthétique correspondant combine:
  - la répartition de la population selon le croisement de 4 dimensions pertinentes pour l'analyse de la demande de TC (sexe, âge, résidence au centre ou en banlieue, nombre de voitures du ménage),
  - la mobilité (nombre de déplacements en TC par semaine et par personne fourni par l'Enquête Nationale Transport 1993-94).

Cet indicateur de "mobilité structurelle" est la somme des populations de chaque catégorie, pondérée par leur mobilité TC. Au cours du temps, nous gardons la pondération constante, tandis que les populations évoluent.

En considérant cette seule variable, nous prenons en compte des facteurs liés (par exemple, l'étalement urbain stimule la croissance de la motorisation); les introduire séparément dans les modèles aurait engendré des problèmes de colinéarité et diminué le nombre de degrés de liberté.

La validation à court terme montre des performances comparables sur 1994 (avec un léger avantage pour les séries temporelles). Par contre sur 1995, année marquée par la grande grève de novembre - décembre, l'approche panel est meilleure, comme souvent lors de chocs imprévus. La validation à moyen terme (jusqu'à 2000) est en cours.

Pour évoquer quelques autres exemples, quand on modifie les conditions d'offre de transport dans le modèle MATISSE [Morellet, 2001], il y a modification des effectifs de tous les segments de la demande. Par ailleurs, les élasticités directes fournies par le modèle LASER d'interaction entre urbanisme et transport pour le Sud-Est de l'Angleterre [Jin et al., 2002], qui sont calées sur les évolutions observées au cours des années 90, paraissent sensiblement plus faibles que les valeurs communément admises [Goodwin, 1992]. Plusieurs raisons ont été avancées: rigidité des comportements lors de la pointe du matin, revenus élevés dans la région de Londres, grande proportion de captifs des transports en commun ou de l'automobile,... Mais l'intégration des facteurs structurels pourrait aussi expliquer ce résultat comme pour les exercices présentés ci-dessus.

Il n'est pas évident d'intégrer la grande variété de facteurs importants dans le cadre d'une approche économétrique dynamique avec estimation sur des séries de données (panel ou séries temporelles). Toutefois il semble bien que, quand on introduit des facteurs structurels, les élasticités de la demande aux facteurs économiques et d'offre paraissent plus faibles; elles sont assez souvent divisées par deux quand on les compare avec celles obtenues dans le cadre d'approches classiques. En effet, il semble assez naturel que, plus on identifie de facteurs, plus leurs rôles respectifs apparaîtront modestes.

## **2.5 Les tests effectués pour améliorer le modèle**

Dans le but d'améliorer le modèle Age-Cohorte, nous avons, pour ces deux unités (distances et fréquence des déplacements), comparé le modèle général à un modèle considérant séparément les déplacements de proximité (réalisés essentiellement à pied, en deux-roues ou en voiture) et les déplacements les plus longs pour lesquels voiture et transport en commun sont en concurrence. Nous avons testé les seuils de 0,5, 1 et 3 kilomètres pour distinguer ces deux types de déplacements. Nous avons tout d'abord considéré la mobilité globale (mesurée en nombre de déplacements ou en distance parcourue), puis analysé le partage modal.

## Chapitre 3

### Plusieurs optiques de validation sur différents exemples

#### 3.1 Faut-il séparer les déplacements de proximité ?

Notre exercice précédent sur l'Ile-de-France [Armoogum et Madre, 1996] a bien montré un seuil de résistance à la baisse de la marche à pied aux environs de 15% des déplacements pour toutes les catégories de population et notamment chez les ménages multi-motorisés; en revanche, il n'a pas détecté au niveau global l'interruption du déclin de ce mode de déplacement. Afin que le modèle rende mieux compte de cette tendance actuelle, nous avons distingué:

- un marché des déplacements de proximité, où la voiture est en concurrence avec la marche et les deux-roues, mais où les transports collectifs sont peu présents ;
- et un marché des déplacements plus longs (à l'échelle de l'agglomération, que l'on peut qualifier de régionaux en Ile-de-France) où la compétition se joue pour l'essentiel entre les transports en commun et l'automobile (conducteur ou passager).

Nous avons testé 3 seuils de distance (0,5 kilomètre, 1 kilomètre et 3 kilomètres) pour distinguer les déplacements de proximité [Delaunay, 2002 ]. Le "modèle global" est estimé sur l'ensemble des déplacements, quelle que soit leur longueur, alors que le "modèle composé" différencie les déplacements de proximité et les déplacements plus longs. Sur l'exemple de l'Ile-de-France, nous comparons les deux spécifications de la modélisation Age-Cohorte: un seul modèle versus déplacements de proximité + déplacements plus longs. Les résultats des modèles composés présentés dans le tableau ci-dessous sont issus du modèle avec un seuil de distance de 1 kilomètre. Notons que le même travail a été effectué pour un seuil de 0,5 et 3 kilomètres, mais les résultats ne diffèrent pas significativement.

**Tableau 2 Validation par la régression sur la mobilité des Franciliens**

Spécification du modèle	Coefficient R <sup>2</sup>			
	Déplacement		Distances	
	Modèle global	Modèle composé	Modèle global	Modèle composé
<b>Résultat 1</b> : 4 années, 2 sexes, 3 zones, 3 modalités de motorisation, 17 tranches d'âge = 1224 observations	0,79	0,79	0,95	0,95
<b>Résultat 2</b> : 4 années, 2 sexes, 8 zones, 3 modalités de motorisation, 17 tranches d'âge = 3264 observations	0,66	0,62	0,88	0,88
<b>Résultat 3</b> : 4 années, 2 sexes, 3 zones, 3 modalités de motorisation, 3 tranches d'âge = 216 observations	0,57	0,57	0,78	0,79
<b>Résultat 4</b> : 4 années, 2 sexes, 8 zones, 3 modalités de motorisation, 3 tranches d'âge = 576 observations	0,48	0,48	0,73	0,73

Sources : Calculs INRETS sur la base du modèle Age-Cohorte estimé sur les EGT 1977, 1984, 1992 et 1998 en Ile-de-France

Ces résultats montrent que les coefficients de corrélation multiple obtenus par des modèles globaux et des modèles composés sont équivalents quelque soit le seuil de distance choisi (tableau 2). Plus généralement, le modèle reconstruit mieux les données d'enquête pour la distance totale parcourue

que pour le nombre global de déplacements, et il y a avantage à détailler les tranches d'âge; en revanche, la reconstitution est meilleure en ne distinguant que 3 couronnes plutôt que les 8 départements de la région Ile-de-France.

### 3.1.1 Répartition modale

Les résultats de la répartition modale sont obtenus conformément à ce qui est décrit au chapitre 2, en variant le nombre de zones (3 et 8 zones), ainsi que le nombre des tranches d'âge (17 et 3 tranches d'âge). Le tableau 3 confirme, mode par mode, la meilleure adéquation du modèle sur 3 zones que sur 8 zones. En revanche, quand on individualise les modes de déplacement, le modèle reconstitue mieux les nombres de déplacements que les distances parcourues; ceci est particulièrement sensible en ce qui concerne les déplacements à pied, qui sont généralement trop courts pour que l'estimation de la distance puisse être précise. Toutefois, la validation est bonne pour les transports en commun et pour la voiture conducteur.

**Tableau 3 Validation par la régression sur le partage modal des Franciliens – modèle global**

Mode de transport	Modèle avec 8 zones et 17 tranches d'âge		Modèle avec 3 zones et 17 tranches d'âge	
	Déplacements	Distances	Déplacements	Distances
Transport en commun	0,84	0,69	0,91	0,84
Voiture conducteur	0,91	0,90	0,96	0,96
Voiture passager	0,73	0,44	0,88	0,61
Marche à pied	0,73	0,08	0,85	0,09
Autres modes	0,28	0,26	0,37	0,33

Sources : calculs INRETS sur la base des EGT 1977, 1984, 1992 et 1998

La comparaison du coefficient  $R^2$  entre le modèle global et le modèle composé montre que le modèle global donne des résultats plus proches des observations fournies par les enquêtes, particulièrement pour les distances (tableau 4).

**Tableau 4 Validation par la régression sur le partage modal des Franciliens – modèle avec 3 tranches d'âge et 3 zones de résidences**

Mode de transport	Déplacements		Distances	
	Modèle global	Modèle composé	Modèle global	Modèle composé
Transport en commun	0,98	0,98	0,93	0,53
Voiture conducteur	0,99	0,99	0,98	0,70
Voiture passager	0,98	0,98	0,94	0,91
Marche à pied	0,98	0,98	0,73	0,72
Autres modes	0,91	0,91	0,83	0,35
Total <sup>1</sup>	0,99	0,99	0,97	0,64

Sources : calculs INRETS sur la base des EGT 1977, 1984, 1992 et 1998

<sup>1</sup> Total : Analyse effectuée au niveau le plus fin comprenant les croisements entre les modes, le sexe, les années, la motorisation, la zone de résidence et les trois tranches d'âge.

Le même type de calcul a été effectué pour un seuil de distance de 0,5 et 3 kilomètres ; les résultats obtenus sont similaires à ceux figurant au tableau 4. Par ailleurs, la même étude a été réalisée pour 4 tranches d'âge (4-19, 20-39, 40-59, et 60 et plus) au lieu de 3, mais les résultats obtenus sont moins satisfaisants.

Pour tous les modèles étudiés, le seuil de distance choisi pour isoler les déplacements de proximité influe marginalement sur la qualité du modèle; même pour le seuil de 1 kilomètre qui semble légèrement préférable aux autres testés, les modèles composés ne sont pas meilleurs que les modèles globaux.

On notera que le même travail sur les modèles composés a été effectué sur la durée des déplacements, mais les résultats restent similaires à ceux des modèles composés sur la distance.

D'après ces résultats, on peut constater qu'il n'est pas nécessaire de différencier déplacements courts et déplacements longs, que ce soit en terme de génération de trafic (budget-distance ou fréquence de déplacements), ou en terme de partage modal (VC, VP, TC, MAP et Autres).

### **3.2 Validation par la régression : une optique globale pour comparer les ajustements**

Sur l'exemple de Lille, afin de sélectionner le meilleur modèle parmi différentes spécifications, nous avons appliqué la méthode de validation par régression proposée au chapitre 1: le calcul du coefficient de détermination  $R^2$  résume cette comparaison entre données modélisées et observées (tableaux 5 à 7).

**Tableau 5 Validation par la régression du modèle sur le nombre de déplacements à Lille**

Modèle selon :	Nombre d'observations	R2	Constante	Pente	t de Student pour la constante	t de Student pour la pente
Tranche d'âge, zone, sexe, motorisation, année	864	0,909	0,0004	1,0020	0,01	92,63
Tranche d'âge, zone, motorisation, année	432	0,946	-0,0139	1,0061	-0,33	86,64
Tranche d'âge, sexe, motorisation, année	288	0,960	-0,0118	1,0052	-0,27	82,45
Tranche d'âge, motorisation, année	144	0,977	-0,0185	1,0075	-0,39	77,31

Sources : INRETS selon le modèle Age-Cohorte estimé sur les Enquêtes Ménage-Déplacements 1976, 1987, et 1998 à Lille

**Tableau 6 Validation par la régression du modèle sur le budget-temps à Lille**

Modèle selon :	Nombre d'observations	R2	Constante	Pente	t de Student pour la constante	t de Student pour la pente
Tranche d'âge, zone, sexe, motorisation, année	864	0,855	0,5540	0,9904	0,77	71,46
Tranche d'âge, zone, motorisation, année	432	0,906	0,3465	0,9949	0,43	64,28
Tranche d'âge, sexe, motorisation, année	288	0,941	0,0220	1,0014	0,03	67,57
Tranche d'âge, motorisation, année	144	0,963	-0,0970	1,0040	-0,11	60,75

Sources : INRETS selon le modèle Age-Cohorte estimé sur les Enquêtes Ménage-Déplacements 1976, 1987, et 1998 à Lille

**Tableau 7 Validation par la régression du modèle sur le budget-distance à Lille**

Modèle selon :	Nombre d'observations	R2	Constante	Pente	t de Student pour la constante	t de Student pour la pente
Tranche d'âge, zone, sexe, motorisation, année	864	0,938	0,0161	1,0008	0,22	113,86
Tranche d'âge, zone, motorisation, année	432	0,959	-0,0050	1,0035	-0,06	100,18
Tranche d'âge, sexe, motorisation, année	288	0,971	-0,0237	1,0061	-0,28	97,96
Tranche d'âge, motorisation, année	144	0,981	-0,0326	1,0072	-0,33	85,14

Sources : INRETS selon le modèle Age-Cohorte estimé sur les Enquêtes Ménage-Déplacements 1976, 1987, et 1998 à Lille

Tous les résultats de régressions pour les différentes spécifications du modèle indiquent une très grande proximité entre les valeurs issues des modèles et des enquêtes. Quand on réduit le nombre d'observations en diminuant le nombre des dimensions prises en compte, la valeur de  $R^2$  s'améliore assez mécaniquement en raison des moindres fluctuations d'échantillonnage sur les données.

A Lyon, la validation par la régression montre une bonne adéquation du modèle pour le budget-distance et le budget-temps; cependant, la valeur de la constante pour le nombre de déplacements est significativement différente de 0, ce qui indique une difficulté (Tableau 8). On pense qu'elle provient d'une collecte incomplète pour les déplacements courts dans l'enquête de 1985.

**Tableau 8 Validation par la régression des modèles à Lyon**

Modèle	R <sup>2</sup>	Constante	Pente	t pour la constante	t pour la pente
Budget-distance	0,919	0,1341	0,9784	1,10	100,56
Budget-temps	0,724	1,2337	0,9916	0,87	48,44
Nombre de déplacements	0,749	0,3783	0,9000	5,70	51,59

Sources : INRETS selon le modèle Age-Cohorte estimé sur les Enquêtes Ménage-Déplacements 1977, 1986 et 1995 à Lyon

### 3.3 Validation par les intervalles de confiance : une optique plus désagrégée

Suivant la méthodologie exposée au chapitre 1, considérons d'abord les intervalles de confiance calculés à partir des données d'enquêtes. Cette confrontation des résultats vérifie la crédibilité de la projection dans une optique dynamique. Si les valeurs estimées par modèle sont à l'intérieur des bornes de confiance, la tendance projetée par le modèle devrait prolonger convenablement l'évolution observée. La sévérité de cette validation dépend clairement de la taille des échantillons considérés: sur l'ensemble de la population et à une époque où les échantillons étaient importants, ce test peut s'avérer redoutable.

Ainsi à Lille, c'est seulement en 1976 (où 27 000 individus ont été enquêtés contre 8 400 en 1987 et en 1998) que le modèle sort de l'intervalle de confiance, avec un écart relatif maximum de 3,5%. Les autres résultats sont convenablement situés entre les deux bornes de l'intervalle de confiance, et les écarts relatifs modèle/enquête sont inférieurs à 2,8%.

En Ile-de-France, l'amplitude des fluctuations entre le modèle et les données des enquêtes atteint un maximum de 6,6% en 1998 pour le nombre de déplacements et de 3,2% pour le budget-distance. Toutefois, le modèle reste à l'intérieur de l'intervalle de confiance car l'échantillon a été réduit (7 000 personnes interrogées en 1998 contre environ 20 000 habituellement).

Quant à l'intervalle de confiance calculé à partir du modèle par la méthode du Jackknife, nous n'avons pu l'estimer que pour l'Ile-de-France et la Région Métropolitaine de Montréal, où nous disposons de plus de trois enquêtes. Comme les intervalles ainsi définis sont plus larges, la validation est moins sévère. Mais le principal intérêt de ce calcul n'est pas la validation du modèle ; c'est de fournir un intervalle de confiance pour les projections (figures 1 à 5).

Dans les tableaux 9 à 24, la colonne "écart relatif" contient le quotient entre la demie amplitude de l'intervalle de confiance et la moyenne calculée sur les données d'enquêtes (quand il s'agit d'intervalle de confiance de données) ou sur les résultats du modèle (quand il s'agit d'intervalle de confiance du modèle).

**Tableau 9 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budgets-distances en Ile-de-France**

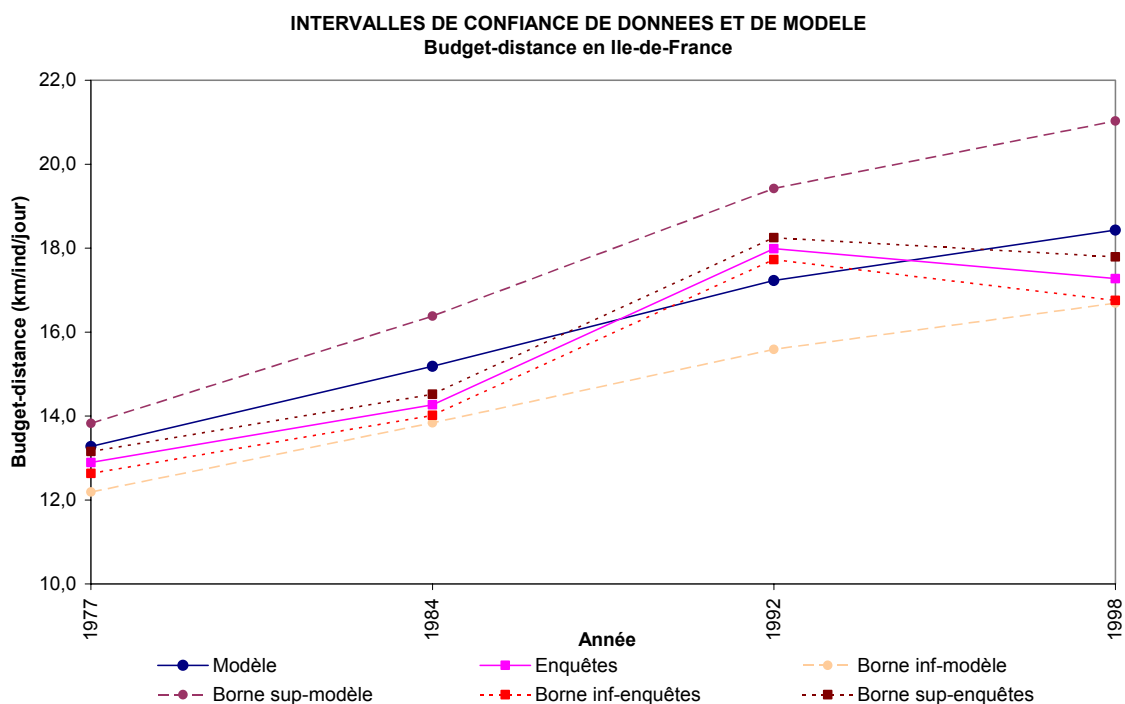
Année	Enquête	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1977	13,0	12,7	13,2	±2,0%
1984	14,1	13,8	14,4	±1,8%
1992	16,1	15,9	16,4	±1,6%
1998	16,7	16,2	17,2	±3,1%

Sources : Calculs INRETS sur la base des EGT 1977, 1984, 1992 et 1998

**Tableau 10 Intervalles de confiance sur les résultats du modèle : le budget-distance en Ile-de-France**

Année	Modèle	Intervalles de confiance sur les résultats du modèle		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1977	13,0	12,2	13,8	±6,3%
1984	14,3	13,0	15,5	±8,9%
1992	15,7	13,8	17,7	±12,2%
1998	16,5	14,3	18,7	±13,2%

Sources : Calculs INRETS sur la base des EGT 1977, 1984, 1992 et 1998



**Figure 1 Comparaison de résultats modèle-enquêtes - budget-distance en Ile-de-France**

**Tableau 11 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : les budget-temps en Ile-de-France**

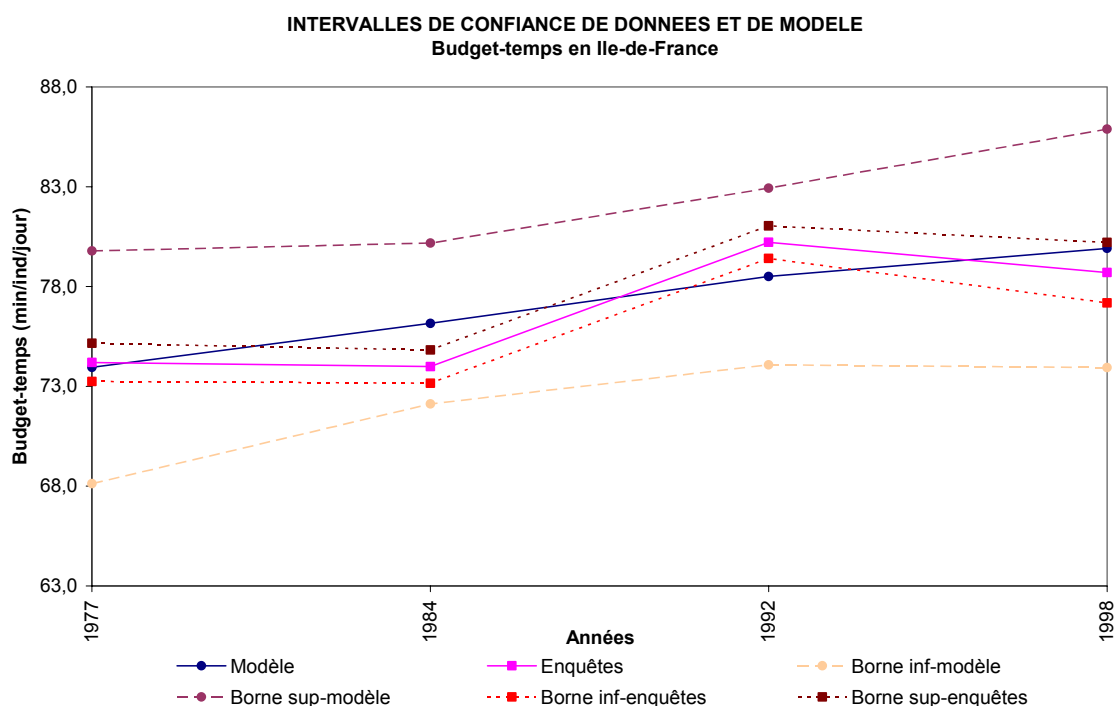
Année	Enquête	Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1977	74,2	73,2	75,2	±1,3%
1984	74,0	73,2	74,8	±1,1%
1992	80,2	79,4	81,0	±1,0%
1998	78,7	77,2	80,2	±1,9%

Sources : Calculs INRETS sur la base des EGT 1977, 1984, 1992 et 1998

**Tableau 12 Intervalle de confiance sur les résultats du modèle : les budget-temps en Ile-de-France**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les résultats du modèle		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1977	74,0	68,1	79,8	±7,9%
1984	76,1	72,1	80,2	±5,3%
1992	78,5	74,1	82,9	±5,6%
1998	79,9	73,9	85,9	±7,5%

Sources : Calculs INRETS sur la base des EGT 1977, 1984, 1992 et 1998



**Figure 2 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-temps en Ile-de-France**

**Tableau 13 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le nombre des déplacements en Ile-de-France**

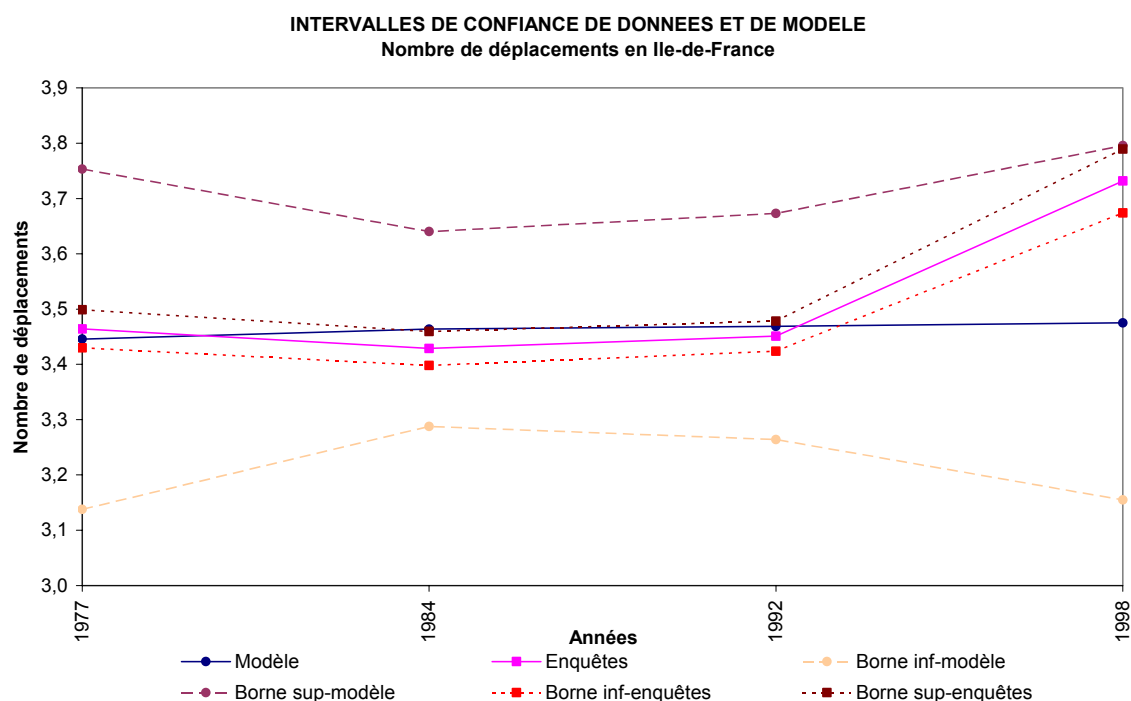
Année	Enquête	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1977	3,46	3,43	3,50	±1,0%
1984	3,43	3,40	3,46	±0,9%
1992	3,45	3,42	3,48	±0,8%
1998	3,73	3,67	3,79	±1,6%

Sources : Calculs INRETS sur la base des EGT 1977, 1984, 1992 et 1998

**Tableau 14 Intervalle de confiance sur les résultats du modèle : le nombre des déplacements en Ile-de-France**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les résultats du modèle		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1977	3,45	3,14	3,75	±8,9%
1984	3,46	3,29	3,64	±5,1%
1992	3,47	3,26	3,67	±5,9%
1998	3,48	3,15	3,80	±9,2%

Sources : Calculs INRETS sur la base des EGT 1977, 1984, 1992 et 1998



**Figure 3 Comparaison de résultats pour le nombre de déplacements en Ile-de-France**

**Tableau 15 Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-distance à Montréal**

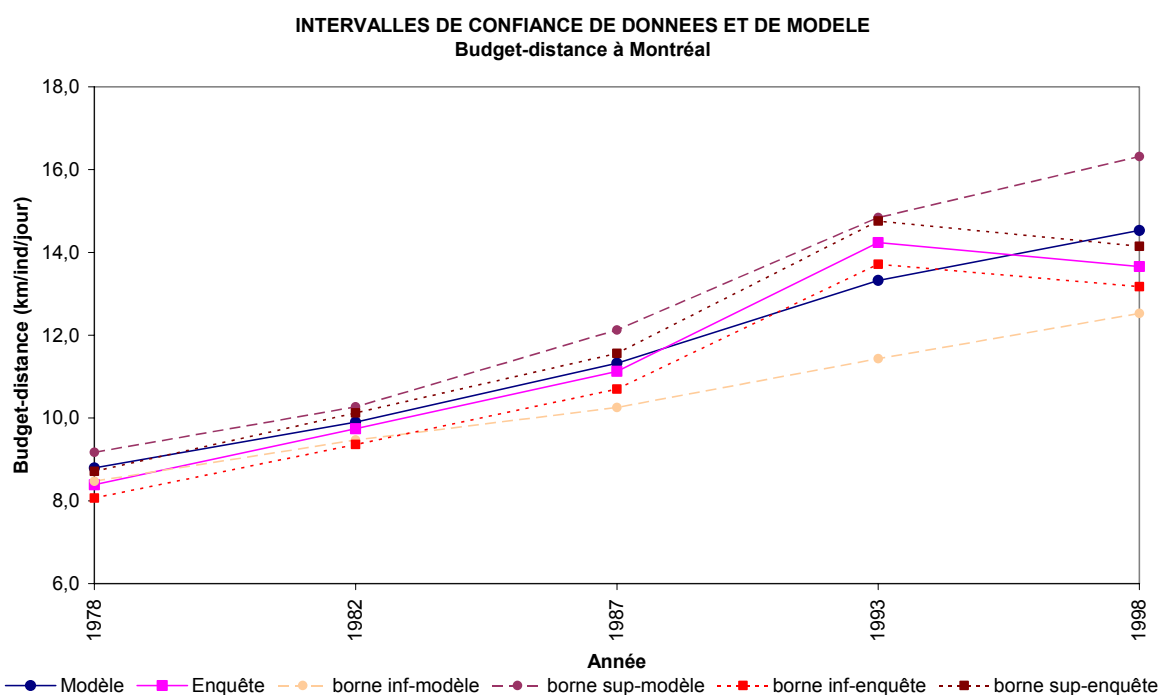
Année	Enquête	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1978	8,4	8,1	8,7	±3,8%
1982	9,7	9,4	10,1	±3,9%
1987	11,1	10,7	11,6	±3,9%
1993	14,2	13,7	14,8	±3,7%
1998	13,7	13,2	14,1	±3,6%

Sources : Calculs INRETS sur la base des enquêtes O-D

**Tableau 16 Intervalle de confiance sur les résultats du modèle : le budget-distance à Montréal**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les résultats du modèle		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1978	8,8	8,5	9,2	±3,9%
1982	9,9	9,5	10,3	±4,1%
1987	11,2	10,3	12,1	±8,4%
1993	13,2	11,4	14,8	±12,9%
1998	14,5	12,5	16,3	±13,1%

Sources : Calculs INRETS sur la base des enquêtes O-D



**Figure 4 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-distance à Montréal**

**Tableau 17 Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes : le nombre des déplacements à Montréal**

Année	Enquête	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1978	1,78	1,75	1,80	±1,3%
1982	1,99	1,96	2,02	±1,4%
1987	2,15	2,12	2,18	±1,3%
1993	2,63	2,60	2,66	±1,2%
1998	2,42	2,39	2,44	±1,2%

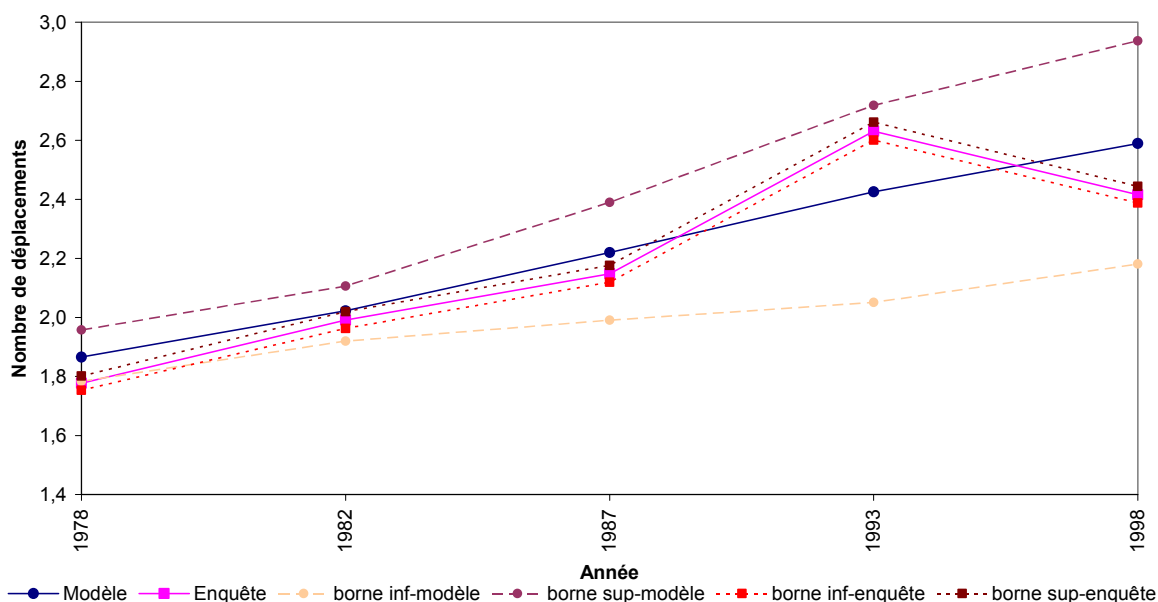
Sources : Calculs INRETS sur la base des enquêtes O-D

**Tableau 18 Intervalle de confiance sur les résultats du modèle : le nombre des déplacements à Montréal**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les résultats du modèle		Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure	
1978	1,87	1,78	1,96	±4,7%
1982	2,01	1,92	2,11	±4,6%
1987	2,19	1,99	2,39	±9,1%
1993	2,39	2,05	2,72	±14,0%
1998	2,56	2,18	2,94	±14,7%

Sources : Calculs INRETS sur la base des enquêtes O-D

**INTERVALLES DE CONFIANCE DE DONNEES ET DE MODELE**  
Nombre de déplacements à Montréal

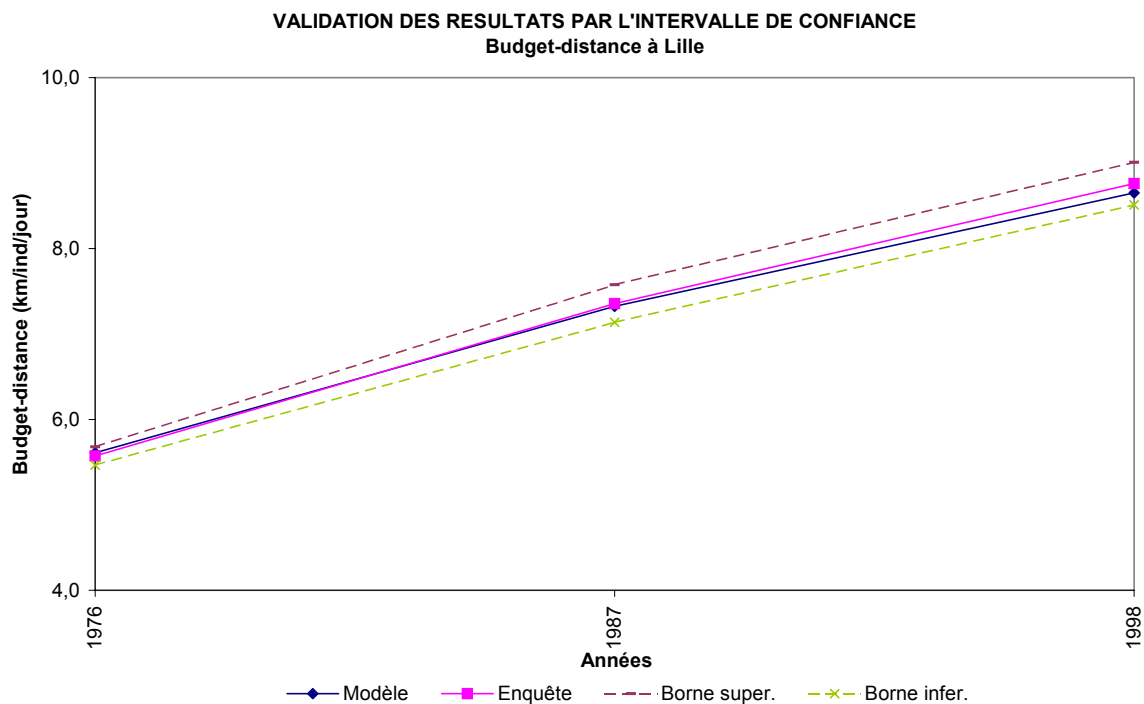


**Figure 5 Comparaison de résultats modèle-enquêtes nombre de déplacements à Montréal**

**Tableau 19 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-distance à Lille**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Enquête	Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure		
1976	5,6	5,5	5,7	5,6	±1,8%
1987	7,3	7,1	7,6	7,4	±3,4%
1998	8,7	8,5	9,0	8,8	±2,8%

Source : INRETS d'après le modèle AC et EMD 1976, 1987 et 1998 à Lille

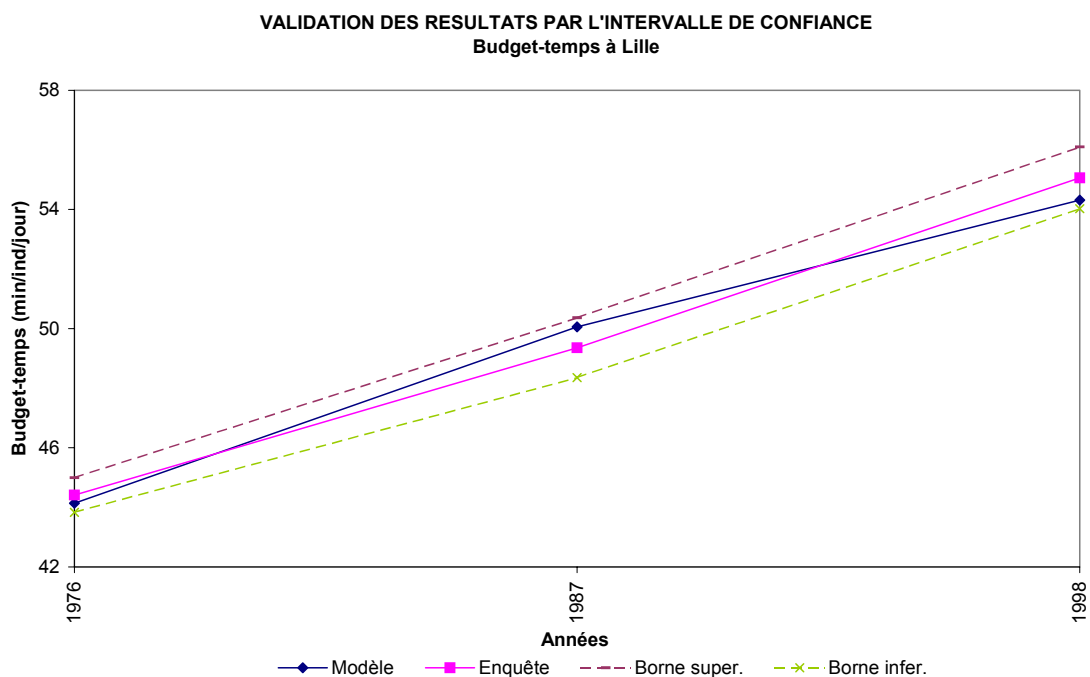


**Figure 6 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-distance à Lille**

**Tableau 20 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-temps à Lille**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Enquête	Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure		
1976	44,1	43,8	45,0	44,4	±1,4%
1987	50,1	48,4	50,4	49,4	±2,0%
1998	54,3	54,0	56,1	55,1	±1,9%

Source : INRETS d'après le modèle AC et EMD 1976, 1987 et 1998 à Lille



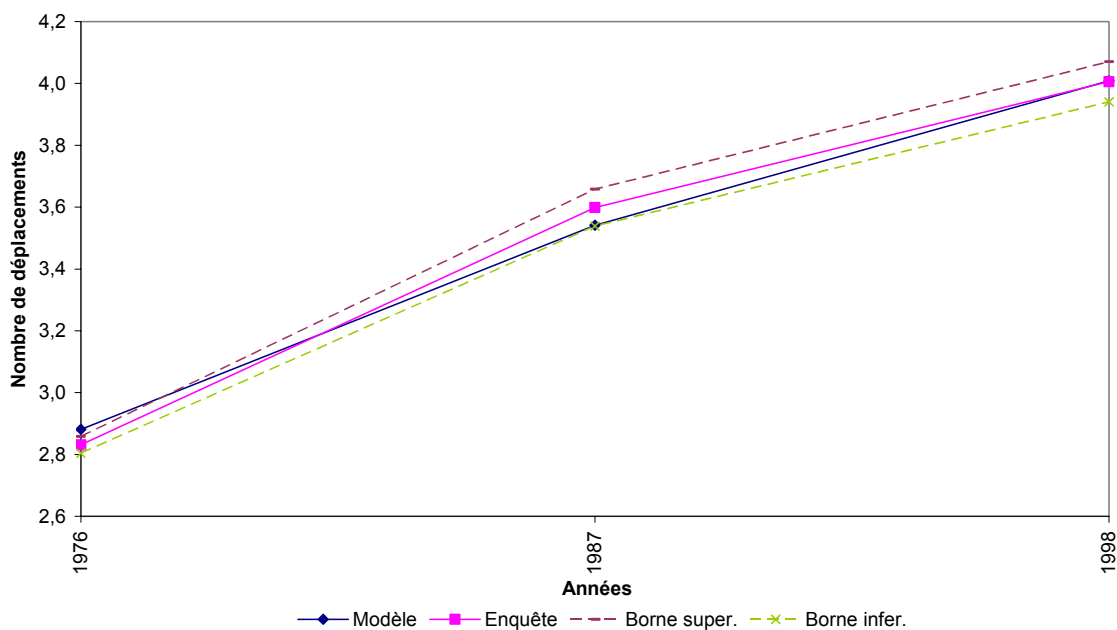
**Figure 7 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-temps à Lille**

**Tableau 21 Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes : le nombre des déplacements à Lille**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Enquête	Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure		
1976	2,88	2,80	2,86	2,83	±1,1%
1987	3,54	3,54	3,66	3,60	±1,7%
1998	4,01	3,94	4,07	4,01	±1,6%

Source : INRETS d'après le modèle AC et EMD 1976, 1987 et 1998 à Lille

**VALIDATION DES RESULTATS PAR L'INTERVALLE DE CONFIANCE**  
Nombre de déplacements à Lille

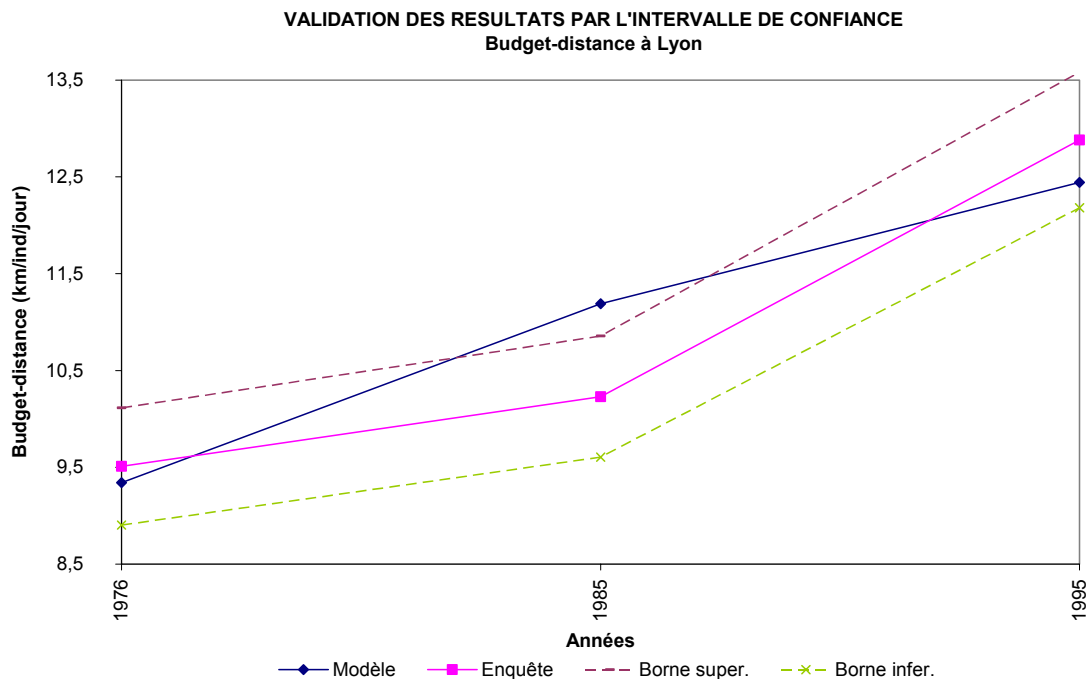


**Figure 8 Comparaison de résultats modèle-enquêtes nombre de déplacements à Lille**

**Tableau 22 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-distance à Lyon**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Enquête	Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure		
1976	9,3	8,9	10,1	9,5	±6,3%
1985	11,2	9,6	10,9	10,2	±6,4%
1995	12,4	12,2	13,6	12,9	±5,4%

Source : INRETS d'après le modèle AC et EMD 1976, 1985 et 1995 à Lyon

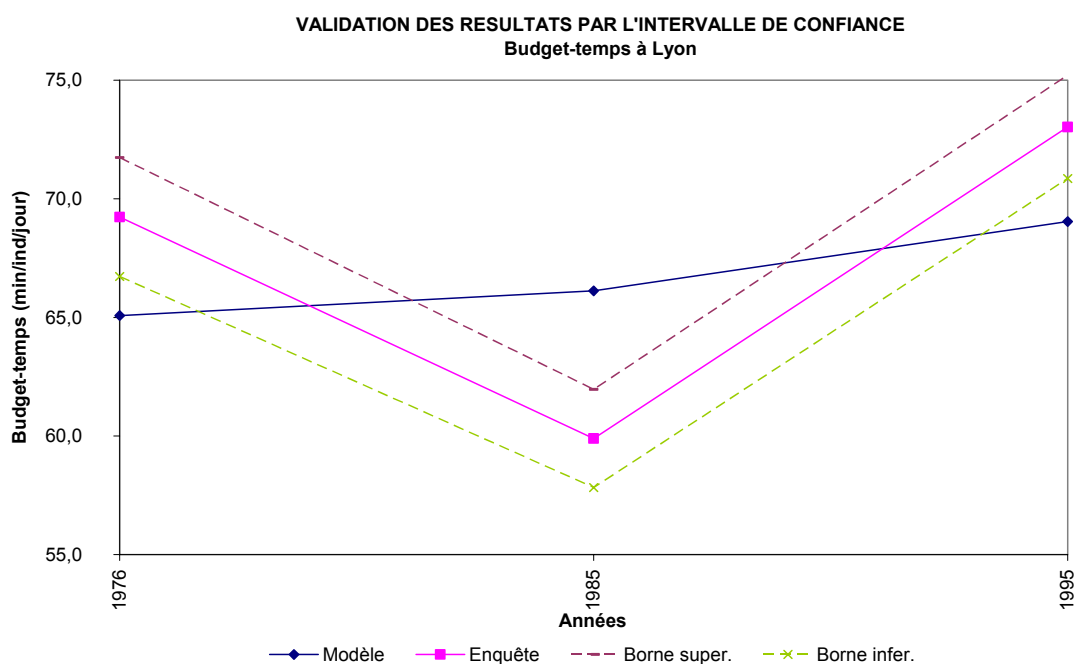


**Figure 9 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-distance à Lyon**

**Tableau 23 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le budget-temps à Lyon**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Enquête	Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure		
1976	65,1	66,7	71,7	69,2	±3,6%
1985	66,1	57,8	62,0	59,9	±3,5%
1995	69,0	70,9	75,2	73,0	±2,9%

Source : INRETS d'après le modèle AC et EMD 1976, 1985 et 1995 à Lyon



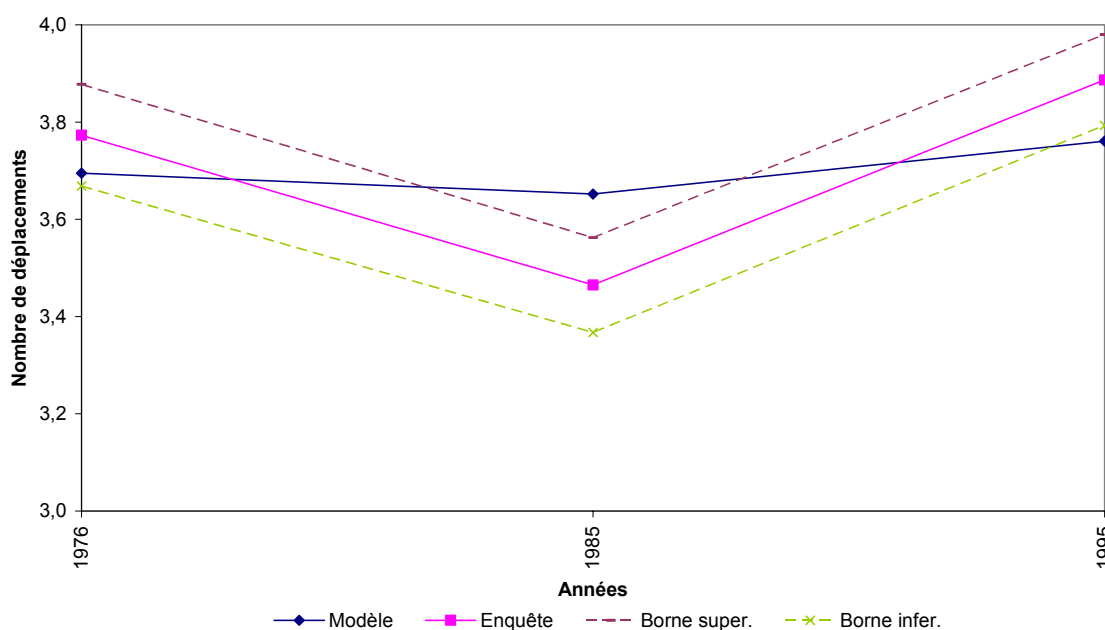
**Figure 10 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le budget-temps à Lyon**

**Tableau 24 Intervalles de confiance sur les données d'enquêtes : le nombre des déplacements à Lyon**

Année	Modèle	Intervalle de confiance sur les données d'enquêtes		Enquête	Ecart relatif
		Borne inférieure	Borne supérieure		
1976	3,70	3,67	3,88	3,77	±2,8%
1985	3,65	3,37	3,56	3,46	±2,8%
1995	3,76	3,79	3,98	3,89	±2,4%

Source : INRETS d'après le modèle AC et EMD 1976, 1985 et 1995 à Lyon

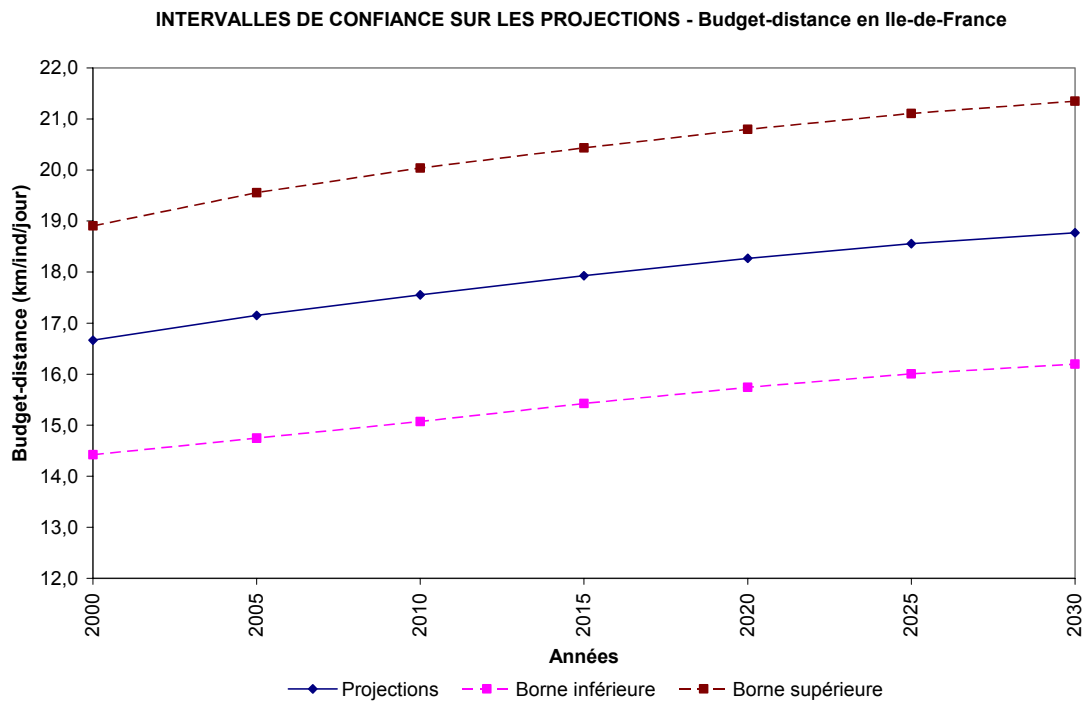
**VALIDATION DES RESULTATS PAR L'INTERVALLE DE CONFIANCE**  
Nombre de déplacements à Lyon



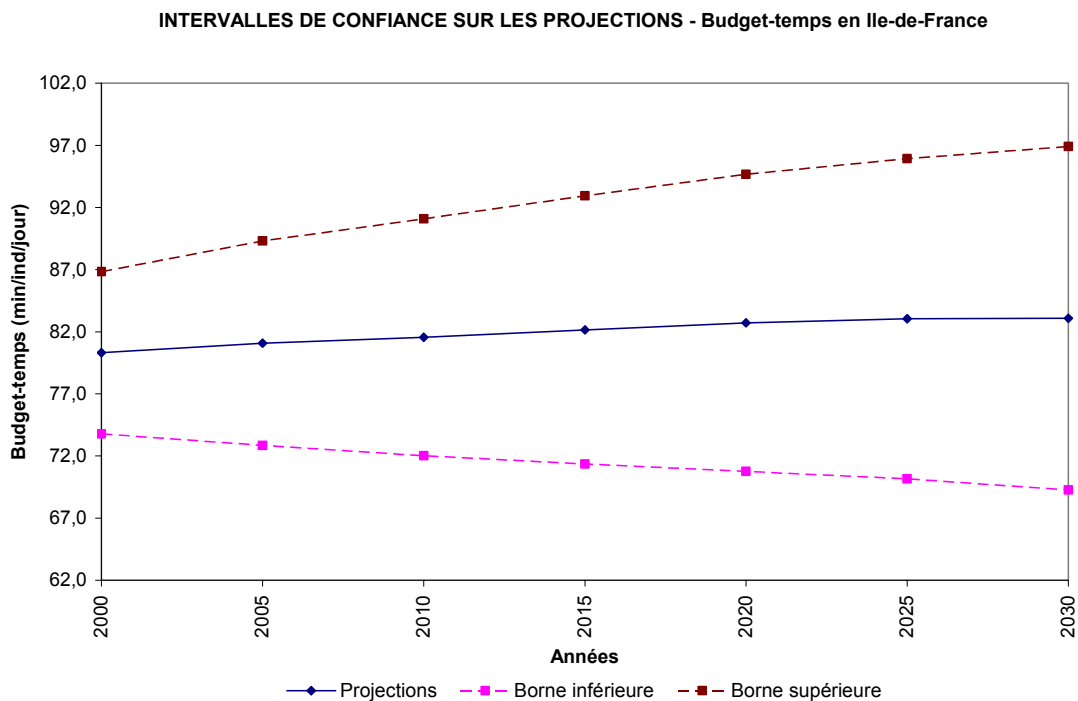
**Figure 11 Comparaison de résultats modèle-enquêtes pour le nombre de déplacements à Lyon**

### 3.4 Une mesure de l'incertitude sur les projections

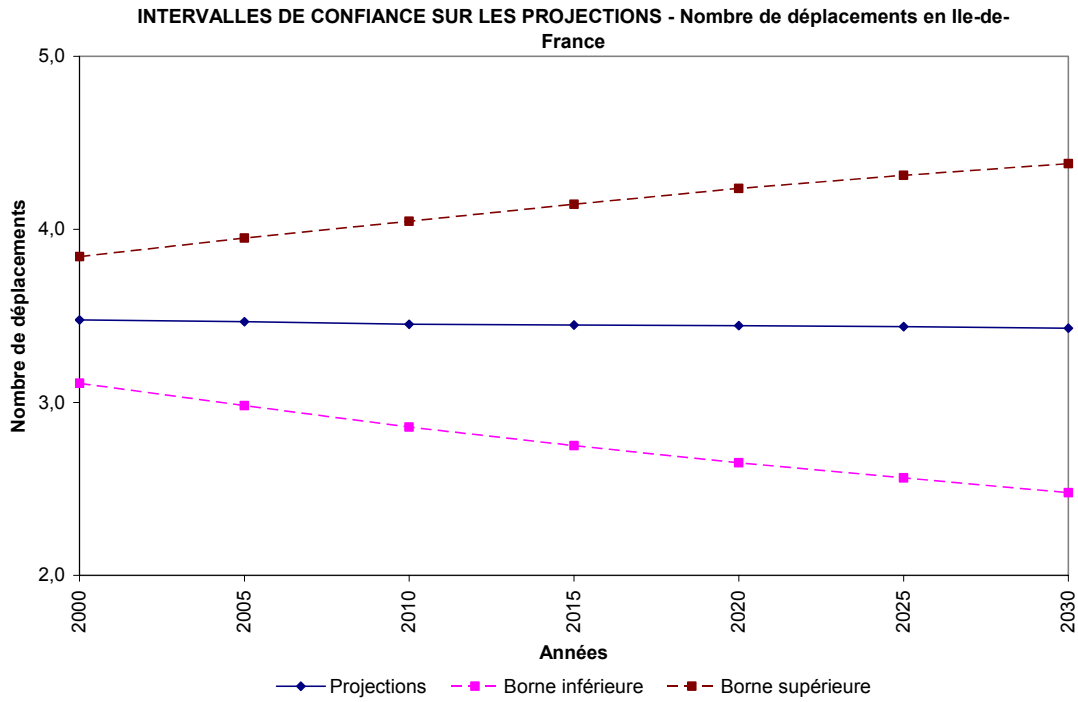
Comme nous l'avons déjà mentionné, les incertitudes sur les projections sont évaluées par l'intervalle de confiance, calculé à partir du modèle, par la méthode de Jackknife. Les résultats concernant l'Ile-de-France et la Région Métropolitaine de Montréal, montrent que, si on s'éloigne plus dans l'avenir, plus les incertitudes augmentent puisque les bornes de l'intervalle de confiance s'élargissent (figures 12 à 16).



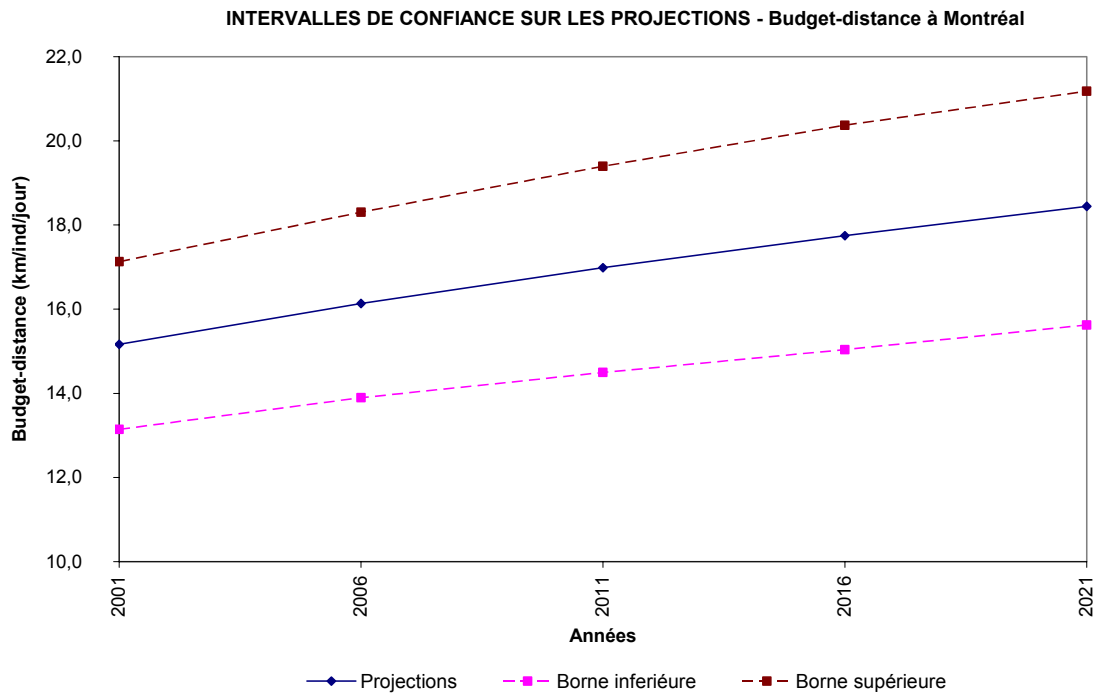
*Figure 12 Intervalles de confiance sur les projections pour le budget-distance en Ile-de-France*



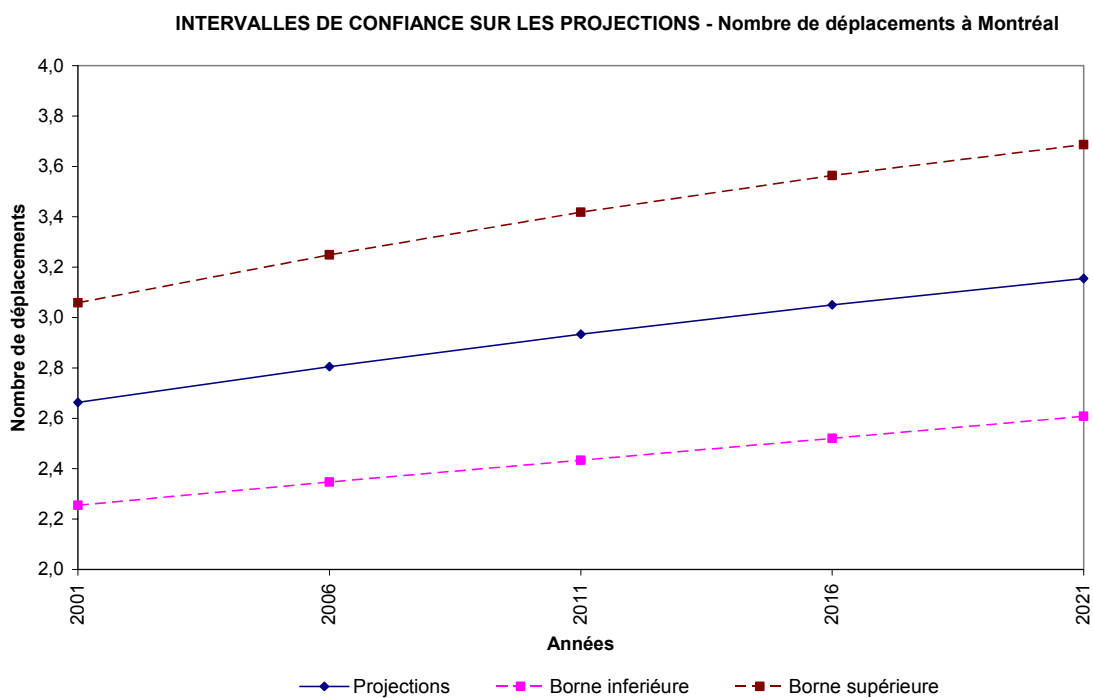
*Figure 13 Intervalles de confiance sur les projections pour le budget-temps en Ile-de-France*



*Figure 14 Intervalles de confiance sur les projections pour le nombre de déplacements en Ile-de-France*



*Figure 15 Intervalles de confiance sur les projections pour le budget-distance à Montréal*



*Figure 16 Intervalles de confiance sur les projections pour le nombre de déplacements à Montréal*



## Chapitre 4

### Synthèse des résultats

#### 4.1 Bilan comparatif des études

Présentons les principales tendances de la mobilité projetées à l'horizon 2030 dans les régions urbaines de Paris, de Lyon, de Lille et de Montréal. Notons que les projections à Montréal ne concernent que le budget-distance et le nombre de déplacements faute d'information sur les durées, et ne dépassent pas 2021, horizon des projections démographiques disponibles. L'aire d'étude couvre la périphérie en Ile-de-France et à Montréal mais est réduite à la zone agglomérée sur Lyon et Lille ; le plus souvent possible, nous avons donc isolé la zone agglomérée en Ile-de-France (Paris + petite couronne) et à Montréal (île de Montréal) pour faciliter les comparaisons. Les projections concernent uniquement les déplacements internes à l'aire d'étude.

##### 4.1.1 Budget-distance

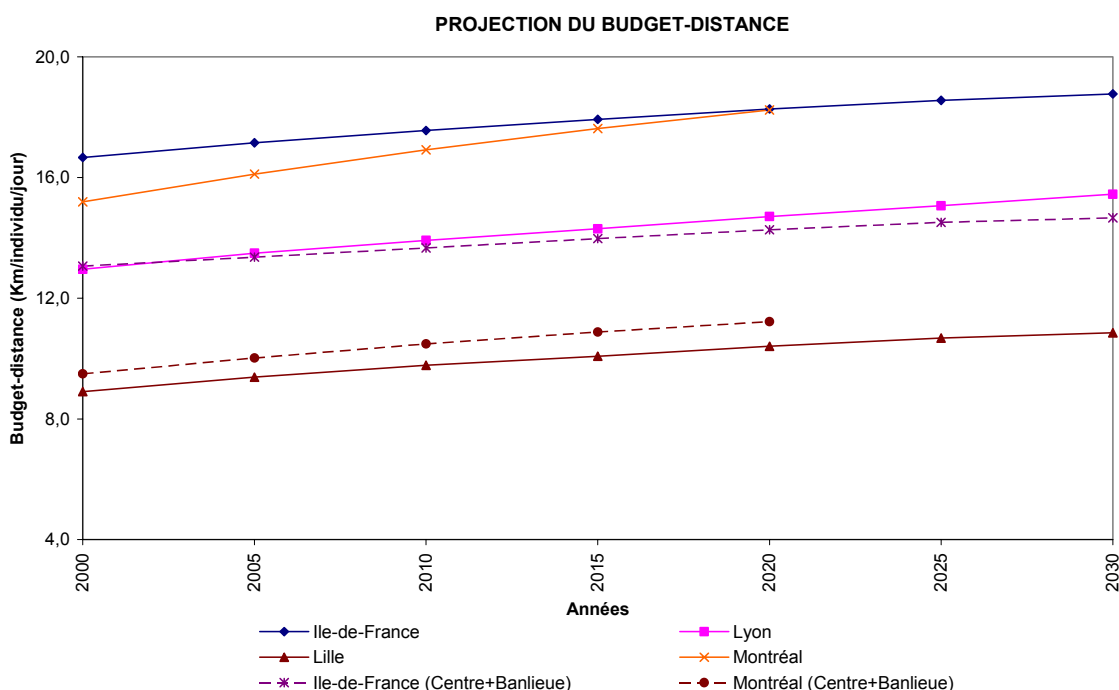
L'usage de la voiture et particulièrement la croissance de la multi-motorisation des ménages devraient continuer à stimuler l'étalement urbain. Pourtant, la première tendance remarquable issue des projections est que, si l'on restreint l'aire d'étude à la zone agglomérée pour Paris et Montréal, les résultats sont tout à fait comparables avec ceux de Lyon et de Lille. Le constat qui peut être retenu est que la taille de l'agglomération n'exercerait pas d'influence importante sur les évolutions du budget-distance. Les distances de déplacements présentées sur la figure 17 sont plus élevées dans la région parisienne et celle de Montréal qu'à Lyon et à Lille, mais seulement quand la périphérie est incluse dans la zone d'étude.

La deuxième remarque concerne le contraste entre Montréal et l'Ile-de-France : la croissance des distances parcourues estimée dans l'ensemble de l'aire urbaine sur la période 2000-2020 est moins importante en Ile-de-France qu'à Montréal. Cela pourrait être une conséquence de la conception des villes, particulièrement de la périphérie, et de son influence sur les comportements de leurs habitants.

La troisième réflexion est que le budget-distance dans les trois villes françaises croîtrait plus lentement d'ici à 2030 par rapport à la période des années 80 et 90 ; le parallélisme entre les trois courbes indique que le ralentissement de la croissance des distances parcourues s'opère au même rythme sur les trois cités.

En distinguant les projections suivant le sexe, on constate que l'allongement des distances parcourues par les femmes résidant en Ile-de-France ou à Montréal se ralentit moins que celui des distances parcourues par des hommes ; les écarts entre les sexes se resserrent donc pendant la période de projection. Dans les cas de Lille et de Lyon les écarts entre les deux sexes se maintiennent. Toutefois dans toutes les agglomérations, les distances journalières parcourues par les hommes resteraient plus élevées que celles des femmes jusqu'à la fin de la période de projection.

La zone de résidence est un facteur très explicatif concernant la progression du budget-distance : plus on habite loin du centre-ville, plus le budget-distance est important. La tendance commune dans toutes les villes est que la plus grande croissance des budgets-distances devrait s'observer chez les habitants de la périphérie.



*Figure 17 Projection du budget-distance dans les quatre agglomérations*

#### 4.1.2 Budget-temps

En Ile-de-France et dans l'agglomération de Lyon, un usage généralisé de la voiture a permis aux citoyens de parcourir des distances accrues tout en limitant l'expansion du temps qu'ils y consacrent. Le cas de Lille montre une croissance significative du budget-temps, surtout chez les femmes. Le gain de vitesse s'est, dans les trois cas, converti en distance supplémentaire parcourue quotidiennement. Cependant, si l'évolution s'est produite de manière très progressive en Ile-de-France et à Lille, elle semble s'être effectuée en deux temps dans l'agglomération lyonnaise : réduction du budget-temps et gain de vitesse entre 1977 et 1986, puis croissance du budget-temps avec stabilisation de la vitesse entre 1986 et 1995. Une sous-estimation des déplacements courts en 1985 pourrait toutefois expliquer cette évolution heurtée.

Les budgets-temps sont déjà élevés à Paris dans les années 70 et leur progression sera donc très faible (figure 18). Après le ralentissement de la croissance du budget-temps sur la période 1985-2000, la projection y fait apparaître une stabilisation autour de 83 minutes. La diminution de l'écart entre les hommes et les femmes, déjà constatée sur la période 1977-1998 se prolongerait.

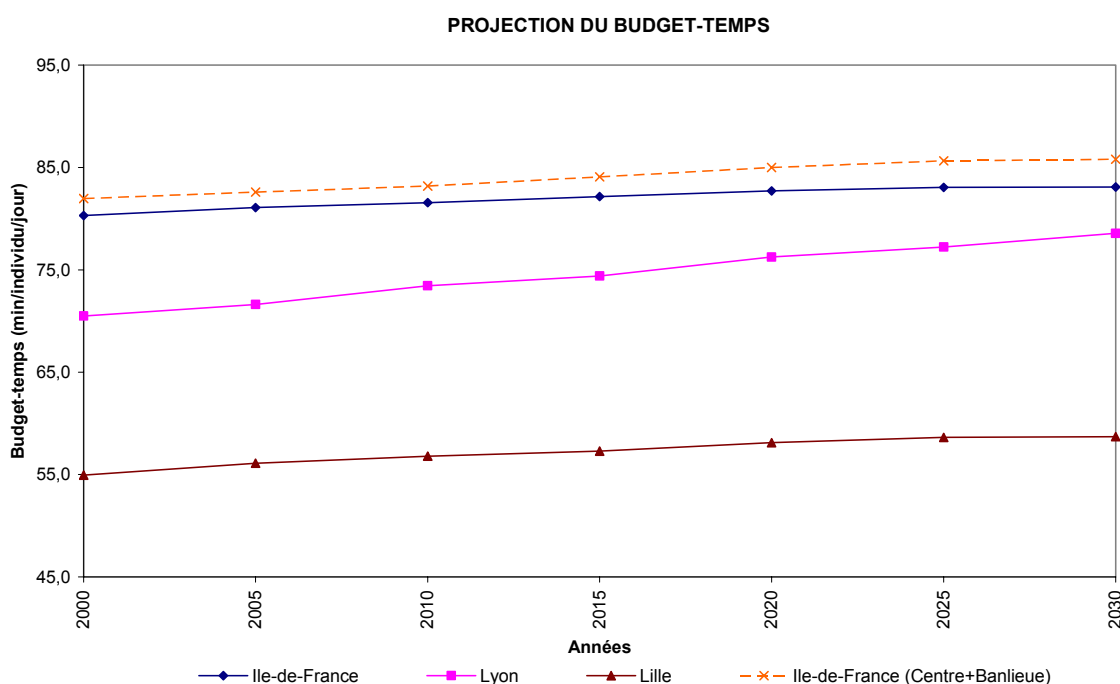
L'évolution du budget temps est fortement contrastée suivant l'éloignement au centre de Paris. La grande couronne suit le mouvement global observé sur l'Ile-de-France, avec un ralentissement de l'augmentation puis une stabilisation autour de 80 minutes. Dans cette zone la plus éloignée de Paris, les temps de transport restent moins élevés que la moyenne régionale ; mais l'écart se resserre avec les zones plus centrales. Les habitants de la petite couronne voient leur budget-temps croître avec, certes, un ralentissement mais plus tardif et moins prononcé qu'ailleurs, en Ile-de-France il se stabilise aux alentours de 88 minutes vers 2025. Les Parisiens ne conserveraient le record de durée des déplacements que jusque vers 2005, date à laquelle ils seraient dépassés par les habitants de la petite couronne. L'évolution parisienne présente la singularité d'atteindre un maximum en 2000 avec une moyenne de 83 minutes par personne et par jour ouvrable.

A Lyon, le faible niveau du budget-temps des années 70 (69 minutes en 1976) pousse à une croissance plus soutenue, et il n'y a pas pour l'instant de stabilisation à l'horizon. Cependant, les projections indiquent que les 80 minutes quotidiennes ne seraient pas encore atteintes en 2030 (seulement 78 minutes) ; donc s'il existe un effet de saturation au-delà de ce seuil, il devrait apparaître seulement par la suite.

Le budget-temps à Lille croîtrait en convergeant vers la valeur de 60 minutes en 2030. Les femmes passeraient plus de temps à ce déplacer que les hommes à partir de 2015. Concernant les projections du budget-temps selon la zone de résidence, le modèle estime qu'il converge vers 66 minutes en 2030 dans le centre de Lille, autour de 60 minutes dans la banlieue dense et de 55 minutes dans la banlieue moins dense.

Il existe une différence nette dans les comportements entre d'une part Lyon et d'autre part Paris et Lille : c'est la distinction entre hommes et femmes. Alors qu'à Paris et à Lille la mobilité des femmes tend à rejoindre celle des hommes, à Lyon l'écart reste constant et les projections anticipent même une divergence des budgets-temps.

Dans chacune des trois agglomérations, ce sont les retraités qui gagnent le plus en mobilité, en grande partie grâce à une plus forte motorisation. On voit en effet arriver à la retraite des citoyens qui ont eu une voiture pendant leur vie active et qui ne sont pas prêts à se séparer de leur véhicule une fois arrivés à l'âge de la retraite.



*Figure 18 Projection du budget-temps dans les trois agglomérations françaises*

### 4.1.3 Fréquence des déplacements

Concernant l'Ile-de-France, les projections estiment une stabilisation à 3,45 du nombre moyen de déplacements par personne et par jour ouvrable à partir de 2010 (figure 19). La mobilité des hommes diminuerait, tandis que celle des femmes devrait croître légèrement. Le modèle montre qu'entre 2005

et 2010, les femmes auront rattrapé leurs retards sur les hommes, et se déplaceront désormais plus souvent.

L'évolution du nombre de déplacements pour les habitants de la petite et de la grande couronne est quasiment identique ; en effet, de 1975 à 2010, les déplacements de ces habitants ne cessent de croître, même si c'est de moins en moins vite ; et à partir de 2010, ces déplacements se stabilisent. Pour les Parisiens, la mobilité ne fait que diminuer, de façon assez uniforme de 1975 à 2000 (au rythme de -0,4% par an), ce mouvement s'accélérait par la suite. La mobilité des Parisiens deviendrait inférieure à celle des habitants des couronnes à partir de 2010.

La projection du nombre de déplacements par personne à Lille prolonge le ralentissement observé pour la progression de la mobilité. Cependant, la moyenne de 4,8 déplacements journaliers par personne en 2030 nous a semblé très élevée et ce chiffre devrait être considéré comme un maximum (la moyenne observée dans l'enquête de 1998 est de 4,01).

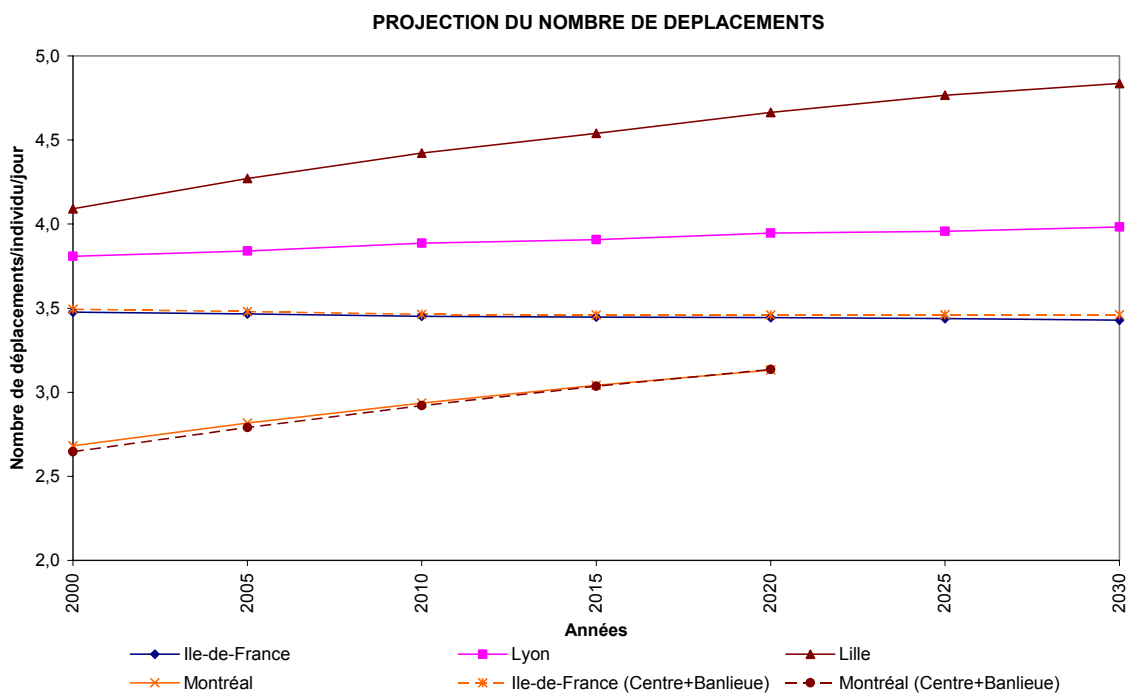
Les projections obtenues en n'utilisant que les deux dernières enquêtes donnent une moyenne de 4,4 déplacements en 2030 ; et, comme pour Lyon en 1985, on pourrait s'interroger sur l'exhaustivité de l'enregistrement des déplacements courts à Lille en 1976<sup>2</sup>. La croissance de la fréquence des déplacements est très forte chez les femmes. Néanmoins, la projection envisage que les hommes se déplaceraient plus que les femmes jusqu'en 2005, mais au-delà, elles les dépasseraient. C'est dans les parties les moins denses de la banlieue que la progression des déplacements est la plus forte. La croissance est plus modérée et presque identique dans le centre-ville et dans la banlieue dense. Toutefois, les habitants du centre de Lille et de la zone de banlieue dense continueront à se déplacer plus souvent que ceux des zones moins denses.

A Lyon la projection estime une croissance modérée de 3,8 en 2000 à 4,0 déplacements par personne et par jour en 2030. Cette augmentation est due à la population masculine, puisque le nombre moyen de déplacements des femmes ne change pas de 2000 à 2030 (il reste à 3,6 déplacements/jour). Comme dans le cas de Lille, la plus forte croissance s'observe en banlieue.

Bien que les habitants de Montréal aient des budgets-distance très élevés, la fréquence de leurs déplacements paraît plus faible que dans les villes françaises. Là encore, les déplacements courts sont probablement sous-estimés, un seul répondant devant décrire au téléphone la mobilité de tous les membres du ménage. La fréquence de déplacements devrait augmenter de 2,68 déplacements par jour en 2001 à 3,13 en 2021, ce qui est largement au-dessous des valeurs estimées pour les villes françaises où tous les membres du ménage sont réunis pour répondre à l'enquêteur.

---

<sup>2</sup> D'après les trois enquêtes, la moyenne du nombre de déplacements à Lille est de 2,83 en 1976, de 3,60 en 1987 et de 4,01 en 1998.



*Figure 19 Projection de la fréquence des déplacements dans les quatre agglomérations*

#### 4.1.4 Volumes de trafic

Les projections des volumes de trafic combinent celles de la mobilité présentées ci-dessus et celles de la population. Pour les villes françaises, ces projections ont été effectuées par l'INSEE. Les résultats présentés dans le tableau 25 concernent le scénario démographique appelé "scénario central" qui maintient, tout au long de la période de projection, les quotients de migration nette par sexe et âge à leur niveau observé sur la période 1990-1999.

La croissance de la population au cours de la période 2000 à 2030 devrait être la plus rapide en Ile-de-France (de +0,4% par an, dont 0,1% pour Paris+petite couronne), puis dans l'agglomération lyonnaise (de +0,3% par an); dans l'agglomération lilloise, le nombre des résidents devrait rester à peu près stable. Le rythme de croissance de la population dans la Région Métropolitaine de Montréal est estimé à +0,2% par an (+0,1% dans la zone agglomérée) jusqu'en 2021. Toutefois au cours de la même période, les volumes de trafic mesurés en voyageurs-kilomètres devraient progresser plus considérablement que la population. La plus forte augmentation du volume des distances journalières parcourues devrait être observée à Lyon (+1,0% par an), en Ile-de-France (+0,8% sur l'ensemble de la région et +0,4% sur Paris+petite couronne) et à Lille +0,7% par an. Les estimations pour Montréal vont dans le même sens (+0,9% dans l'île de Montréal et +0,9% par an sur l'ensemble de la région métropolitaine entre 2001 et 2021.

Le volume des déplacements devrait augmenter dans les trois villes, mais à un rythme beaucoup plus lent: -0,1% dans la zone agglomérée parisienne, +0,3% dans l'ensemble de l'Ile-de-France, +0,4% dans l'agglomération lyonnaise et +0,6% dans celle de Lille. Le taux de croissance à Montréal de 2001 à 2021 devrait être de +0,8% par an dans l'ensemble de la région urbaine et de +0,9% dans la zone agglomérée.

Ces résultats montrent que les volumes de trafic ne sont pas proportionnels à la croissance de la population ; cela est particulièrement net pour le volume des voyageurs-kilomètres. Dans toutes les

viles étudiées, la croissance des trafics devrait se ralentir par rapport aux rythmes rapides observés dans les années 70 et 80.

**Tableau 25 Population, volume de voyageurs-kilomètres et volumes des déplacements dans les 4 agglomérations**

Années	POPULATION (en million)							
	Ile-de-France			Communauté Urbaine de Montréal <sup>3</sup>			Lille	Lyon
	Paris + Petite couronne	Grande couronne	IDF	Ile de Montréal	Reste de la Région	CUM		
2000	5,76	4,48	10,24	1,68	1,46	3,14	0,90	1,13
2005	5,77	4,70	10,47	1,69	1,51	3,20	0,90	1,14
2010	5,78	4,93	10,71	1,70	1,55	3,25	0,91	1,16
2015	5,75	5,14	10,90	1,70	1,58	3,28	0,91	1,18
2020	5,71	5,35	11,05	1,71	1,60	3,31	0,91	1,19
2025	5,65	5,55	11,20	-	-	-	0,90	1,20
2030	5,59	5,75	11,34	-	-	-	0,90	1,21
	VOYAGEURS-KILOMETRES (en million)							
	Ile-de-France			Montréal			Lille	Lyon
	Paris + Petite couronne	Grande couronne	IDF	Ile de Montréal	Reste de la Région	CUM		
2000	22,64	95,41	170,61	15,97	31,66	47,63	8,00	14,59
2005	22,68	102,56	179,60	16,93	34,72	51,65	8,48	15,42
2010	22,65	109,08	188,01	17,78	37,36	55,15	8,85	16,15
2015	22,57	114,98	195,36	18,55	39,73	58,28	9,13	16,84
2020	22,44	120,51	201,91	19,20	41,91	61,11	9,43	17,53
2025	22,26	125,81	207,86	-	-	-	9,65	18,14
2030	21,79	130,91	212,93	-	-	-	9,74	18,75
	VOLUME DES DEPLACEMENTS (en million)							
	Ile-de-France			Montréal			Lille	Lyon
	Paris + Petite couronne	Grande couronne	IDF	Ile de Montréal	Reste de la Région	CUM		
2000	20,11	15,48	35,59	4,45	3,91	8,36	3,68	4,29
2005	20,07	16,22	36,29	4,72	4,26	8,98	3,86	4,39
2010	20,01	16,96	36,97	4,95	4,57	9,53	4,00	4,51
2015	19,91	17,66	37,56	5,17	4,84	10,02	4,12	4,60
2020	19,74	18,32	38,06	5,36	5,09	10,46	4,23	4,71
2025	19,57	18,95	38,51	-	-	-	4,31	4,77
2030	19,36	19,53	38,89	-	-	-	4,34	4,83

Source : calculs INRETS d'après le modèle AC et les projections de la population par l'INSEE

<sup>3</sup> Les années de projection à Montréal commencent à 2001 et elles s'arrêtent à 2021

### 4.1.5 Vitesse moyenne des déplacements

Les vitesses sont calculées comme rapport entre les budgets-distance et les budgets-temps (figure 20). Dans la mesure où les calculs de distance basés sur les différents zonages sont comparables, ce sont les franciliens qui vont le plus vite et les habitants de l'agglomération lilloise qui se déplacent le plus lentement; cependant, quand on restreint le champ aux zones agglomérées, c'est à Paris et dans la petite couronne que l'on va le moins vite.

Les vitesses devraient croître dans les trois agglomérations, principalement à cause d'un usage plus répandu de l'automobile. Les projections du partage modal devraient illustrer ces résultats.

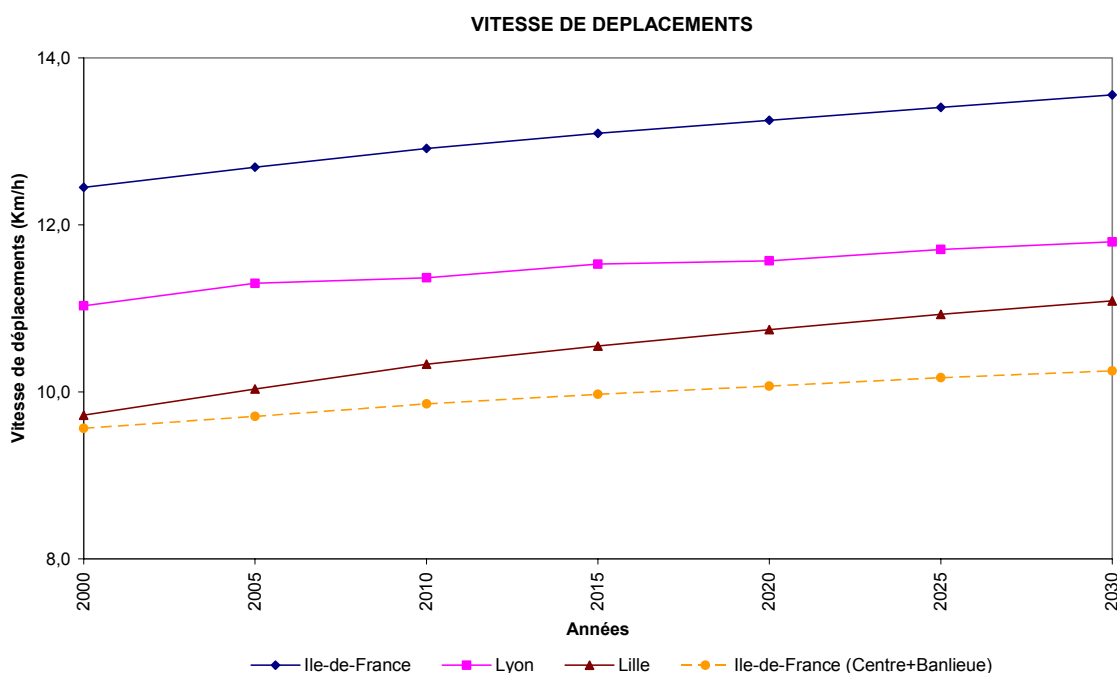


Figure 20 Vitesse moyenne de déplacements dans les trois agglomérations françaises

### 4.1.6 Partage modal des déplacements

La répartition modale des déplacements est traitée selon cinq modes : voiture conducteur (VPC), voiture passager (VPP), transport en commun (TC), marche à pied (MAP) et autres modes (AUTRES).

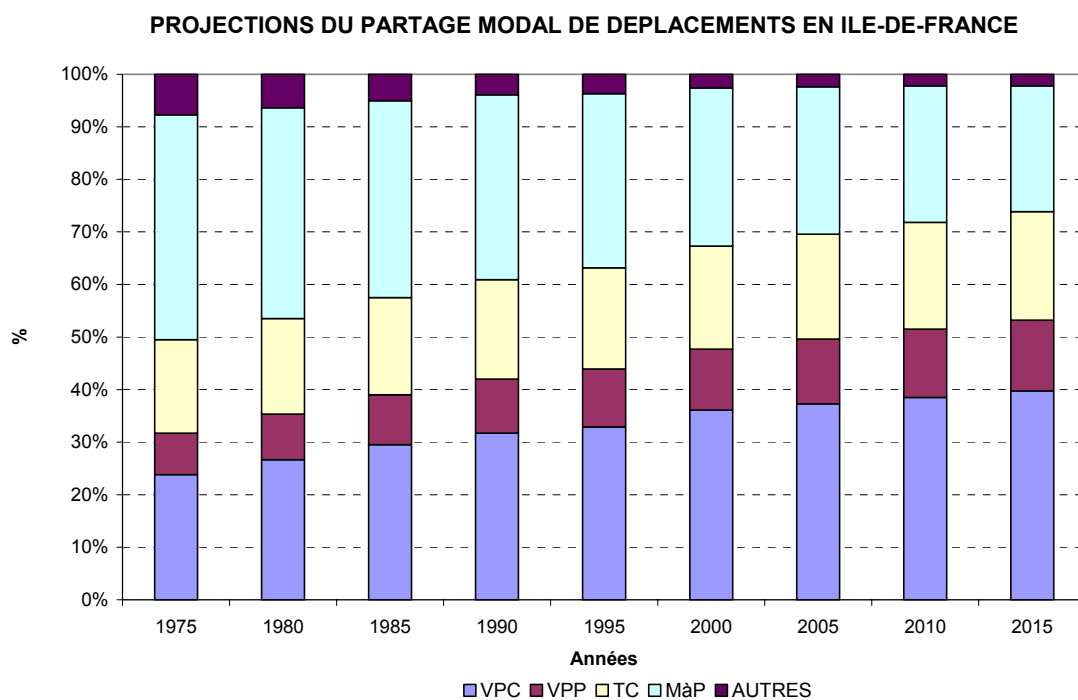
Le modèle utilisé ne met pas en évidence des mécanismes complexes de comportements comme dans le cas de spécification d'un modèle démographique âge-cohorte (profils-types au cours du cycle de vie, décalages entre générations), mais il retrace simplement les tendances observées selon le sexe, trois tranches d'âge (5-24 ans, 25-54 ans et 55 ans et plus) et la zone de résidence.

Les projections dans les périmètres d'étude estiment que la part des modes VPC et VPP devrait augmenter dans les trois agglomérations (l'exercice n'a pas été conduit sur Lyon) (figures 21 à 23), mais la plus forte croissance se manifesterait à Montréal où l'usage de l'automobile est le plus répandu.

La part de marché des transports en commun (TC) devrait croître légèrement dans les deux agglomérations françaises pour se stabiliser autour de 21% à Paris et de 10% à Lille. La situation est inverse pour ce mode de transport à Montréal où sa part devrait diminuer.

La marche à pied diminuerait dans les trois villes, principalement à cause d'une forte progression d'usage de la voiture par les femmes. Le mode "autres" (principalement 2 roues) déclinerait et il deviendrait très marginal après l'année 2005.

Le lieu de résidence influence beaucoup le choix modal. Notamment, plus on s'éloigne du centre-ville, plus le mode de transport préféré est la voiture ; par contre dans le centre ville la marche et les transports en commun sont des modes qu'on utilise très fréquemment.



*Figure 21 Projection de la répartition modale des déplacements en Ile-de-France*

### PROJECTIONS DU PARTAGE MODAL DE DEPLACEMENTS A MONTREAL

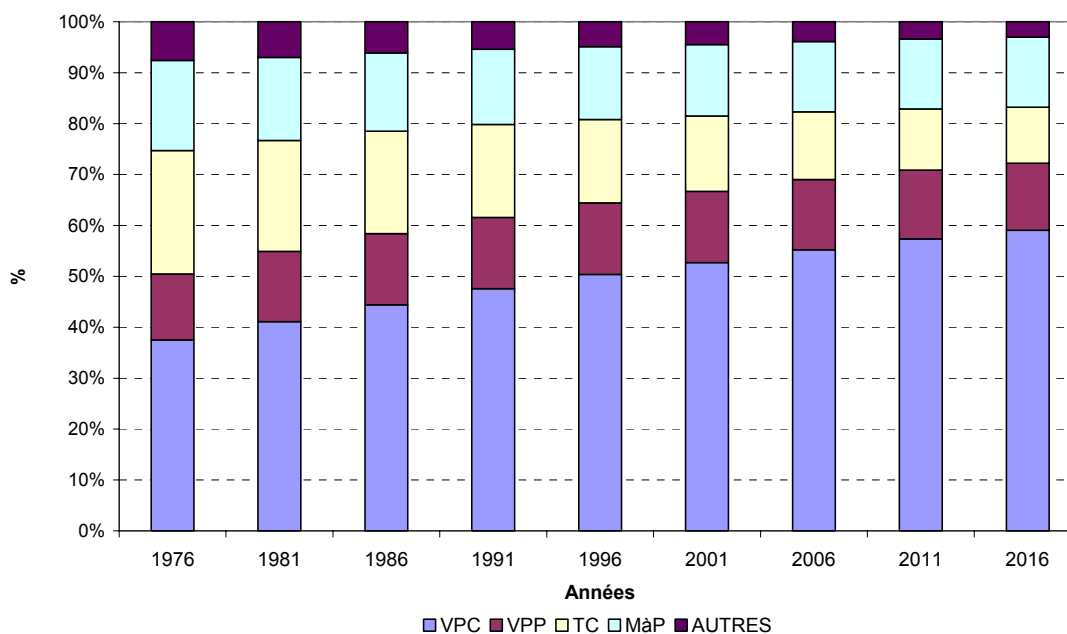


Figure 22 Projection de la répartition modale des déplacements à Montréal

### PROJECTION DU PARTAGE MODAL DE DEPLACEMENTS A LILLE

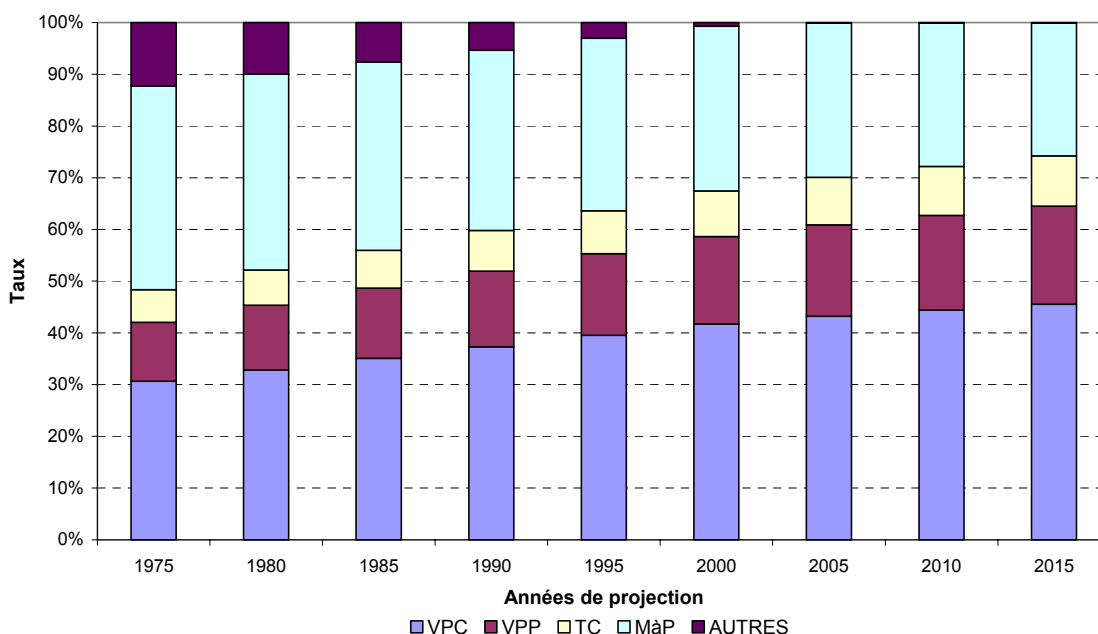


Figure 23 Projection de la répartition modale des déplacements à Lille

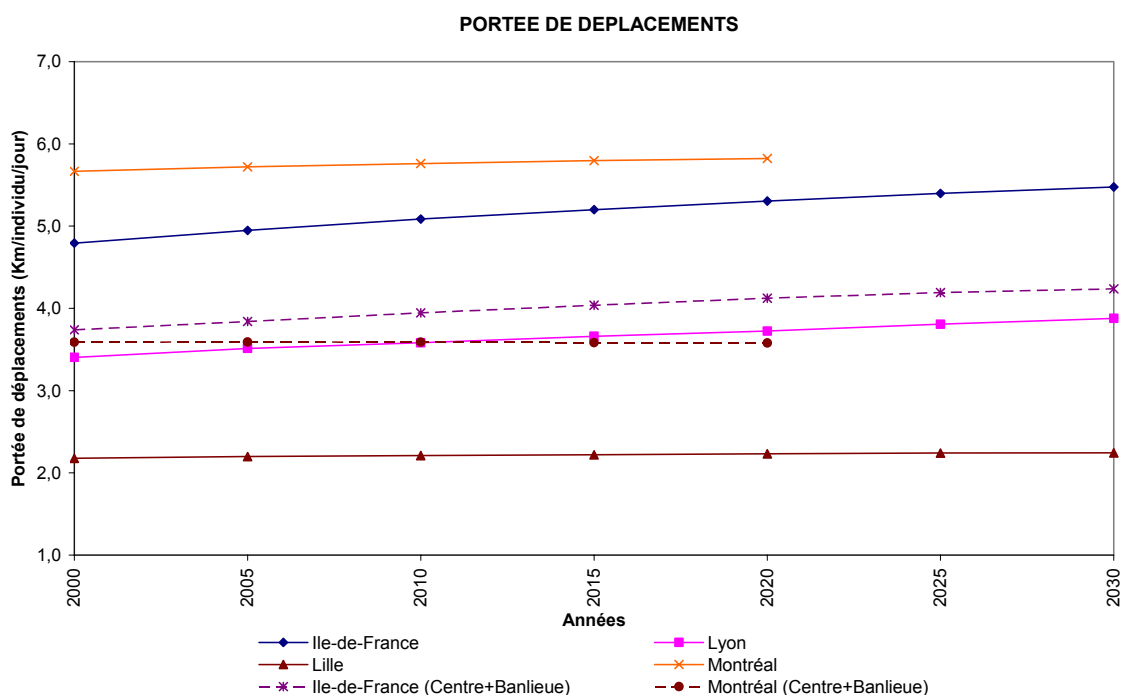
#### 4.1.7 Portée moyenne des déplacements

Toujours sous l'hypothèse que les calculs de distance sont comparables d'une ville à l'autre, en rapportant les budgets-distances au nombre de déplacements correspondants, on calcule leur portée ou longueur moyenne.

Sous l'influence de l'étalement urbain et de l'usage de l'automobile, la portée (soulignons qu'il s'agit de déplacements internes aux périmètres d'étude) des déplacements augmenterait au cours de la période 2000 à 2030 en Ile-de-France de 4,8 à 5,5 km et à Lyon de 3,4 à 3,9 km. Cette croissance serait lente (+0,4% par an en Ile-de-France comme dans l'agglomération lyonnaise) en comparaison de celle que l'on observait dans les années 70 et 80 (+1,3% par an en Ile-de-France, +1,1% à Paris+petite couronne et 0,8% par an dans l'agglomération lyonnaise).

La longueur moyenne des déplacements devrait stagner au voisinage de 2,2 km dans l'agglomération de Lille et de 5,8 km dans la Région Métropolitaine de Montréal (figure 24) et à 3,6 km dans l'île de Montréal.

Notre approche montre bien un ralentissement de la croissance de la portée des déplacements, mais pas la diminution observée entre 1992 et 1998 en Ile-de-France. Or, au-delà du vieillissement de la population, il faut chercher les causes du repli du côté du développement de l'offre de services en banlieue (spectacles, commerces spécialisés,...) et dans l'hémorragie d'emplois dans Paris (au moins 10% de pertes depuis le début des années 90).



*Figure 24 Projection de la portée des déplacements dans les 4 agglomérations*

## 4.2 Impact du desserrement de la population

### Encadré 3 : Différents scénarios démographiques

Ces scénarios sont fournis par l'INSEE à l'aide du modèle OMPHALE. Nous en avons retenu quatre parmi ceux qui sont proposés.

Le scénario dit "central" (ou scénario I) repose sur les hypothèses suivantes:

- les quotients de fécondité de chaque zone sont maintenus à leur niveau estimé pour 1999 jusqu'à l'horizon de la projection;
- l'évolution des quotients de décès prolonge les gains de mortalité observés au cours des 30 dernières années;
- les quotients de migration nette sont maintenus par sexe et âge sur toute la période de projection.

Les trois autres scénarios gardent les mêmes hypothèses pour la fécondité et la mortalité, mais les quotients migratoires changent de la manière suivante:

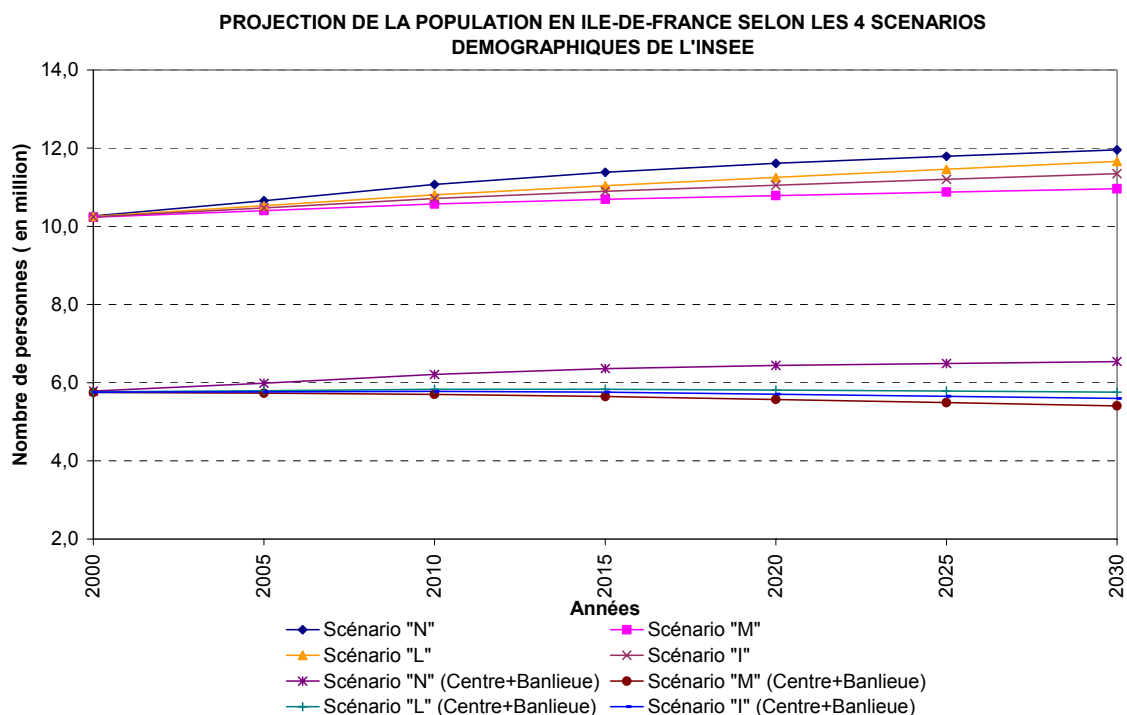
- ils augmentent de 0,001 à tout âge et sur toute la période de la projection, (scénario L),
- ils diminuent de 0,001 à tout âge et sur toute la période de la projection (scénario M),
- ils sont nuls à tous les âges: il n'y a plus de déménagements (scénario N).

Evidemment, ces scénarios sont des scénarios de travail théoriques, qui fournissent une référence et permettent de mesurer l'impact des migrations sur la population projetée dans chaque zone.

Mentionnons que la comparaison ne concerne que l'Île-de-France et l'agglomération de Lille, où nous comparons d'une part les moyennes des variables mesurant la mobilité, et d'autre part les volumes de trafic exprimés en nombre de déplacements et en distances parcourues (voyageurs-kilomètres).

### 4.2.1 Scénarios de population

Le solde migratoire de l'Île-de-France étant de plus en plus négatif au cours des dernières périodes inter-censitaires, le scénario "sans déménagement" correspond à des populations plus nombreuses que les 3 autres ; parmi ceux-ci, le scénario "central" (I) est bien intermédiaire entre les scénarios L et M par construction. A l'intérieur de la région, le scénario I montre bien un desserrement de la population plus net que les scénarios I, L et M (figure 25 et tableau 26).



*Figure 25 Projection de la population en Ile-de-France selon les 4 scénarios démographique de l'INSEE*

**Tableau 26 Projection de la population en Ile-de-France selon les 4 scénarios démographiques de l'INSEE (en million)**

Scénario	Paris		Petite Couronne (PC)		Paris + PC		Grande Couronne		Ile-de-France	
	Année		Année		Année		Année		Année	
	2000	2030	2000	2030	2000	2030	2000	2030	2000	2030
N	2,02	2,08	3,77	4,46	5,79	6,54	4,48	5,42	10,26	11,96
M	2,01	1,77	3,74	3,64	5,75	5,41	4,48	5,55	10,23	10,96
L	2,01	1,88	3,75	3,87	5,76	5,75	4,49	5,91	10,25	11,66
I	2,01	1,83	3,75	3,76	5,76	5,59	4,48	5,75	10,24	11,34

Source : Insee d'après le modèle Omphale

## 4.2.2 Résultats sur les mobilités

Concernant les valeurs moyennes issues des scénarios L et M (voir encadré 3) on constate qu'elles sont identiques à celles du scénario I, ce qui montre que ces scénarios ne sont pas suffisamment contrastés pour mettre en évidence des différences sensibles sur les évolutions de la mobilité. Par contre, le scénario N "sans déménagement" (taux migratoire nul) montre des divergences par rapport au scénario I en Ile-de-France. Comme l'étalement urbain stimule la mobilité, il montre des résultats plus faibles que le scénario I "central". Le taux de croissance annuel moyen du budget-distance sur la période 2000-2030 est de +0,4% pour le scénario I, et de +0,3% pour le scénario N; autrement dit, la distance parcourue passe de 16,6 à 18,8 km dans le scénario I, mais à 17,8 kilomètres/individu/jour dans le scénario N. Les résultats sont similaires pour le nombre de déplacements dont la projection dans le scénario I en 2030 est de 3,43 et dans le scénario N de 3,35 déplacements par personne et par jour. Ainsi, la portée des déplacements en 2030 serait de 5,3 km dans le scénario N contre 5,5 km dans le scénario I. Sur l'exemple de Lille le scénario "central" prévoit que le nombre d'habitants dans la zone d'étude diminuerait après 2015, mais cette hypothèse n'a pas d'influence sur la mobilité moyenne qui reste très proche dans les scénarios I et N.



I (-0,1% par an), L (-0,0% par an) et M (-0,2% par an). Seul le scénario N estime une croissance de 0,3% chez les habitants de cette zone.

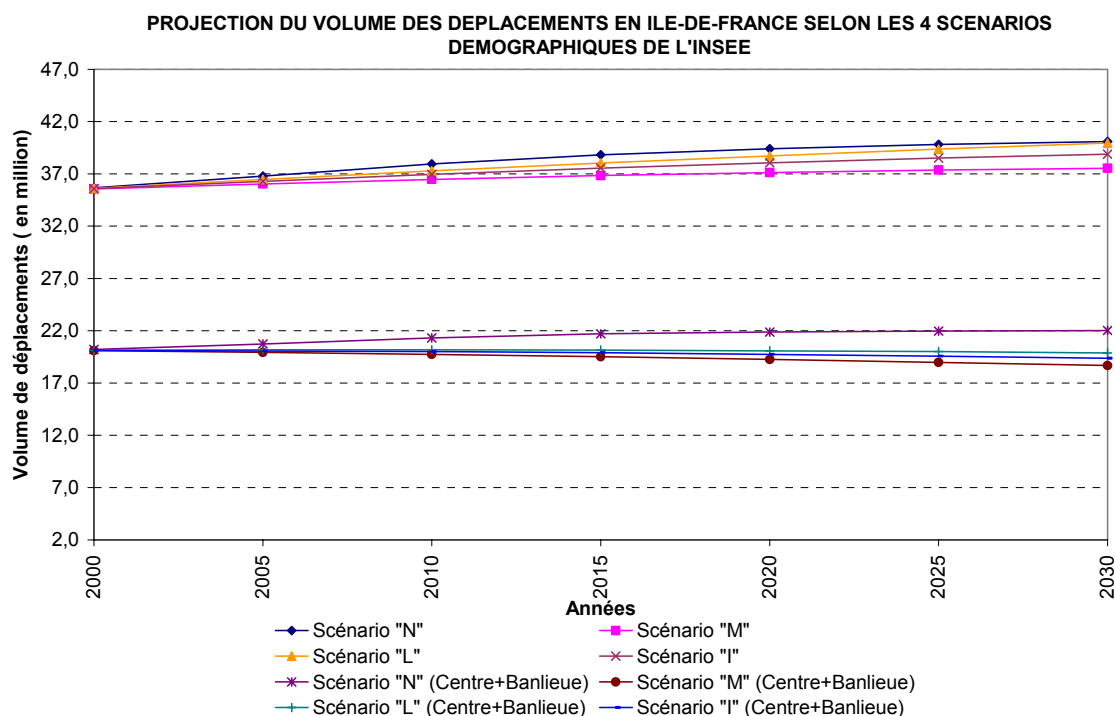


Figure 27 Projection du volume des déplacements en Ile-de-France selon les 4 scénarios démographiques de l'INSEE

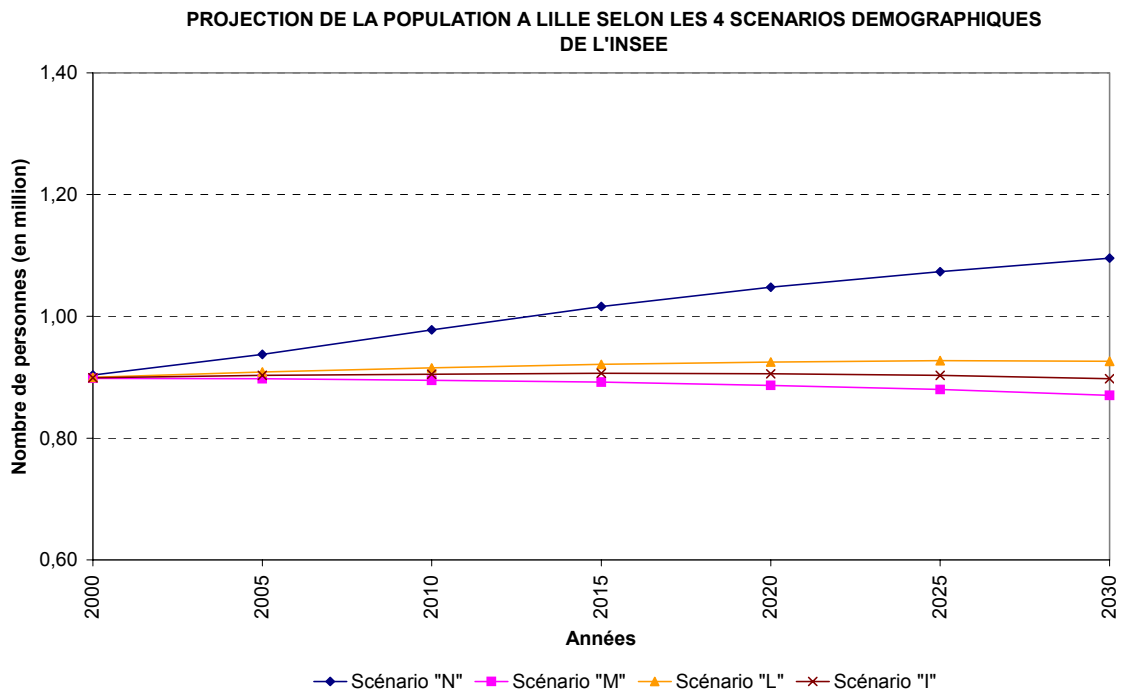
Tableau 28 Projection du volume des déplacements en Ile-de-France selon les 4 scénarios démographiques de l'Insee (en million)

Scénario	Paris		Petite Couronne (PC)		Paris + PC		Grande Couronne		Ile-de-France	
	Année		Année		Année		Année		Année	
	2000	2030	2000	2030	2000	2030	2000	2030	2000	2030
N	7,14	6,53	13,06	15,50	20,21	22,03	15,46	18,07	35,67	40,10
M	7,12	5,74	12,98	12,94	20,10	18,68	15,47	18,86	35,56	37,55
L	7,13	6,10	13,00	13,78	20,14	19,88	15,50	20,07	35,63	39,95
I	7,13	5,94	12,99	13,41	20,11	19,36	15,48	19,53	35,59	38,89

Source : calculs INRETS d'après le modèle AC et les projections de la population par l'INSEE

Les projections du volume de voyageurs-kilomètres donnent les taux de croissance annuelle de 1,6% pour le scénario N (sans déménagement) et de 0,7% pour le scénario central I. Autrement dit, s'il n'y avait pas de déménagement, le volume de trafic généré par les habitants de l'agglomération un jour ouvrable augmenterait beaucoup plus rapidement qu'avec l'étalement urbain. La motorisation des ménages et l'étalement urbain contribue aux migrations des personnes du centre et de la banlieue vers la périphérie ; un processus qui est accompagné d'aménagement du territoire et d'urbanisation.

Les résultats des scénarios L et M ne s'écartent pas beaucoup du scénario central et les taux de croissance par an sont de l'ordre de 0,6% pour le scénario M et de 0,9% pour le scénario L.



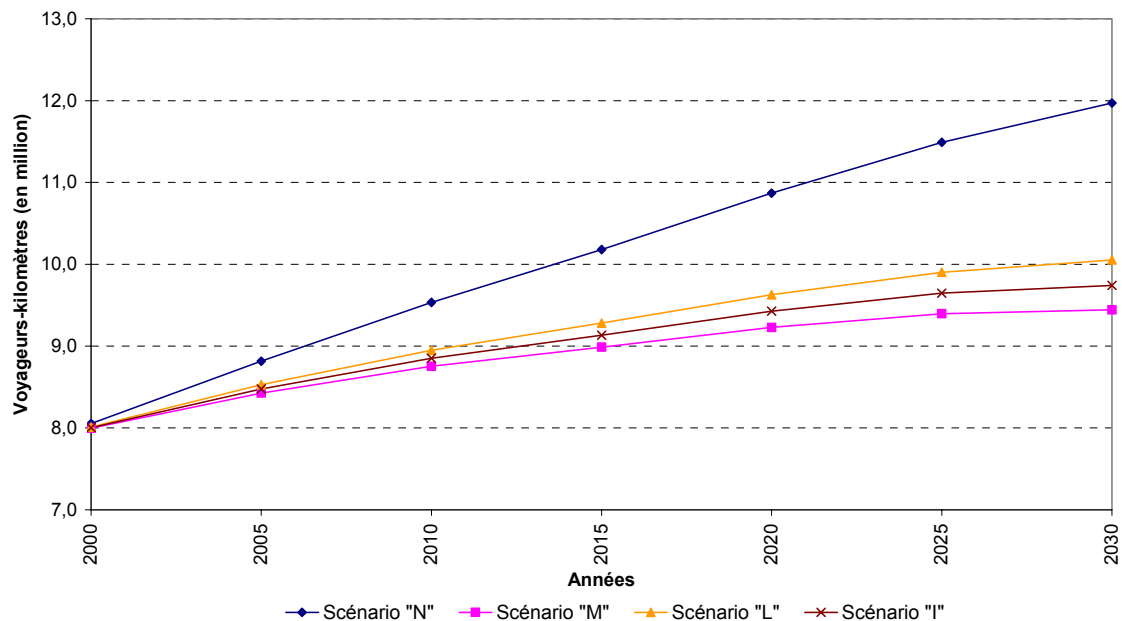
*Figure 28 Projections de la population à Lille selon les 4 scénarios démographiques de l'INSEE*

**Tableau 29 Projections de la population à Lille selon les 4 scénarios démographiques**

Années	Population à Lille (en million)			
	scénario N	scénario M	scénario L	scénario I
2000	0,90	0,90	0,90	0,90
2005	0,94	0,90	0,91	0,90
2010	0,98	0,89	0,92	0,91
2015	1,02	0,89	0,92	0,91
2020	1,05	0,89	0,93	0,91
2025	1,07	0,88	0,93	0,90
2030	1,10	0,87	0,93	0,90

Source : selon les projections de l'INSEE

**PROJECTION DE VOYAGEURS-KILOMETRES A LILLE SELON LES 4 SCENARIOS  
DEMOGRAPHIQUES DE L'INSEE**



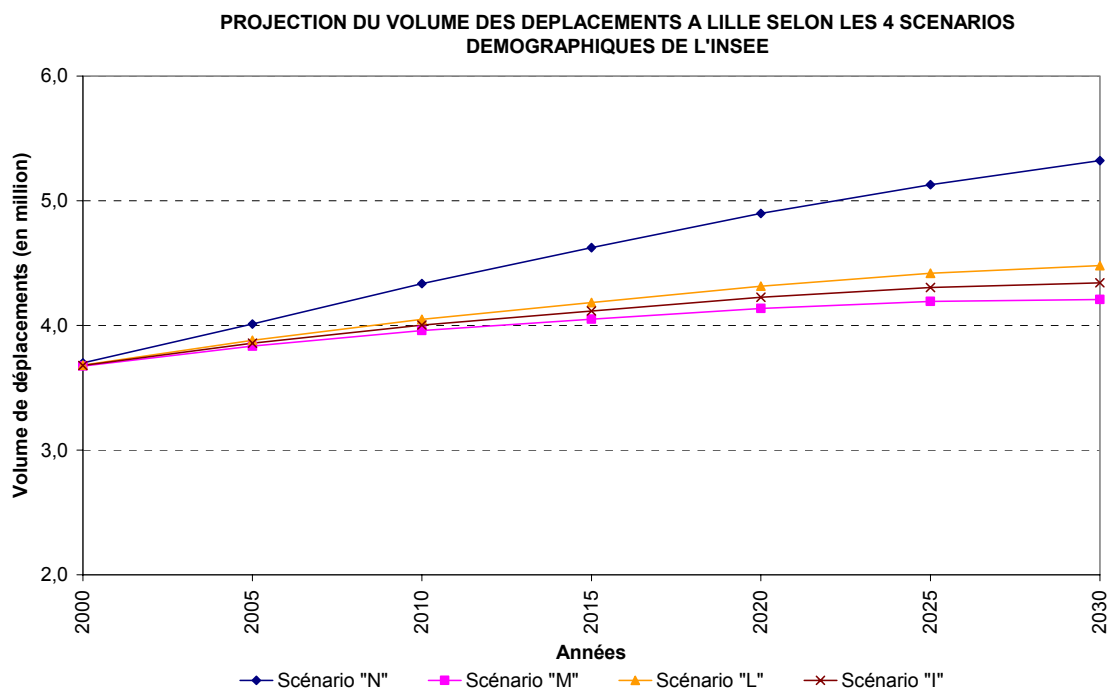
*Figure 29 Projection de voyageurs-kilomètres à Lille selon les 4 scénarios démographiques de l'INSEE*

**Tableau 30 Projections des distances (voyageurs-kilomètres) à Lille selon les 4 scénarios démographiques**

Années	Distances à Lille (en million)			
	scénario N	scénario M	scénario L	scénario I
2000	8,05	7,99	8,01	8,00
2005	8,81	8,43	8,53	8,48
2010	9,53	8,75	8,95	8,85
2015	10,18	8,99	9,28	9,13
2020	10,87	9,23	9,63	9,43
2025	11,49	9,40	9,90	9,65
2030	11,97	9,44	10,05	9,74

Source : calculs INRETS selon les projections de l'INSEE, le modèle Age-Cohorte et des EMD 1976, 1987, et 1998

Les résultats de projections du volume des déplacements à Lille, suivant les 4 scénarios de l'INSEE, sont similaires à ceux obtenus pour les voyageurs-kilomètres. Notamment, le plus grand écart est constaté entre les scénarios N et I : de 1,5% pour le scénario N et de 0,6% pour le scénario I. Les scénarios M et L devraient correspondre à des croissances respectives de 0,5% et de 0,7% par an (figure 30 et tableau 31).



*Figure 30 Projection du volume de déplacements à Lille selon les 4 scénarios démographiques de l'INSEE*

**Tableau 31 Projections du volume des déplacements à Lille selon les 4 scénarios démographiques**

Années	Déplacements à Lille (en million)			
	scénario N	scénario M	scénario L	scénario I
2000	3,70	3,68	3,68	3,68
2005	4,01	3,83	3,88	3,86
2010	4,33	3,96	4,05	4,00
2015	4,62	4,05	4,18	4,12
2020	4,90	4,14	4,32	4,23
2025	5,13	4,19	4,42	4,31
2030	5,32	4,21	4,48	4,34

Source : calculs INRETS selon les projections de l'INSEE, le modèle Age-ohorte et des EMD 1976, 1987, et 1998



## 5 Conclusion

Le premier enseignement de cette recherche est de montrer les limites des instruments d'observation de la mobilité. Malgré tous les efforts déployés par la DREIF en Ile-de-France, par la STCUM à Montréal et par le CERTU dans les villes françaises de province, l'homogénéisation des données dans l'espace et dans le temps reste problématique. Les conséquences n'en sont pas trop fâcheuses dans la dimension spatiale mais, dans la dimension temporelle, l'image des tendances de long terme peut s'en trouver biaisée.

La comparabilité des périodes d'observation (généralement jours ouvrables l'hiver hors vacances scolaires) est importante, comme le montre le débordement de la mini-EGT Ile-de-France au printemps 1998; mais ce sont surtout les déplacements courts qui sont difficiles à cerner. On les oublie plus souvent lors d'un bref entretien téléphonique (enquêtes canadiennes) qu'au cours d'un interview face-à-face (enquêtes françaises); et les deux interlocuteurs sollicités en 1993 à Montréal ont une connaissance plus exhaustive de la mobilité de l'ensemble des membres du ménage que le répondant unique contacté habituellement dans cette ville. Même avec la méthode standardisée appliquée dans les agglomérations françaises de province, il semble bien que la qualité de la collecte des déplacements courts soit moins bonne dans certains cas (Lyon 1985, Lille 1976,...). De même que l'oubli de déplacements courts, jugés "sans importance" par la personne interrogée, déclarer que l'on n'est pas sorti de chez soi le jour décrit pourrait servir d'échappatoire à une enquête lourde. Nous avons commencé une recherche sur ce thème en partenariat avec le CERTU et avec l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich.

Dans la démarche de validation qui sous-tend ce rapport, c'est presque toujours sur ces "observations fragiles" que les courbes modélisées passent à l'extérieur des intervalles de confiance calculés à partir des enquêtes. Le modèle reconstitue mieux les observations pour la distance totale parcourue que pour le nombre global de déplacements; c'est pourquoi nous avons privilégié les résultats en termes de trafics, connaissant en outre l'importance des enjeux environnementaux qui s'y attachent. Dans la logique de l'approche démographique, une représentation détaillée du cycle de vie (en tranches d'âge quinquennales) s'est avérée plus utile que la localisation précise de l'habitat. Quand on individualise les modes de déplacement, le modèle reconstitue moins bien les distances parcourues que la fréquence des déplacements; ceci est particulièrement sensible en ce qui concerne la marche à pied, qui correspond à des distances souvent trop courtes pour qu'on puisse les estimer de façon précise. Toutefois, la validation est bonne pour la mobilité en transports en commun ou au volant d'une voiture. Contrairement à l'une de nos hypothèses de départ, il n'est pas nécessaire de différencier déplacements courts et déplacements longs, que ce soit en terme de génération de trafic (budget-distance ou fréquence de déplacements), ou en terme de partage modal.

Dans ce cadre structurel cernant les dimensions démographiques et spatiales, l'effet des facteurs économiques (revenu et prix) et de l'offre de transport s'est avéré sensiblement moindre que quand il est estimé en faisant abstraction de ce cadre. Certes, dans le souci d'accumuler des observations homogènes au cours du temps, les enquêtes ménage - déplacement nous cantonnent trop souvent à l'intérieur des agglomérations: ce n'est qu'à partir de la fin des années 80 que ces enquêtes ont étendu leur champ vers l'espace périurbain et, même à Lille où il est couvert depuis 1987, nous l'avons exclu pour que les estimations reposent sur 3 enquêtes. Dans cet espace trop étroit par rapport aux enjeux de l'étalement urbain, la simulation "sans déménagement" ne montre pas de différence sensible pour les projections de mobilité par rapport à l'hypothèse tendancielle de desserrement. L'exemple de l'Ile-de-France montre qu'une différence modérée entre ces deux scénarios apparaît quand on inclut la grande couronne. Ce cadre méthodologique permettrait d'autres simulations: par exemple, la ventilation de la population entre étudiants-élèves, actifs et inactifs, fournie par l'INSEE pour les projections démographiques, permettrait de tester les effets de différentes

hypothèses sur l'âge de la retraite. Les recherches se poursuivent dans cette direction, à l'occasion de la thèse de Zoran Krakutovski, qui permettra également d'élargir à l'agglomération de Toulouse le champ des études de cas. Par ailleurs, la valorisation des résultats a déjà commencé par la présentation de deux communications à l'Euro Working Group sur les Incertitudes [Bussière et al., 2002; Bresson et al., 2002]. Elle va se poursuivre à l'occasion de la Conférence Internationale sur les Comportements de Déplacements (IATBR) avec les travaux sur les non-mobiles évoqués plus haut et avec un retour sur la conjecture de Zahavi concernant la stabilité des budgets-temps.

Face aux enjeux environnementaux concernant notamment l'effet de serre, les résultats de cette recherche peuvent paraître préoccupants: les trafics urbains continuent à s'accroître, à un rythme qui se ralentit certes, mais avec une contribution croissante de l'automobile. La principale limite de ces approches de simulations, c'est de considérer les comportements comme rigides (choix modal pour chaque catégorie de population dans ce rapport, nombre et localisation des activités dans la recherche Pari21 [Massot et al., 2002],...). Il faut donc développer les recherches sur les changements de comportements et sur les conditions dans lesquels ils se produisent; ceci suppose notamment des instruments d'observation différents (panel Parc-Auto SOFRES-ADEME-INRETS [Hivert, 2002], panel de suivi du PDU d'Ile-de-France [Coindet et al., 2001],...). Nous poursuivons ces recherches dans un cadre international (séminaire sur le longitudinal que nous avons organisé en novembre 2001 [Armoogum et al., 2002], réseau Européen WATCH, Conférences sur la Qualité et l'Innovation dans les Enquêtes sur les Transports [Madre, 2001],...).

## BIBLIOGRAPHIE :

O. Andan et B. Faivre d'Arcier (1992) "La périurbanisation va-t-elle accroître la congestion des agglomérations ?" Actes de la 6ème Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports, Lyon.

J. Armoogum, Y. Bussière et J.L. Madre (2002) "Uncertainty in long term forecasting of travel demand from demographic modeling", the 13<sup>th</sup> Mini-Euro Conference: "Handling Uncertainty in Transportation Analysis", Polytechnic of Bari, Bari Italy, June, 10 to 13, 2002.

J. Armoogum et J.L. Madre (2001) "Motorisation et mobilité des lyonnais aux horizons 2020-2030", note interne INRETS.

J. Armoogum, Y. Bussière et J.L. Madre (1996) "La mobilité des Montréalais dans les années 2015", note interne INRETS.

A. Bonnafous (1992) "La croissance du transport en question. Sous-thème 1 : structures démographiques et comportements sociaux". 12ème Symposium international sur la théorie et la pratique dans l'économie des transports, Lisbonne, 4-6 mai 1992, CEMT Simposio Lisboa 1992.

M. Boulahbal et Madre J-L. (2000) "Dynamic analysis and forecasting of public transport demand using a combination of demographic and econometric approaches" European Transport Conference, Cambridge (CD-Rom).

Bresson G., J-L Madre et A. Pirotte (2000) "Prospective des trafics en Ile-de-France reposant sur des scénarios d'offre et de croissance économique" rapport INRETS de convention PREDIT pour la DTT.

Y. Bussière (1989) "L'automobile et l'expansion des banlieues : le cas de Montréal, 1901-2001". Revue d'histoire urbaine, n° 2 (Octobre), 159-165.

Y. Bussière (1990) "Vieillesse spatialisée, demande de transport et prospective : le cas montréalais 1986-2011". Cahiers québécois de démographie, vol. 19, n° 2, 325-350.

Y. Bussière (1992a) "Simulation de la demande de transport automobile dans la région métropolitaine de Montréal à l'horizon 2011". La mobilité urbaine : de la paralysie au péage ? Urban Ch. Raux et M. Lee-Gosselin (Eds) Lyon, Centre Jacques Cartier, Progr. Rhône-Alpes, Recherches en Sciences Humaines, 9-32.

Y. Bussière (1992b) "Forecasting travel demand from age structure, urban sprawl, and behavior : the Montreal case, 1986-2011". Communication à la 6ème Conférence sur la Recherche dans les Transports, Lyon.

Y. Bussière, J. Armoogum et J.L. Madre (1996) "Vers la saturation ? une approche démographique de l'équipement des ménages en automobile dans trois régions urbaines". Revue Population de l'INED N°4-5, pp 955-978.

Y. Bussière et Y. Dallaire (1994) "Tendances socio-démographiques et demande de transport dans quatre régions métropolitaines canadiennes. Éléments de prospective". Plan Canada, Mai.

Y. Bussière et L. Fortin (1990) "Demande de transport et évolution démographique : rétroprojection et prospective : 1971-1981 et 1986-2001". Communication au 14ème Annual Meetings of the Canadian Regional Science Association, Univ. de Victoria, 2-4 Juin, 26p.

Y. Bussière, J.L. Madre, J. Armoogum et alii (1994) "Longitudinal Approach to Motorization : Long Term Dynamics in three Urban Regions" Conférence Internationale sur les Comportements de Déplacement (IATB 94), Valle Nevado, Chili.

N. Cardoso et F. Gardes (1996) "Estimation de Lois de Consommation Alimentaire sur un Pseudo-panel d'enquêtes de l'INSEE 1979, 1984 et 1989". Cahier de Recherche du CREDOC.

J. Dargay, M. Hanly, G. Bresson, A. Pirotte, J-L Madre and M. Boulahbal (2000) "The main determinants of the demand for public transport : a comparative analysis of Great Britain and France" International Conference on Travel Behavior Research, Brisbane.

T. Delaunay (2002) "Modélisation, prévision et validation de la mobilité des Franciliens à l'horizon 2030", rapport de stage 2002 INRETS-DEST.

L. Descours et F. Poinat (1992) "Le modèle de projection démographique OMPHALE". INSEE Méthodes, n° 19.

G. Duncan, F. Gardes, P. Gaubert et C. Starzec (1996) "A comparison of Consumption Laws estimated on American and Polish Panel and Pseudo-panel Data". 6th International Conference on Panel Data, Amsterdam.

C. Gallez (1994) "Identifying the long term dynamics of car ownership : a demographic approach". Transport Reviews, vol. 14, n° 1, 83-102.

C. Gallez (1994) "Modèles de projection à long terme de la structure du parc et du marché de l'automobile". Thèse en sciences économiques de l'Université de Paris I.

C. Girard et J.L. Madre (1993) "Les ménages et l'automobile dans la Région Urbaine de Grenoble à l'horizon 2010". Rapport intermédiaire pour la Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Technologiques, Ministère de l'Équipement et des Transports, Paris.

M. Glaude et M. Moutardier (1978) "Projection de la Demande d'Automobiles pour 1980 et 1985". Les Collections de l'INSEE série M n° 64.

P.B. Goodwin, M.C. Dix et A.D. Layzell (1987) "The case for heterodoxy in longitudinal analysis". Transportation Research, 21A(4/5), 363-376.

H.M.S.O. (1989) "National Road Traffic Forecasts" London.

J. O. Jansson (1988) "Car Ownership Entry and Exit Propensities of different Generations - a Key Factor for the development of the total Car Fleet" Oxford Conference on Travel and Transportation, T.S.U.

Z. Krakutovski (2002) "La motorisation et la mobilité à Lille – étude comparative suivant les enquêtes de 1976, 1987 et 1998", rapport d'avancement de la thèse, INRETS-DEST.

Z. Krakutovski (2002) "Projections de la mobilité à Lille", rapport d'avancement de la thèse, INRETS-DEST.

J.O. Jansson (1989) "Car demand modelling and forecasting - A new approach". Journal of Transport Economics and Policy, vol. XXIII, n° 2, 125-140.

Th. Lambert et J.L. Madre (1989) "Projection à Long Terme de la Circulation Automobile". Collection des rapports du Crédoc.

H. Madre (2002) "Approche démographique de la mobilité urbaine : évolution des budgets-temps dans l'agglomération lyonnaise", rapport de stage 2002, INRETS-DEST.

H. Madre (2002) "Approche démographique de la mobilité urbaine : évolution des budgets-temps en Ile-de-France", rapport de stage 2002, INRETS-DEST.

J.L. Madre, 1987 "Concurrence et Complémentarité entre l'Automobile et les Transports en Commun en Ile-de-France". Rapport Crédoc.

J.L. Madre (1989a) "Projection du Trafic Automobile sur les Routes Nationales et les Autoroutes Françaises". Actes de la Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports, Yokohama.

J.L. Madre (1989b) "Analyse Locale de la Motorisation". Les Cahiers Scientifiques du Transport n° 20.

J.L. Madre (1989c) "Les Ménages et l'Automobile : Originalité et Contrastes". Données Sociales Ile-de-France, INSEE.

J.L. Madre (1990) "Long-term forecasting of car ownership and car use" in Jones, P., Ed., Developments in dynamic and activity-based approaches to travel analysis, Oxford Studies in Transport, Avebury, Aldershot.

J.L. Madre (1992a) "La Motorisation dans la Région Urbaine de Grenoble à l'Horizon 2010". Rapport INRETS.

J.L. Madre (1992b) "Gérer l'Étalement ou Gérer la Congestion". Note de Positionnement pour la Table Ronde des Entretiens Jacques Cartier sur l'Étalement Urbain, Montréal.

J.L. Madre et J. Armoogum (1996) "Motorisation et mobilité des franciliens aux horizons 2010-2020", Rapport INRETS n°209.

J.L. Madre et C. Gallez (1992) "Le parc automobile des ménages dans les années 2000 : méthodes démographiques de projection à long terme". Actes de la 6ème Conférence sur la Recherche dans les Transports, Lyon.

J.L. Madre et A. Pirotte (1991) "Régionalisation des Projections du Parc et de la Circulation Automobile". Conférence Internationale sur les Comportements de Déplacement, Québec.

Ministry of Transport and Public Works (1992) "The national model system for traffic and transport". Rapport of Transportation of Traffic Research Division. Rotterdam.

J.P. Orfeuill (1984) "Les Budgets Énergie Transport" Recherche Transports Sécurité n° 2.

C. Peltan (1992) "Application du modèle démographique à la projection du parc automobile régional". Rapport de Stage, INRETS, Arcueil.

F. Papon (2001) "Prospective de la mobilité en Ile-de-France: les apports et les limites d'une démarche économétrique" avec J. Armoogum, J-L Madre et M-H. Massot, note INRETS.

K. TRAIN (1990) "Qualitative choice analysis - Theory, econometrics and an application to automobile demand". MIT Press, Cambridge, Mass.

A.J. Van den Broecke et G.C. Van Leusden (1987) "Long term forecasting of car ownership with the cohort processing model". Communication, 5ème International Conference on Travel Behavior, La Baume-lès-Aix.

Y. Zahavi (1980) Urban travel patterns , The World bank

Y. Zahavi (1980) The Umot model, Department of transport, Washington DC



## **ANNEXES :**

- **ANNEXE 1** : Rapport de stage : Modélisation et validation de la mobilité des Franciliens à l'horizon 2030, Thierry DELAUNAY, septembre 2002 ;
  
- **ANNEXE 2** : Rapport de stage : Approche démographique de la mobilité urbaine : Evolution des budget-temps dans l'agglomération lyonnaise, Hélène MADRE, juillet 2002;
  
- **ANNEXE 3** : Rapport de stage : Approche démographique de la mobilité urbaine : Evolution des budget-temps en Ile-de-France, Hélène MADRE, juillet 2002;
  
- **ANNEXE 4** : La motorisation et la mobilité à Lille – Etude comparative suivant les enquêtes de 1976, 1987 et 1998, Zoran KRAKUTOVSKI, octobre 2002;
  
- **ANNEXE 5** : Projection de la mobilité à Lille, Zoran KRAKUTOVSKI, octobre 2002;
  
- **ANNEXE 6** : Motorisation et mobilité des Lyonnais aux horizons 2020-2030, Jimmy ARMOOGUM et Jean -Loup MADRE, novembre 2001;
  
- **ANNEXE 7** : Uncertainty in long term forecasting of travel demand from demographic modeling, Jimmy ARMOOGUM, Jean-Loup MADRE, Yves BUSSIÈRE, juin 2002;