

Rapport d'études

Calibrage et test d'un modèle des déplacements régionaux de voyageurs

Application à la région Nord-Pas-de-Calais



Page laissée blanche intentionnellement

Préface

L'objectif de cette étude est d'estimer la faisabilité d'une modélisation multimodale pour les déplacements régionaux, notamment du point de vue de la clientèle ferroviaire. La modélisation est effectuée à partir de la dernière Enquête Nationale Transport Déplacements (ENTD) réalisée en 2007-2008. La modélisation s'intéresse aux déplacements domicile-travail, pour lesquels une validation était possible à partir des mobilités professionnelles du recensement rénové de l'INSEE.

Cette étude vise à traiter de toute la chaîne de modélisation à travers :

- la disponibilité d'une nouvelle enquête nationale transport déplacements ;
- l'analyse, à partir de l'enquête, des raisons du choix du mode de déplacement régulier entre le domicile et le lieu de travail, et du non choix du mode alternatif ;
- l'enrichissement de l'enquête avec le logiciel musliw avec les caractéristiques détaillées de l'offre multimodale réellement disponible au moment où chaque déplacement a été effectué, permettant de tenir compte des horaires décalés, du travail posté (en voiture et en transports en commun) ;
- l'analyse par arbres de segmentation dynamique, pour déterminer les variables les plus pertinentes à introduire dans les fonctions d'utilité ;
- le calibrage d'un modèle logit multinomial ;
- l'enrichissement des mobilités professionnelles du recensement avec les caractéristiques détaillées de l'offre multimodale, le matin et le soir ;
- la validation du modèle sur les données de mobilité professionnelle.

L'étude vise également à mettre en évidence les limites d'une telle modélisation, en raison de la taille limitée de l'échantillon de l'enquête nationale transport utilisable pour la modélisation, et des variables déterminantes dans le choix du mode qui n'étaient pas disponibles pour la validation, notamment :

- l'équipement en deux-roues motorisés ;
- la possession d'une carte de gratuité dans les transports en commun ;
- les contraintes de stationnement au domicile et sur le lieu de travail. La seule variable du recensement traitant des contraintes de stationnement (variable GARL) indique si le logement dispose d'un garage ou d'un emplacement réservé.

Contexte

En France, depuis près de 40 ans, la mobilité et les pratiques modales sont bien connues grâce aux enquêtes ménages déplacements qui sont réalisées dans les grandes agglomérations, ainsi qu'aux enquêtes nationales sur les transports et les déplacements, qui sont réalisées à l'échelle nationale environ tous les dix ans.

Les enquêtes ménages déplacements, qui font l'objet d'une standardisation au niveau national, sont réalisées en face à face au domicile des résidents d'une grande agglomération. Tous les individus de 5 ans et plus sont interrogés sur leurs déplacements effectués la veille du jour de l'enquête. Ces déplacements sont décrits en détail, en particulier la succession des modes utilisés. Les caractéristiques du ménage, du logement et de chaque individu sont également recensées, ce qui permet de mener des analyses poussées, notamment pour tenter de comprendre les pratiques de mobilité et les déterminants du choix modal.

Ces enquêtes, réalisées par les collectivités locales responsables de l'organisation des transports collectifs sur leur territoire, sont un outil essentiel pour la planification et l'évaluation de leurs politiques.

En France, le transport ferroviaire régional est décentralisé et relève de la compétence des Régions. Or, à l'exception notable de l'Enquête Globale Transports (EGT) en Ile-de-France, il n'existe pas d'enquête au niveau régional comparable aux enquêtes ménages déplacements, qui fasse l'objet d'une méthodologie nationale standardisée, éprouvée et stable dans le temps. Seules quelques enquêtes expérimentales ont été réalisées dans certaines régions. Les régions disposent souvent, pour la planification et l'évaluation de leurs politiques, uniquement de données de fréquentation (abonnements, comptages, enquêtes ponctuelles, enquêtes origine-destination concernant uniquement le réseau ferroviaire (rail-test). C'est pourquoi, les données de mobilité professionnelle entre le domicile et le travail issues du recensement sont souvent la seule source mobilisable pour étudier simultanément l'ensemble des modes. Le recensement a par contre l'inconvénient de se limiter au seul motif domicile-travail. Un fichier équivalent existe également pour les mobilités domicile-études, néanmoins, le mode principal utilisé n'est pas connu.

Toutefois, les déplacements régionaux peuvent être analysés au travers des enquêtes nationales transport déplacements qui ont lieu tous les 10 ans environ. Même si l'échantillon est souvent insuffisant pour une analyse fine sur une région particulière, cette enquête permet de comprendre les déplacements régionaux toutes régions confondues, qui sont définis comme les déplacements entrant dans le domaine de pertinence du transport ferroviaire régional de voyageurs.

Sommaire

Chapitre 1 – Objectifs et sources de l'étude	7
Chapitre 2 – Déterminants du choix modal.....	9
2 -1 - Choix des variables explicatives.....	10
2-2 Informations sur le choix modal dans l'enquête nationale transports déplacements.....	10
2-3- Analyse des déterminants du choix modal.....	11
2-4 - Influence de la distance à la gare de train ou de RER la plus proche.....	14
2-5 Comparaison entre temps de parcours déclaré et estimé à l'aide de Musliw.....	17
2-6 Proportion du temps de transport individuel chez les usagers du train et de la voiture.....	18
2-7 Exploitations préliminaires du fichiers des déplacements locaux enrichi.....	19
2-8 Abonnements aux transports collectifs et aux péages autoroutiers.....	21
Chapitre 3 – Construction d'un réseau multimodal.....	23
3-1 Constitution d'un réseau multimodal.....	24
3-2 Calcul des alternatives modales.....	24
Chapitre 4 – Spécification et estimation d'un modèle de choix modal.....	27
4.1 Sélection des variables les plus influentes par arbres de régression dynamique.....	28
4-2 Estimation du modèle de choix modal.....	29
Chapitre 5 – Application du modèle aux actifs du Nord-Pas-de-Calais.....	33
5-1 - Analyses préliminaires des parts modales sur les migrations alternantes	34
5-2 - Rappels sur la reconstitution des alternatives modales	34
5-3 - Calcul des temps de parcours simulés le matin et le soir.....	35
5-4 Résultats de la validation du modèle sur le Nord-Pas de Calais.....	37
Conclusion.....	39
Références.....	40
Annexe 1 – Tables de vitesses routières pour l'heure de pointe	40
Annexe 2: Constitution du réseau multimodal.....	41
Annexe 3 – Taux de charge selon les aires urbaines	53

Chapitre 1

Objectifs et sources de l'étude

L'objectif de l'étude est de calibrer un modèle de choix modal pour les déplacements régionaux de voyageurs.

Ainsi, l'étude exclut les déplacements de courte distance qui relèvent du domaine de pertinence des transports publics locaux, du vélo et de la marche. De même, elle ne s'intéresse pas aux déplacements à très longue distance pouvant être effectués notamment en TGV ou en avion.

Par convention, on n'envisagera donc que les déplacements dont la distance est comprise entre 5 et 150 km. Les principaux modes utilisés pour ces déplacements sont la voiture, le train ou encore les deux-roues motorisés, notamment lorsqu'il s'agit de motifs réguliers (domicile-travail ou -études). Ces motifs constituent en effet la grande majorité des déplacements effectués sur le réseau ferroviaire régional.

Même si à terme l'objectif est de pouvoir modéliser le choix modal de l'ensemble des déplacements régionaux, cette étude est centrée sur les déplacements domicile-travail, pour lesquels une validation du modèle par les données du recensement est possible.

Depuis la mise en place du recensement rénové en continu, l'INSEE met à disposition des citoyens en téléchargement libre les fichiers détails :

- des migrations domicile-travail ;
- des migrations domicile-études.

Ces bases de données sont fournies avec des informations socio-démographiques caractérisant les actifs ou les étudiants effectuant ces migrations, leur environnement (logement, ménage, équipement automobile) ainsi que le mode de transport utilisé, pour les seules migrations professionnelles.

Les premières données ont été disponibles pour l'année 2006. Les données 2007 sont proposées au téléchargement sur le site www.insee.fr depuis fin 2010. Elles sont particulièrement pertinentes pour la validation du modèle puisque concomitantes de l'enquête nationale transport.

L'étude utilise principalement l'enquête Nationale Transport Déplacement 2007-2008. Il s'agit de est la cinquième enquête ce de type depuis la première réalisée en 1966-1967. L'enquête précédente datait de 1993-1994. Cette enquête est pilotée par le Ministère des Transports, et l'INSEE avec l'assistance de l'INRETS (devenue l'IFSTTAR depuis 1er janvier 2011) pour la coordination scientifique. L'objectif de ces enquêtes est la connaissance des pratiques de déplacements des résidents de France métropolitaine, de leurs pratiques modales ainsi que des caractéristiques du parc de véhicules des ménages.

L'enquête a été réalisée en face à face auprès d'un échantillon de 20000 ménages environ, constitué d'un échantillon national de 10000 ménages, et d'extensions régionales en Ile-de-France, Bretagne, Pays-de-la-Loire, Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées. Le recueil de données s'est déroulé de fin avril 2007 à fin avril 2008. Une méthode novatrice de recueil de données de mobilité par GPS a également été expérimentée auprès d'un sous-échantillon de 1000 personnes volontaires.

La méthodologie consiste à effectuer deux visites auprès des ménages. Lors de la première visite, sont recueillies les informations relatives aux caractéristiques des logements, des ménages, des déplacements réguliers (domicile-travail, domicile-études et domicile-garde d'enfants) de toutes les personnes du ménage et du parc de véhicules. Un carnet de bord est remis pour recueillir les informations relatives aux déplacements d'un véhicule durant une semaine. La deuxième visite consiste à interroger un individu du ménage tiré au sort en particulier sur ses déplacements de la veille, d'un jour du dernier week-end, et sur ses déplacements à longue distance effectués à plus de 80km du domicile lors des trois derniers mois.

Chapitre 2

Déterminants du choix modal

2 -1 - Choix des variables explicatives

Dans ce chapitre, on cherche à identifier les paramètres du choix modal pour les déplacements régionaux. On se limite cependant aux facteurs explicatifs (caractéristiques de la personne, du logement, équipement automobile,...) disponibles dans les deux bases de données utilisées, qui seuls permettent de mesurer des effets quantifiables. Cette limitation est nécessaire pour pouvoir évaluer la robustesse du modèle à partir des données exogènes du recensement, qui sont indépendantes des informations collectées dans l'ENTD. De plus, le modèle ainsi spécifié et estimé peut être aisément mis en œuvre grâce à la mise à jour annuelle des données de mobilité du recensement.

En complément des données socio-économiques et du choix de mode, issues des migrations domicile-travail du recensement, on peut aussi disposer d'informations sur l'offre de transports associée réelle en voiture et en transports collectifs, disponible au moment des déplacements, principalement par le TER. Les alternatives modales sont reconstituées à partir du logiciel Musliw de calcul de l'accessibilité multimodale, développé par le CETE Nord-Picardie. Elles sont construites à partir des données horaires de la SNCF, extraites des CDROM RIHO[1], exploitables à partir de l'outil BDFER[2]. La partie routière est quant à elle construite à partir de la base de données géographiques ROUTE500[3] de l'Institut Géographique National (IGN), sur laquelle un travail de codification des vitesses a été effectué (en heures de pointe et en heures creuses).

La limitation du nombre de variables retenues a pour principal inconvénient l'exclusion des variables de stationnement et d'équipement des ménages en deux-roues motorisés dans le modèle, qui apparaissent pourtant parmi les déterminants importants du choix modal. L'équipement en deux-roues motorisés n'est en effet disponible dans le recensement que pour les résidents des départements et territoires d'outre-mer. L'information sur le stationnement est quant à elle incomplète, puisqu'elle ne décrit qu'assez sommairement le seul stationnement au domicile.

Si l'on souhaitait prendre en compte de manière fine les contraintes de stationnement, il faudrait pouvoir qualifier chaque origine et chaque destination en fonction des difficultés d'y stationner. Seul l'accès à une information géographique assez fine dans l'ENTD sur les contraintes de stationnement à l'origine et à la destination du déplacement permettrait de qualifier et de quantifier plus précisément l'influence de la contrainte de stationnement sur le choix modal. On pourrait cependant contourner ce problème en simulant la contrainte de stationnement, en développant un modèle de la contrainte de stationnement à partir de l'ENTD, que l'on pourrait appliquer ensuite aux données du recensement à condition que les variables explicatives de ce modèle soit mobilisables pour les données du recensement. Toutefois, pour qualifier le stationnement le niveau communal se révèle trop agrégé et les données à l'IRIS ne sont pas disponibles, notamment pour le lieu de travail. Une approche similaire aurait pu être développée pour l'équipement en deux-roues motorisés. Cette approche n'a cependant pas été développée ici, car on souhaitait avant tout se focaliser sur l'évaluation de la robustesse du modèle à partir de données exogènes.

2-2 - Informations sur le choix modal dans l'enquête nationale transports déplacements

Dans un premier temps, seuls les déplacements des actifs ont été pris en compte. Dans l'ENTD 2007, les informations concernant les déplacements des actifs sont réparties entre la première et la deuxième visite.

2-2-1 - Issues de la 1ère visite

Les informations collectées lors de la première visite portent sur l'ensemble des individus de l'échantillon. Elles concernent les déplacements habituels contraints, c'est-à-dire le domicile-travail pour les actifs, le domicile-études pour les scolaires et étudiants, et le domicile-garde d'enfant pour les personnes ayant des enfants en bas âge. Les informations disponibles décrivent notamment le mode habituellement utilisé, ainsi que les raisons de rejet des modes alternatifs. Les réponses de personnes interrogées ont été complétées par des informations issues de la base de données MOVIKEN pour caractériser l'offre en transport collectif à la disposition des personnes déclarant utiliser habituellement la voiture pour se rendre sur leur lieu de travail ou d'études.

2-2-2 - Issues de la 2ème visite

Les données collectées lors de la deuxième visite portent sur un seul individu du ménage tiré au sort, dénommé individu « Kish ». L'échantillon est donc de taille plus restreinte. Les données recueillies sont en revanche plus détaillées puisqu'elles décrivent notamment les déplacements effectués la veille de l'enquête et un jour du précédent week-end, ainsi que les déplacements à longue distance durant les trois derniers mois.

2-2-3 - Reconstitution des alternatives modales

Dans ces deux fichiers, les alternatives modales à la disposition du voyageur ont été reconstituées. Pour pouvoir développer un modèle de choix modal, il est en effet nécessaire de connaître non seulement le mode effectivement utilisé par le voyageur, mais encore les alternatives dont il disposait, ainsi que leurs caractéristiques (temps de trajet, coût, etc.) pertinentes susceptibles d'avoir une influence sur le choix réalisé. Ces alternatives, cependant, ne sont pas connues avec certitude, et il est nécessaire de les simuler à partir de la connaissance fournie par les bases de données d'offre de transport (réseaux, horaires, etc.). Les alternatives suivantes ont été considérées :

- offre voiture.
- accès à la gare à pied, train, diffusion de la gare en voiture.
- accès à la gare en voiture, train, diffusion de la gare à pied.

2-3 - Analyse des déterminants du choix modal

2-3-1 - Restriction de l'analyse aux déplacements locaux

Pour la modélisation des déplacements domicile-travail, seules les données du fichier décrivant les déplacements locaux, ont été utilisées. En effet, l'échantillon des déplacements domicile-travail présent dans les fichiers des voyages et des déplacements à longue distance était extrêmement réduit.

2-3-2 - Recodage des données de l'ENTD

Dans un premier temps, les variables de l'ENTD et leurs modalités ont été recodées de manière à être présentées sous une forme similaire à celles des données de mobilité du recensement. Toutes les variables présentes dans le recensement ont été reconstituées, à l'exception du secteur d'activité qui est très mal renseigné dans l'ENTD, puisqu'il y a beaucoup de données manquantes.

2-3-3 - Captivité à l'égard de la voiture ou des transports en commun

Dans la deuxième étape, on a défini des critères de captivité des déplacements à l'égard de la voiture et des transports en commun. La captivité à l'égard des transports collectifs est définie ici par le non-équipement automobile du ménage et/ou la non possession du permis de conduire.

Les déplacements induisant une situation de captivité à l'égard de la voiture sont définis à partir des critères suivants :

- profession dont le lieu de travail est variable (représentant, infirmière, médecin,...), nécessitant l'usage quotidien ou régulier d'une voiture ;
- déplacements dont le motif est d'aller accompagner ou chercher quelqu'un ;
- déplacements ayant pour objectif le transport de marchandises ;
- disposition d'une voiture de fonction ou de service pour rentrer au domicile.

Une série d'exploitations a été effectuée pour estimer le volume de déplacements « captifs ». A l'issue de la détermination des déplacements captifs, le modèle de choix modal ne sera appliqué qu'aux déplacements induisant réellement une situation de choix, de manière à diminuer l'incertitude du modèle et à obtenir une meilleure estimation des paramètres.

On distingue par ailleurs captivité « permanente » et « occasionnelle ». On parlera de captivité « permanente » pour caractériser par exemple des professions telles que les infirmières qui ont besoin d'utiliser en permanence leur véhicule pour visiter leurs patients, et de captivité « occasionnelle » pour des individus qui n'ont besoin d'utiliser leur voiture que pour certains types de déplacements, par exemple pour le transport de marchandises, ou l'accompagnement au sein de boucles de déplacements. La captivité permanente est déterminée à partir du fichier de la 1ère visite, alors que la captivité occasionnelle ne peut être déterminée qu'à partir des déplacements décrits dans le fichier de la 2è visite. Pour ces déplacements en effet, la situation de captivité est attachée au déplacement et non à l'individu, et il n'est pas possible de la généraliser à tous les jours de la semaine, les motifs de déplacements pouvant être variables.

2-3-4 - Analyse des raisons de rejet du mode alternatif

Des exploitations ont été également effectuées sur l'existence de modes alternatifs ainsi que sur les raisons de rejet du mode alternatif, lorsqu'il existe, pour les personnes enquêtées dans l'ENTD. 62% des usagers de la voiture ont déclaré ne pas avoir de mode alternatif. Ils ne sont que 22% chez les utilisateurs du « deux-roues », et 39% pour ceux des transports en commun.

Chez les utilisateurs de la voiture, les principales raisons de rejet de l'usage des transports collectifs, lorsqu'ils existent, sont en premier lieu le temps de trajet jugé trop élevé, en second lieu l'inadaptation des horaires. Chez les usagers des transports collectifs, le principal motif de rejet de l'usage de la voiture est le coût d'usage du véhicule.

	Utilisation fréquente	Utilisation au retour	Utilisation rare	Total
Plus cher	9	0	98	107
Par habitude	0	0	3	3
Les 2 se valent	2	0	0	2
Durée plus longue	3	0	50	53
Durée +irrégulière	0	0	13	13
Horaires mal adaptés	1	0	7	8
Plus fatigant	0	0	21	21
Sécurité moindre	0	0	6	6
Trop de monde	0	0	6	6
Trajet accompagné	9	0	18	27
Autres raisons	4	2	48	54
Total	28	2	270	300

Tableau 1: Raisons invoquées pour le rejet de la voiture, chez les usagers des transports en commun pour le motif domicile-travail – source : ENTD 2008, effectifs non redressés

L'ENTD a été complétée a posteriori avec des données de la base MOVIKEN qui permettent de qualifier l'offre en transports collectifs pour aller du domicile du répondant à son lieu de travail, d'étude ou de garde des enfants. L'exploitation des données de MOVIKEN confirme les déclarations des répondants. En effet, chez les utilisateurs de la voiture, qui sont les seuls pour lesquels les informations MOVIKEN ont été collectées, soit l'offre en transports collectifs peut être considérée comme inexistante (plus de 2 h de temps de trajet entre le domicile et le lieu de travail), soit la durée de parcours est plus longue qu'en voiture.

	Train GL	TER	RER	Tram	Méto	Bus	Pas d'alternative	Total
Plus cher	1	22	8	7	3	7	28	76
Par habitude	0	7	3	3	2	11	77	103
Les 2 se valent	0	0	1	0	0	4	0	5
Durée plus longue	5	318	202	102	76	190	453	1346
Durée +irrégulière	0	8	12	0	3	4	17	44
Horaires mal adaptés	5	159	40	9	21	62	258	554
Plus fatigant	0	25	8	0	6	15	68	122
Sécurité moindre	0	14	2	2	1	0	27	46
Confort moindre	2	33	9	5	11	5	46	111
Trop de monde	0	3	0	0	0	0	2	5
Trajet accompagné	0	11	4	7	4	3	36	65
Autres raisons	0	35	16	16	11	19	84	181
Total	13	635	305	151	138	320	1096	2658

Tableau 2: Raisons invoquées de non-utilisation de l'alternative en transports collectifs chez les usagers de la voiture qui déclarent disposer d'une alternative modale pour le motif domicile-travail mais qui déclarent ne jamais l'utiliser – source : ENTD 2008, effectifs redressés en milliers.

Pour les personnes qui disposent d'une alternative avec un autre mode mais qui ne l'utilisent jamais, on ne connaît pas le mode alternatif auquel l'utilisateur fait allusion. Néanmoins, on peut estimer la nature de cette offre alternative à partir de MOVIKEN. On peut donc confronter les déclarations des personnes enquêtées sur la disponibilité de modes alternatifs et les raisons de rejet du mode alternatif, avec les données issues de Moviken appliquées à l'échantillon. Ainsi par exemple, sur les 635 000 individus qui utilisent leur voiture et déclarent avoir une offre alternative que Moviken détermine comme étant du TER, 318 000 déclarent ne jamais l'utiliser en raison d'une durée trop longue et 159 000 en raison d'horaires mal adaptés.

Néanmoins, la confrontation des données avec MOVIKEN met en évidence un décalage entre les alternatives déclarées par les personnes enquêtées et l'application d'un critère exogène à l'offre de transports connue. Ainsi par exemple, sur les 1 209 000 individus utilisant la voiture particulière, ayant déclaré disposer d'une solution alternative, mais qui ne l'utilisent jamais en raison d'un temps de parcours trop élevé, 839 000 se voient effectivement attribuer une solution alternative en transports collectifs par Moviken. Pour les autres, on a considéré que la durée de parcours en transports collectifs, estimée à partir de Moviken, était trop longue pour être crédible. En revanche, le nombre de cas où le temps de parcours estimé à partir de Moviken est inférieur à celui déclaré par l'individu est faible (11 au total). Il n'y a donc pas d'incohérence décelable dans les réponses de cette catégorie d'usagers de la voiture particulière. La durée est bien le critère principal de rejet des transports en commun pour cette catégorie particulière d'utilisateur.

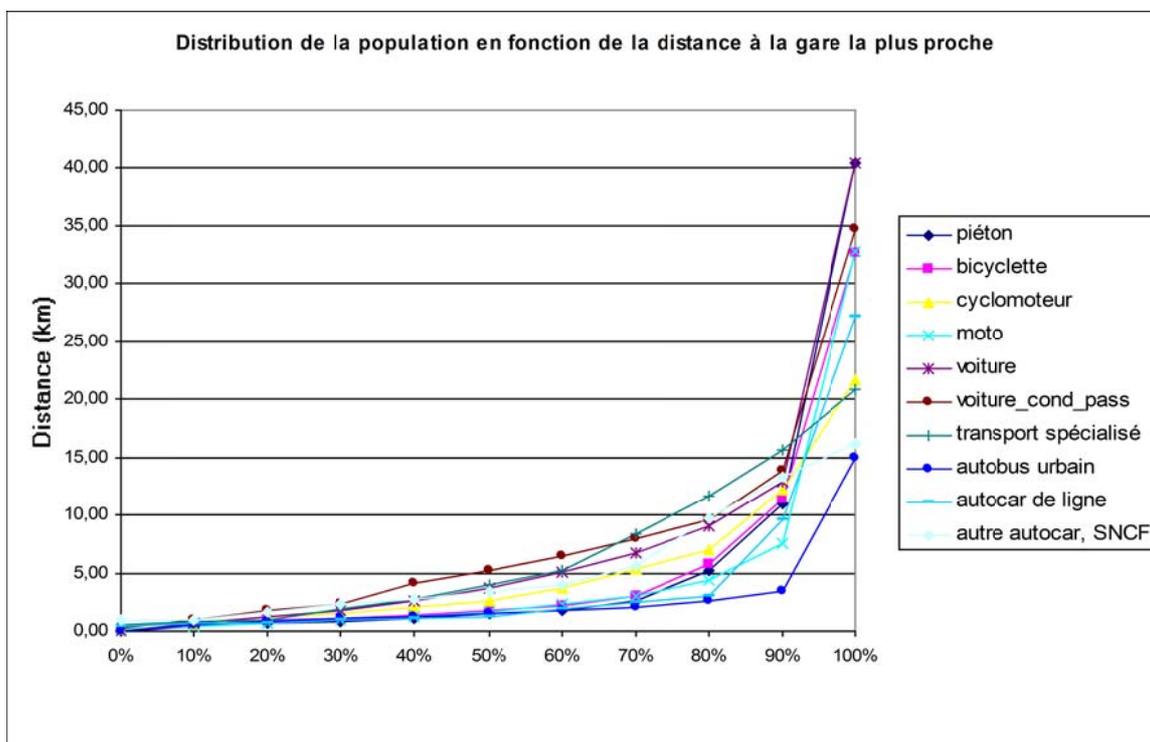
Durée du DT	Écart temps TC-temps VP							total
	<-10 mn	-10 à 0 mn	1 à 10 mn	11 à 20 mn	21 à 30 mn	31 à 60 mn	> 60 mn	
<10mn	0	0	1	1	2	21	18	43
11 à 20 mn	0	0	4	22	38	144	112	320
21 à 30 mn	.	2	9	19	33	103	66	232
31 à 60 mn	2	4	15	27	38	89	50	225
> 60 mn	2	1	2	4	4	3	3	19
Total	4	7	31	73	115	360	249	83

Tableau 3: Ventilation des écarts de temps (estimés à partir de Moviken) entre TC et VP en fonction de la durée du déplacement domicile-travail

2-4 - Influence de la distance à la gare de train ou de RER la plus proche

Il aurait été utile également de calculer de manière précise la distance à la gare la plus proche, pour l'analyser en tant que facteur explicatif, mais cette information aurait nécessité d'avoir accès à la localisation fine du lieu de résidence, de travail ou d'études. Or, il n'a pas été possible d'avoir accès à cette information dans le cadre de ce travail. Par contre, cette information a été introduite *a posteriori* dans l'enquête notamment dans le fichier sur les caractéristiques du ménage à partir de la base de données MOVIKEN. Dans cette exploitation, on considère l'influence de l'accessibilité aux transports en commun sur le choix modal effectué lors des trajets domicile-travail. A cet effet, on considère uniquement les déplacements pour lesquels le mode de transport principal^[4] est renseigné, ainsi que la distance pour atteindre le lieu de travail. Les valeurs aberrantes n'ont pas été supprimées.

On observe par exemple, pour 80% des déplacements domicile-travail effectués en voiture, la présence d'une gare à moins de 10km du domicile. Par ailleurs, la totalité des utilisateurs réguliers du TGV sont domiciliés à moins de 7km d'une gare, une limite qui passe à 15km pour le TER et à 22km pour le RER. Par souci de lisibilité, le graphique est éclaté en deux, les modes urbains d'un côté et interurbains de l'autre.



Lecture : 70% des utilisateurs de la voiture vivent à moins de 26,7 km d'une gare

Illustration 1 : Distance à la gare la plus proche du domicile, en fonction du mode principal utilisé pour les déplacements domicile-travail. Répartition cumulée par déciles. Modes de proximité.

Illustration 2 : Distance à la gare la plus proche du domicile, en fonction du mode principal utilisé pour les déplacements domicile-travail. Répartition cumulée par déciles. Modes longues distances.

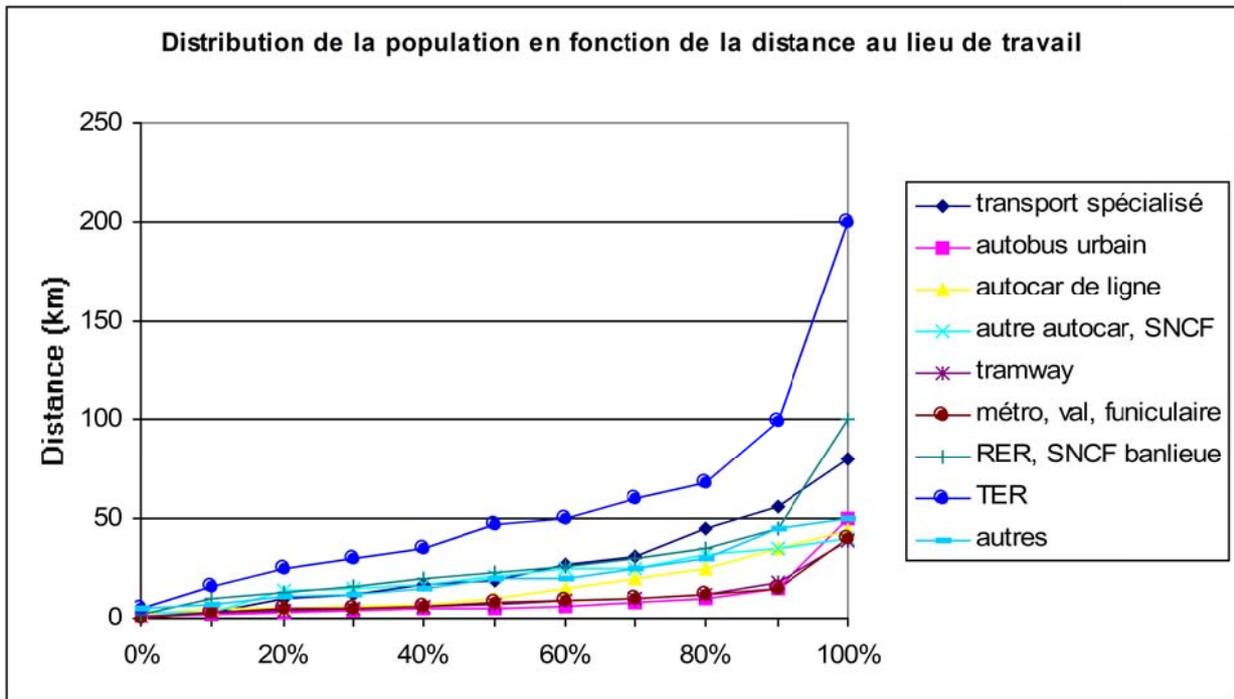
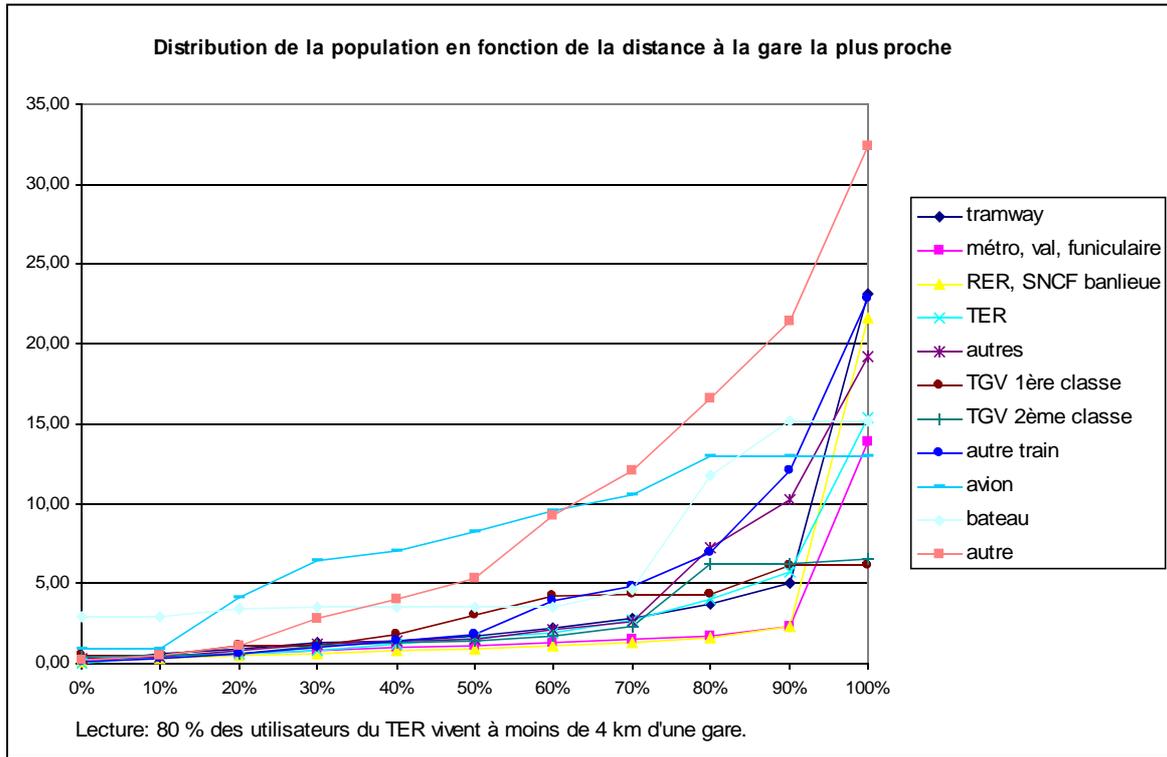


Illustration 3 : Distance entre le domicile et le lieu de travail. Répartition cumulée par déciles, en fonction du mode habituellement utilisé

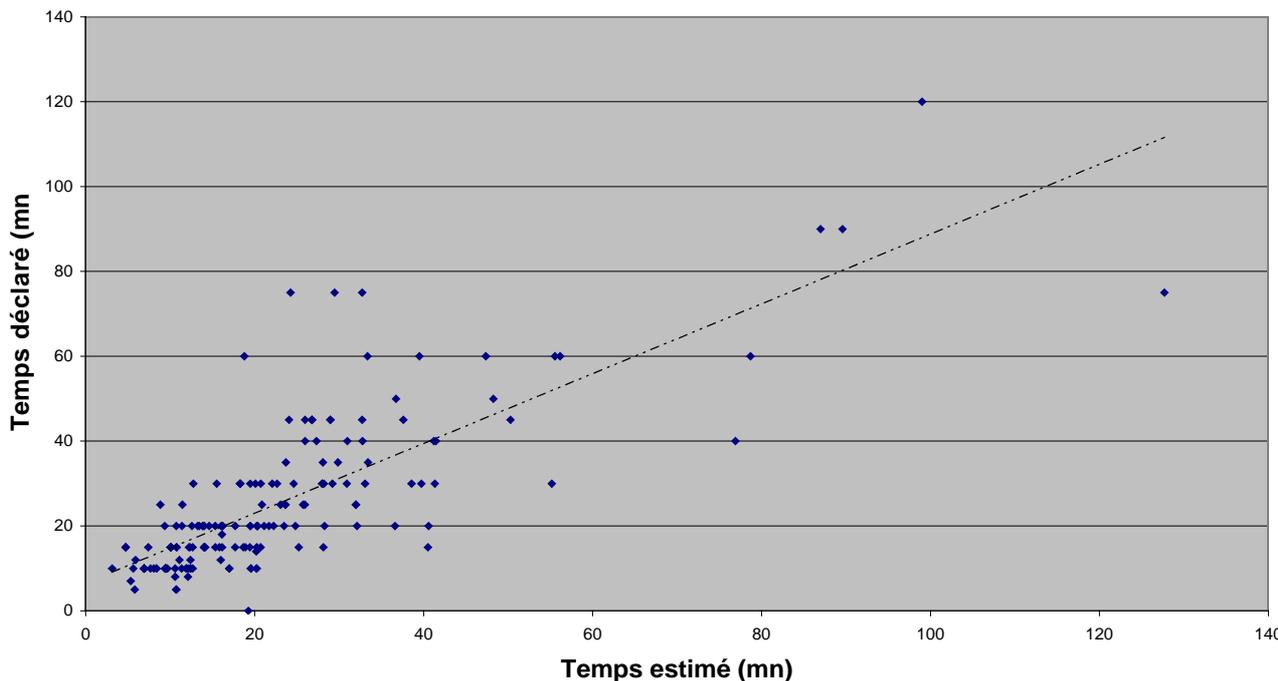
Le graphique 3 donne une idée de la distance maximale parcourue pour aller au travail selon le mode de transport collectif utilisé.

2-5 Comparaison entre temps de parcours déclaré et estimé à l'aide de Musliw

La méthode utilisée consiste à extraire les couples origine-destination des déplacements locaux dont le mode principal déclaré est la voiture. Parmi ces liaisons, ont été retenues celles dont la destination est à moins de 30 minutes à pied d'une gare, soit 28 400 OD. Pour chacune de ces O/D, l'affectation des déplacements entre différents itinéraires est réalisée avec Musliw, en supposant que les individus partent en voiture du domicile et arrivent à pied sur leur lieu de travail dans l'alternative impliquant l'utilisation du train, et inversement partent à pied de leur lieu de travail et arrivent en voiture à leur domicile. Les simulations avec Musliw sont effectuées.

Illustration 4: Graphique de comparaison entre les temps déclarés par l'enquête et les temps estimés par Musliw – Liaison domicile-travail

Comparaison entre le temps déclaré et le temps estimé par Musliw sur la base d'un itinéraire optimal



Les personnes ont déclaré le temps qu'elles ont mis pour se rendre sur leur lieu de travail. On peut donc comparer le temps déclaré avec le temps estimé par Musliw en utilisant le même mode (voiture) : on observe que pour 68% des déclarants, le temps de parcours en voiture estimé par Musliw est inférieur au temps déclaré. Ceci paraît assez logique dans la mesure où le temps estimé est le temps d'un itinéraire optimal, donc pas nécessairement toujours le temps réellement effectué par l'utilisateur. De plus, la finesse des origines-destinations au niveau communal ne permet pas une simulation porte à porte avec recherche du stationnement et temps de marche terminal, mais seulement un temps de centroïde de commune à centroïde de commune. On constate que le graphique équivalent relatif aux relations travail-domicile est très proche.

2-6 - Proportion du temps de transport individuel chez les usagers du train et de la voiture

Le graphique ci-dessous représente la répartition par déciles de la proportion du temps de transport en véhicule individuel selon que l'individu est usager du train (rouge et noir) ou que l'individu est usager de la voiture ne déclarant aucun choix possible (bleu et vert). La proportion du temps de transport individuel est calculée à partir de l'affectation avec Musliw. On visualise chaque fois deux enchaînements, « voiture_train_marche à pied » (rouge, bleu) et « marche à pied_train_voiture » (noir, vert).

Pourcentage du temps de transport individuel en fonction du mode habituel utilisé et de la séquence de déplacement

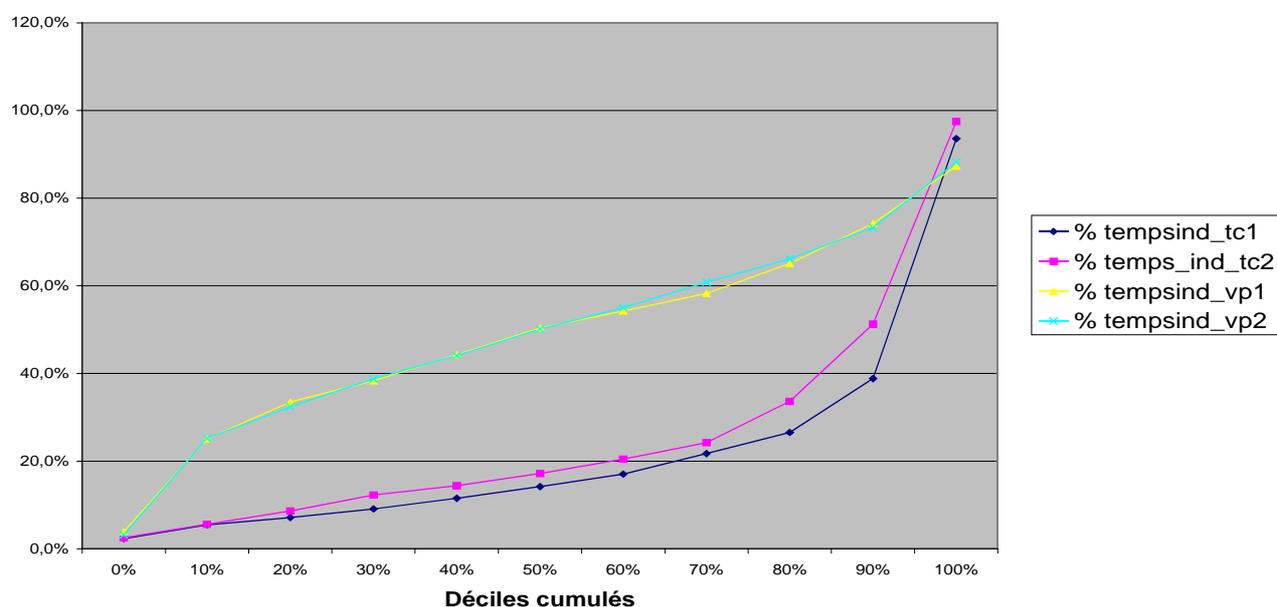


Illustration 5: Répartition par déciles de la proportion du temps de transport individuel dans le temps total de déplacement selon que l'usager est utilisateur du train (séries rouge et noire) ou de la voiture (séries bleu et vert)

Le graphique montre qu'en cas d'absence d'alternative, la part de temps de transport individuel est plus élevée, ce qui corrobore les déclarations des enquêtés sur l'absence d'alternative en transports collectif.

2-7 - Exploitations préliminaires du fichiers des déplacements locaux enrichi

Il s'agit dans un premier temps d'effectuer la construction du fichier servant de base aux analyses préliminaires et au développement du modèle.

On enrichit les fichiers individuels par des informations relatives au ménage auquel il appartient. Le fichier sur le lieu de travail, d'études ou de garderie est ensuite complété par les informations sur l'individu et le ménage issues du fichier précédent. Le fichier des déplacements locaux est enrichi avec toutes les variables du fichier précédent. On arrive ainsi à reconstituer presque toutes les variables du fichier des migrations alternantes de l'INSEE, à l'exception de la variable « secteur d'activité ». La variable de stationnement au lieu de travail, bien que présente dans l'ENTD, n'est pas intégrée car elle ne figure pas dans le fichier des migrations alternantes du recensement. Enfin, les affectations sous Musliw permettent d'enrichir les déplacements effectués avec les alternatives modales disponibles au moment de chaque déplacement.

Comparaison entre le mode de transport habituel et le mode effectivement utilisé le jour de l'enquête

Le fichier constitué comporte 9633 observations.

mode	effectifs	
	Mode habituel déclaré	Mode de déplacement le jour de l'enquête
Lieu de travail variable	567	-
Pas de transport	29	-
Marche	168	155
Deux-roues	408	410
Voiture, camion, fourgonnette	6874	7534
Transports en commun	1587	1531
Autres	0	3
Total	9633	9633

Tableau 4: Comparaison entre le mode habituel déclaré et celui réellement utilisé le jour de l'enquête

Le mode de transport principal du fichier des déplacements locaux n'est pas toujours identique à celui déclaré lors de la 1^{ère} visite en tant que mode de transport habituel vers le lieu de travail. Les principales différences entre le mode utilisé le jour de l'enquête et le mode habituel sont dues aux actifs ayant déclaré un lieu de travail variable et qui utilisent habituellement la voiture. Il s'agit aussi souvent de la substitution occasionnelle d'un mode proche du mode habituel, par exemple l'utilisation occasionnelle de la voiture en tant que passager plutôt qu'en tant que conducteur, ou encore l'utilisation du métro à la place du tramway ou du bus.

Plus de la moitié des individus concernés déclarent ne pas avoir le choix du mode de transport pour se rendre sur leur lieu de travail :

Choix	Effectifs enquêtés	%
N'ont pas le choix	5096	53,3
Ont le choix	4467	46,7

Tableau 5: Répartition des actifs selon l'existence d'alternatives pour se rendre sur leur lieu de travail

Un nouvel identifiant a été créé pour chaque déplacement. En effet, chaque individu peut effectuer plusieurs déplacements répartis sur la veille de l'enquête et/ou le week-end précédent.

4171 individus effectuent ainsi 9630 déplacements domicile-travail, dont :

- 7616 en semaine
- 1424 le samedi
- 490 le dimanche.

Les réponses des personnes ayant déclaré avoir effectué un nombre de déplacements impair correspond en grande majorité à des déplacements en chaîne. Même si presque toujours, il y a quand même un départ ou un retour au domicile (sauf quand la personne dort à l'extérieur), ces déplacements secondaires ont été exclus de l'échantillon, car les caractéristiques spécifiques de l'organisation de l'emploi du temps des ménages jouent pour ces déplacements un rôle prépondérant et ne sont pas prises en compte dans cette étude. Ils mériteraient une étude spécifique.

Parmi les individus ayant effectué des déplacements domicile-travail, 629 d'entre eux ont déclaré s'être déplacé à la fois en semaine et le week-end en n'utilisant qu'un seul mode de transport. Ils se répartissent ainsi :

mode	effectifs
Piéton	11
Deux-roues	25
Voiture	516
TC	77

Tableau 6 : Répartition modale des individus s'étant déplacés à la fois la semaine et le week-end pour le motif domicile-travail avec le même mode de transport

71 d'entre eux ont déclaré plusieurs modes :

- soit ils ont utilisé deux modes au cours de la même journée (souvent en semaine). Dans ce cas, il s'agit souvent de l'enchaînement de la voiture et des transports en commun ;
- soit ils ont utilisé un mode pendant la semaine et un autre mode le week-end. Dans ce cas, on constate le plus fréquemment un usage des transports en commun pendant la semaine et d'un autre mode pendant le week-end, principalement la voiture.

2-8 - Abonnements aux transports collectifs et aux péages autoroutiers

Un peu moins de 20% (1890 environ) des individus ayant effectué des déplacements domicile-travail possèdent une carte d'abonnement aux transports en commun. 143 d'entre eux (8 %) possèdent 2 cartes d'abonnement et/ou de réduction, et 11 d'entre eux en possèdent 3. Parmi les détenteurs d'une carte d'abonnement aux transports en commun, 70% d'entre eux ont utilisé un mode TC pour le déplacement « domicile-travail » recensé. Les cartes de gratuité totale dans les transports collectifs sont plus répandues dans les réseaux urbains, dans lesquels les autorités organisatrices de transports urbains ont mis en place plusieurs cartes de gratuité sur des critères sociaux (handicapés, chômeurs, scolaires,...).

Chapitre 3

Construction des alternatives modales avec Musliw

3-1 - Constitution d'un réseau multimodal

La reconstitution des alternatives modales et des itinéraires correspondants implique de disposer des réseaux routiers et ferroviaires. La mise en forme d'un réseau multimodal a été réalisée à l'aide des données suivantes :

- Le réseau ferroviaire : La localisation géographique des gares est extraite de la base de données SIG ROUTE 500 de l'IGN, complétée par le code UIC[5] de la gare qui permet de faire la jointure entre la localisation de la gare et l'offre en terme de services ferroviaires.
- Les horaires de passage des trains aux gares du réseau ferroviaire, qui ont été obtenus à partir des CD ROM (RIHO Renseignements et Informations sur les Horaires) de la SNCF, puis exploités avec l'outil BDFER développé par le CETE Nord-Picardie.
- Les communes : Elles sont le niveau géographique le plus fin permettant de localiser les origines et les destinations des déplacements. Le code INSEE, le nom des communes et leurs coordonnées sont nécessaires pour pouvoir reconstituer l'offre correspondant aux déplacements relevés dans l'ENTD.
- Le réseau routier est constitué à partir de la table du réseau routier de la base ROUTE500 de l'IGN avec les champs suivants :
 - Sens de circulation ;
 - Longueur du tronçon ;
 - Nombre de chaussées ;
 - Largeur de la voie ;
 - Vitesses moyennes estimées ou observées selon les périodes de la journée. Dans le cas présent, on dispose du temps de parcours du tronçon à l'heure de pointe et en heure creuse.

La méthodologie de la constitution du réseau multimodal pour Musliw est décrite en annexe.

3-2 - Calcul des alternatives modales

Le travail a été effectué à partir du fichier des déplacements locaux de motif domicile-travail. Pour satisfaire le critère d'indépendance des observations, un seul déplacement domicile-travail a été conservé par individu. Le calibrage des modèles de choix discret suppose que les observations soient indépendantes pour que les termes d'erreurs soient bien aléatoires.

Musliw calcule ensuite les alternatives modales pour chacun de ces déplacements en mode « batch », à partir de l'origine, de la destination, du jour de déplacement et de l'heure de départ. Le mode « batch » signifie qu'on exécute un fichier de commandes qui permet de calculer successivement les alternatives pour chaque origine-destination présente dans le fichier.

Trois séries de calcul ont été effectuées, correspondant aux trois alternatives modélisées :

- voiture : dans cette alternative, on considère que l'ensemble du déplacement est réalisé en voiture. Par conséquent, les tronçons correspondant aux trajets piétons en début et en fin de déplacement ne sont pas représentés, ni les connexions entre le réseau routier et les gares.
- voiture + Train + Marche : dans cette alternative, le déplacement s'effectue principalement par le train, mais il est précédé d'un rabattement à l'origine en voiture et le rabattement à l'arrivée vers la destination finale

s'effectue à pied. Par conséquent, les tronçons correspondant aux trajets piétons pour accéder à la gare de départ ne sont pas représentés, ni les tronçons correspondant au rabattement en voiture à l'arrivée.

- marche+Train+ Voiture: cette dernière alternative est inverse de la précédente : l'accès à la gare de départ s'effectue à pied et le rabattement à l'arrivée en voiture. Par conséquent, les tronçons correspondant aux rabattements en voiture vers la gare de départ ne sont pas représentés, ni les tronçons correspondant à la marche à pied depuis la gare d'arrivée vers la destination finale.

On a supposé que, pour les trajets intermodaux correspondant aux deux dernières alternatives, l'utilisation de la voiture concernait le rabattement entre le domicile et la gare (entre le domicile et la gare pour le motif domicile-travail, et entre la gare et le domicile pour le motif travail-domicile). On suppose donc que l'individu laisse son véhicule à la gare le matin et le récupère le soir au retour du travail.

Au total, le réseau utilisé pour les calculs décrit l'offre multimodale sur l'ensemble de la France et comprend 214 088 nœuds, 1 191 271 tronçons et 2 943 567 horaires de passage aux gares. Ce réseau multimodal décrivant l'offre durant l'enquête a été utilisé dans d'autres travaux, et peut être mis à disposition du réseau scientifique et technique par le Sétra.

L'alternative en voiture étant presque toujours plus rapide que celle comprenant un trajet en transports collectifs, il a fallu pénaliser fortement le trajet de rabattement ou de diffusion effectué en voiture pour pouvoir déterminer une alternative en transports collectifs autre que le déplacement réalisé intégralement en voiture jusqu'à la gare de destination avec diffusion à pied depuis la gare de destination. Une hypothèse de pondération d'un facteur 10 a été retenue. Cela signifie que le temps de rabattement en voiture coûte 10 fois plus que le même durée dans le train. Elle permet l'identification d'une alternative en transports collectifs dans la plupart des cas, en particulier pour ceux ayant déclaré avoir fait le déplacement avec ce mode.

Pour contourner les contraintes de confidentialité sur la localisation fine des origines et des destinations, le CETE a calculé les alternatives sur une exploitation du fichier confidentiel de l'enquête, fourni par le SoeS (Service de l'Observation et des Statistiques), qui ne contenait plus que l'origine du déplacement, sa destination, ainsi que le jour et l'heure de départ. Les divers indicateurs de temps caractérisant chacune des alternatives (temps total, temps de rabattement, temps d'attente, temps d'attente initial, nombre de correspondance, heures d'arrivée et de départ reconstituées, temps généralisé) ont été introduits dans l'enquête transport par le gestionnaire de l'enquête, et retournés complétés au CETE.

Chapitre 4

Spécification et estimation d'un modèle de choix modal

4.1 - Sélection des variables les plus influentes par arbres de régression dynamique

Le souhait de pouvoir tester et valider le modèle a conduit à ne retenir que des variables de l'enquête transport également présentes dans le fichier des mobilités professionnelles du recensement, et à choisir des modalités compatibles avec ce dernier.

Dans un premier temps, l'objectif était de calibrer le modèle le plus explicatif possible. Ainsi, les fonctions d'utilité pouvaient intégrer les données d'offre multimodale reconstituée à l'aide de Musliw, les variables socio-démographiques communes à l'ENTD et au fichier des migrations professionnelles du recensement, ainsi que des informations sur le coût des déplacements, en particulier la possession d'abonnements ou de réductions sur les transports collectifs. Ces derniers se sont en effet révélés avoir une influence non négligeable sur le choix du mode, notamment les abonnements aux transports collectifs en milieu urbain, qui sont les plus répandus. En revanche, même si elles peuvent être déterminantes dans le choix du mode, les contraintes de stationnement n'ont pas été prises en compte car leur caractérisation à un niveau aussi agrégé que celui de la commune est trop grossière.

Pour faciliter la construction des fonctions d'utilité, et ne pas oublier de variables ayant un rôle explicatif significatif dans le choix du mode pour se rendre de son domicile à son lieu de travail, on a utilisé la méthode des arbres de segmentation dynamique.

Le principe de l'algorithme utilisé consiste à séparer de manière itérative l'échantillon en deux parties qui correspondent aux "feuilles" de l'arbre de segmentation. Pour les variables continues ou discrètes à plus de deux modalités, l'algorithme permet de séparer le domaine de variation en deux regroupements selon les valeurs qui discriminent le mieux la réponse. L'algorithme s'arrête quand :

- le critère statistique de séparation n'est plus satisfait (généralement khi2, gini, moindres carrés). la séparation en deux feuilles ne s'effectue que si le critère statistique discriminant les deux feuilles est supérieur à une valeur test déterminée par le modélisateur ;
- le nombre minimal d'enregistrements par feuille de l'arbre de segmentation est trop faible. pour assurer une représentativité statistique, il est conseillé d'imposer que chaque feuille de l'arbre de segmentation contienne au minimum 25 ou 30 enregistrements ;
- la profondeur de l'arbre est trop importante. comme la procédure est récursive, chaque segmentation d'une feuille de niveau « n » conduit à la génération de deux feuilles de niveau « n+1 ». Il faut donc déterminer un niveau maximal « n » de segmentation.
- la variable discriminante utilisée dans l'analyse a été le choix modal. l'algorithme divise de manière récursive chaque feuille de données en deux sous-échantillons en maximisant les différences dans la répartition modale.

La segmentation par arbres de régression dynamique^[6] a été réalisée sur les données de l'ENTD à partir de l'ensemble des variables disponibles dans le fichier détail des migrations alternantes du recensement 2007, complétées par la distance à vol d'oiseau, la durée de déplacement en voiture et la gratuité de l'accès aux transports collectifs.

A l'issue de la segmentation, les variables les plus influentes sont dans l'ordre :

- la disposition (ou non) d'une voiture dans le ménage ;
- la disposition (ou non) de deux-roues motorisés ;
- la durée de déplacement en voiture ;
- la localisation du lieu de résidence et du lieu de travail (urbain, situé dans la même région, hors de la même région, dans la même commune);
- le nombre de voitures (pour les ménages disposant d'au moins un véhicule) ;
- le genre de l'individu ;

- le nombre d'actifs du ménage ;
- la position dans le ménage (personne de référence, conjoint, enfant);
- le type de logement (appartement, maison).

4-2 - Estimation du modèle de choix modal

Les estimations des modèles de choix discrets ont été effectuées avec Biogeme, logiciel libre développé par Michel Bierlaire de l'EPFL, conçu pour la spécification et l'estimation de modèles probabilistes de choix discret. Il permet, à travers une interface, de spécifier différents types de modèles (logit multinomial, nested logit, generalized extreme value...), d'écrire des fonctions d'utilité (linéaires ou non), et enfin de déterminer les paramètres des fonctions d'utilité.

La modélisation porte sur l'estimation d'un modèle logit multinomial avec trois alternatives modales (deux roues, voiture, transports en commun) que l'on retrouve dans le fichier des migrations professionnelles, qui ne fait pas la distinction entre le vélo et les deux-roues motorisés. L'étude portant sur les déplacements régionaux, la marche a été exclue.

De même, n'ont été conservés que les déplacements de plus de 5km à vol d'oiseau. L'offre en transports collectifs urbains n'a pas été intégrée pour la reconstitution de l'alternative en transport en commun, puisqu'on s'intéresse essentiellement aux déplacements en train. Par contre, les déplacements effectués en transports collectifs urbains de plus de 5km ont été conservés dans l'échantillon.

Les premières modélisations ont mis en évidence l'importance de l'équipement en deux-roues motorisés dans le choix de l'alternative en deux-roues, et celle de la possession d'une carte de gratuité dans le choix des transports en commun. Ces variables exercent évidemment une influence en amont sur le potentiel de mobilité par les différents modes. En outre, l'alternative en transports en commun a été considérée comme non disponible lorsque Musliw n'a pas pu trouver une alternative utilisant en partie un transport en commun au cours du déplacement.

Par contre, la possession d'une carte de gratuité ou d'abonnement aux transports en commun ne figure pas dans le fichier des migrations professionnelles qui sera utilisé pour la validation. En l'absence de cette donnée et de l'existence d'un modèle d'attribution de carte de gratuité, il a été décidé d'essayer d'estimer un modèle sans cette variable.

Après analyse des migrations professionnelles, il est apparu également que même si la variable d'équipement en deux-roues motorisés était présente dans le fichier, elle n'était jamais renseignée, car elle était demandée uniquement aux résidents des départements et territoires d'Outre Mer. Ce constat est très ennuyeux, puisque cette variable était prépondérante dans le choix du mode deux-roues. Même si le mode deux-roues reste marginal, sa meilleure modélisation améliore par ricochet la qualité de la modélisation des autres modes.

Le calibrage du modèle logit multinomial a été effectué selon une procédure de type « forward ». Autrement dit, on introduit progressivement les variables dans le modèle. A chaque étape, la variable explicative du choix modal dont l'influence est la plus significative, parmi les variables non encore introduites, est ajoutée dans le modèle, et retenue si son coefficient dans la fonction d'utilité est significativement non nul. L'analyse effectuée avec les arbres de segmentation dynamique permet de sélectionner et de classer a priori les variables les plus explicatives. Les paramètres retenus dans la modélisation sont finalement les suivants :

Variable	Description	Deux roues	Voiture	Transport collectifs
CMAIS	Maison par rapport à appartement	1.08291	0.830174	
CDISTT	Distance vol d'oiseau		0	0.0469774
CNACTV	Nombre d'actifs du ménage		-0.598898	
CNBVP	Nombre de voitures du ménage		1.29358	
CPROPR	Propriétaire	-1.1947		
CREGV	Domicile et lieu de travail dans la même Région administrative	0	-1.26661	
CPREF	Personne de référence		0.35591	
CSEXER	Genre	-2.2494	-0.352271	
CPCTC	Proportion du temps à bord des TC			0
CTEMPSTCT	Temps de parcours TC			-0.0268981
CTMAPR	Temps de parcours VP	-0.0495637	-0.0552713	
CUUV	Lieu de travail et domicile dans la même unité urbaine		-1.06077	
CVOITV	Ménage non motorisé	0	-3.36278	
CVP	Constante modale		2.66432	

Tableau 7 : Valeurs estimées des paramètres du modèle de choix modal

Lecture: le paramètre associé à la modalité "femme" est égal à - 0,352271. Cela signifie que, toutes choses égales par ailleurs, le fait d'être une femme diminue l'utilité du choix "voiture" et donc la probabilité d'utiliser sa voiture pour les déplacements quotidiens. Les paramètres négatifs correspondent à des facteurs qui diminuent la probabilité du mode correspondant.

Null log-likelihood: -2972.608

Final log-likelihood: -943.454

Likelihood ratio test: 4058.308

Rho-square: 0.683

Adj. rho-square: 0.676

Pour valider le modèle, des simulations de Monte-Carlo ont été effectuées avec Biosim, logiciel similaire à Biogeme, mais dont l'objet est de simuler les résultats de l'application d'un modèle à un échantillon et non de le calibrer. L'objectif est de vérifier la qualité de reconstitution du choix des individus, globalement et surtout par mode de déplacement.

Validation	Modèle			
ENTD	2roues	Voiture	TC	Total
2roues	7%	70%	23%	110
Voiture	3%	90%	6%	2663
TC	3%	31%	66%	534
Total	109	2647	551	84%

Tableau 8 : Simulation de Monte-Carlo

Lecture : pour 90 % des personnes s'étant déplacées en voiture, le modèle prévoit un déplacement en voiture

Pour 90 % des déplacements en voiture, la simulation prévoit bien un déplacement en voiture. Si le modèle reconstitue bien les parts de marché des différents modes, il reconstitue en revanche assez mal le choix modal. Ainsi, le modèle ne prévoit le choix des transports en commun que pour 66 % des personnes utilisant effectivement les transports en commun. Le choix du mode « deux-roues » est quant à lui très mal reconstitué, même si la part de marché globale du deux-roues est correcte. Ce résultat s'explique par la faiblesse de l'échantillon correspondant et par la non-prise en compte de l'équipement en deux-roues motorisés, principale

variable explicative du choix du deux-roues motorisés comme mode pour se rendre à son travail.

Chapitre 5

Application du modèle aux actifs du Nord-Pas-de-Calais

5-1 - Analyses préliminaires des parts modales sur les migrations alternantes

Dans le fichier des migrations alternantes de l'année 2007, on recense 55 188 origine-destinations différentes au sein de la région Nord-Pas de Calais (hormis les origine-destination au sein d'une même commune).

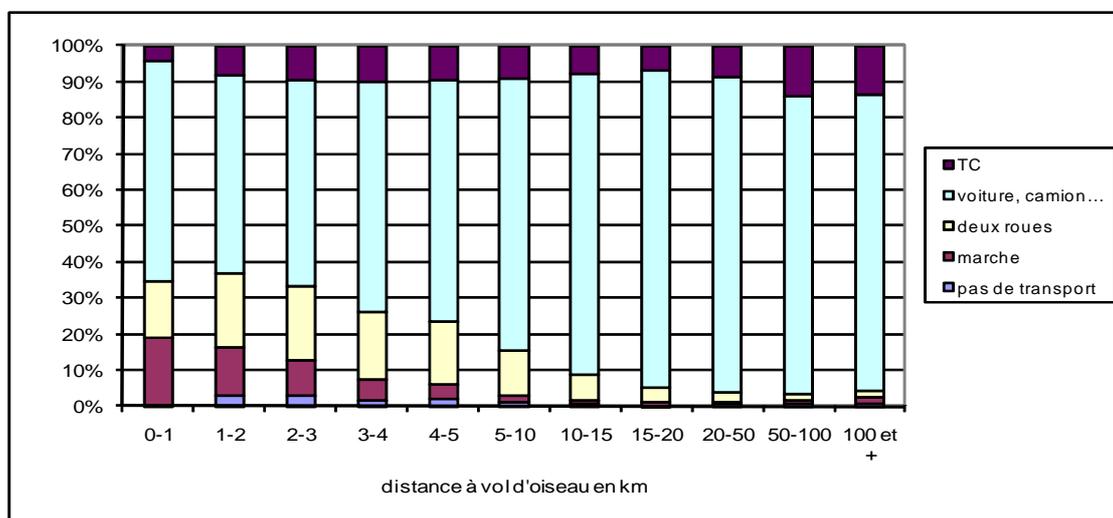


Illustration 7: Répartition des modes utilisés pour les migrations domicile-travail au sein de la Région Nord-Pas de Calais, en fonction de la distance parcourue - Source: INSEE Recensement 2007

Ce graphique met en évidence :

- une corrélation positive entre la distance parcourue et la part modale de la voiture ;
- corrélativement, une corrélation négative entre la distance parcourue et les parts modales des deux-roues et de la marche à pied ;
- le fait de ne pouvoir distinguer les transports collectifs urbains (bus, métro...) des transports interurbains (train...) peut empêcher l'observation de corrélations opposées.

L'usage de la marche et des deux-roues-motorisés apparaît quelle que soit la distance. Au moins pour la marche, il y a là une impossibilité physique. Ce résultat aberrant peut découler d'erreurs dans les déclarations des usagers, mais il peut aussi traduire l'existence de possibilités de logement à proximité du lieu de travail, même si le logement principal est à plusieurs centaines de kilomètres. Globalement, cette erreur est tout de même très résiduelle et on a bien une décroissance très nette de la marche à pied avec la distance. En particulier, on n'observe quasiment plus de marche à pied au-delà de 5 km.

5-2 - Rappels sur la reconstitution des alternatives modales

On rappelle que l'objectif est d'appliquer le modèle élaboré précédemment à des données extérieures à celles utilisées pour le calibrage du modèle, afin d'en vérifier la robustesse. Cette validation sera effectuée à partir de l'extraction du fichier des migrations professionnelles du recensement 2007, pour les habitants de la Région Nord-Pas-de-Calais.

On rappelle également que pour valider le modèle, il faut que les variables des fonctions d'utilité soient disponibles dans les données exogènes sur lesquelles on évalue la robustesse du modèle. On a déjà vérifié qu'on disposait des caractéristiques socio-démographiques.

La construction de l'offre multimodale a été également effectuée avec le logiciel Musliw. Pour chaque individu,

les alternatives suivantes ont été calculées le matin pour le sens domicile->travail, et le soir pour le sens travail->domicile, un mardi d'une semaine ordinaire, hors vacances scolaires.

L'heure des migrations alternantes n'étant pas connue, il n'est pas possible, comme cela a été fait pour l'ENTD de reconstituer l'offre concomitante aux déplacements. On a pris les hypothèses suivantes :

Le matin, les calculs ont été effectués pour une arrivée sur le lieu de travail à 9h au plus tard, et le soir pour un départ à 17h30 au plus tôt.

Concernant l'offre en transports collectifs, le sens domicile-travail a été modélisé avec départ en voiture et arrivée à pied, et inversement pour le sens travail->domicile.

Ce calcul a été relativement lourd compte tenu du nombre important d'origine-destinations différentes, correspondant à plus de 280 000 individus.

5-3 - Calcul des temps de parcours simulés le matin et le soir

On compare les temps de parcours calculés par Musliw pour les navettes internes à la région à celles entre la région et le reste de la France. Pour les 275 600 navetteurs concernés, on constate que les temps de parcours en voiture estimés par Musliw pour le matin et pour le soir diffèrent très peu. Cela s'explique notamment par le fait que la durée de la période de pointe est quasi-identique le matin et le soir. Les rares différences observées s'expliquent par les sens uniques de circulation pour les courtes distances, et par la proportion du parcours en période de pointe pour les longues distances. En effet la période de pointe du matin est de 7h-9h, alors que celle du soir s'étend de 16 h 30 à 19 h.

20 700 navetteurs peuvent a priori faire le déplacement en train le matin et le soir, compte tenu des alternatives disponibles. Les différences de temps de parcours le matin et le soir sont beaucoup plus importantes pour le train, en raison des caractéristiques de l'offre ferroviaire. En effet, l'offre ferroviaire peut être assez différente le matin du soir, en raison de la fréquence des lignes et du nombre de relations, mais aussi par des différences dans la structure des services, et le nombre de trains directs, semi-directs ou omnibus, qui impactent les temps de trajet.

Temps estimés de déplacements des navetteurs en voiture le matin et le soir (mn)

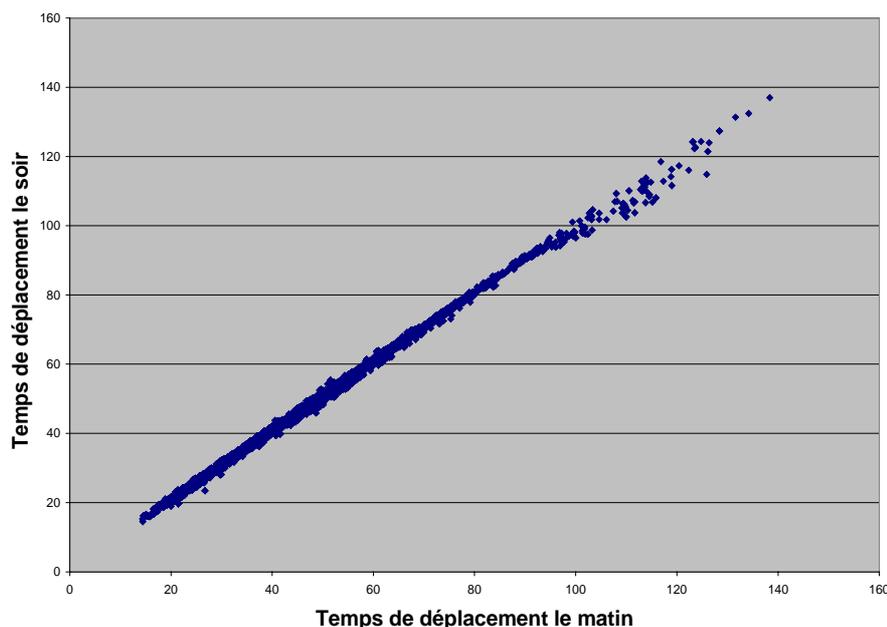


Illustration 8: Comparaison des temps de déplacement estimés des navetteurs en voiture le matin et le soir

Temps estimés de déplacements des navetteurs en voiture+train le matin et le soir

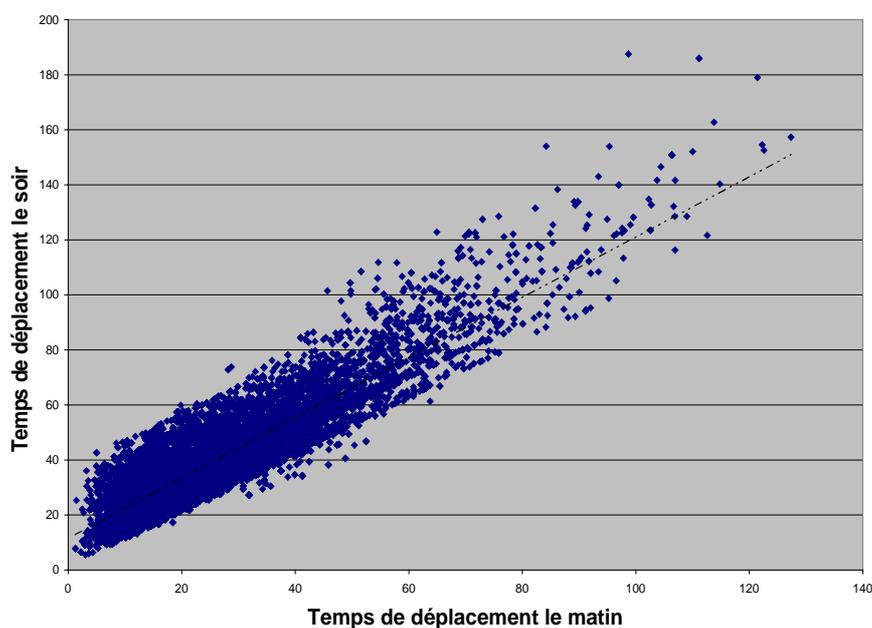


Illustration 9: Comparaison des temps de déplacement estimés des navetteurs en voiture+train le matin et le soir

On constate même que dans certains cas, l'alternative en transports collectifs n'est disponible que dans un seul sens :

Exemples :

1. Sur la liaison Aniche-Maubeuge, seul un départ le soir à 17 h est disponible. Après vérification SNCF, il faudrait partir à 6h15 pour arriver à 8h22 à Maubeuge. A ce niveau de temps de parcours, l'alternative est considérée comme non disponible.
2. Sur la liaison Lille-Tourcoing, seul un départ le matin avec arrivée à 9h est disponible. Après vérification, la solution acceptable pour le retour du soir serait de prendre le métro qui ne figure pas dans le réseau constitué.

5-4 - Résultats de la validation du modèle sur le Nord-Pas-de-Calais

Voiture	Recensement	Matin	Soir
<5km	137	134	134
5 to 10km	72127	71183	70318
10 to 20km	60793	59294	58632
20 to 50km	30862	30123	29571
50 to 100km	2710	2295	2300
100 to 200 km	833	562	525
200 to 500km	723	514	345
>500km	171	58	57
total	168356	164163	161883

Illustration 10 : Choix du mode voiture en fonction de la distance à vol d'oiseau

Voiture	Recensement	Matin	Soir
<5km	137	134	134
5 to 10km	72127	71183	70318
10 to 20km	60793	59294	58632
20 to 50km	30862	30123	29571
50 to 100km	2710	2295	2300
100 to 200 km	833	562	525
200 to 500km	723	514	345
>500km	171	58	57
total	168356	164163	161883

Illustration 11 : Choix du mode transports collectifs en fonction de la distance à vol d'oiseau

2 roues	Recensement	Matin	Soir
<5km	3	5	5
5 to 10km	2712	4889	4750
10 to 20km	1137	2678	2620
20 to 50km	331	742	721
50 to 100km	29	25	25
100 to 200 km	5	1	1
200 to 500km	8	0	0
>500km	3	0	0
total	4228	8340	8122

Illustration 12 : Choix du deux-roues en fonction de la distance à vol d'oiseau

Monte Carlo simulation	Modèle			
recensement	2 roues	voiture	TC	Total
2 roues	13%	75%	13%	4228
voiture	4%	89%	7%	168356
TC	6%	62%	32%	17230
Total	8352	164049	17413	82%

Illustration 13 : Simulation de Monte-Carlo pour la qualité de reconstitution du modèle

Il est probable que le sur-échantillonnage en Ile-de-France où la mobilité en deux-roues motorisés est plus importante que dans les autres régions, à cause de la congestion récurrente et de la très forte contrainte de stationnement, explique en grande partie ces différences. Il est probable également que les ménages d'Ile de France soient, pour la même raison, plus équipés en deux-roues motorisés. La disponibilité de cette variable dans les données du recensement aurait permis de l'introduire dans le modèle et sans doute d'en améliorer la qualité.

La simulation de Monte-Carlo ci-dessus indique cependant une reconstitution de 82% des choix effectués par les individus du recensement, ce qui peut être considéré comme un bon résultat. Ce bon niveau global de reconstitution dissimule cependant des performances très inégales d'un mode à l'autre. C'est ainsi que si le choix de la voiture est reconstitué à près de 90 %, en revanche l'utilisation du train n'est correctement reconstituée que dans environ un tiers des cas. Le bon niveau global de reconstitution est donc peu significatif en raison de la part écrasante de la voiture.

La validation par classe de distance indique une bonne reconstitution pour la voiture et les transports en commun jusqu'à une distance de 50km, en particulier avec l'offre multimodale du matin qui semble plus déterminante. Les résultats sont un peu moins bons pour les plus longues distances. Toutefois, lorsque les distances deviennent importantes, la fréquence des déplacements domicile-travail devient moins élevée, et l'individu peut même parfois disposer d'un logement à proximité de son lieu de travail.

Conclusion

Cette étude permet d'explorer les possibilités et limites de l'utilisation de l'enquête nationale déplacement pour la modélisation multimodale voyageurs à l'échelle régionale.

En synthèse, l'application du modèle sur les données du recensement montre que, d'une manière générale, les parts de marché de la voiture et des transports collectifs sont bien reconstituées. La part de marché des deux-roues est quant à elle fortement surestimée.

Les résultats des simulations de Monte-Carlo montrent que le modèle n'est pas suffisamment robuste pour analyser et simuler le choix modal à un niveau désagrégé, dans une approche de type benchmarking individualisé par exemple. Le modèle devrait préalablement être amélioré en retravaillant sur les déplacements de plus de 50 km pour lesquels le choix modal est mal reconstitué. Par contre, les résultats sur les parts de marché par classe de distance, laissent supposer que ce modèle pourrait être utilisé pour effectuer le partage modal de matrices agrégées de déplacements domicile-travail.

Même si peu de variables relatives aux caractéristiques du ménage ou de l'individu sont prises en compte dans les fonctions d'utilité, il pourrait être opportun de simplifier un peu le modèle pour éviter de devoir générer trop de sous-matrices. Dans le modèle, interviennent la motorisation, le genre, le fait d'être propriétaire ou non de son logement, le fait d'habiter dans une maison ou non et le nombre d'actifs du ménage, soit environ 50 catégories si l'on comptabilise toutes les combinaisons possibles.

L'équipement en deux-roues motorisés semble être déterminant dans le choix du mode, tout comme la gratuité dans les transports collectifs et les contraintes de stationnement. L'introduction de ces variables améliorerait sans doute de manière significative la modélisation. À défaut de disposer de ces données, une piste pourrait consister à élaborer des modèles simplifiés permettant de simuler ces trois variables, ce que l'Enquête Nationale Transports et Déplacements permet de faire.

La reconstitution de l'offre multimodale varie très sensiblement selon que l'on utilise l'offre du matin ou celle du soir. Au final, le sous-échantillon des déplacements régionaux entre le domicile et le lieu de travail par les transports collectifs est relativement faible. Si l'intérêt est de pouvoir calibrer un modèle avec l'offre multimodale réellement disponible au moment du déplacement, la faiblesse de l'échantillon peut hypothéquer la robustesse du modèle. La calibration de modèles directement à partir des données du recensement, ou du fichier des mobilités régulières de l'enquête nationale transports, et leur comparaison avec celui élaboré dans cette étude, pourrait également être riche d'enseignements. Enfin, ce travail pourrait être poursuivi à l'avenir en traitant d'autres motifs que le domicile-travail.

Références

Ben-Akiva, M. E. and Lerman, S. R. (1985)., Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. MIT Press, Cambridge, Ma.

Bierlaire, M. (2003). BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models , Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference, Ascona, Switzerland.

Bierlaire, M. (2008). An introduction to BIOGEME Version 1.6, biogeme.epfl.ch

Jacquot M., Robin FX, Tougard C.(2004), Accessibilité dans les aires urbaines, Proposition pour une approche normative des vitesses, CETE Normandie-Centre.

Palmier, P (2009). Construction d'un SIG du transport ferroviaire sous Transcad. Mode d'emploi. CETE Nord-Picardie - Réf 940w SETRA.

Palmier, P (2010). Musliw: Logiciel de calcul d'accessibilité multimodale. Mode d'emploi. CETE Nord Picardie - Réf 1040w. SETRA.

R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Torsten Hothorn, Kurt Hornik and Achim Zeileis (2006). Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. Journal of Computational and Graphical Statistics, 15(3), 651—674.

Zhan, F. B., and Noon, C. E. (1996) Shortest Path Algorithms: An Evaluation Using Real Road Networks. Transportation Science

Annexes

Annexe 1 – Tables de vitesses routières pour l'heure de pointe

Aires Urbaines dont le pôle urbain est					< 80000 hab	entre 80000 et 200000	> 200 000 hab
	Vocation	Code	Vitesse HC	CF	20%	40%	50%
Commune Centre	Autoroutier	1	65	0,00	53	41	35
	Principal	2	30	0,00	25	19	16
	Régional	3	25	0,00	20	16	14
	Local	4	20	0,00	16	13	11
Espace aggloméré hors commune centre	Autoroutier	5	70	0,60	64	57	53
	Principal	6	40	0,50	36	31	28
	Régional	7	30	0,30	26	21	19
	Local	8	20	0,15	17	13	12
Hors tâche urbaine	Autoroutier	9	130	0,67	126	121	118
	Principal	10	85	0,60	82	78	76
	Régional	11	70	0,55	67	64	62
	Local	12	60	0,50	57	54	52
Bretelles		13	60	0,50	54	47	42
Bacs		14	1	1	1	1	1

Annexe 2 : Constitution du réseau multimodal

1. Codification du réseau multimodal dans Musliw

Pour constituer un réseau multimodal utilisable par l'outil « Musliw » prenant en compte les trajets à pied, en voiture, en train et en transports collectifs, quel que soit l'ordre de leur enchaînement au sein d'un déplacement intermodal, il est nécessaire de respecter le format applicable aux réseaux.

Le fichier réseau utilisé est de type « Texte Délimité » avec « ; » comme délimiteur dans lequel une ligne correspond à un tronçon. Un tronçon est déterminé par ses identifiants de nœuds initiaux et finaux ainsi que par son identifiant de ligne

Les différents champs constituant un tronçon sont dans l'ordre :

- l'identifiant du nœud d'origine du tronçon, qui peut être un numéro ou une chaîne alphanumérique ;
- l'identifiant du nœud de destination du tronçon, qui peut être un numéro ou une chaîne alphanumérique ;
- le temps de parcours du tronçon, qui est exprimé en minutes, si le mode de transport est individuel (VP, marche à pied, vélo...), et conventionnellement fixé à -1, si le mode de transport est un transport collectif à horaires fixes, car il est dans ce cas défini à partir des heures de départ et d'arrivée ;
- la longueur du tronçon, ou « 0 » si la longueur réelle n'est pas disponible ;
- l'identifiant de ligne de transport en commun, éventuellement complété par l'identifiant de période :
 - Si l'identifiant de ligne est un entier strictement positif (> 0), le tronçon est de type transport collectif à horaires fixes;
 - Si l'identifiant de numéro de ligne est un entier négatif (< 0), le tronçon est alors de type transport individuel avec des temps de parcours définis par périodes. On identifie donc en plus la période durant laquelle le temps de parcours sera constant, par exemple:
 - 1 pour la période de pointe du matin
 - 2 pour la période de pointe du soir
 - 3 pour la période creuse de jour
 - 4 pour la nuit
 - 5 pour les dimanches et jours de fêtes
- identifiant de service.
 - Si le numéro de ligne est un entier positif, l'identifiant de service correspond à un numéro de service de la ligne (une heure de départ du terminus : ex le métro de la ligne 1 de 7h02 est un service)
 - Si le numéro de ligne est un entier négatif, l'identifiant correspond au numéro de plage horaire. Par exemple, pour la période creuse définie dans l'étude, il y a trois plages horaires (0h-7h, 9h-16h30 et 19h-0h). Chacune de ces plages horaires aura donc un numéro de service différent, mais le même numéro de ligne car le temps de parcours sera le même pour chacune des trois plages.
 - Si l'identifiant de service est un entier négatif, le mode de transport est individuel permanent, c'est-à-dire qu'il ne dépend pas des horaires et du calendrier. Le tronçon sera accessible 7/7, 365j/an et 24h/24 et parcouru toujours avec le même temps de parcours ;
- l'heure de départ du nœud d'origine: celle-ci est exprimée en minutes à partir de minuit, si le déplacement sur le tronçon est effectué en transport collectif à horaires fixes, et conventionnellement fixée à -1 si le mode de transport est individuel (VP, marche, vélo) et qu'on ne veut pas prendre en compte la variation des temps de parcours routiers en particulier selon les heures et/ou les jours ;
- l'heure d'arrivée au nœud de destination, qui est aussi exprimée en minutes à partir de minuit, s'il s'agit d'un tronçon de transport collectif à horaires fixes, et conventionnellement fixée à -1, si le mode de transport est

individuel (VP, marche à pied, vélo) ;

- le calendrier de circulation des trains, qui est représenté par une chaîne de n caractères, où n est la durée de la période exprimée en jours. La circulation du service pour chaque jour de la période est exprimée par « O » pour « circule » et « N » pour « ne circule pas ». Par exemple, un service qui ne circule que le 10^{ème} jour de la période, sera exprimé par la chaîne de caractères "NNNNNNNNNO". Cette chaîne détermine de la même manière, les jours de circulation pour les tronçons de type transport individuel dans lesquels on a la possibilité de prendre en compte les horaires et le calendrier. Elle est conventionnellement fixée à -1, si le mode de transport est individuel permanent (VP, marche, vélo) ;
- libellé du tronçon : le libellé est utile dans les fichiers résultats pour identifier les tronçons et les itinéraires par leur nom plutôt que par leurs seuls numéros de nœuds, de ligne et de service. La partie du libellé avant le premier « | » détermine généralement l'identifiant de ligne. L'utilisateur n'est pas limité en nombre de caractères ;
- type de réseau : le type de réseau (entier positif) peut être utilisé pour définir des paramètres de temps et de coûts variables selon le type de réseau (par exemple, un temps de correspondance de 5 minutes peut être attribué par défaut pour le type 0 (qui correspond aux trains TER, GL et TGV) et de 35 minutes pour les tronçons de type 1 (Eurostar ou aérien) afin de tenir compte de l'enregistrement). Il permet aussi de désactiver une partie du réseau.

2. Construction du calendrier ferroviaire par concaténation des périodes calendaires SNCF

L'utilitaire BDFER permet d'extraire des informations calendaires et horaires à partir du CDROM RIHO. Il fournit en sortie un fichier du réseau ferré dans un format directement utilisable dans Musliw. Toutefois, le calendrier utile doit être calé à partir des données de l'Enquête Nationale Transports Déplacements. Pour pouvoir décrire tous les déplacements présents dans l'ENTD, il a fallu prendre en compte 3 périodes d'horaires SNCF (CD SNCF-HOR) puisque l'ENTD a été réalisée sur une année complète, de fin Avril 2007 à fin Avril 2008. Les données de l'ENTD ont donc nécessité la construction d'un calendrier des circulations ferroviaires entre le 10 décembre 2006 et le 5 juillet 2008, qui a été obtenu par concaténation des 3 fichiers horaires de la SNCF, correspondant aux périodes de circulation suivantes :

- le 1^{er} semestre de l'année 2007 ;
- le 2^{ème} semestre de l'année 2007 ;
- le 1^{er} semestre de l'année 2008.

Dans BDFER, les numéros de lignes sont attribués indépendamment à chaque fichier, c'est à dire à chaque période. Aussi, pour éviter les doublons de numéros de ligne :

- les numéros de ligne de la première période ont été conservés tels quels ;
- ceux de la seconde période ont été augmentés de 20 000 ;
- ceux de la troisième période de 40 000.

3. Codification du réseau routier dans Musliw

Il s'agit d'un réseau avec prise en compte des horaires et du calendrier. Il a été réalisé à partir de la carte « VL » mentionnée précédemment. La vitesse de circulation diffère selon que l'on circule en période de pointe ou en heure creuse. Aussi le réseau est-il dédoublé pour prendre en compte la période de circulation. On adopte les conventions suivantes au niveau de l'identifiant de ligne :

Celui-ci est conventionnellement fixé à « -1 » pour la période de pointe. Cette période se découpe en deux plages :

- entre 7h et 9h, il s'agit de la plage n°1 (heure de pointe du matin) ;
- entre 16h30 et 19h, il s'agit de la plage n°2 (heure de pointe du soir).

Celui-ci est conventionnellement fixé à « -2 » pour la période creuse. Cette période se découpe en trois plages :

- entre 0h et 7h, il s'agit de la plage n°1 ;
- entre 9h et 16h30, il s'agit de la plage n°2 ;
- entre 19h et 24h, il s'agit de la plage n°3.

Le réseau est constitué de tous les arcs en respectant le sens de circulation. Les arcs à double sens figurent donc deux fois, une fois par sens, et les arcs en sens unique, une seule fois. Ce réseau est démultiplié autant de fois que de valeurs période*plage différentes.

Le calendrier de circulation constitué sera donc identique dans sa forme à celui des autres modes prenant en compte le calendrier, mais sans interdiction de circuler, c'est à dire qu'il n'est constitué que de « O » puisque les tronçons sont accessibles tous les jours de la semaine.

Afin que le réseau soit effectivement multimodal, il a de plus fallu connecter les gares au réseau « VL », ce qui permet de représenter des déplacements de rabattement en voiture au réseau ferroviaire. Pour cela, un tronçon a été créé entre chaque gare et le tronçon routier le plus proche, par projection orthogonale. Le tronçon sur lequel la gare a été projetée a ensuite été scindé en deux au point d'intersection pour maintenir la connectivité du graphe.

Ce travail a été réalisé sous TransCAD (quelques gares qui se superposaient aux nœuds du réseau « VL » ont été déplacées pour que les deux extrémités persistent dans le réseau final). Sur le connecteur réalisé, la vitesse a été arbitrairement fixée à 50 km/h. La distinction sur les connecteurs entre période de pointe et heure creuse n'a pas été retenue afin de ne pas alourdir inutilement le fichier réseau. La longueur du connecteur a été calculée automatiquement par le logiciel TransCAD.

4. Connexion des communes

Chaque commune est matérialisée par un point. On a autorisé deux modes de déplacement (à pied ou en voiture) à partir de (ou vers) ces communes jusqu'à la gare de départ ou d'arrivée. Le centre de chaque commune étant représenté comme un nœud du réseau routier, le rabattement en voiture depuis (ou vers) la gare est représentée comme un tronçon routier, et de ce fait intégrée au réseau routier. On considère qu'un rabattement à pied entre le centroïde de la commune et la gare (de départ ou d'arrivée) n'est crédible que s'il est inférieur à 30 minutes. Pour estimer le temps de rabattement, on applique à la marche une vitesse moyenne de 4km/h. Cependant, le réseau dont nous disposons qui a été conçu pour étudier les déplacements en voiture, n'est pas suffisamment fin pour calculer précisément le temps d'un rabattement piéton. Les distances prises en compte sont donc des distances à vol d'oiseau. Il a été décidé que seules les communes dont le centroïde était situé à moins de 30 minutes d'une gare seraient reliées à ces gares par le mode piéton.

5. Réseau urbain de Lille

Le réseau de transports en commun urbain de Lille étant déjà constitué, il fallait simplement le raccorder au réseau ferré. Pour cela, les identifiants des nœuds correspondant aux gares ont été remplacés par les codes uic des gares concernées. En effet, les seules possibilités de connexion entre le réseau urbain de Lille et le réseau « VL » sont matérialisées par les gares, ce qui signifie que le rabattement en voiture ne peut se faire qu'à une gare et pas sur une station de métro, tramway ou arrêt de bus. La correspondance entre les gares et les nœuds du réseau urbain s'établit rapidement à l'aide d'un SIG. Le calendrier du réseau urbain (limité à une semaine) a du être étendu sur la même période que celui du réseau ferré. On s'est également assuré que les liaisons piétonnes entre plusieurs gares au sein des grandes agglomérations étaient bien représentées (ex : entre les gares « Lille Europe » et « Lille Flandres »).

6. Orientation du réseau multimodal

Le réseau a été orienté afin de pouvoir imposer un ordre dans la succession des modes utilisés. On considère par exemple qu'un individu se rabattant sur la gare en voiture, terminera le trajet à pied à la descente du train, et inversement. La méthode utilisée pour atteindre ce but a été la création de réseaux séparés (voiture, piéton et train), la gare étant le seul moyen de passer de l'un à l'autre de ces réseaux. Les connecteurs reliant les gares au réseau voiture et les liaisons piétonnes entre gare et commune sont donc orientés. La mise en forme des réseaux séparés est effectuée par adjonction de caractères à l'identifiant du nœud ou au code INSEE de la commune :

Ainsi :

- on ajoutera « dv » à l'identifiant d'un lieu que l'on quitte ou que l'on atteint en voiture ;
- de même, on ajoutera le terme « dp » (départ piéton) à l'identifiant du lieu que l'on quitte à pied et « ap » (arrivée piéton) à celui du lieu que l'on atteint à pied ;
- l'origine et (ou) la destination peuvent être indiquées par l'identifiant du nœud de réseau (en mode voiture seulement) ou par la valeur numérique du code insee de commune (chaque centre de commune est matérialisé par un nœud du réseau). cependant, lorsque l'on utilise un code insee il faut le faire précéder du terme « ci » ;
- lorsque l'on souhaite partir ou arriver en gare, il suffira d'indiquer comme origine ou destination. le code uic de la gare suivi du terme « dv » ;
- en ce qui concerne le réseau tc de lille, il suffit d'ajouter « ul » devant l'identifiant. le réseau étant détaillé, aucun nœud ne représente un centre de commune. il faudra donc toujours indiquer « ul », suivi de l'identifiant du nœud. la prise en compte de la succession des modes se fera au niveau du connecteur à la gare.

7. Constitution de la matrice des déplacements pour le calcul des alternatives modales

La matrice représente la demande. Concrètement, elle regroupe l'ensemble des origines- destinations de l'ENTD, pour lesquelles on souhaite reconstituer l'offre routière et en transports en commun disponibles au jour et à l'heure des déplacements.

- le fichier matrice est de type « texte délimité » avec « ; » comme délimiteur ;

Les différents champs du fichier matrice sont dans l'ordre :

- le numéro du nœud d'origine : cela peut être n'importe quel nœud du réseau ;
- le numéro du nœud de destination : cela peut être n'importe quel nœud du réseau ;
- la demande : il s'agit du volume de la demande que l'on souhaite affecter entre le nœud d'origine et le nœud de destination ;
- le jour : indique le jour de départ ou d'arrivée souhaité. Ce nombre se réfère à la période définie pour chaque service dans le fichier « Réseau ». Le premier jour de la période est le jour 0 et correspond au premier jour de l'ENTD. Ainsi, le jour 3 correspond au 4ème jour de l'ENTD ;
- l'heure : indique l'heure de départ ou d'arrivée souhaitée, exprimée en minutes écoulées depuis minuit ;
- le type d'heure souhaitée :
 - « d » pour départ : le calcul se fera à partir du nœud d'origine en partant au jour et à l'heure indiqués et en recherchant de manière itérative les différents modes et itinéraire utilisés vers le nœud de destination par un algorithme de type « plus court chemin » tenant compte des horaires et minimisant le temps généralisé.
 - « a » pour arrivée : le calcul se fera à partir du nœud de destination. Au jour et à l'heure indiqués, on

recherche de manière itérative, à rebours, les différents modes et itinéraires utilisables depuis le nœud d'origine.

8. Utilisation du type du réseau

Musliw permet de désactiver certaines parties du réseau que l'on ne souhaite pas utiliser pour le calcul. Cette manipulation permet d'alléger le réseau et de réduire le temps de calcul. Pour cela, il faut avoir attribué une valeur de « type de réseau » aux parties de réseau que l'on souhaite désactiver.

Par exemple, pour un déplacement effectué depuis Tergnier (code INSEE= "02738") avec un départ en voiture, vers Paris avec une arrivée à pied, les deux premiers champs de la matrice, correspondant à l'origine et à la destination seront « ci2738dv;ci75000ap ; » et "ci2738dp ; ci75000dv ; » dans le cas inverse, où:

- ci signifie centroïde d'injection ;
- dp signifie départ piéton ;
- dv départ voiture ;
- le numéro correspond au code INSEE de la commune sans le « 0 » initial pour les départements (01 à 09).

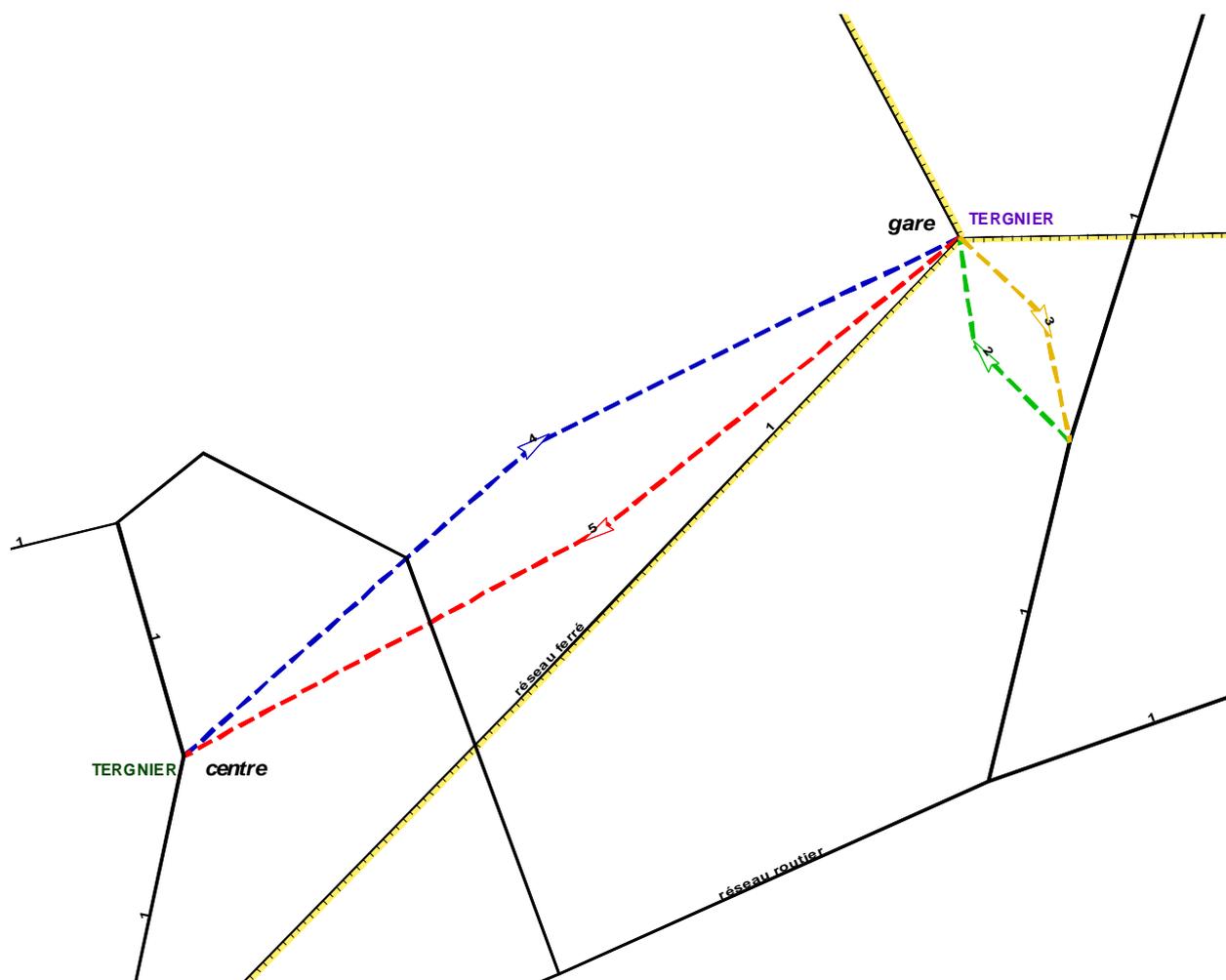
Si le départ n'est pas une commune mais un nœud du réseau, la méthode est la même, mais en omettant de mettre « ci » en début d'identifiant.

Voyons un autre exemple : pour un déplacement effectué au départ du nœud « 5400 » en voiture, avec une arrivée à Tergnier à pied, les champs deviennent « 5400dv;ci2738ap ; » et "ci2738dp ;5400dv; " dans le cas inverse.

Enfin, un trajet effectué avec le seul mode voiture pourra se faire en indiquant « dv » au départ et à l'arrivée.

Ex : « ci59000dv ;ci75000dv ; » ou « 5400dv ;c175000dv »

Pour désactiver une partie du réseau individuel, il suffit de rentrer un coefficient de pondération, nommé « cmap », de valeur négative. S'il s'agit d'un réseau à horaires, il faudra entrer un coefficient de pondération « cveh » négatif.

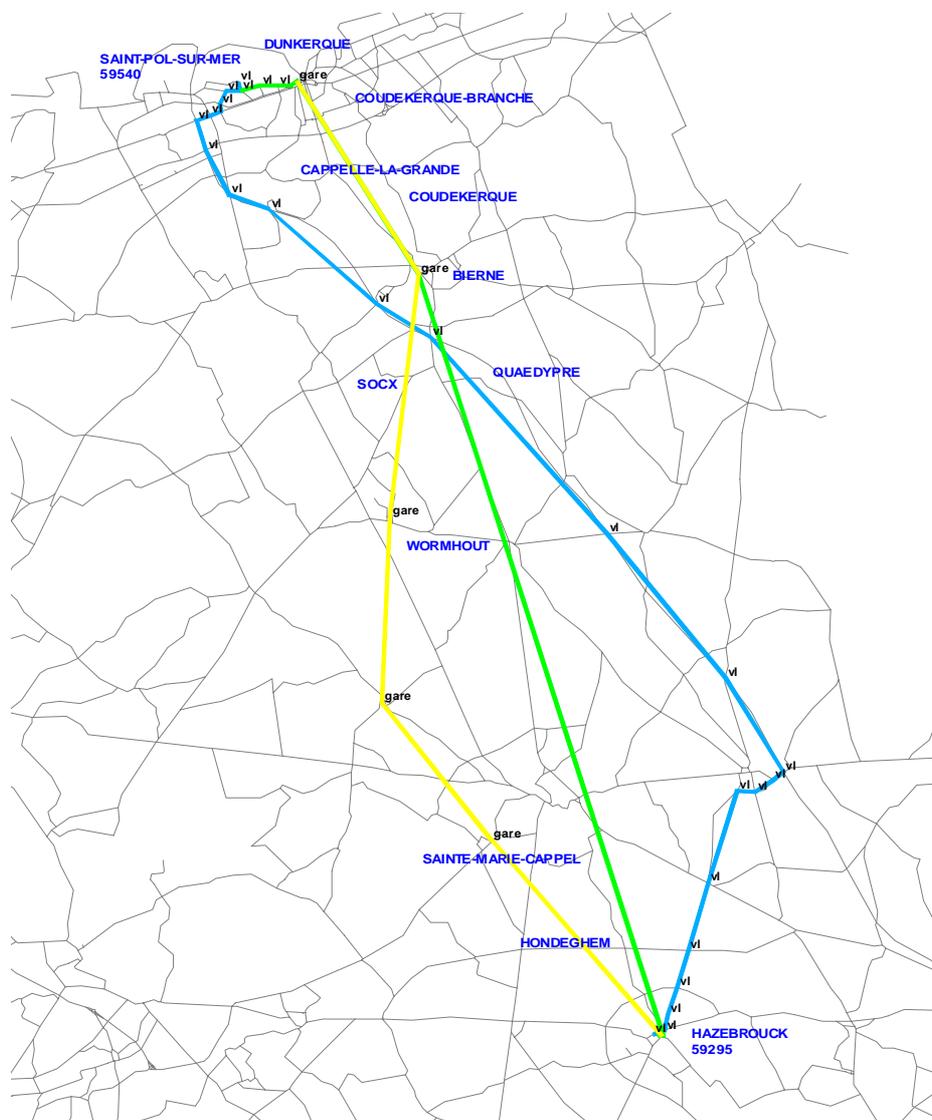


Ainsi :

- pour un trajet effectué uniquement en voiture, on désactivera les types 2, 3, 4 et 5 ;
- pour un départ en voiture et arrivée à pied, on désactivera les types 3 et 4 ;
- pour un départ à pied et arrivée en voiture, on désactivera les types 2 et 5.

9. Visualisation de l'itinéraire

En récupérant les coordonnées des différents nœuds de réseau, il est possible sous TransCAD de visualiser l'itinéraire réalisé. Il faut pour cela récupérer le fichier des chemins restitué en sortie par Musliw et affecter aux nœuds « i » et « j » leurs coordonnées.



Un exemple du résultat obtenu est visualisé ci-dessus. Il s'agit de la liaison entre St-Pol-sur-Mer (59540) et Hazebrouck(59295) avec 3 itinéraires possibles, qui sont représentés par la matrice suivante :

- ci59540dv;ci59295ap;1;497;1065;d
- ci59540dp;ci59295dv;1;497;1065;d
- ci59540dv;ci59295dv;1;497;1095;d

10. Méthodologie de calcul des vitesses routières

Le réseau routier est découpé en tronçons. Pour calculer l'accessibilité à un pôle ou à une commune, on doit définir pour chaque tronçon le temps de parcours du tronçon et, de ce fait, la vitesse réelle affectée à chaque tronçon.

Cette vitesse fluctue suivant le type de route (autoroute, route à 2 chaussées...), la situation géographique (milieu urbain, rase campagne), la densité du milieu urbain et la géométrie de la route (pour un même type de route, la vitesse sera moins élevée sur une route sinueuse que sur une route en ligne droite).

La méthode retenue a été de définir des vitesses théoriques en milieu urbain et en rase campagne pour les différents types de route. La vitesse sur un tronçon est donc calculée au prorata de la répartition estimée de la distance en milieu urbain et en rase campagne, pondérée par les coefficients relatifs au pôle urbain et à la sinuosité.

$$V_{hc} = C_{LUA} \cdot C_s \cdot \left(V_{0_{urb}} \cdot \frac{l_{urb}}{l_{tot}} + V_{0_{non\ urb}} \cdot \frac{l_{non\ urb}}{l_{tot}} \right)$$

urb = en agglomération

non urb = hors agglomération

LUA = aire urbaine locale

S = sinuosité

hc = heures creuses

Chaque tronçon a été doté d'un identifiant de type de vitesse obtenu par concaténation des champs décrivant le type de route, séparés chacun par un ' ; '.

Ces champs sont les suivants :

- vocation ;
- classification ;
- sens ;
- nombre de chaussées ;
- nombre de voies ;
- état.

Les modalités de ces différentes variables sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Puis, on a défini pour chaque type de tronçon une vitesse théorique en urbain et en rase campagne. Les vitesses théoriques obtenues ont été récapitulées dans les tableaux ci-dessous.

Etat	Vocation	Classification	Nombre de voies	Vitesse Rase campagne	
Revêtu	Type autoroutier	Autoroute		120	
		Autre que autoroute		100	
	Bretelle			50	
	Liaison principale	Autoroute		70	
	Liaison régionale	Autre que autoroute	1 voie ou 2 voies étroites		60
			2 voies larges		70
			3 voies		80
			4 voies		90
			Plus de 4 voies		90
			Sans objet		80
	Liaison locale	Autre que autoroute	Autoroute		70
			1 voie ou 2 voies étroites		50
			2 voies larges		60
			3 voies		60
			4 voies		60
			Plus de 4 voies		60
Non revêtu				10	

Tableau 7: Principes de codification des vitesses en rase campagne

Les vitesses des liaisons locales, au départ identiques à celles des liaisons principales et régionales, ont été modifiées à la suite de tests et de validations faits sur plusieurs origines-destinations. On trouvera ci-dessous un tableau identique pour les vitesses en urbain. On n'a cependant conservé qu'une partie des vitesses théoriques calculées, car les temps obtenus ne reflétaient pas toujours la réalité (densité de trafic, feux rouges...).

Etat	Vocation	Classification	Vitesses en urbain
Revêtu	Type autoroutier	Autoroute	90
		Autre que autoroute	80
	Bretelle		80
	Liaison principale, régionale ou locale	Autoroute	50
Non revêtu			10

Tableau 8 : Principes de codification des vitesses en milieu urbain

Pour les autres catégories de tronçons, la vitesse a été définie de manière arbitraire à partir de la taille de l'agglomération (RGP99).

Taille	Vitesse en urbain
Agglo >= 10 000 habitants	25
Agglo < 10 000 habitants	35

Tableau 9 : Principes de codification des vitesses, hors cas précédents

Les vitesses théoriques ont été modifiées afin de ne pas être supérieures aux limitations de vitesses correspondant à chaque type de route.

Les vitesses sur les axes de type autoroutier autour de Lille, Dunkerque, Valenciennes, Maubeuge, Lens, Amiens, Beauvais ainsi que sur les axes tels que l'A25 et la RN 455 entre Douai et Denain, ont également été modifiées manuellement, suite à des recueils de temps de parcours effectués à l'aide d'un GPS embarqué.

Un coefficient correctif de 0,9 a en outre été appliqué aux vitesses des tronçons situés « en agglomération », c'est-à-dire à l'intérieur des panneaux d'entrée d'agglomération.

Par ailleurs, la sinuosité de chaque tronçon a été calculée à l'aide d'un outil SIG qui analyse la géométrie de la route. Un coefficient correctif est appliqué aux vitesses en fonction de la sinuosité du tronçon.

Indicateur de sinuosité	Coefficient de sinuosité
Inférieure ou égale à 5	1
Comprise entre 5 et 10	0,9
Strictement supérieure à 10	0,8

Tableau 10 : Coefficients de sinuosité appliqués aux vitesses en fonction de l'indice de sinuosité du tronçon

Les vitesses ont également été modifiées en fonction des horaires. Pour calculer les vitesses en heures de pointe, nous nous sommes inspirés de la méthode du CETE Normandie-Centre, qui se base sur :

- le type de voirie ;
- le degré de centralité ;
- la taille de la ville (Cf. annexe 1).

On intègre enfin un coefficient de charge ou de saturation dans le calcul des vitesses. Nous avons retenu les 113 aires urbaines les plus importantes dont nous connaissons les taux de charges (Cf. annexe 3). Toutes les communes de ces aires urbaines ont été affectées du taux de charge de l'aire urbaine avec une valeur différente pour les villes-centres.

Chaque tronçon inclus dans une de ces aires urbaines a donc été doté d'un coefficient de saturation correspondant au taux de charge habituellement observé dans l'aire urbaine (20, 40, ou 50 %).

Le coefficient de charge des tronçons non entièrement inclus dans une aire urbaine référencée a été fixé à zéro.

Annexe 3 – Taux de charge selon les aires urbaines

Libelle	PSDC99	PSDC99 PU	Tx. charge
PARIS	11174743	9644507	50%
MARSEILLE-AIX	1516340	1349772	50%
LYON	1648216	1348832	50%
LILLE	1143125	1000900	50%
NICE	933080	888784	50%
TOULOUSE	964797	761090	50%
BORDEAUX	925253	753931	50%
NANTES	711120	544932	50%
TOULON	564823	519640	50%
DOUAI-LENS	552682	518727	50%
STRASBOURG	612104	427245	50%
GRENOBLE	514559	419334	50%
ROUEN	518316	389862	50%
VALENCIENNES	399677	357395	50%
NANCY	410508	331363	50%
METZ	429588	322526	50%
TOURS	376374	297631	50%
SAINT-ETIENNE	321703	291960	50%
MONTPELLIER	459916	287981	50%
RENNES	521188	272263	50%
ORLEANS	355811	263292	50%
BETHUNE	268439	259198	50%
CLERMONT-F.	409558	258541	50%
AVIGNON	290466	253580	50%
LE HAVRE	296773	248547	50%
DIJON	326631	236953	50%
MULHOUSE	271024	234445	50%
ANGERS	332624	226843	50%
REIMS	291735	215581	50%
BREST	303484	210055	50%
CAEN	370851	199490	40%
LE MANS	293159	194825	40%
DUNKERQUE	265974	191173	40%
PAU	216830	181413	40%

Libelle	PSDC99	PSDC99 PU	Tx. charge
BOURGES	123584	91434	40%
CHERBOURG	117855	89704	40%
CHARTRES	130681	87800	40%
COLMAR	116268	86832	40%
SAINT-BRIEUC	121237	85849	40%
FREJUS	83840	83840	40%
ARRAS	124206	83322	40%
ST-CHAMOND	84925	82535	40%
BELFORT	104962	81524	40%
ROANNE	104892	80272	40%
BEZIERS	124967	77996	20%
TARBES	109892	77414	20%
QUIMPER	120441	77256	20%
ALES	89390	76159	20%
ELBEUF	86162	75663	20%
CHALON-SUR-S	130825	75447	20%
COMPIEGNE	108234	69903	20%
AGEN	94659	69488	20%
SAINT-QUENTIN	103781	69287	20%
MENTON-MONACO	66692	66410	20%
ALBI	85960	66231	20%
SETE	66177	66177	20%
NIORT	125594	66092	20%
CHATEAUROUX	90573	66082	20%
BLOIS	116544	65989	20%
CHARLEVILLE-M	107777	65727	20%
BRIVE-LA-G.	89260	65411	20%
PERIGUEUX	91585	63539	20%
LAVAL	102575	62729	20%
EPINAL	89544	62504	20%
MONTLUCON	78477	60993	20%
VICHY	80194	60877	20%
EVREUX	97177	60108	20%
VANNES	118029	60062	20%

BAYONNE	213969	178965	40%
LIMOGES	247944	173299	40%
PERPIGNAN	249016	162678	40%
AMIENS	270870	160815	40%
NIMES	221455	148889	40%
SAINT-NAZAIRE	172379	136886	40%
ANNECY	189674	136815	40%
BESANCON	222381	134376	40%
THONVILLE	156433	130480	40%
TROYES	172497	128945	40%
POITIERS	209216	119371	40%
VALENCE	167155	117448	40%
LORIENT	186144	116174	40%
LA ROCHELLE	171214	116157	40%
CHAMBERY	131280	113457	40%
MONTBELIARD	180064	113059	40%
GENEVE-ANNEM.	212248	106673	40%
CALAIS	125584	104852	40%
ANGOULEME	153781	103746	40%
MAUBEUGE	117470	99900	40%
CREIL	98277	97455	40%
FORBACH	104074	92845	40%
BOULOGNE-S-M	135116	92704	40%

CHALONS-EN-C.	79280	60013	20%
VILLEFRANCHE/S	63632	59261	20%
BEAUVAIS	100733	59003	20%
BERGERAC	72891	58991	20%
THONON-LES-B.	70154	58834	20%
ARMENTIERES	58706	58706	20%
NEVERS	100556	57515	20%
BOURG-EN-B.	101016	57198	20%
CLUSES	61109	56906	20%
MONTAUBAN	75158	56734	20%
SAINT-OMER	93516	56425	20%
ARCACHON	54204	54204	20%
CHOLET	74055	54204	20%
BASTIA	76439	54075	20%
MONTARGIS	66299	53590	20%
HAGUENAU	59894	53274	20%
CASTRES	61760	53082	20%
ARLES	53057	53057	20%
AJACCIO	77287	52880	20%
ROMANS-SUR-I.	65933	52715	20%
SAINT-MALO	70303	50675	20%
SALON-DE-PR.	50532	50017	20%

Glossaire

ENTD : Enquête Nationale Transports et Déplacements.

CETE : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement.

MUSLIW : Logiciel de calcul d'accessibilités multimodales développé par le CETE Nord-Picardie.

BIOGEME : Logiciel de modélisation des choix discrets développé par l'Etablissement Public Fédéral de Lausanne.

Utilité : Concept de la théorie économique représentant l'avantage qu'un individu retire d'une aménité. La notion d'utilité suppose que des avantages de différentes natures (temps, argent, confort, etc.) sont commensurables, donc également monétarisables, ce qui permet de donner une représentation opérationnelle du processus de choix.

Choix discrets : Désigne des modèles dans lesquels on suppose qu'un individu choisit entre plusieurs alternatives (par exemple pour le moyen de transport permettant de se rendre d'un point à un autre) à partir d'une règle de décision pré-déterminée. La règle de décision utilisée dans les modèles de choix discrets usuels est la maximisation de l'utilité. On attribue en effet à chaque alternative une utilité que l'on suppose liée à la fois aux attributs de l'alternative, mais aussi aux caractéristiques de l'individu (socio-démographiques, localisation résidentielle...). L'individu choisit alors l'alternative qui lui permet de maximiser son utilité. On peut aussi complexifier ces modèles en supposant qu'au sein d'un groupe déterminé, des attitudes ou des préférences spécifiques à l'individu influent sur le choix de mode. Quelle que soit la complexité du modèle et les facteurs pris en compte, les choix comportent toujours une part d'inconnu, sans compter de possibles erreurs de mesure. Cet inconnu est représenté à travers un terme d'erreur aléatoire représentant l'écart entre l'utilité estimée d'après une formule déterministe et l'utilité "réelle", que l'on suppose suivre une certaine distribution statistique (logistique pour les modèles logit, normale pour les modèles probit). Les utilités peuvent alors être assimilées à des variables aléatoires et le choix d'une alternative n'est pas déterministe mais seulement probabiliste. On peut alors calculer la probabilité de choix de telle ou telle alternative dès lors que l'on connaît les caractéristiques pertinentes de ces alternatives et celles des personnes en situation de choix.

Spécification : désigne la forme mathématique du modèle.

Estimation ou calibrage : Une fois déterminée la forme mathématique du modèle (par défaut elle sera linéaire), il faut déterminer la valeur de ses paramètres. On utilise pour cela des données de comportements réels, ici l'Enquête Nationale Transports et les alternatives reconstituées par Musliw, comme dans une régression linéaire. On estime généralement la valeur des paramètres maximisant la probabilité des choix effectivement constatés dans l'échantillon. C'est la procédure dite du maximum de vraisemblance.

EGT : Enquête Globale Transports.

INRETS : Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité.

IFSTTAR : Institut Français des Sciences et Techniques des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux.

RIHO : logiciel contenant l'ensemble des horaires de train de la SNCF.

BD FER: base de données développée par le CETE Nord-Picardie permettant de convertir les horaires SNCF extraites de RIHO en une base ACCESS.

ROUTE 500 : Référentiel géographique de l'IGN décrivant le réseau routier sur le territoire national.

IRIS : Ilôts Regroupés pour l'Information Statistique. Découpage infra-communal du territoire. La France compte environ 16 000 IRIS.

MOVIKEN : Société commercialisant des systèmes d'information sur les transports. Les données MOVIKEN ont été utilisées pour enrichir la base de l'ENTD d'informations sur l'accessibilité aux transports.

KISH : dans l'ENTD, nom de la personne tirée au sort au sein du ménage et interrogée sur sa mobilité de la veille et du dernier week-end, ainsi que sur ses voyages à longue distance au cours des trois derniers mois.

SAS : logiciel de calcul statistique et de gestion de bases de données utilisé pour traiter les données de l'ENTD.

K_DEPLOC, K_VOYAGE, K_VOY_DEPDET, TEG, Q_TCM_INDIVIDU, Q_TCM_MENAGE : dans la base de données de l'ENTD, noms des tables décrivant respectivement les déplacements locaux, les voyages à longue distance, les déplacements constituant les voyages à longue distance, les déplacements réguliers vers le lieu de travail, d'études ou de garde des enfants, les caractéristiques des individus et des ménages enquêtés.

Captivité: situation d'individus qui, du fait de leur situation personnelle ou de leur environnement, ne peuvent utiliser qu'un seul moyen de transport. Ainsi, une personne qui ne dispose pas d'accès aux transports collectifs à proximité de son domicile pourra être contrainte d'utiliser la voiture. Inversement, une personne qui ne peut acheter de voiture en raison de ressources financières limitées sera contrainte à l'utilisation des transports en commun ou des modes actifs. L'identification préalable des situations de captivité permet de définir l'échantillon des personnes ayant réellement le choix de leur mode de déplacement.

TER : Transport Express Régional. Transport régional de voyageurs par le fer.

RER : Réseau Express Régional. Le réseau de transport régional de l'Ile-de-France.

OD : Origine-Destination. Permet une désagrégation géographique des flux de transport à un niveau plus ou moins fin. La connaissance des origines et destinations des déplacements à un niveau suffisamment fin est nécessaire pour pouvoir reconstituer l'offre multimodale pertinente, c'est-à-dire correspondant aux besoins de déplacements des usagers.

Affectation : utilisation de modèles de choix discrets calibrés sur des données réelles, pour répartir les voyageurs d'une OD, pour un mode déterminé, entre plusieurs itinéraires concurrents. Dans les modèles à quatre étapes, l'affectation suit les phases de génération (trafic émis compte tenu des caractéristiques de la population, de l'emploi et de l'offre de transport), de distribution (répartition entre plusieurs destinations) et de choix modal (répartition entre plusieurs modes).

UIC : Code unique de la gare répertoriée par l'Union Internationale des Chemins de Fer.

SoeS : Service de l'Observation et des Statistiques du Ministère du Développement Durable.

Arbres de segmentation dynamique : algorithme permettant de déterminer de manière itérative les critères les plus pertinents de segmentation d'une population en fonction de la variable d'intérêt (ici le choix modal).

BIOSIM : volet de BIOGEME consacré à la simulation. Après estimation d'un modèle de choix discret, permet d'appliquer le modèle à un échantillon représentatif d'une population déterminée pour simuler les probabilités de choix des différentes alternatives, et le cas échéant affecter des choix aux individus par tirages aléatoires à partir des probabilités estimées. Le partage modal peut ensuite être calculé par moyenne des probabilités sur l'échantillon.

Migrations alternantes : déplacements entre le domicile et le lieu de travail fixe extérieur au domicile lorsque ce dernier est situé dans une autre commune que celle du lieu de résidence.

TRANSCAD : Logiciel de modélisation des transports.

[1] Le logiciel RIHO est un logiciel vendu dans le relais H des gares SNCF qui recense l'ensemble des horaires SNCF et permet de préparer ses déplacements en train hors connexion internet.

[2] L'outil BDFER est un logiciel conçu par le CETE Nord-Picardie qui permet de lire les données présentes dans le CDROM des horaires SNCF et de les convertir en une base de données Microsoft Access.

[3] ROUTE500 est un référentiel géographique de l'IGN qui décrit 500 000 km de routes sur le territoire national. Il prend en compte le réseau principal et secondaire. Il décrit relativement bien le réseau routier en rase campagne, mais est très peu détaillé en agglomération.

[4] Le mode principal dans l'ENTD est définie comme le mode du trajet le plus long

[5] Le code UIC de la gare est un identifiant unique de référence de la gare répertoriée par l'UIC (Union Internationale des Chemins de Fer). Ce code est composé d'une première partie identifiant le pays (87 pour la France)

[6] Réalisée avec le logiciel « R ».

Rédacteurs :
Patrick PALMIER (CETE Nord-Picardie) et Richard GRIMAL (Sétra)

Contact technique :
Richard GRIMAL
Téléphone : 33 (0)1 60 52 32 27
mél : richard.grimal@developpement-durable.gouv.fr



Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
110, rue de Paris - SOURDUN – BP 124 – 77487 PROVINS Cedex – France
téléphone : 33 (0)1 60 52 31 31 – télécopie : 33 (0)1 60 52 31 69

Document consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- Internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- Intranet (Réseau ministère) : <http://intra.setra.i2>

*Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable du Sétra devra être demandé.
© 2012 Sétra – Référence : 1231w – ISRN : EQ-SETRA--12-ED21--FR*

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
du MEDDE