UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ

ÉCOLE DOCTORALE « LANGAGES, ESPACES, TEMPS, SOCIÉTÉS »

Thèse en vue de l'obtention du titre de docteur en

GÉOGRAPHIE

MODÉLISATION DE LA MOBILITÉ
LA GÉNÉRATION DE TRAFIC À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

Présentée et soutenue publiquement par

Frédéric AUDARD

Le 8 décembre 2006

Sous la direction de M. le Professeur Pierre FRANKHAUSER,

Membres du Jury :

Thierry BROSSARD, Directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté
Pierre FRANKHAUSER, Professeur à l'université de Franche-Comté
Dominique MIGNOT, Directeur de recherche au CNRS, LET, Vaulx-en-Velin
Cécile TANNIER, Chargée de recherche au CNRS, université de Franche-Comté
Christiane WEBER, Directrice de recherche au CNRS, université Louis Pasteur, Strasbourg

Remerciements

Les remerciements, dans le cadre d'une telle réalisation, sont l'occasion de lier les personnes importantes, professionnellement et personnellement, qui ont permis par leur participation ou leur soutien l'accomplissement de ce travail.

A Monsieur Pierre Frankhauser, Professeur à l'Université de Franche-Comté, qui au-delà de m'encadrer, a su me faire confiance et m'encourager tout au long de ce travail.

A Cécile Tannier, chargée de recherche au CNRS, qui m'a soutenu et a su éclairer plus d'une fois mon chemin par ses conseils tout au long de ce travail. Pour ton dynamisme et ta rigueur, je ne saurai jamais assez te remercier.

A Dominique Mignot, directeur adjoint du LET, pour me faire l'honneur d'être le président de mon jury.

A Christiane Weber, directrice de recherche au CNRS et Thierry Brossard, directeur de recherche au CNRS, pour avoir tous deux accepté de prendre part à mon jury.

A Zora Meyer, pour m'avoir donné l'opportunité de me lancer dans ce travail et m'avoir laissé une grande autonomie.

* *

*

A toutes les personnes du laboratoire ThéMA, qui sont devenues, au cours du temps, plus que de simples collègues.

A Arnaud Piombini, et Florian Tolle, mes compagnons de thèse, qui, des rivages en carton de Catane aux confins virtuels du Kamchatka ont su m'apporter leur enthousiasme et leur soutien. Ces quatre années passées au sein du laboratoire ThéMA ont été ponctuées de moments heureux, souvent grâce à vous deux.

A Gilles Vuidel, pour avoir su traduire en lignes de code les chemins tortueux de mon cerveau et avoir supporté mes excentricités en ces durs mois de rédaction.

A Jean-Christophe Foltête, pour ses conseils statistiques, pour son humour et sa grande qualité de partenaire pongiste.

A Hélène Houot, pour ses conseils et pour avoir, tout au long de ce travail, porté sur moi un regard chargé de bienveillance.

A Armelle Kaufmant, ingénieur d'étude cartographe, pour avoir guidé le daltonien que je suis sur la piste des couleurs et pour m'avoir apporté son constant enthousiasme.

A Aurélie Coig, pour son efficacité au travail et son indéfectible patience à supporter mes frasques.

A tous mes collègues, d'hier et d'aujourd'hui, pour le soutien, les discussions, et les rigolades qui ont permis l'aboutissement de ce travail notamment Emmanuel Faivre qui m'a plus d'une fois guidé sur la voie de la recherche, ainsi que Guillaume Girerd, Clément Billet, Catherine Caille, Sébastien Grandjean, Karima Askassay, Igor Agbossou, Sébastien Nageleisen et Samy Youssoufi.

Merci à l'ensemble du personnel du laboratoire ThéMA, qui a su constituer un cadre idéal de travail pour la réalisation d'une thèse.

A Didier Josselin, Chargé de recherche au CNRS, pour avoir rendu cette thèse possible, pour m'avoir fait comprendre tant de choses, pour avoir, en réalité, fait de moi un géographe, je ne sais comment t'exprimer mon immense gratitude.

* *

*

A mes parents, pour avoir relu ces indigestes travaux, pour leur soutien, leur présence indéfectible, pour m'avoir appris à être curieux de tout et pour avoir développé mon esprit critique.

A Aude, pour avoir partagé tant de moments de doute.

A mes amis, Bayou, Emilie, Aurélien, Léonie, Tibo, Sandrine, Olive, Adèle, Tony et Anne-Laure dont la présence a souvent été réconfortante, dans les moments parfois difficiles de ces quatre années passées.

A Caroline, ma Doudouce, pour ton éternel sourire, pour ta patience à toute épreuve, et pour ton aide précieuse dans ce travail.

Plus jamais la terre nue, seule à seul, affrontant le langage désert

Mirò

Complexité : Mot commode pour masquer le renoncement à l'analyse scientifique, au profit de la globalisation et du discours incontrôlable

Roger Brunet
Les mots de la Géographie

Introduction générale

La mobilité quotidienne évolue en permanence, s'étale dans le temps et l'espace. Les distances des parcours s'allongent, les horaires de la mobilité se désynchronisent de sorte que les marges journalières ou hebdomadaires ne constituent plus la norme temporelle des déplacements. Dans ce contexte, la gestion des services de transport public change, passe d'un niveau d'échelle à un autre, se décentralise nationalement et s'élargit localement.
De plus, le contexte politique européen change la donne en matière de gestion de transport, principalement en ce qui concerne le transport ferroviaire. L'ouverture des marchés a favorisé une gestion de l'infrastructure ferroviaire dissociée de son exploitation ; et, dans ce cadre, la régionalisation a facilité cette séparation. Enfin, la situation financière de la Société Nationale de Chemins de fer Français (SNCF) a certainement joué un rôle favorable à cette décentralisation.
La Région se voit donc devenir le nouvel échelon des mobilités, pour leur gestion, comme pour ce qui relève de la pratique des individus.

Ces transferts de compétences posent aux Régions des problèmes de gestion inconnus jusqu'alors. Géré par le passé dans un souci de rentabilité, le transport en commun régional ferroviaire, étendu aux transports par cars, pose de réelles interrogations en tant que service public. Comment desservir au mieux l'ensemble du territoire et estomper les inégalités territoriales ? Comment coordonner les services de transport public du territoire régional, qu'ils soient attachés à une agglomération ou à un département ?
Notre projet procède de ces préoccupations et prend part aux réflexions sur la gestion des services de transports régionaux.

Une géographie tournée vers des problématiques concrètes

Notre recherche s'inscrit donc dans un contexte spécifique de transfert de compétences en gestion des transports. Les Régions administratives françaises se sont vu confier, en 2000, la gestion financière et organisationnelle du transport régional de voyageur. Face à ces nouvelles responsabilités, la Région de Franche-Comté, qui constitue notre aire d'étude, a décidé la mise en place d'un modèle de simulation et de prévision de la mobilité à l'échelle régionale.

Ce travail se pose donc résolument comme appliqué par son inscription au sein de cette problématique de gestion territoriale concrète. Nos années de thèse ont d'ailleurs été rythmées par des échanges avec le service de gestion des transports du conseil régional franc-comtois. Rythmées en fonction de certains besoins formulés par les décideurs locaux, mais également en raison de la disponibilité de certaines données dont la production a parfois retardé certaines étapes de notre travail.

La génération de trafic, une étape négligée de la modélisation de la mobilité

Bien qu'inscrit dans la modélisation de la mobilité régionale, notre travail ne couvre qu'une partie de ce vaste problème. Nous nous sommes concentré sur une étape de la modélisation de la mobilité, négligée jusqu'ici dans son approche géographique. Il s'agit de la modélisation du processus de choix à l'origine du déplacement effectué par l'individu. Bien que restreinte, cette problématique conditionne l'ensemble des travaux effectués par la suite sur la compréhension même du déplacement.
Jusqu'ici traitée sous l'angle de l'économie des transports, la modélisation de la génération de trafic occultait une étape importante de sa conception, purement géographique. Il s'agit du zonage de l'aire d'étude dont dépend la quantification des déplacements. Nous nous proposons ici de réaliser dans sa totalité la modélisation de l'étape de génération de trafic, de la compréhension et la délimitation de notre périmètre d'étude, à l'élaboration d'un zonage pertinent en fonction de notre problématique de gestion, en passant par la quantification des déplacements.

Choix méthodologiques pour la modélisation de la mobilité

La mobilité de personnes apparaît tout d'abord comme phénomène social, mais s'inscrit également dans l'espace en tant que phénomène géographique. Dans ce sens, parler de mobilité sans une approche interdisciplinaire ne consiste qu'en une réduction du problème.
Bien qu'ancré résolument dans la discipline géographique, c'est donc sous l'angle de la pluridisciplinarité que nous avons décidé de construire ce travail. Plus qu'une simple volonté, c'est véritablement un principe de recherche que nous avons tenté de développer au long de ces années de recherche, par des collaborations au sein de groupes de recherche mêlant économistes, géographes et sociologues, et par l'application de méthodologies issues d'autres courants disciplinaires, qu'il s'agisse de l'économie des transports, voire de disciplines théoriquement plus éloignées du monde géographique comme la biologie.

D'autre part, bien que se référant à l'analyse spatiale, notre travail relève d'une approche méthodologique centrée sur l'individu. Notre recherche est donc basée sur un triptyque conciliant l'individu et ses particularités, le groupe auquel il appartient, et l'espace sur lequel ils évoluent. L'enjeu de ce travail est donc de taille : il s'agit de comprendre et prévoir les palpitations des territoires de la mobilité, pour un mode de transport spécifique, par l'analyse des comportements individuels.

Le cheminement de la pensée modélisatrice

Lancée sur la voie de la modélisation de la génération de trafic, notre démarche se construit en trois phases. Dans un premier temps, nous cherchons à porter une réflexion sur les périmètres de notre aire d'étude ; bien que conditionnée par l'aspect applicatif de notre recherche, une approche critique de notre périmètre d'étude paraît fondamentale dans le cadre d'une approche de la mobilité ; et plus encore dans la problématique de partition de cet espace qui nous concerne ici. Pour ce faire, nous décrivons tout d'abord l'évolution de la mobilité quotidienne et de ses territoires d'application. Puis nous abordons dans le détail le contexte économique et politique ayant justifié le transfert de compétence aux Régions en matière de transport. Nous réalisons par la suite une analyse critique de la Région en tant qu'autorité organisatrice des

transports –autant sur son échelle que sur son périmètre– à partir des constatations faites sur la mobilité quotidienne et ses récentes modifications.

Dans notre deuxième partie, nous tenterons de comprendre les croisements possibles entre les méthodes de modélisation et les approches agrégées (qui considèrent le groupe) ou désagrégées (qui considère l'individu). Nous avons fait ici le choix de prendre comme angle d'approche principal les étapes du processus de choix lié au déplacement en brossant tout d'abord le tableau de la modélisation des facteurs à l'origine du déplacement, pour nous intéresser par la suite aux modèles liés aux facteurs caractérisant le déplacement. Ces méthodologies sont replacées, par la suite, dans le contexte spécifique du modèle à quatre étapes, dont la génération de trafic constitue la première étape.

La troisième et dernière partie de ce travail entrera dans le détail de la génération de trafic. Nous justifierons ici les choix réalisés en matière de modélisation, en fonction de nos objectifs, des données disponibles, et des spécificités de notre territoire d'étude. Nous y traiterons successivement de la génération de trafic et de sa simulation à l'échelle communale, puis à l'échelle du zonage réalisé dans cette étape du travail.

Première partie

Analyse des périmètres régionaux dans la mobilité quotidienne

Introduction de la première partie

Le fait d'une étude portant sur la mobilité nous pousse à comprendre et intégrer les principes qui fondent cette mobilité. Les déplacements, bien que n'ayant jamais été régis par des lois de comportement simples, se complexifient aujourd'hui un peu plus avec différentes transformations sociales et politiques.
Mais ce souci d'exégèse ne doit pas se faire au détriment du cadre dans lequel s'inscrit notre travail. Les transports, qu'ils soient traités à l'échelle urbaine (voire à une échelle plus micro telle que les quartiers), à l'échelle des services en détaillant par exemple chaque infrastructure ou chaque ligne de transport en commun, ou à l'échelle plus macro d'une région ou d'un état, présentent des similitudes de fonctionnement et de problématiques : les affectations de réseaux ou les problématiques de choix modaux par exemple en ce qui concerne les processus de modélisation ; ou, dans le cadre plus large de l'aménagement du territoire, l'aménagement des infrastructures ou la régulation de la circulation. Cependant, chacun de ces niveaux d'échelle amène également des questionnements spécifiques qu'il est nécessaire de prendre en considération.

L'espace régional, échelle de notre territoire d'application, ne doit pas être isolé dans son analyse de la question générale des transports. Car si la région (terme ambigu que nous allons définir ici) dans l'ensemble de ses sens, possède

une raison d'exister par et pour elle-même, elle doit ici être disséquée et auscultée comme entité d'étude de transport. Dans le cadre de la génération de trafic et plus spécifiquement du zonage qui s'y réfère, la question de la cohérence territoriale de notre territoire d'application paraît fondamentale. L'étude de l'organisation spatiale d'un espace en terme de mobilité implique une logique propre de cet espace dans son ensemble. La structuration spatiale de la mobilité ne peut en effet pas se concevoir sur un territoire scindant des espaces cohérents de mobilité ou regroupant en son sein des espaces trop hétérogènes.
Nous nous devrons donc de savoir dans quelle mesure la région –et ici les régions françaises– paraissent adaptées à la gestion de la mobilité et s'il existe des « régions naturelles » en matière de transport.

Nous étudierons, dans un premier chapitre, l'évolution de la mobilité quotidienne et l'évolution de son territoire d'application, d'une échelle locale à une échelle régionale.
Puis nous décrirons, dans un second chapitre, les principes de gestion des services de transports régionaux, croisement entre les Régions administratives et la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF), dans leur cadre législatif.
Enfin, nous proposerons, à partir de ces différentes constatations, une analyse critique de la Région administrative en tant qu'autorité organisatrice des transports régionaux et nous réaliserons une comparaison de ce système de gestion par rapport aux systèmes de nos voisins européens..

Chapitre 1

De la mobilité locale à la mobilité régionale

On assiste ponctuellement, aujourd'hui, à un développement du télétravail, de la livraison directe ou des services à domicile, levant ainsi la barrière de la mobilité forcée. Pourtant, la consommation de mobilité, réponse à une demande sociale croissante, stimule actuellement une réorganisation de la morphologie et de la temporalité des systèmes de transport [Orfeuil, 2001].

Nous allons donc tenter d'analyser le cheminement générant cette nouvelle consommation de mobilité afin de mieux la comprendre et la décrire par les diverses formes qu'elle peut adopter. Il s'agit en fait de saisir et déchiffrer ce que cette nouvelle donne temporelle et comportementale signifie pour le quotidien des individus. Pourquoi bougent-ils ? Comment cette mobilité est structurée ? Assiste-t-on à une désintégration progressive de la stabilité et de l'homogénéité des rythmes de déplacement ? Et, dans ce contexte, quelle variété est proposée en terme de mobilité quotidienne ?

La compréhension de cette mobilité nous permettra une analyse critique de l'unité de mesure des migrants en modélisation de trafic. Etudier la mobilité par le biais de l'individu moyen ou à l'échelle de groupes d'individus considérés comme similaires reflète-il encore une réalité tangible face à cette

mobilité nouvelle ? Est-ce que l'approche purement individuelle fournit une meilleure réponse à ces questions de modélisation ?

1. Nouvelle physionomie de la mobilité quotidienne

Toujours plus loin, toujours plus vite !
Bien qu'assez grossier, cet aphorisme résume assez bien l'évolution des déplacements quotidiens en France depuis un demi siècle. En effet, au-delà d'une simple transcription de la loi de Zahavi [Zahavi, 1980], on voit apparaître ici la traduction qu'avec l'augmentation des besoins de mobilité croit une attente des usagers de plus en plus forte [Le Breton, 2005].

1.1. L'émergence de nouveaux besoins

Les déplacements des personnes, les localisations d'activités et des zones résidentielles et la forme des villes sont inextricablement liés.
L'évolution de la mobilité quotidienne de la population française connaît donc, de par le fait, une évolution parallèle au phénomène d'urbanisation / périurbanisation[1] de ces cinquante dernières années, puisque ses caractéristiques induisent un changement fondamental des localisations. Les phénomènes d'urbanisation et de périurbanisation sont tout à fait déterminants dans l'expansion considérable de la mobilité quotidienne. Cette évolution urbaine et le rôle croissant de l'automobile dans la mobilité quotidienne se sont mutuellement entretenus dans un processus commun de modification des pratiques sociales, tant en terme d'habitat que de mobilité. En effet, l'agencement urbain, c'est-à-dire la disposition dans l'espace des composants de la ville, et la pratique des déplacements, résultent de choix pris par les acteurs, satisfaisant différemment un même objectif d'optimisation des interactions sociales [Claval, 1970]. Car si l'imbrication spatiale des entités urbaines et des personnes conditionnent la quantité et la longueur des déplacements, l'inverse est vrai aussi : l'agencement urbain résulte, au moins en partie, des conditions de mobilité. Un bref historique de l'évolution des espaces urbains français suffit à illustrer ce propos. Les villes ont tout d'abord connu une densification avec la progression démographique tant que la mobilité

[1] [1] La périurbanisation traduit l'étalement urbain autour de l'agglomération [Lexique de l'urbain, ouvrage commun, Paris I]. Cet éparpillement est souvent présenté comme la conséquence de la concentration des emplois là ou les terrains propices à la construction de maisons individuelles sont devenus trop rares. Les causes de ce processus sont en fait plus complexes et la périurbanisation est, à l'heure actuelle, plus identifiée comme « la confluence de l'évolution des revenus, des modes de vie, de la localisation des emplois et de la mobilité facilitée qui permet de proportionner le coût foncier à ses moyens. » [Marc Wiel, Forme et intensité de la périurbanisation, aptitude à la canaliser, , rapport Predit, 1999]

présentait un réel obstacle (que ce soit en coût ou en temps) ; puis avec l'évolution du système de déplacement (automobile et transport collectif), l'extension a commencé à l'emporter sur la densification. Les pratiques de localisation ont été prises dans la « *spirale de la transformation de la ville pédestre par les nouvelles conditions de la mobilité urbaine* » [Wiel, 2002]. Car même si un ensemble de causes expliquent l'évolution des structures urbaines, il est admis que l'explosion de la mobilité individuelle noue un lien direct avec ce phénomène [Guidez 2002].

Au-delà de l'habitat, les entreprises ont également connu une redistribution spatiale qui a soutenu l'émergence de nouveaux besoins de mobilité. En effet, les franges des agglomérations, qu'il s'agisse des entrées de villes ou des abords des rocades, concentrent des emplois nouveaux. Cette situation très spécifique constitue en réalité une localisation optimale : elle constitue une répartition idéale des distances temps entre l'habitat urbain concentré et le périurbain d'une part, et d'autre part répond aux contraintes de regroupement des entreprises dues aux besoins de marchés de proximité[2]. De plus, ces nouvelles localisations correspondent à un coût du foncier plus attractif. On voit apparaître, en relation directe avec ce phénomène, une périurbanisation d'habitat plus spécialisée spatialement, avec des ménages situés plus près de ces nouveaux emplois. On aboutit ainsi à une certaine polycentralité, avec des pôles d'emplois émergents [Aguilera-Belanger et al, 1999].
L'exemple du développement d'espaces commerciaux en périphérie des villes est une illustration parfaite de ce phénomène. Car si ces localisations correspondent à un coût du foncier moins cher, elles répondent à un accroissement des aires de chalandises de ces services commerciaux supérieur à celui d'un centre ville. On rejoint donc ici les considérations développées plus haut d'optimisation des distances temps à l'habitat. Et même si la modernisation de la distribution et les progrès techniques de stockage expliquent en partie cette évolution de positionnement des espaces de services commerciaux, cette évolution a été rendue possible par le bouleversement des capacités de mobilité.
Cette logique, vraie pour la localisation des entreprises liées à la fréquentation des ménages, l'est également pour d'autres entreprises de par une bonne accessibilité au marché de l'emploi, ainsi que pour l'ensemble des autres facteurs déjà développés (accès aux autres entreprises, coût du foncier…)

[2] Historiquement, les entreprises se regroupent dans une forme d'optimisation adjointe à une synergie liée à la concentration d'une diversité d'entreprises ayant chacune un rôle polarisant.

On voit donc globalement apparaître de nouveaux besoins de mobilité engendrés –de manière directe ou indirecte– par les nouvelles possibilités et les avancées techniques liées à la mobilité de personnes. L'amélioration des conditions de déplacement entretient donc un accroissement de la mobilité. On constate donc globalement une forte croissance de la mobilité quotidienne locale. Cependant, et malgré un grand nombre de données et analyses existantes, on ne possède que peu de séries statistiques à grande échelle temporelle nous autorisant à une description détaillée et scientifiquement fondée de l'évolution de la mobilité quotidienne sur longue période [Orfeuil, 2001].
On peut toutefois voir émerger quelques tendances symptomatiques qui nous instruisent sur un accroissement certain et une complexification indéniable de la mobilité. Mais ces caractéristiques fortes ne peuvent en aucun cas nous indiquer si cette mobilité relève d'un choix ou d'une contrainte –à savoir qui de l'évolution des localisations ou des nouvelles possibilités de mobilité conditionne le plus l'autre– , ni de déterminer les facteurs exacts de cette mobilité.

1.2. L'accès toujours croissant à l'automobile, clé d'une échelle régionale de la mobilité

Différents indicateurs permettent de comprendre aisément l'évolution de la mobilité quotidienne sur l'espace français (tableau 1).

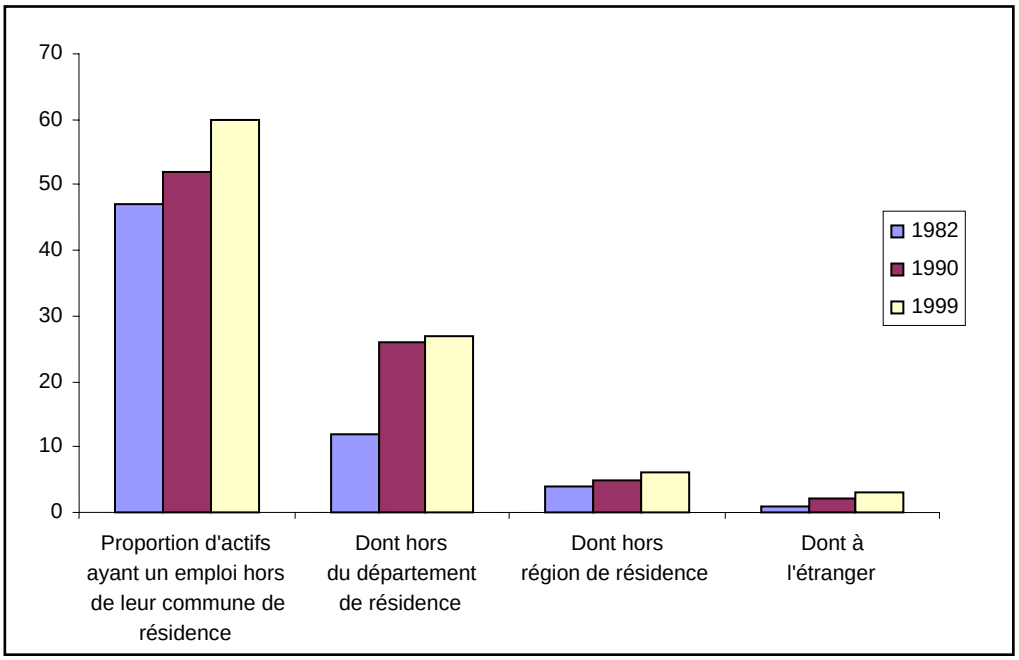
La quasi stabilité constatée du nombre de déplacements par personne, qu'ils soient mécanisés ou non, est à mettre en relation directe avec l'augmentation très nette du nombre de déplacements totaux. Ces évolutions, *a priori* en totale opposition, sont en fait le reflet d'une hausse incontestable de la mobilité quotidienne. On retrouve cette tendance avec l'augmentation (8,4%) du nombre de personnes effectuant des déplacements quotidiennement. Ainsi, le nombre de migrants journaliers augmente, même si dans l'ensemble chaque individu ne se déplace pas plus.

La distance parcourue a également connu une très nette augmentation (28% pour les distances brutes et environ 21% pour les distances moyennes [Madre et Maffre,1997]) et atteint aujourd'hui trente kilomètres par jour et par personne [Orfeuil, 2002]. Ainsi, les « territoires potentiels des quotidiennetés urbaines » définis par Jean-Marie Halleux [Halleux, 2001] s'étendent de plus en plus pour

couvrir progressivement un espace inter-départemental, voire inter-régional. La figure 1 montre assez fidèlement ce phénomène, que l'on doit associer à la très grande stabilité des durées de déplacement.

	En 1982	**En 1994**	**Evolution Inter-enquêtes**
Nombre de personnes de 6 ans et plus en jour de semaine (en millions)	49	53,1	8,4%
Nombre de déplacements totaux (en millions) par jour	147,6	167,3	13,3%
Nombre de déplacements par personne	3,3	3,2	-3%
Nombre de déplacements mécanisés par personne	2,2	2,4	9,1%
Distances parcourues par personne et par semaine	123	157	28%
Durée moyenne d'un déplacement (en minutes)	19	19	0%
Nombre de kilomètres par personne	17	23	35,3%

Tableau 1 : L'évolution des déplacements
(source Insee, Enquêtes « transports et déplacements »)



Source : recensement de la population, Insee

Figure 1 : L'extension du champ des déplacements quotidien

Cette constance de la durée moyenne d'un déplacement s'associe à l'augmentation très nette des distances parcourues. Ce paradoxe trouve son

explication dans l'accroissement rapide durant ces cinquante dernières années des vitesses de déplacement. La variation de ces vitesses est principalement la conséquence de la généralisation de la voiture particulière (tableau 2), des progrès techniques des transports en commun et de l'amélioration générale des infrastructures de transport.

	1980	**1985**	**1990**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
Pas de voiture	31%	27%	23%	22%	21%	21%	21%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Au moins une voiture	69%	73%	77%	78%	79%	79%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	81%
2 voitures et plus	17%	20%	26%	28%	28%	28%	29%	29%	30%	30%	31%	32%	34%
3 voitures et plus	nd	nd	3%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	5%	5%	5%	5%

Tableau 2 : Evolution de la motorisation des ménages

A en croire la conjecture de Yacov Zahavi, le budget-temps dévolu à la mobilité quotidienne conserve une relative stabilité. Même si cette hypothèse est aujourd'hui contestée [Joly, 2005] elle reste valable pour la majorité des cas et explique que l'amélioration de la vitesse de déplacement n'implique pas forcément une réaffectation du gain de temps ainsi créé à une autre occupation. En réalité, « ce temps gagné en vitesse est le plus souvent alloué à un surplus de distance parcourue. Le fort développement des infrastructures de transport a donc créé une offre qui s'est notamment traduite par une relocalisation des habitants –de plus en plus distants du lieu de travail– et par une portée spatiale accrue des déplacements de la vie quotidienne. » [Ouvrage commun, 2001]

Le croisement des ces perceptions de l'espace comme étendue de temps ou de lieu apparaît clairement dans l'approche fournie par la time-geography. Introduite au début des années 1970 par Torsten Hägerstrand [Hägerstrand, 1985], alors directeur de l'école suédoise de géographie de Lund, la time-geography légitime l'égale prise en compte de l'espace (au sens géographique du terme) et du temps comme ressource fondamentale de l'analyse géographique dans l'étude de la dynamique des systèmes spatiaux. Cette approche différencie deux angles de vue temporels distincts pour l'analyse de l'espace, l'un basé sur un temps discret, l'autre sur un temps continu. Ces différentes approches se croisent dans l'analyse de la mobilité à travers les différentes finalités qu'elles proposent (figure 2), pour les fédérer dans une vision plus globale de l'imbrication des temps et des lieux de l'individu dans son environnement

L'idée de temporalités effectives de l'individu c'est-à-dire qui « appréhende l'espace comme une variable décrivant les localisations successives de la ligne de vie de l'individu. » [Chardonnel, 2001], bien que nécessaire à l'étude de tout

phénomène de mobilité, ne suffit donc pas ici à comprendre les palpitations du territoire. L'individu ne doit alors pas être défini uniquement par son rôle ou sa position géographique mais relativement à l'ensemble de ses activités, de ses localisations et de ses interactions avec le milieu dans lequel il évolue.
L'ensemble des « mobiles » construit ainsi ensemble une sorte de toile, composée d'une multitude de trajectoires individuelles définies sur chaque temps individuel discret ; ce tissage modèle et influe alors sur un territoire dont l'évolution se mesure par un temps continu, synthèse des temps différenciés de chaque individu.

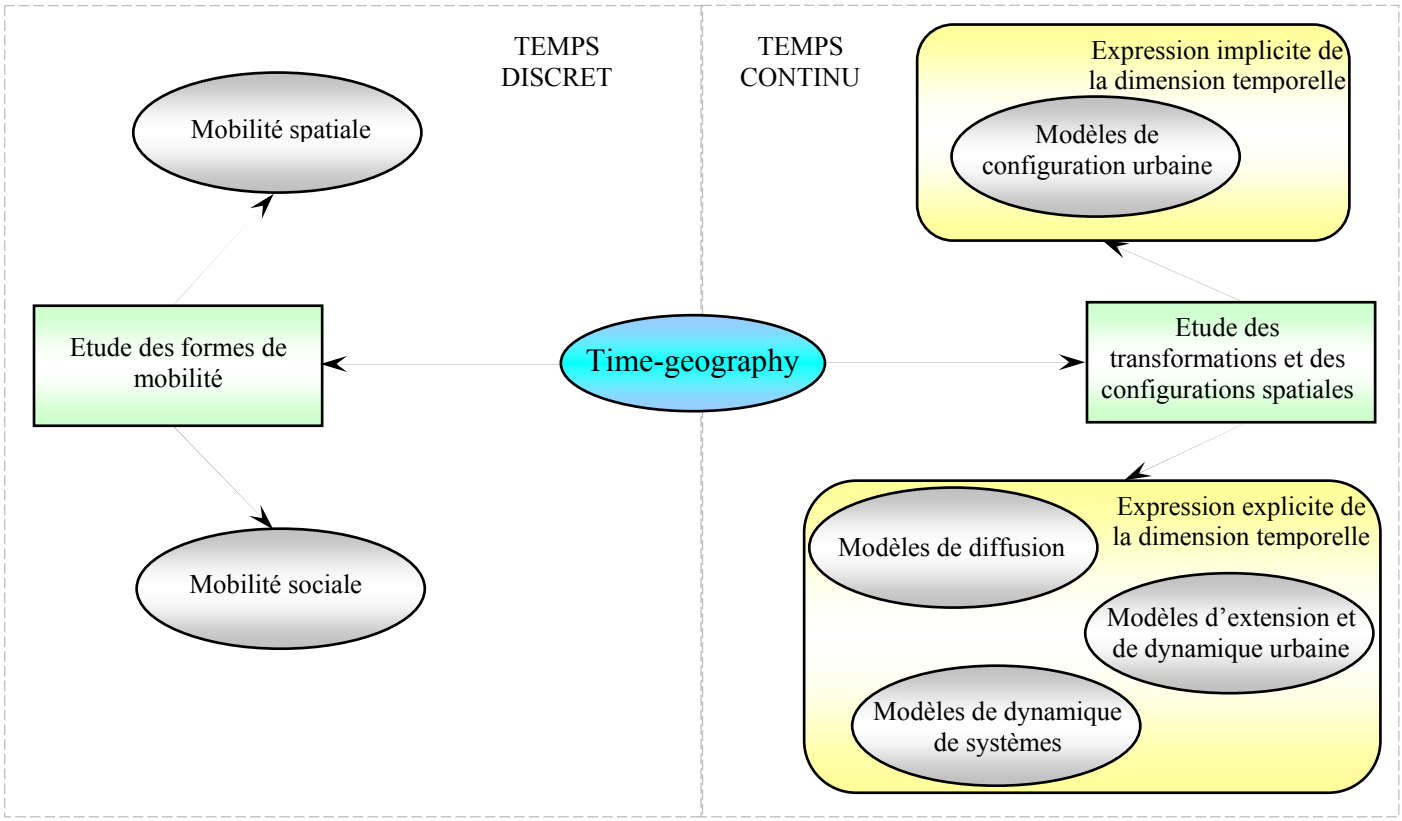


Figure 2 : Time-geography :les différentes prises en compte du temps

Ainsi, l'étude des transports de personnes, et même plus largement de la mobilité, –du moment qu'une interaction avec le territoire sur lequel elle est placée est identifiée– se doit de combiner les deux angles de vue de la time-geography pour exprimer la problématique liée à l'individu et son déplacement, et celle liée au territoire et ses transformations. On retrouve donc, à travers l'analyse des phénomènes complexes de mobilité, les études des formes de mobilité et celle des transformations et configurations spatiales.

Ce processus de modifications des configurations spatiales urbaines se fait particulièrement sentir dans les périphéries des agglomérations, périphéries qui s'étendent de plus en plus, pour couvrir des espaces à dimension régionale. « L'ampleur des distances parcourues [dans ces périphéries...] dans des budgets-temps de transport systématiquement inférieurs à ceux des habitants des villes-centres et des banlieues, s'explique par un recours très important à l'automobile, qui plus est sur des territoires où les conditions de circulation sont souvent bonnes » [Banos, 2001]. Ce passage à l'automobile, presque systématisé, révèle un changement social vers l'individualisation de l'équipement. Comme plus récemment avec les téléphones portables, l'ensemble de la société s'est rendu dépendant d'un équipement personnalisé. Au point que la voiture est devenue le symbole social par excellence, Gérard Mendel déclarant déjà en 1979 : « la voiture est la grande soupape de sûreté des frustrations sociales de notre époque » [Mendel, 1979]. Cette adoption généralisée de l'automobile a participé à la transformation des comportements de mobilité, par un bouleversement radical des conditions même d'accès à cette mobilité.

2. Les nouvelles pratiques temporelles : vers une plus grande diversité des types de comportements

2.1. La désynchronisation des temps d'activité

La tendance, en termes de pratiques temporelles, suit une voie sinueuse et difficile à cerner depuis maintenant plus d'un demi siècle. De l'altération du repère ancestral que symbolisaient les cloches d'églises [Bailly, 2001] à la dégradation, en tant que jalon temporel, de la « messe télévisée du 20h00 » —sans doute rebaptisé ainsi par volonté commune de faire émerger de nouvelles empruntes temporelles—, la vie quotidienne n'est plus rythmée par des temps structurants forts, désagrégeant ainsi les temps sociaux communs à une immense majorité d'individus. On assiste à une pluralisation des temps structurants pour l'individu : en terme d'obligation de lieu et de moment combinés, l'individu doit maintenant dépasser l'armature rudimentaire de la journée de travail du matin au soir et se soumettre à des emplois du temps complexifiés et souvent plus denses pour participer pleinement au jeu social. Ainsi, le rapport existant entre « *temps structurant* » et « *temps interstitiel* » [Flamm, 2004] change pour aboutir à une temporalité nouvelle, plus sporadique et souvent plus contraignante.
Cependant, si les programmes d'activités se trouvent de plus en plus compartimentés entre de multiples assujettissements, il est bon de constater que l'imperméabilité de ces cloisonnements entre temporalités consommées est de moins en moins vraie [Pronovost, Mercure, 1999]. Ainsi, on voit apparaître de plus en plus de multiactivités, qu'il s'agisse de manger en travaillant (ou plutôt devrait-on dire travailler en mangeant) ou de communiquer en se déplaçant.

L'individu exprime donc une certaine exigence de rapidité dans l'ensemble de ses actions et poursuit le but d'une efficacité perçue accrue [Cellier et al, 1996]. En fait, de par la « multi-action » dans un « uni-lieu » en un « uni-temps », l'individu crée la configuration pour sortir et s'arracher à la contrainte du lieu donné. On découvre ainsi une gestion nouvelle des correspondances entre espaces et temps, assimilable à l'ambition décrite par F. Ascher de la maîtrise individuelle des espaces-temps [Ascher, 2003].

2.2. La cause de cette désynchronisation

Ces évolutions temporelles résultent de plusieurs facteurs distincts mais étroitement liés. Ceux-ci tiennent tout d'abord de la modification globale de la société dans les pays industrialisés. Ce mouvement se traduit par l'individualisation des modes de vie, dont le passage d'équipements collectifs aux équipements individuels est une illustration flagrante. Qu'il s'agisse de la transition plus ancienne de l'horloge à la montre, ou du téléphone fixe familial au téléphone portable, la société actuelle, par les moyens qu'elle se donne, dirige les temporalités consommées vers une individualisation forcenée.
L'augmentation et la dispersion des âges de la vie (longue jeunesse et vieillesse prolongée) ainsi que l'évolution de la famille par ses multiples aspects, maintenant connus et analysés ―travail des femmes, décomposition des liens sociaux intra-familiaux [Boulin 1993]― ne font qu'accentuer ce phénomène.
D'autre part, la modification de fond du travail dans l'économie générale a amplifié ce processus. Le passage à une économie de services a progressivement déstructuré les modes de vie urbains en raison d'un double mouvement de densification du travail et de diversification des temps travaillés [Direction régionale du travail, 2004].
En complément de ce phénomène, et malgré son caractère éphémère relatif de par la controverse politique qu'elle génère, la récente réduction du temps de travail a renforcé l'action temporelle déstructurante déjà amorcée [GEIST, 2000]. Les franges temporelles, déjà mises à mal, de début et fin de semaine canalisent de moins en moins les déplacements domicile-travail de périodicité hebdomadaire. De plus, certains aménagements d'horaires spécifiques poussent les personnes à ne plus figer leur début et fin de journée de travail.

En parallèle de ces phénomènes directement issus de transformations économiques et sociales, d'autres facteurs, plus induits, complexifient et obscurcissent encore la compréhension et la lecture de ces modifications comportementales. En effet, si les possibilités d'aménagement du temps de travail sont de plus en plus grandes et que, par là même, les temps structurants travaillés bénéficient d'une plus grande flexibilité, il n'en apparaît pas moins une réelle difficulté de prévision de ces horaires. Ainsi, chaque individu se trouve confronté à une capacité de plus en plus réduite d'anticipation et d'organisation de l'ensemble de ses temps sociaux [Gavini, 2001]. De nouveaux régimes temporels se mettent ainsi en place : ils se caractérisent, au plan individuel, par une rationalisation du temps à la fois plus dense et plus éclaté, et au plan relationnel, par une exigence de disponibilité quasi-

permanente, tant au travail qu'en famille [Mothé, 1999]. On voit donc apparaître une évolution paradoxale de choix par de multiples possibilités d'activités et par l'incertitude liée à l'impossibilité grandissante de prévision. Les temps sociaux sont donc remis en cause malgré une relative rigidification des créneaux particuliers des soirées et week-end, derniers temps sociaux synchronisés, généralement vus comme le plus petit dénominateur commun de disponibilité avec la famille ou les amis.

De plus, ce temps flexible, compressible, sécable et modulable n'en est que plus contraint par l'ensemble des services auxquels doit se soumettre l'individu pour participer pleinement aux temps sociaux fondamentaux. La question se pose donc en ce qui concerne la conciliation entre les nouveaux horaires professionnels et les temps de vie essentiels (temps familiaux, professionnels…), de qualifier qualitativement le temps libéré par la flexibilité des temps travaillés. En effet, ce temps nouveau doit être différencié en terme social dans un cadre de travail –les différents secteurs professionnels n'offrant pas les mêmes possibilités d'aménagement des horaires– , mais également en terme de possibilités annexes liées aux services de par l'inégal profit qu'il engendre.

3. De nouvelles temporalités conduisant à de nouveaux types de mobilité

Si la désynchronisation des temps d'activités n'a pas le même effet sur tel ou tel individu —un même changement d'horaire peut, ici, créer des problèmes d'organisation temporelle, et là, en résoudre— , il reste de manière quasiment permanente un réel problème en matière d'organisation de mobilité. Ainsi, même si la désynchronisation temporelle (qu'elle soit absolue ou liée aux RTT) permet de desserrer les contraintes temporelles, l'offre ou les possibilités personnelles de transport ne suivent pas les potentialités générées. Ainsi, l'enquête réalisée par la CFDT dans le Nord-Pas-de-Calais en 2001 a mis en exergue un sentiment de conservation des habitudes malgré de profonds changements d'horaires de travail. En effet, n'ayant pas les possibilités de services de mobilité correspondant aux temps dégagés, l'effet sur la distribution et la nature des activités est pratiquement nul. Un individu ne disposant pas d'un service de transport adapté à ces nouvelles possibilités temporelles ne pourra pas, en effet, participer pleinement aux activités potentielles en lien avec ces nouvelles possibilités.

Cependant, ce déficit, bien que modérateur du phénomène d'individualisation en terme de mobilité, ne l'empêche aucunement. Il favorise toutefois davantage l'émergence du concept développé par R. Castel « d'individualisation par défaut » [Castel, 2004].

Certains changements en termes de pratiques de mobilité sont néanmoins réels. Les transformations du « *temps utilisé et ressenti* » [Jarosson, 2004] conduisent inévitablement à des mobilités différentes, plus diffuses dans l'espace et le temps. Les transports, comme les lieux de transports, sont constitués par des configurations de plus en plus individuelles, singulières et non cycliques ; même s'ils n'en restent pas moins influencés par nombre de facteurs sociaux de groupes. Ainsi, on voit apparaître, dans des transports ou leurs lieux privilégiés d'intermodalité, des outils d'individualisation de comportement. Par exemple, de plus en plus de réseaux de bus urbains adoptent des bornes signalétiques situées aux différents arrêts annonçant le temps d'attente restant pour chaque ligne et donne ainsi la possibilité aux usagers de ne plus se plier au seul horaire collectif mais de modifier leur comportement temporel de manière propre et instantanée. De même, le minutage annoncé de différents parcours routiers aux entrées d'autoroutes ou de périphériques de grandes agglomérations contribue à personnaliser les choix de chacun en terme de mobilité.

3.1. L'émergence de nouveaux comportements de groupe

Au-delà des temporalités incitant à l'individualisation voire permettant l'individuation en matière de mobilité, d'autres processus viennent s'ajouter et alimenter ces phénomènes comportementaux. Aujourd'hui, il existe de nombreuses manières de se déplacer et l'élargissement du champ des possibles qui en découle multiplie les potentialités de différenciation et renforce le processus d'individuation. Ces potentialités, profondément liées aux problématiques de choix modal, n'en restent pas moins indispensables dans la modélisation de génération de trafic pour la compréhension de l'interdépendance des facteurs explicatifs des émissions ou attractions de déplacements.

L'individu, lors d'un déplacement choisi ou commandé, se trouve confronté à plusieurs possibilités. Il peut (ou doit) alors consommer telle ou telle forme de mobilité, forme qui n'inclut pas forcément un lien direct avec le mode choisi [Montulet, 2005].

On trouve en effet, en terme de consommation, différents angles de vue concernant la mobilité et ses possibilités individuelles. Elle peut être perçue d'un point de vue matériel conditionnant la capacité comme la perception du déplacement, ou d'un point de vue purement comportemental.

Le cadre physique du déplacement constitue plus souvent une contrainte qu'un réel élargissement de choix. On peut cependant discerner plusieurs orientations différenciant les déplacements individuels. On trouve tout d'abord les déplacements non motorisés. Dans ce cas précis, l'individu est limité par ses capacités physiques et les contraintes extérieures, météorologiques ou topographiques, ou les structures urbaines. Ces déplacements peuvent être perçus *a priori* comme pleinement individuels et propres à chaque utilisateur, mais ils correspondent, comme les autres modes, à des mouvements souvent organisés et fédérant des groupes comportementaux.

On peut ensuite identifier les transports collectifs. L'individuation se réduit alors au choix de l'horaire ou à la combinaison des services existants.

Le dernier groupe de déplacements concerne les moyens de transports individuels motorisés. On doit alors gérer l'ensemble du véhicule, se soumettre à la contrainte du stationnement et accepter l'astreinte du réseau et de son encombrement. En ce qui concerne ce dernier groupe, l'illusion d'un comportement parfaitement autonome et individuel est rapidement éludé par la connaissance de chacun des problèmes d'engorgement, démonstration directe de comportement de groupe occultant toute forme d'individuation.

D'autre part, les formes de mobilité peuvent être étudiées sous l'angle purement comportemental. Ainsi, la mobilité n'apparaît plus comme une adaptation à un mode mais se manifeste comme une réponse modale à un choix comportemental. On distingue quatre types de mobilité (tableau 3) [Montulet 2004]. La mobilité sédentaire tout d'abord, caractérisée par un individu se déplaçant toujours sur le même espace et sur des trajets récurrents, se définit par un comportement répétitif, que le déplacement s'effectue sur le territoire référent de l'individu ou non. L'individu adopte alors un comportement de mobilité figé dans le temps et ne prend que peu en compte les modifications de son environnement. On trouve ensuite la mobilité microscopique, liée à un individu pratiquant différents espaces et ayant conscience des modifications de son environnement. Il peut alors modifier son comportement de mobilité en fonction de ces changements. La mobilité kinétique constitue le troisième type de mobilité et correspond à un individu infléchissant continuellement sa mobilité afin de répondre au mieux et dans un caractère instantané aux nombreuses opportunités qui se présentent. Contrairement aux deux cas précédents, l'espace lié à cette mobilité n'est pas délimité mais fluctue en fonction des ces opportunités. Enfin, on trouve la mobilité incursive, pour laquelle l'espace n'est pas non plus pré-délimité, pratiquée par un individu prenant le temps de s'arrêter pour découvrir des temps lents synonymes d'espaces particuliers.
Ainsi, les quatre types de mobilité comportementaux que sont les mobilités sédentaire, microscopique, incursive et kinétique couplées aux formes de mobilité liées aux contraintes matérielles, se posent comme autant de choix supplémentaires.

Cependant, si différentes formes de mobilité peuvent ainsi être dégagées, il ne faut pas se laisser abuser par l'illusion de formes de mobilité aux seules apparences de logiques individuelles. Car si c'est ce qu'elles laissent apparaître, l'ensemble des formes de mobilité favorisent-elles réellement l'individuation ? Les déplacements effectués par modes motorisés individuels sont l'illustration de cette interrogation. Les comportements de masse des automobilistes et les problèmes qu'ils engendrent, montrent à quel point le déséquilibre actuel entre cette forme de mobilité et l'ensemble des autres formes réunies, annihilent toute logique individuelle. Largement induite par des dynamiques égocentriques, la mise en place de la ville motorisée exacerbe et conditionne des comportements de groupe et altère petit à petit les libertés liées aux autres formes de mobilité.

Strcutures	**Dynamiques**	
	Tendant à la permanence Durée	Tendant à l'éphémérité Instantanéité
Délimitée Référant au lieu	*Mobilité « sédentaire »* Toute l'expérience s'effectue en référence au lieu. (La mobilité extérieure au lieu relève de l'excursion) *Figure du provincial*	*Mobilité « microscopique* L'expérience du « monde » s'effectue en référence à un ou des espaces délimités. Confrontée aux changements, la permanence n'est plus perçue comme un mythe. *Figure de l'immigré*
Réticulaire L'étendue est l'espace support	*Mobilité « incursive »* Parcourant l'étendue du monde, l'acteur découvre la particularité de lieux. Il « prend le temps » *Figure du voyageur*	*Mobilité « kinétique »* L'acteur évolue dans l'étendue des relations éphémères. Il « gagne du temps » *Figure du businessman*

Tableau 3 : Les types de mobilité comportementaux [Montulet 2004]

Ainsi, un rééquilibrage du rapport entre la voiture personnelle et les autres modes de transport favoriserait une plus grande liberté générale et une plus grande potentialité de comportement personnalisé, pour les transports individuels comme collectifs.

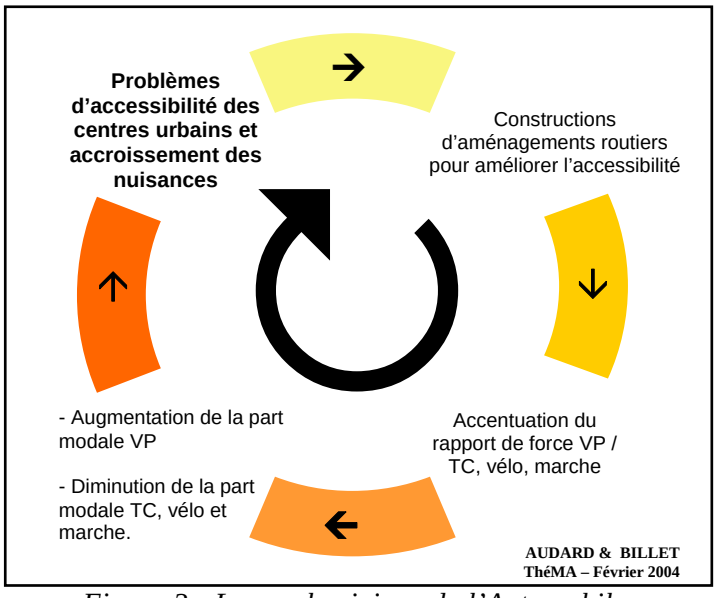


Figure 3 : Le cercle vicieux de l'Automobile

3.2. De nouvelles mobilités inégalement réparties spatialement

La mobilité devient également plus diffuse à la fois dans l'espace avec l'étalement urbain et les nouvelles pratiques de localisation résidentielle, mais aussi dans le temps avec l'évolution des rythmes quotidiens. Si les différentes formes de mobilité, par les potentialités d'individuation qu'elles dégagent, permettent de répondre en partie à cette mobilité attendue, une grande partie des individus, consommateurs d'espace-temps, ne trouve pas de réponse aux besoins spécifiques qu'ils connaissent.
En effet, le regroupement de l'ensemble des logiques individuelles permet de faire émerger différents groupes de mobilité, réponse issue de compromis entre la somme des logiques individuelles et la société. En retour, ces groupes ne répondent que partiellement aux attentes des logiques individuelles.
On voit, dans cette répartition de mobilité pratiquée et ressentie, apparaître des disparités d'ordre social –phénomène déjà étudié à de nombreuses reprises–, mais également d'ordre spatial.

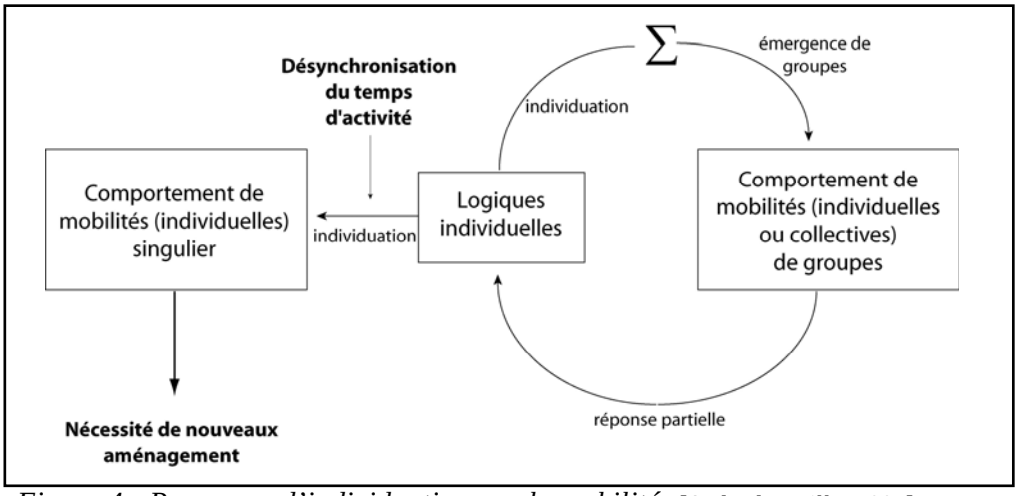


Figure 4 : Processus d'individuation par la mobilité, [Audard et Billet 2004]

Les enquêtes font apparaître en France une évolution des motifs de déplacement : baisse relative du motif travail, maintient des motifs études et écoles, forte augmentation des achats, loisirs et autres. En parallèle, la mobilité générale croît de manière significative depuis une vingtaine d'années. Celle-ci est fortement amplifiée depuis l'application de la réduction du temps de travail. Or, cette augmentation, comme ces transformations, au-delà de générer des inégalités liées à des caractéristiques socio-économiques [Mignot 2003], ne s'appliquent pas de la même manière sur l'ensemble des types de territoire

connus. En effet, une récente étude a fait une analyse comparative des mobilités et de leurs changements dans le temps en fonction, notamment, de la localisation de résidence des individus. Cette dernière a fait apparaître « une différence de fond […] entre les individus résidant en milieu rural et ceux habitant le centre des agglomérations, notamment en ce qui concerne l'indice de mobilité générale, la mobilité locale et la mobilité touristique » [Faivre, 2003].

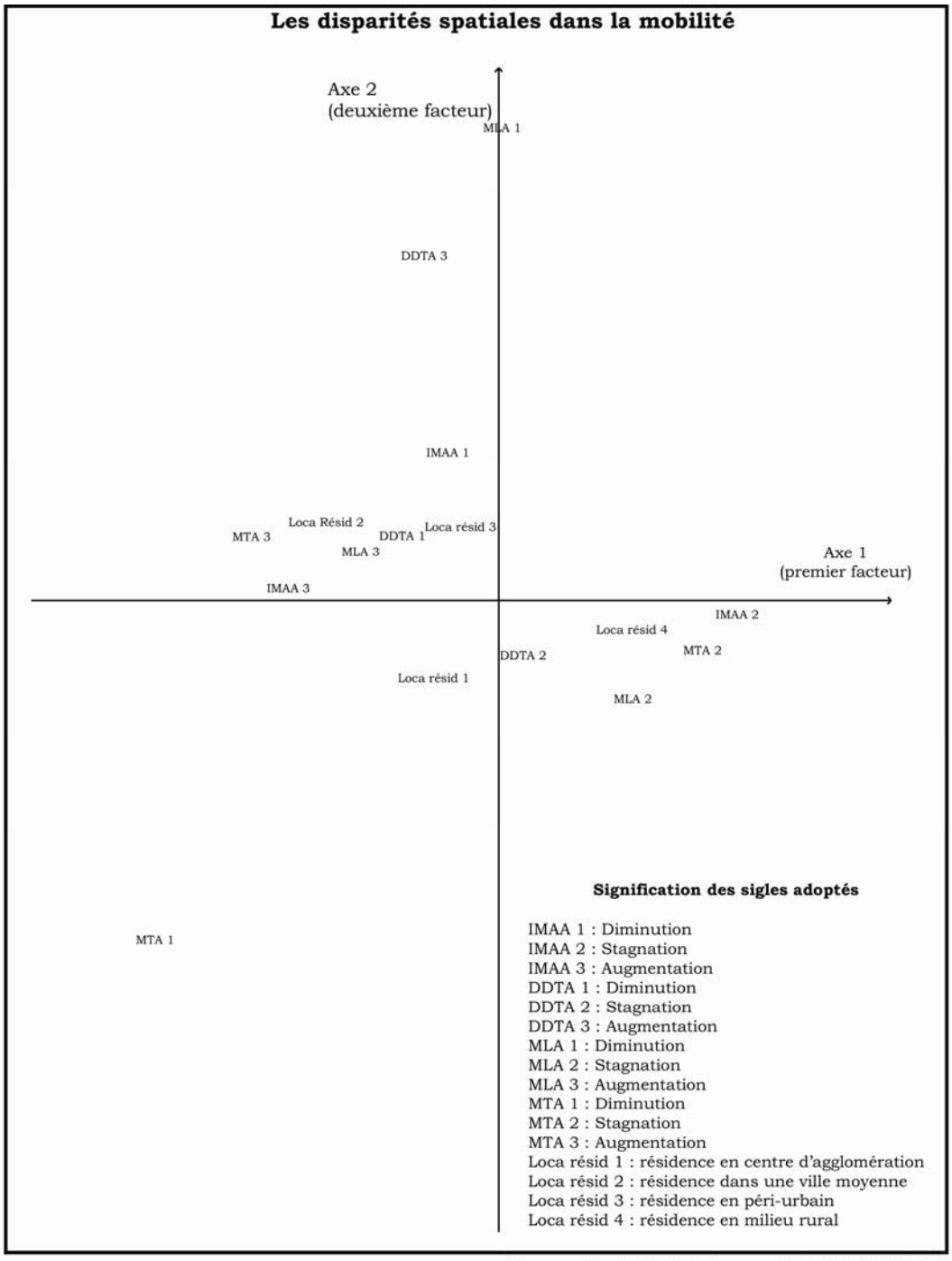
L'analyse factorielle ci-dessous (figure 5) illustre l'isolement des localisations d'habitat en milieu rural, autant dans leur situation que dans leur mobilité quotidienne. Globalement, la mobilité touristique (MTA 2), comme la mobilité générale (IMAA 2), ne suit pas en milieu rural (loca réside 4) l'augmentation connue (MTA 3 et IMAA 3) dans les centres urbains ou périurbains (local réside 2 et 3).

On peut tout d'abord envisager une différence effective des pratiques de consommation qui incitent moins les habitants des milieux ruraux à multiplier les déplacements dans une optique de loisir ou d'achat. On peut de même identifier, une fois écartés les problèmes liés aux offres de mobilité, le seul éloignement aux services recherchés comme effet structurant de cette différence. Mais, même si l'ensemble de ces causes rentre sans doute en ligne de compte, l'offre de mobilité inadaptée constitue certainement un aspect majeur de l'explication de ce phénomène et pousse l'individu concerné à un comportement singulier de mobilité individuelle (figure 4).

C'est donc principalement les zones rurales, déjà mal prises en compte dans les problématiques de mobilité, qui souffrent le plus de cette nouvelle donne économique et comportementale.

* *
*

Nous voyons ici que l'analyse de la mobilité quotidienne, longtemps basée sur des archétypes de comportements, doit maintenant évoluer. Au-delà du changement d'échelle qu'elle a connu, cette mobilité s'inscrit aujourd'hui dans des nuances individuelles qu'il est fondamental de prendre en considération.



Source : d'après FAIVRE Emmanuel, ThéMA-CNRS 2002

Figure 5 :La discrimination spatiale de l'évolution de la mobilité quotidienne

Où **IMMA** représente l'évolution de l'indice général de mobilité avant et après la RTT ;

DDTA représente l'évolution post-RTT des déplacements domicile-travail

MLA représente l'évolution post-RTT de la mobilité locale

MTA représente l'évolution post-RTT de la mobilité touristique

CONCLUSION

La mobilité quotidienne s'est donc transformée. Elle s'est complexifiée, diversifiée et intensifiée pour finalement s'appliquer à des territoires plus vastes et créer de nouveaux comportements, inconnus ou anecdotiques jusqu'alors. Elle semble se diluer pour concerner l'ensemble de l'espace, géographique et temporel. L'individu, quant à lui, sort du cloître exigu du temps social normalisé et affirme une mobilité propre. Ce contexte paraît indéniablement défavorable à l'organisation de transport en commun, sans une compréhension très précise de l'ensemble de ces phénomènes. Cette compréhension passe par une approche moins axée sur l'individu moyen fictif, et prenant plus en compte la multitude de types de mobilité.

D'autre part, il apparaît alors clairement que les seuls transports périurbains et urbains ne répondent plus à la répartition de la mobilité sur le territoire. Le passage d'une mobilité purement locale à une mobilité d'échelle régionale nous interroge sur la nécessaire transformation des services de transport publics actuels. Car si l'inégalité spatiale et sociale face à la mobilité est avérée, il est nécessaire de comprendre à quel périmètre correspondent ces nouveaux comportements.

Chapitre 2

La Région administrative et la gestion des transports

La question régionale revêt de nombreux aspects et fait appel à différents domaines. Nous étudierons ici la genèse des Régions françaises dans un cadre institutionnel et idéologique, afin de comprendre cette « tectonique des territoires » définie par C. Lacour, régionaliste convaincu, comme la synthèse du besoin de différenciation territoriale qui justifie toute organisation spatiale. Nous verrons ainsi dans quel esprit ont été déterminés les périmètres de gestion des Régions administratives françaises. Puis, nous étudierons la gestion du transport régional dans le cadre institutionnel français, afin de mettre en évidence l'importance du rapport entre les périmètres régionaux et les compétences actuelles de gestion de transport attribuées aux Régions.
Il s'agira ici de comprendre le processus politique et idéologique qui a progressivement amené les Régions dans la position de décideur en matière de transport régional.

1. La Région administrative, un cadre institutionnel en dehors des réalités de gestion de la mobilité quotidienne

1.1. Le processus de régionalisation

« L'effort multiséculaire de centralisation qui fut longtemps nécessaire à notre pays pour réaliser et maintenir son unité, malgré les divergences des provinces qui lui étaient successivement rattachées, ne s'impose plus désormais. Au contraire, ce sont les activités régionales qui apparaissent comme les ressorts de sa puissance économique de demain ! » C'est ainsi que le Général de Gaulle, résumant l'intérêt politique et économique des régions en France lors d'une allocution à Lyon en 1968, préparait la réforme qui devait suivre.

L'unité française, laborieuse à travers l'histoire, en raison de sa très grande diversité culturelle, a en effet nécessité un certain rejet de l'idée de régionalisation. En effet, ce concept implique une certaine autonomie dans différents domaines des divisions créées, néfaste à la construction d'une identité fédératrice. La nécessité d'un pouvoir décentralisé a donc mis du temps à s'imposer en France.
Très tôt, la monarchie a établi un système centralisé parce qu'elle s'est construite dans la lutte contre les féodalités locales. La révolution n'a pas freiné ce processus avec une nouvelle centralisation clairement voulue par le courant Jacobin ; processus encore renforcé sous Bonaparte et jusqu'à une date récente [Deyon, 1996]. Ainsi, en réponse aux dysfonctionnements et excès de ce système, un mouvement idéologique affirmant l'existence d'entités régionales et revendiquant leur reconnaissance, le régionalisme, est apparu.

Malgré quelques balbutiements dès la révolution chez certains intellectuels ou quelques courants politiques plutôt situés à droite du paysage politique, le régionalisme prend de l'ampleur durant la première moitié du XX^{è} siècle. On voit dès cette époque apparaître des tentatives de délimitation de régions pour des objectifs de gestion. Toutefois, parler dès cette époque de régionalisation paraît un peu prématuré, aucun transfert de compétence n'ayant suivi ces propositions. On peut pourtant relever une action d'importance dans ce processus avec la création des commissaires régionaux de la république à la libération.

C'est surtout l'émergence, parallèle à la reconstruction, de la prise de conscience des inégalités régionales qui consacre le régionalisme et impose la

nécessité de proposer des solutions. C'est à cette époque que J.-F. Gravier titre son ouvrage *Paris et le désert français* (1947) et cristallise ainsi l'idée d'un déséquilibre national fort et d'un centralisme handicapant pour l'ensemble du territoire.

Cette conception du territoire français aboutit en 1956 à la création de 22 régions de programme. Peu après, leur nombre est réduit à 21 par la création d'une grande région Rhône-Alpes en remplacement des deux régions qui la composaient (figure 6). Cependant, à cette époque, leur rôle est purement économique ; et ces nouvelles entités ne constituent ni un pouvoir politique ou administratif, ni un périmètre de réflexion pour de futurs plans d'aménagement du territoire. L'idée de décentralisation voit le jour en 1968, avec la volonté du général de Gaulle de transférer certains pouvoirs à des assemblées régionales élues. Mais ce projet est rejeté par referendum en 1969.

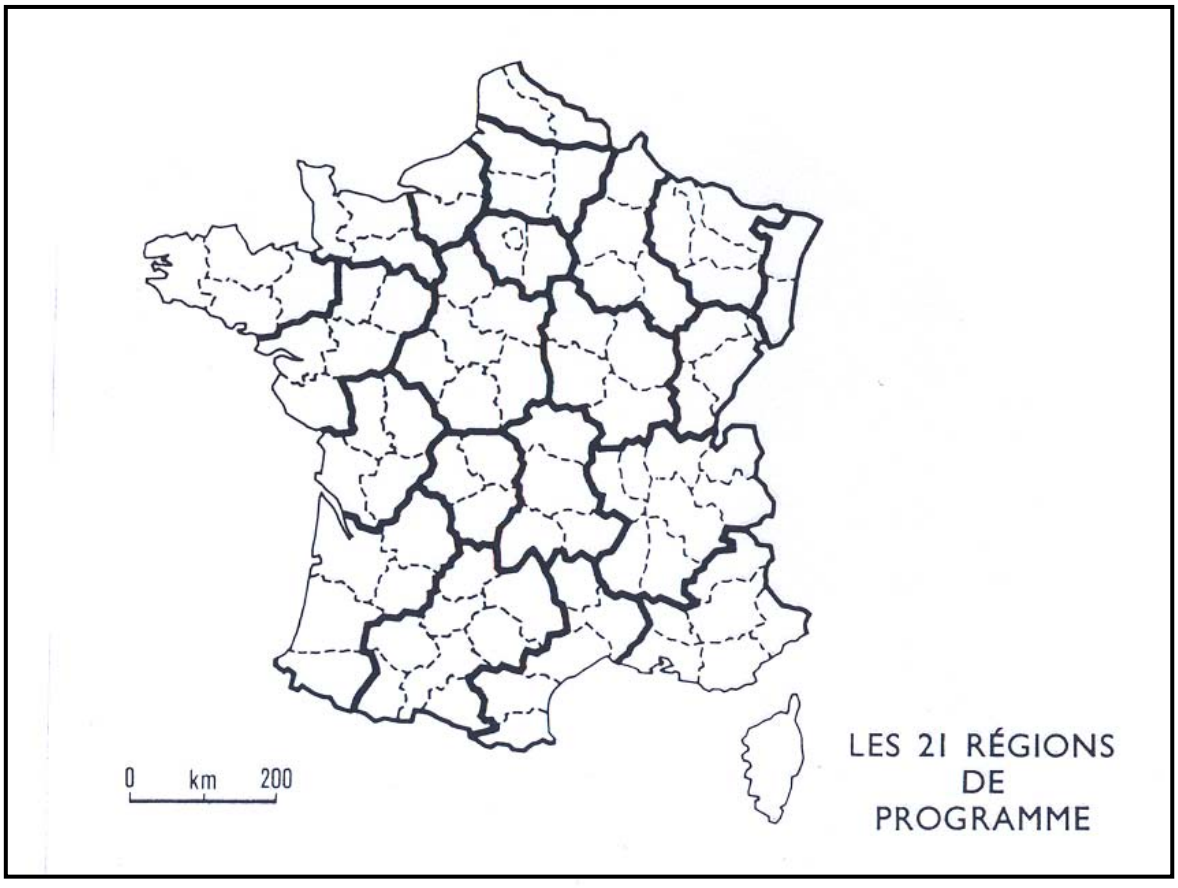


Figure 6 : Les vingt et une Régions de programme
[Dupoirier, 1998]

Les régions sont tout de même légitimées en 1972 avec la création des établissements publics régionaux, bénéficiant d'assemblées élues au suffrage indirect, trouvant leur action limitée au seul secteur économique et jouissant de moyens financiers très limités. La véritable avancée en terme de régionalisation a lieu en 1982 avec la réforme régionale mise en œuvre par G. Defferre, alors ministre de l'intérieur. La Région devient alors une subdivision administrative à part entière représentée par une assemblée élue au suffrage universel direct avec un président de conseil régional.

L'entité Région voit alors son éventail de compétence grandement élargi. Dans un esprit de continuité, la région conserve les tâches de planification économique qui lui étaient déjà dévolues : la gestion d'aides aux entreprises et la conduite des actions de développement économique constituent la trame principale de ce volet. En matière d'aménagement du territoire, la Région a en charge l'élaboration du plan d'aménagement régional et négocie la dotation de l'Etat pour mener à bien les opérations envisagées. Enfin et surtout, elle a en charge la création et la gestion et l'exploitation des infrastructures de communication. Toutefois, elle partage cette compétence sur certains aspects plus précis avec les départements ou les communes. Nous détaillerons plus tard l'ensemble de ces compétences et les problèmes qui en découlent.

1.2. La problématique de délimitation d'espaces régionaux

Le découpage réalisé en 1956 et proposant les 21 régions de programme encore effectives aujourd'hui a une incidence directe sur la problématique de gestion des transports qui nous intéresse ici. En effet, dans le cadre de la décentralisation des transports, c'est ce découpage qui a été retenu pour définir les périmètres de gestion des transports. Il est donc tout a fait intéressant de comprendre dans quel esprit et pour quelles finalités de départ a été pensé cette délimitation.
La carte des Régions de programme a été conçue par une commission spéciale de fonctionnaires du commissariat général au Plan. Elles ont été élaborées à partir de certaines règles. Elles devaient en premier lieu être composées de départements et ne pouvaient donc pas scinder en plusieurs parties un même espace départemental. Chaque région devait également vérifier la condition d'une population « suffisante » d'au moins un million d'habitants pour justifier la mise en place de certains services dans chacune des entités régionales. Enfin,

une ville d'une certaine importance et pourvue d'un rayonnement suffisamment large devait être présente sur ce territoire voire devait le fédérer.
Ces normes n'ont cependant pas toujours été respectées : certaines régions (le Limousin et la Franche-Comté) ne répondaient pas au seuil minimum d'un million d'habitants ; et une capitale forte et fédératrice n'apparaissait pas dans chaque région proposée. La conception de ces régions a plus relevé, en fait, d'un découpage autour des centres de polarisation théorique que de la délimitation d'espaces de vie ou de tentatives de compréhension d'un territoire vécu. Toutefois, certaines régions ne correspondent à aucune logique évidente, comme la région Pays de la Loire qui ne trouve une justification de ses limites ni dans l'histoire, ni dans la zone d'influence de sa capitale, Nantes.
Dans le contexte plus précis du Grand Est, le découpage régional a été fondé sur un appui historique beaucoup plus fort que dans le reste de la France. On retrouve en effet une marque très claire des anciennes provinces (figure 7). Dans cette partie du territoire français, les départements, mis en place à la révolution, suivaient déjà les frontières des anciennes provinces ; ce qui peut expliquer la relative similitude avec les régions de programme. On note toutefois quelques différences notables. Car même si l'Alsace et la Lorraine ne subissent quasiment aucune modification de leur territoire, la province de Bourgogne, tournée vers le sud et l'est, voit son territoire se développer vers l'ouest en annexant une partie du Nivernais et de l'Orléanais. La Franche-Comté voit Belfort rattachée à sa région principalement pour augmenter le poids démographique de cette dernière. Quant à la grande région Rhône-Alpes voulue par le Commissariat général au Plan, elle définit une aire d'influence lyonnaise orientée vers les Alpes et le long de la vallée rhodanienne au sud. On voit donc un découpage qui tente plus d'équilibrer que de comprendre le territoire national.

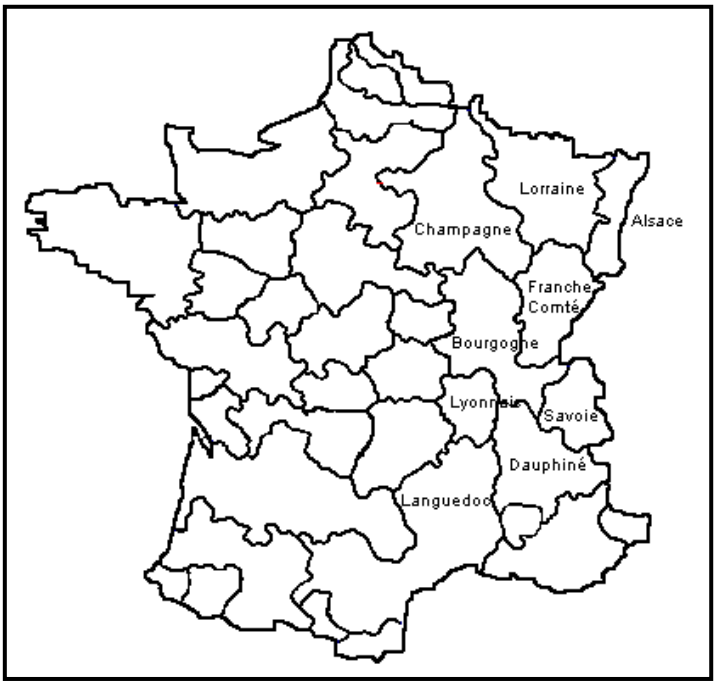


Figure 7 : Les provinces françaises
[Brongniart, 1971]

2. La décentralisation et les transports

La centralisation extrême que nous venons de voir sur le territoire français induit également une autre dimension pour les transports, principalement pour les transports ferrés. En effet, à la différence du réseau routier, il n'a jamais été question jusqu'à une date récente, de fournir sur l'ensemble du territoire français un service ferroviaire, mais bien de connecter l'ensemble du pays à sa capitale. La figure 8 illustre ce propos en présentant la trame principale du réseau ferré français actuel. L'encart numéro 1 montre comment a été pensé et conçu cette « étoile ferroviaire » et à quel point l'agglomération parisienne a aspiré à elle l'ensemble des ramifications du réseau.

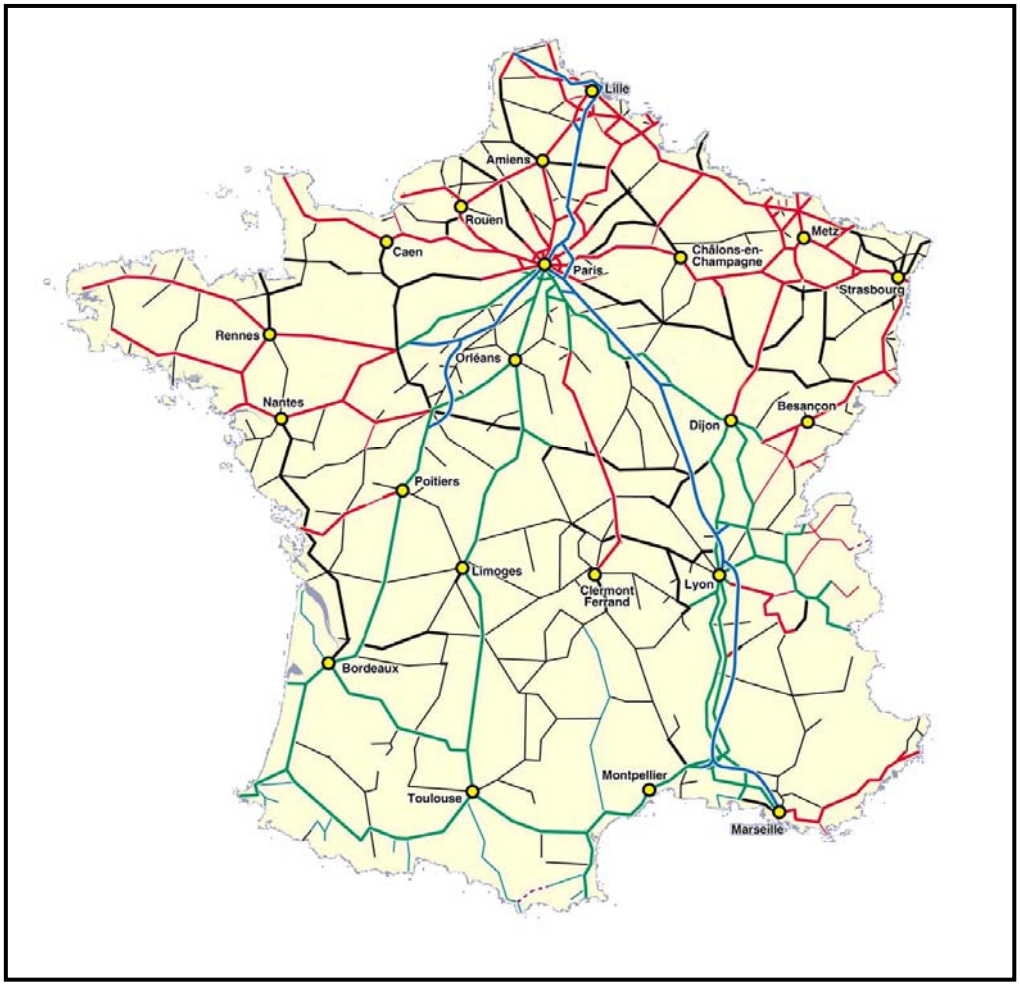


Figure 8 : Trame principale du réseau ferré français actuel
[Julienne, 2002]

Loi du 11 juin 1842
Loi relative à l'établissement des grandes lignes de chemins de fer
Titre premier : Dispositions générales.

Article 1

Il sera établi un système de chemins de fer se dirigeant,

1° de Paris
Sur la frontière de Belgique, par Lille et Valenciennes ;
Sur l'Angleterre, par un ou plusieurs points du littoral de la Manche, qui seront ultérieurement déterminés ;
Sur la frontière d'Allemagne, par Nancy et Strasbourg ;
Sur la Méditerranée, par Lyon, Marseille et Cette ;
Sur la frontière d'Espagne, par Tours, Poitiers, Angoulême, Bordeaux et Bayonne ;
Sur l'Océan, par Tours et Nantes ;
Sur le centre de la France, par Bourges ;

2° De la Méditerranée sur le Rhin, par Lyon, Dijon et Mulhouse ;
De l'Océan sur la Méditerranée, par Bordeaux, Toulouse et Marseille.

Ainsi, la politique de mise en place d'un réseau à grande vitesse, plus centralisé encore que le réseau ferré traditionnel (figure 9), a peu à peu pris le pas sur une orientation plus tournée vers un service ferroviaire régional de qualité et répondant aux attentes des populations locales. Ainsi, « le temps économisé, à un coût élevé pour la collectivité, [est] gaspillé dans l'inefficacité des transports complémentaires. (…). Il existe vraisemblablement dans bien des réseaux régionaux des gisements de productivité considérables que la fièvre du TGV peut faire juger aujourd'hui inexploitables ». [PLASSARD, 1994].

Un développement et un renouveau de gestion sont donc apparus comme nécessaire pour les transports à une échelle régionale. C'est dans ce cadre que la régionalisation du transport régional de voyageurs a été mise en place. Pourtant, il ne faut pas se laisser aveugler par les besoins territoriaux correspondant à cette réforme et bien remettre cette réforme dans son contexte, qu'il soit économique ou politique, pour en comprendre l'exacte finalité.

Figure 9 : Le réseau TGV français à l'horizon 2025
[La vie du Rail, 2004]

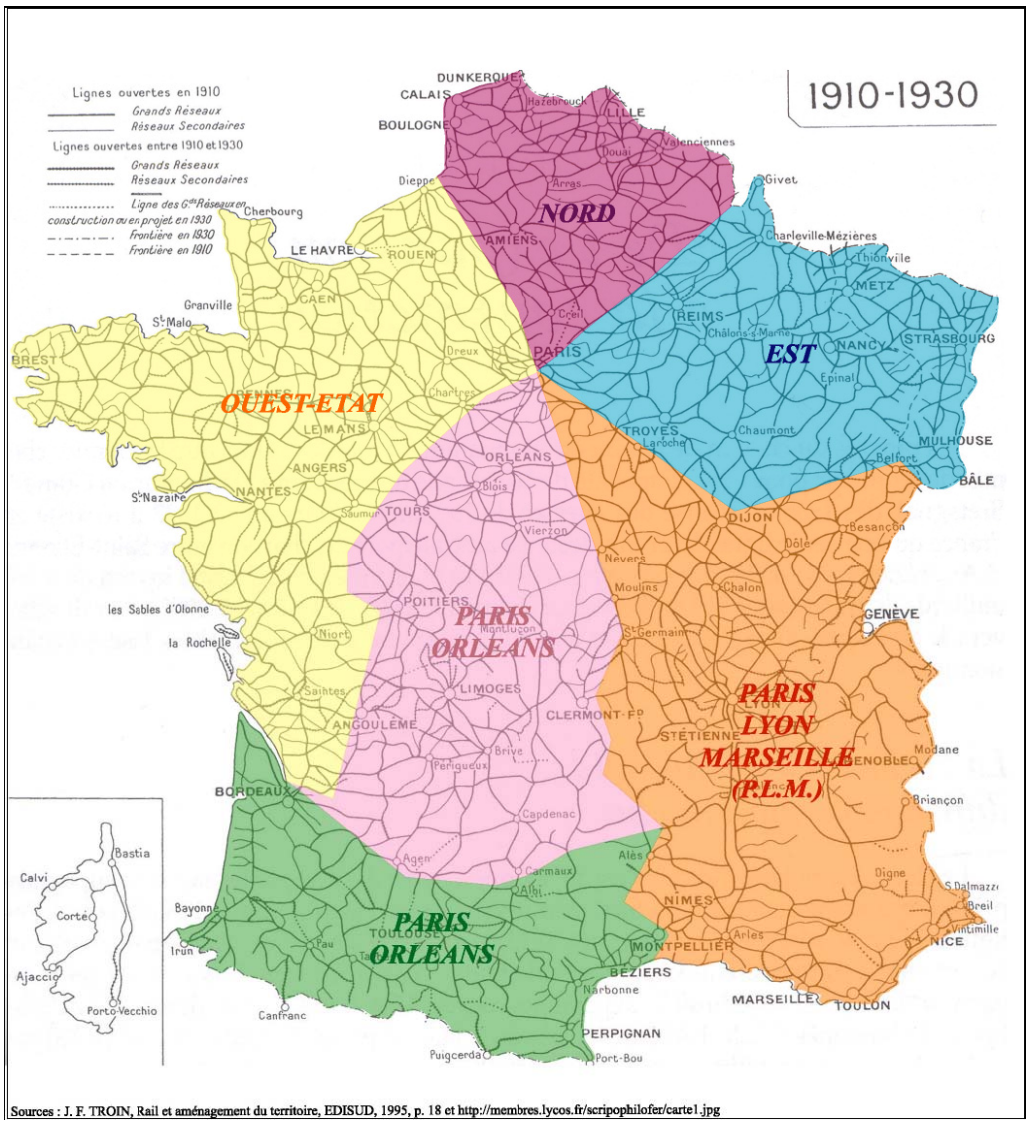
2.1. La gestion des transports ferroviaires régionaux avant la décentralisation

Pour bien saisir l'état du réseau ferroviaire et de sa gestion à la fin des années 1990, juste avant le début du processus de régionalisation ferroviaire, il est nécessaire d'analyser son évolution depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Ainsi, on peut mesurer l'importance de ce réseau dans son contexte territorial mais également dans le contexte plus large des transports multimodaux et mettre en lumière l'évolution inexorable de sa gestion vers une régionalisation et une nouvelle répartition des compétences entre Etat et SNCF.

L'évolution du réseau et de sa gestion

Au sortir de la seconde guerre mondiale, le réseau ferroviaire se trouve fortement désorganisé. En effet, la quasi-totalité de ce réseau est détruit ou endommagé. Mais c'est le réseau routier, tout aussi affecté, qui se trouve être la priorité de la reconstruction en termes de transport. Ce principe de fonctionnement est édicté par la Loi n°49-874 du 5 juillet 1949 qui fixe les modalités de la coordination des modes de transport et établit leur « mise à la disposition de l'économie du pays ». Cette loi, en fait, dans un contexte de reconstruction et d'optimisation des rapports coûts / service, contraint à « [préférer] l'utilisation du mode de transport qui (…) entraîne pour la nation le coût de production réel minimum ». Or le coût de reconstruction d'une voie de chemin de fer étant largement supérieur à la reconstruction d'une route, seuls les grands axes ont bénéficié d'une rapide remise en fonction. De plus, cette loi se base sur un contingent fixe de voyageurs pour quantifier l'offre de transport. Or la demande augmente très rapidement dès la fin de la seconde guerre mondiale. L'offre de transport ferré, lésée par le déficit d'aménagement que nous venons de voir, ne répond plus à la demande de mobilité des usagers et le train est souvent remplacé par des lignes de car moins coûteuses. [Revue générale des chemins de fer, 2004].
Durant cette période, on assiste également à une reconstruction sélective de la trame ferroviaire française. En effet, le réseau est épuré et nombre de petites lignes et gares de communes correspondant à une demande relativement faible sont fermées. La comparaison des figures 8 et 10 montre à quel point la densité du réseau a été amoindrie. C'est la capacité de desserte des espaces régionaux qui est principalement touchée par cette restructuration du réseau. Une politique à logique nationale prend donc le pas sur une logique régionale en

terme de transport. L'exemple du déclin des Chemins de Fer Départementaux (CFD), est, de ce point de vue, assez criant. Non dépendants de l'Etat, les CFD, souvent gérés par une société anonyme, était exploités pour le compte des collectivités locales (départements ou commues). Ils disposaient de leur propre réseau, dont le but était la connexion des principales communes d'un département avec son chef-lieu. Ce réseau se voit grandement amoindri après 1945 et les départements comme l'état, devant l'effort financier à produire pour la remise en fonction de ces réseaux, font alors le choix d'un transfert massif du trafic voyageurs et marchandises sur route [Carenco, 2002].



Sources : J. F. TROIN, Rail et aménagement du territoire, EDISUD, 1995, p. 18 et http://membres.lycos.fr/scripophilofer/carte1.jpg

Figure 10 : Le réseau ferré français lors de son extension maximale et son découpage en six compagnies
[Troin, 1995]

En 1969, cette logique se poursuit avec la contractualisation des rapports Etat-SNCF et de nouvelles fermetures de lignes de moyenne importance. « En France, sous la pression de la direction grandes lignes de la SNCF jusqu'alors toute puissante, l'organisation du transport ferroviaire a gommé l'organisation régionale du transport (…). Cela paraît d'autant plus surprenant que 93 % de tous les déplacements de personnes ont lieu à l'intérieur d'une seule région. » [Guihery, Perez, 1998]

L'organisation du chemin de fer français connaît un tournant en 1982. En effet, le 30 décembre 1982, la Loi d'orientation des transports intérieurs (LOTI) est votée. Cette loi pose les bases d'une nouvelle conception de la mobilité quotidienne en établissant un « droit au transport pour tous les usagers ». Elle fixe également un cadre politique pour « le développement harmonieux et complémentaire des divers modes de transport en situation de concurrence loyale ». Cependant, on retrouve une continuité avec la loi de 1949 puisque ce développement doit « [tenir] compte des coûts économiques réels liés à la création, à l'entretien, à l'usage des infrastructures, équipements et matériel de transport et des coûts sociaux ». Ainsi, la LOTI écarte définitivement la possibilité de remettre en service certaines lignes ferroviaire d'intérêt régional désaffectée après la seconde guerre mondiale.
La LOTI va introduire un problème nouveau dans la gestion des transports en amorçant une première décentralisation de leur gestion. Cette loi instaure en fait une séparation entre la responsabilité des transports urbains (gérés par les villes et les agglomérations), celle des transports inter-urbains par autocars (gérés par les départements), les transports ferroviaires devant être gérés à terme par les régions. C'est pourquoi « en France, sur certaines régions périurbaines, on peut ainsi trouver en parallèle une offre de service de l'entreprise de transport urbain, une ligne de car départementale, et une desserte ferroviaire, toutes trois aussi peu performantes l'une que l'autre, car non coordonnées, face à l'automobile ». [Guihery, Perez, 1998]
Enfin, cette loi change le statut de la SNCF pour en faire un établissement public industriel et commercial. Ainsi, la SNCF devient propriété à 100% de l'Etat. En nationalisant intégralement le capital de la SNCF, l'Etat espère pouvoir assainir les finances de la compagnie, déjà très préoccupantes.

Une institution ferroviaire en crise

L'Etat doit également se situer dans un contexte plus large de transport pour orienter sa politique de gestion. La construction progressive de l'Union Européenne connaît également des incidences sur les transports et plus particulièrement sur l'exploitation des réseaux ferrés.
Le secteur ferroviaire a « les caractéristiques fondamentales d'une activité relevant d'un monopole naturel : activité à rendement croissant issue de larges indivisibilités, apparaissant à la fois d'un point de vue " fonctionnel " – coordination des activités entre l'amont et l'aval de la production de bien– et des indivisibilités " techniques " –intégration et continuité du réseau, importance des installations– » [Baumstark, 1997]. L'exploitation et la gestion d'un réseau ferré souffrant de contraintes très fortes, son contrôle est souvent chapeauté par une institution unique, de manière réglementaire, la plupart du temps par la puissance publique. Les effets externes de réseau sur le territoire et une relative irréversibilité induits par les investissements et l'aménagement d'infrastructures, expliquent aussi la gestion par les pouvoirs publics d'un tel secteur.
Cependant, dans le cadre de l'ouverture européenne des marchés, une telle solution de gestion n'est plus possible, l'idée de monopole étant en contradiction directe avec l'arrivée de nouveaux opérateurs ferroviaires, voulue par la logique d'ouverture. De plus, une régulation monopolistique ne paraît pas justifiée pour l'activité ferroviaire en terme d'exploitation de réseau ; seule la gestion de l'infrastructure nécessite une concertation nationale et une réglementation centralisée. On rejoint ici les directives européennes qui exigent une gestion séparée du réseau et de l'activité ferroviaire. De plus, le cadre politique et territorial européen requiert une normalisation des réseaux nationaux pour permettre leurs interconnexions définies dans le cadre du T.E.N (Trans-European-Networks).
Cette réforme européenne, pour résumer, vise « au bout du compte à remettre en cause une vision homogène et compacte de l'activité ferroviaire dans l'objectif de réintroduire des mécanismes concurrentiels par l'arrivée de nouveaux opérateurs ». [Revue générale des chemins de fer, 1997]. La difficulté étant d'autoriser cette nouvelle concurrence sans mettre en péril la structure, la sécurité voire la continuité, en somme la pérennité du réseau. C'est dans cette optique qu'a été créé le 19 mars 1999 le Conseil Supérieur du Service Public Ferroviaire (CSSPF) qui est chargé de veiller à l'unicité du service public ferroviaire et à la cohérence de sa mise en œuvre par Réseau Ferré de France (RFF) et la SNCF.

2.2. La décentralisation des transports ferroviaires

Le processus de décentralisation du transport ferroviaire de voyageur peut être vu sous deux angles différents. D'une part la réponse aux problèmes liés aux directives européennes sur le transport avec la séparation des gestions du réseau et de son exploitation que nous venons de voir ; et d'autre part par le transfert de compétences aux régions en ce qui concerne le financement et l'organisation du transport ferroviaire régional de voyageur.
Mais il serait dans doute plus juste de voir cette décentralisation comme l'un des deux volets du sauvetage financier de la SNCF, l'autre étant la création de RFF et la séparation définitive des compétences entre l'Etat représenté par RFF (Réseau Ferré de France) et la SNCF.

La séparation des compétences entre RFF et la SNCF

La division des pouvoirs et des compétences opérée par la loi du 13 février 1997 comprend également un transfert des dettes que la SNCF avait contractées pour financer et gérer les infrastructures. En réalité, « RFF sert à redresser la situation financière catastrophique de la SNCF qui contractait une dette de 31,1 milliards d'euros en 1997. La SNCF se trouve désendettée des deux tiers du montant initial de cette dette et l'Etat se voit ainsi en charge du remboursement de 20,4 milliards d'euros ». [LEVEQUE, 2003].

Toutefois, comme nous l'avons déjà vu, ce transfert de compétences et de financement est directement en lien avec le processus de régionalisation du transport ferroviaire puisqu'il ouvre, théoriquement du moins, l'exploitation du réseau à de nouveaux opérateurs ferroviaires. Cette libéralisation progressive du marché ferroviaire permet la mise en place d'appels d'offres régionaux et autorise à terme les régions à s'affranchir définitivement de la tutelle décisionnaire, tarifaire et organisationnelle (même si dans la théorie cela devrait déjà être le cas) de la SNCF. Cependant, pour l'instant, la SNCF garde un pouvoir très important, puisqu'elle reste, de manière appliquée, en situation de monopole. Il n'est en effet pour l'instant pas d'actualité d'ouvrir l'exploitation du réseau à d'autres opérateurs dans le cadre des Transports Express Régionaux (TER). En réalité, une primauté à été concédée à la SNCF quelles que soient les réformes ou modifications voulues par les régions. En

fait, « dans le cadre des règles de sécurité fixées par l'Etat et pour garantir le développement équilibré des transports ferroviaires et l'égalité d'accès au service public, la Société nationale des chemins de fer français assure la cohérence d'ensemble des services ferroviaires intérieurs sur le réseau ferré national ». Cette préférence à l'opérateur national, directement héritée de la LOTI a été réadaptée dans le cadre de la loi relative à la solidarité et au renouvellement urbains (SRU) de décembre 2000. L'article concerné s'est vu modifié en juillet 2004. Toutefois, le monopole de la SNCF n'en reste pas moins présent, bien que plus implicite. Il s'agit là d'un frein important à une réelle réforme de régionalisation des transports. La SNCF, normalement force de proposition dans l'organisation du transport régional de voyageur, se trouve souvent en position de décideur, aucune autre proposition apparaissant comme concurrente.

L'expérimentation de la régionalisation

Comme nous l'avons déjà évoqué, les buts de la régionalisation du transport ferroviaire de voyageurs sont multiples. Ils sont tout d'abord politiques, vis-à-vis des directives européennes, mais également vis-à-vis d'un exercice du pouvoir voulu plus proche des populations locales depuis plusieurs années.
C'est dans cet esprit qu'à la suite de la loi de 1995 sur l'Orientation pour l'Aménagement et le Développement du Territoire (LOADT), sept présidents de régions décident d'expérimenter sur le territoire qu'ils administrent la régionalisation du transport ferroviaire de voyageurs. Il s'agit des régions, Alsace, Nord-Pas-de-Calais, Pays de la Loire, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Rhône-Alpes en 1997, auxquelles est venu se rajouter le Limousin en 1999. Cette loi est en réalité inspirée d'un rapport commandité par le ministre de l'équipement, des transports et du tourisme, et réalisée par le sénateur Hubert Haenel. Ce rapport mettait déjà en avant dès 1994 « la nécessité du renforcement du rôle des régions en tant qu'autorités organisatrices des transports » [Campagne, 2004].
Toutefois, ce transfert de compétences n'est hélas pas allé aussi loin que le proposait la LOADT qui exigeait qu'« afin d'assurer la mise en œuvre de la politique nationale d'aménagement et de développement du territoire, une loi défini[sse], après une phase d'expérimentation […] les modalités d'organisation et de financement des transports collectifs d'intérêt régional et les conditions dans lesquelles ces tâches seront attribuées aux régions, dans le respect et l'égalité des charges imposées au citoyen ainsi que de l'égalité des

aides apportées par l'Etat aux régions ». Mais cette loi précise : « sous réserve de l'expérimentation, cette loi devra prendre en compte le développement coordonné de tous les modes de transport et assurer la concertation entre toutes les autorités organisatrices de transport ». Sur ce dernier volet, la coordination voulue reste théorique, la gestion de transports, suivant le mode ou le territoire d'application, restant éclatée entre de multiples organismes et différents découpages administratifs.
Les régions réalisant cette expérimentation se placent donc comme des autorités organisatrices des transports régionaux ferroviaires. Elles en ont donc la charge politique et financière et doivent confier à un exploitant la mise en œuvre du transport express régional qu'elles élaborent. L'exploitant restant en France la SNCF, qui, pour les raisons déjà évoquées, reste en situation totale de monopole.
Mais le problème de la régionalisation se pose également comme un problème financier. En effet, pour financer ce transfert de compétences, les subventions de l'Etat antérieurement attribuées à la SNCF sont versées directement aux Régions. Cependant, comme le transport ferré régional souffrait d'un déficit de moyens et de volontés politiques avant cette réforme, la difficulté d'organiser un service répondant aux attentes et préférences régionales des citoyens est demeurée présente.

En réalité, un autre problème financier, implicite celui là, explique également ce processus de régionalisation ferroviaire. L'exploitation des TER, avec nombre de lignes d'importance moindre et non avantageuses financièrement, n'est pas rentable. Ainsi, en décentralisant les transports, on décentralise également un facteur d'aggravation de la dette de la SNCF. La SNCF étant un organisme public, ce n'est plus l'Etat qui assume cette activité peu rentable, mais bien les régions.
On retrouve ici le problème pour lequel les politiques cherchent depuis nombre d'années une solution. Il s'agit d'assainir les finances catastrophiques de la SNCF et de tout le système ferroviaire français qui atteint une dette record en 2005 avec plus de 40 milliards d'euros. Il est difficile d'avancer un chiffre précis, cette dette étant répartie en plusieurs partitions. Cet argent étant toujours fourni par le contribuable, on peut se demander l'intérêt de répartir ainsi les charges sur les différents échelons administratifs de l'Etat. Les raisons, en réalité, sont les mêmes que celles qui ont amené les responsables politiques français à créer, en 1994, le Service Annexe d'Amortissement de la Dette (SAAD) qui était destiné à alléger les dettes de la SNCF et qui supporte aujourd'hui à lui seul environ 6 milliards de la dette globale. Cet organisme

vise à répartir la dette du système ferroviaire français afin de réduire la dette « officielle » de la SNCF. Ainsi, une partie de cette dette sort de l'endettement public, cet endettement étant limité par les engagements français auprès de l'Europe.
Cependant, ces raisons financières ne doivent pas gommer la réforme de fond que représente la régionalisation ferroviaire, nécessaire d'un point de vue organisationnel.

2.3. Le transfert de compétences aux régions : la loi SRU

A la suite de la phase d'expérimentation, le 13 décembre 2000, la loi de Solidarité et Renouvellement Urbain (SRU) fixe définitivement les dispositions relatives aux transports collectifs d'intérêt régional. Cette loi généralise le transfert de compétences aux régions en ce qui concerne le financement et l'organisation du transport ferroviaire régional de voyageurs. Ce transfert est réalisé de manière opérationnel à partir du 1er janvier 2002, date à laquelle « les charges transférées aux régions du fait du transfert de compétences sont compensées [par] le transfert concomitant de l'Etat aux régions des ressources nécessaires à l'exercice normal de ces compétences » [Loi SRU, 2000].
Les régions ont également à leur charge la communication afférente aux questions de transport ferroviaire, ainsi que les politiques tarifaires et les politiques de contrôle de la qualité du service. En réalité, « quatre acteurs sont impliqués dans ce transfert de compétences : l'Etat qui va transférer aux régions les ressources nécessaires à la mise en œuvre de cette nouvelle compétence, (1,5 milliards d'euros en 2002[…]) ; les Régions, qui seront aussi responsables de la politique tarifaire à condition de rester dans les limites nationales ; la SNCF, seul acteur autorisé pour l'instant par la loi pour les opérations de transport ferroviaire, la gestion de personnel et le matériel roulant et RFF qui est en charge des voies ferrées du moins institutionnellement puisque c'est la SNCF qui agit par délégation » [Burlando et Guihéry, 2004]
Cette loi bride donc en partie les Régions dans leur marge de manœuvre en tant qu'autorité organisatrice en entravant leur libre politique tarifaire, mais surtout en imposant une nouvelle fois la SNCF comme unique opérateur ferroviaire.
De plus, au-delà de la simple exploitation du réseau, la SNCF se pose comme un conseiller envers la région pour l'organisation et l'amélioration générale du transport ferroviaire. En conséquence, « le jeu d'acteurs entre la Région et la SNCF est biaisé puisque la SNCF se présente aux régions comme une "force de proposition" et "un exploitant-conseil" ! Comment en effet imaginer une

indépendance de choix publics, de gestion, de stratégie » [Bardy, 2004] dans la mesure ou la SNCF, dans l'ensemble de ces tâches, ne se voit opposer aucune concurrence ni aucune autre proposition.
Toutefois, si la loi SRU fixe le cadre législatif, « une convention [est] passée entre la Région et la SNCF [pour] fixer les conditions d'exploitation et de financement des services ferroviaires relevant de la compétence régionale ». Chaque Région doit donc élaborer et signer avec la SNCF une convention de régionalisation qui lui est propre et qui permet une adaptation de la loi aux spécificités de son territoire.
La convention de décembre 2001 qui concerne la région de Franche-Comté ne présente pas de spécificités particulières vis-à-vis de la loi SRU. Cependant, on peut remarquer que là où la loi restait silencieuse, la convention n'apporte pas d'éclaircissement. La possible remise en fonction de voies non exploitées par la SNCF ne figure aucunement dans les possibilités ni dans les apports financiers qui pourraient lui permettre de voir le jour. Ainsi, la compensation financière élaborée par l'état écarte toute prise en compte de modification de fond du réseau régional.
De même, le système de pénalité pour les services non assurés paraît étonnant, dans le sens où, parallèlement à la compensation financière, le service est de toutes façons financé par la Région, qu'il soit effectué ou non. La Région est donc en droit de réclamer une compensation financière pour une dégradation de la qualité du service, mais ne se voit pas rembourser le service non effectué.
Toutefois, la convention prévoit de pallier certains manques de la loi SRU en proposant, par le biais de conventions annexes, de « rechercher avec les autres autorités organisatrices, la complémentarité entre les différents niveaux et modes de transports publics ».

CONCLUSION

La Région administrative, telle que nous la connaissons aujourd'hui, s'est construite sur un temps long en subissant des influences diverses. Les différents objectifs, administratifs, politiques et idéologiques ont complexifié le processus d'élaboration de cette entité territoriale. Il apparaît néanmoins que les périmètres des Régions de programme ont été élaborés dans un objectif d'équilibre du territoire français et non sur un aspect fonctionnel des espaces régionaux.

Par ailleurs, le transfert de compétence des transports aux Régions est en marche dans un contexte politique et économique spécifique, qui marque très nettement de son empreinte les choix réalisés dans ce domaine. Le fonctionnement particulier de la SNCF notamment, résumé par la figure 11, a fortement retardé un véritable processus de régionalisation ferroviaire par la conservation d'un niveau décisionnel à l'échelle nationale. D'un autre côté, la régionalisation des transports, accélérée par les directives européennes, a certainement manqué d'une réflexion de fond sur les périmètres d'application des compétences de gestion.

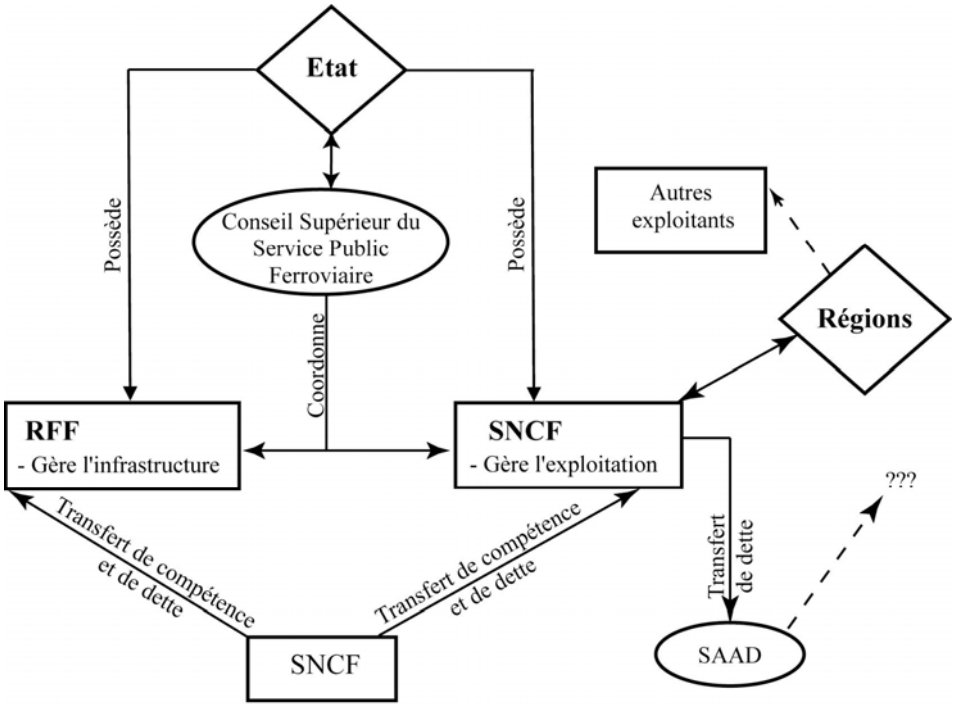


Figure 11 : Organisation financière et de gestion du transport ferroviaire français

Chapitre 3

Analyse critique de la Région administrative en tant qu'autorité organisatrice des transports

Définir ce qu'est une Région pose divers problèmes comme nous venons de le voir. Lorsque cette définition est attachée à un thème particulier, comme ici les transports, la tâche peut paraître plus aisée car plus ciblée. Toutefois, le thème des transports ne permet pas cette facilitation, de par sa grande complexité et un contexte difficile. De plus, et ce même dans le cas d'une gestion ferroviaire, il est nécessaire d'embrasser la problématique des transports dans son entier et ne pas se limiter à un mode particulier. En effet, l'ensemble des modes de déplacement, étroitement liés, permet d'éclairer et de décrire la logique spatiale inhérente au transport ferroviaire.

Nous allons, dans un premier temps, discuter, dans une approche critique, du niveau d'échelle le plus adapté pour la gestion de la mobilité quotidienne actuelle. Dans un second temps, nous étudierons les choix réalisés par certains de nos voisins européens concernant ce domaine. Enfin, nous étudierons une délimitation possible de la région de transport en Franche-Comté.

1. Analyse critique du niveau d'échelle de gestion de la mobilité quotidienne

Les contextes politiques français et européen ont amené à inscrire la décentralisation des transports dans le cadre plus vaste de la décentralisation voulue depuis la fin des années 1960. Afin de la rendre plus lisible, de marquer un ancrage populaire plus fort, de créer une identité régionale de transport, et certainement dans un souci de facilité d'organisation immédiate, la région administrative a été retenue comme périmètre de gestion. De plus, ce choix contribue à l'émergence de régions fortes, échelon administratif privilégié dans la construction européenne.
Pourtant les périmètres de gestion précédents, élaborés à cet effet par la SNCF, présentent des régions assez différentes des régions de programme que nous connaissons (figure 12). De plus, certains de nos voisins européens ont fait le choix d'élaborer un découpage spécifiquement adapté aux transports ferroviaires et à leur gestion. Dans ce contexte, la Région administrative dispose-t-elle d'un périmètre adapté à la gestion très spécifique des transports, et est-ce même le bon niveau d'échelle pour se charger, dans un contexte de modification des pratiques temporelles et spatiales, de la gestion et de la bonne complémentarité des transports publics ?

1.1. L'échelle régionale, échelle de la mobilité quotidienne

La Région se pose, en premier lieu, comme le territoire de consommation de la mobilité quotidienne. En effet, 93 % des déplacements quotidiens sont effectués dans un même périmètre régional. De plus, l'augmentation sensible des distances parcourues par personne et par semaine marque bien le dépassement du strictement local et étend le territoire de la mobilité quotidienne à un périmètre transgressant largement l'espace périurbain des agglomérations. Enfin, une nouvelle forme de mobilité, régulière sans forcément apparaître comme quotidienne, voit le jour depuis plusieurs années. Il s'agit d'une mobilité affichant de plus longues distances, souvent centralisées sur Paris ou les grandes métropoles françaises ou européennes, et souvent attachées à la modalité des transports en commun.

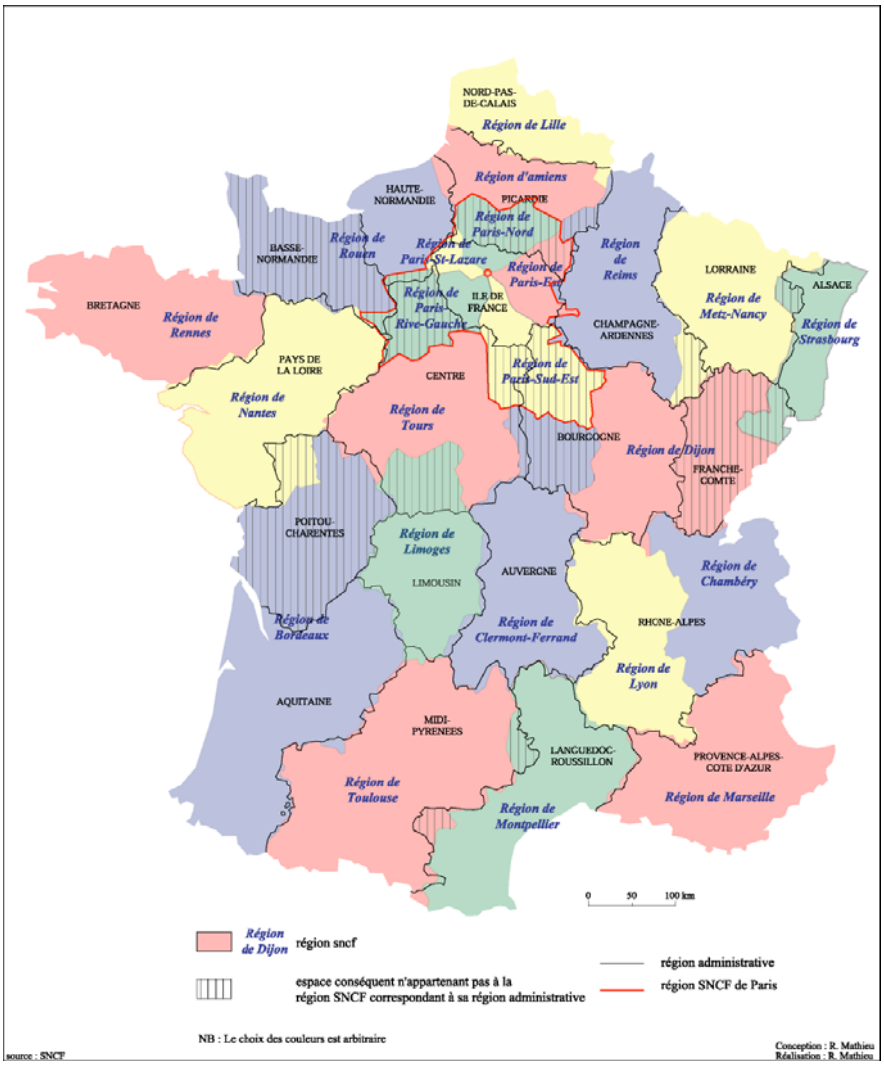


Figure 12 : Le découpage du territoire français : la confrontation des régions administratives et des régions SNCF
[Mathieu, 2004]

Par ailleurs, la périurbanisation, si elle ne correspond plus à l'ensemble des déplacements quotidiens, reste tout de même un élément fort et contraignant des déplacements de personnes. Cette évolution de l'habitat et des pratiques spatiales créée une saturation des réseaux urbains et périurbains, et congestionne quotidiennement les grandes pénétrantes des agglomérations. Le développement d'un transport régional performant paraît donc fondamental pour garantir une évolution maîtrisée et durable des grandes métropoles régionales. La gestion synchronisée de l'ensemble des services de transport public sur le territoire régional fournirait une cohérence accrue de ces services et permettrait sans doute de contrôler la saturation des réseaux.

Face à ces constatations, il apparaît que l'échelle régionale semble être l'échelon territorial de gestion le plus pertinent en terme de mobilité quotidienne dans le contexte actuel. De même, la prise de conscience récente en matière d'environnement et de développement durable plaide pour organiser, à cette échelle, un développement maîtrisé et optimisé du transport inhérent aux grandes agglomérations régionales. En meilleure concordance avec l'éloignement des relations domicile-travail, l'échelle régionale apparaît donc comme une interface privilégiée entre le local et le global.

L'attention grandissante des populations envers l'environnement et la mauvaise image croissante du transport routier vis-à-vis de ces problèmes vient également soutenir le transport ferroviaire et appuyer son importance au niveau régional. Il est certain aussi que l'accroissement de la mobilité des voitures dans les grandes agglomérations présente des coûts d'aménagement et environnementaux de plus en plus élevés et pour lesquels les pouvoirs publics, qu'ils soient locaux ou nationaux, cherchent des solutions. Dans ce contexte, l'investissement local dans les transports ferrés trouve une justification toute particulière.

1.2. La gestion de la mobilité quotidienne dans la problématique des réseaux de transports

Mais si la région présente pour le transport ferroviaire un périmètre de gestion intéressant, le transport ferroviaire participe pleinement à la structuration de l'espace régional. En effet, la trame ferroviaire s'inscrit au niveau local dans une échelle avant tout régionale. « Le rôle central du transport ferroviaire régional comme articulation entre les grands réseaux, à grande vitesse en particulier, et les régions […] a le mérite de préciser la définition et les frontières de l'activité "transport ferroviaire régional" ». [Guihery, Perez, 1998]. Le réseau ferroviaire fournit une architecture et donne un sens à la logique spatiale du transport.
Régionaliser les transports et penser régionalement les réseaux introduit inévitablement la notion de hiérarchisation de ces réseaux. Toutefois, si on attache le terme réseau à la réalité que représente l'infrastructure de transport, on ne peut pas définir par cette approche la hiérarchie du réseau. En effet, si on se limite à cet aspect, « les infrastructures s'emboîtent et se chevauchent dans l'espace à des niveaux d'échelle différents » [Meersman, 2005]. Il est pourtant

important de comprendre cette hiérarchie et son fonctionnement pour évaluer les périmètres du transport régional et de son fonctionnement.
Pour les mêmes raisons d'imbrication auxquelles viennent s'ajouter des raisons de vitesse de plus en plus normalisées entre les TER et les trains grandes lignes, la vitesse ne paraît pas non plus être un critère pertinent pour comprendre et établir une hiérarchie des réseaux de transport. Il faut donc, dans le cas spécifique des TER, s'orienter vers l'interprétation des distances et des temps de parcours.

L'organisation spatiale du transport à l'échelle régionale est donc conditionnée par les potentialités de connexion du réseau local au réseau global. On retrouve là l'idée d'"arrimage" exprimée par A. Bonnafous [Bonnafous, 1993] qui explique l'importance des interconnexions existantes entre les différents niveaux d'échelle du réseau. En effet, le développement en autarcie des réseaux régionaux est impensable. Tout réseau local se définit donc autour de ses points d'accès aux grands réseaux. De plus, « on peut observer que les points d'accès à ces grands réseaux de transport forment sur l'espace un semis de points relativement dispersés. L'efficacité des interconnexions avec le réseau principal constitue donc un élément déterminant pour le succès du transport régional ». [Certu, 1998]. Ce concept d'arrimage et la configuration spatiale de ces points conditionnent donc l'organisation des périmètres de gestion d'un transport régional. Il s'agit en fait de définir un périmètre permettant la mise en place d'un plan de transport régional intégré au réseau national et par là même plus efficace.

1.3. L'importance grandissante du transport ferroviaire régional

Le périmètre régional comme périmètre de gestion des transports trouve également sa justification dans l'importance grandissante des transports ferroviaires régionaux. En 2000, l'activité du transport régional ferroviaire atteint presque le même chiffre d'affaires (3,66 milliards d'euros), que l'activité Grandes Lignes, 4,12 milliards d'euros (source SNCF, 2000). Même si ce chiffre est à relativiser car il ne porte pas sur les mêmes capacités du réseau et les mêmes mises en œuvre techniques, il n'en reste pas moins très important et tout à fait remarquable. De plus, le service de transport ferroviaire régional assoit son importance par l'étendue de la population qu'il concerne. En effet, les TER concernent, en 2000, 4 millions de voyageurs chaque année et représentent plus de 200 millions de déplacements annuels. Il est difficile de

connaître l'évolution récente de ce chiffre, la SNCF étant peu encline à fournir des données significatives. En effet, les TER et le trafic Grandes Lignes partageant par endroits le même réseau et le même matériel roulant, il est difficile de quantifier les voyageurs attachés à l'offre TER de ceux attachés à l'offre GL. Un voyageur muni d'un abonnement TER peut tout à fait effectuer son déplacement à bord d'un train grande ligne si ce dernier effectue le trajet similaire au TER. De plus, les recettes reversées à la région par la SNCF étant fixées sur les chiffres de fréquentation de chacun de ces services, la SNCF se présente comme évaluateur de la somme qu'elle doit reverser. Dans ce cadre, un certain recul est nécessaire pour interpréter ces chiffres de fréquentation de services.

Toutefois, ces dernières années marquent sans nul doute une avancée significative en matière de fréquentation des TER (figure 13). Cette augmentation est due entre autre au renouvellement du matériel roulant et à l'effort concédé par nombre de régions pour la modernisation global du service TER. Le sentiment identificatoire et la notion de proximité développés par les conseils régionaux jouent également certainement pour expliquer cet accroissement de clientèle, ainsi que l'évolution de l'offre qui connaît globalement une croissance.

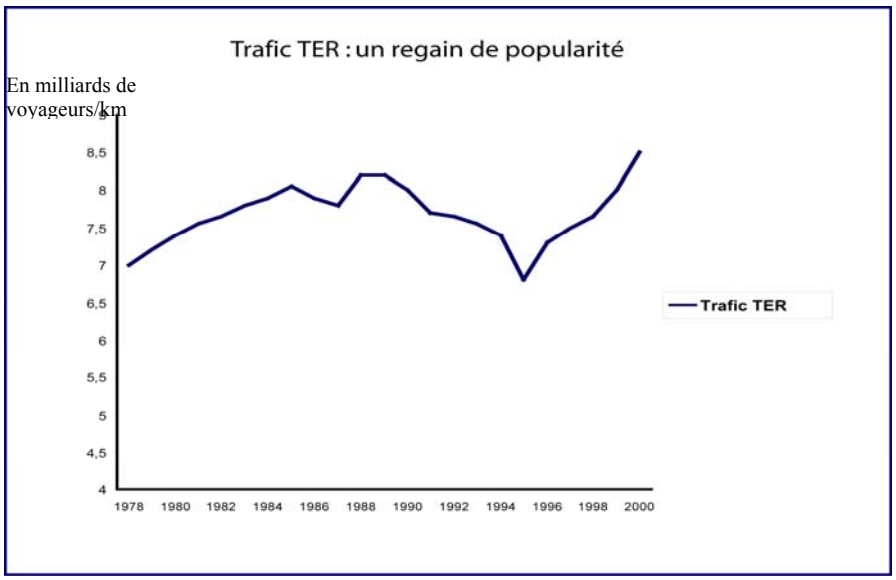


Figure 13 : L'évolution du trafic TER
Source : SNCF

2. Les choix de gestion de nos voisins européens

La réforme concernant la séparation de la gestion de l'infrastructure et de l'exploitation est en cours dans toute l'Union Européenne. L'ensemble des pays membres a en effet ratifié la directive 91/440 réglementant la séparation au moins financière de ces deux compétences.
Cette réforme, centrale dans le processus de régionalisation des transports, connaît toutefois des différences dans son application selon les pays. De même, la régionalisation ferroviaire, suggérée mais non réglementée par l'Europe, ne se voit pas appliquée dans tous les pays de l'Union.
L'exemple est pris ici de deux pays ayant opté pour des choix résolument différents, autant en terme de régionalisation que de libéralisation de leur marché ferroviaire.

2.1. Le fédéralisme allemand

L'Allemagne a, jusqu'en 1994 année de la réforme des transports, connu une politique de transport très prudente vis-à-vis de l'automobile. Mais cette réforme marque un tournant décisif et une véritable volonté de proposer une alternative concrète et opérationnelle à ce mode de déplacement. Le chemin de fer, notamment, a connu depuis cette date, une réelle transformation et de nombreux investissements.

La situation de l'Allemagne, en matière ferroviaire avant les réformes, n'est que peu comparable à la situation française. Elle s'est tout de même confrontée aux mêmes problèmes de suivi de la directive européenne 91/440 (sur la séparation de la gestion des infrastructures et de l'exploitation) et d'organisation d'un transport décentralisé. Toutefois, la décentralisation et le processus de régionalisation ne sont pas réellement comparables, les Länder allemands bénéficiant de pouvoirs plus importants que les Régions françaises.
Concernant la gestion du secteur ferroviaire, la Deutsche Bahn Ag (DBag), qui a remplacé les deux entreprises ferroviaires est et ouest allemandes, a été séparée en quatre secteurs d'activité. La gestion de l'infrastructure a donc été séparée de l'exploitation, elle-même scindée en 3 secteurs : le transport régional de voyageurs, le transport de voyageurs longue distance et le fret. En parallèle, un office fédéral des chemins de fer, le *Eisenbahnbundesamt*, a été créé pour une meilleure coordination et gestion du réseau. La gestion de ce

réseau marque ici une différence marquante avec la gestion française puisqu'il est extrêmement difficile, du point de vue juridique, de procéder à la fermeture d'une ligne, action qui nécessite un avis positif de l'office fédéral des chemins de fer. A contrario, l'ouverture d'une ligne nouvelle, si son intérêt est avéré pour une meilleure homogénéité territoriale, est financièrement encouragée par ce même organisme.
Une autre différence notable concerne la gestion de la dette de l'entreprise ferroviaire allemande qui, contrairement au système français, a été intégralement prise en charge par l'Etat via un organisme fédéral, le BEV.

Concernant le processus de régionalisation, le transfert de compétences a été mis en place plus tôt qu'en France. Dès 1996, les Länder se voient confier l'organisation et le financement de l'ensemble du transport régional. Ainsi, ils ont en charge la coordination de l'ensemble des services de transport en commun, quel qu'en soit le mode ou le niveau d'échelle d'application.
Cependant, cette compétence n'est pas toujours appliquée comme telle sur l'ensemble du territoire des Länder. En effet, chaque Land a le choix de déléguer sa compétence aux collectivités territoriales ou communales qui le composent, d'exercer lui-même sa compétence, ou d'organiser une gestion par la formation de groupements d'intérêts. Se pose alors le problème central de notre travail vis-à-vis de la régionalisation des transports et la définition d'un périmètre d'application de cette réforme.
Le choix le plus courant des Länder a été de s'appuyer sur les groupements d'organisation des transports, les *Verkehrsverbünde*, préexistants à la régionalisation, et qui dépassent largement le cadre de la compétence territoriale et administrative d'un Land. En réalité, ces entités territoriales correspondent plus à des pôles locaux de mobilité et se calquent souvent sur des zones d'emplois élargies. Les *Verkehrsverbünde* en réalité assurent une coordination, aussi bien organisationnelle que tarifaire de tous les moyens de transport public sur les pôles de rabattement urbains. Les Länder gardent donc à charge la gestion des transports collectifs ruraux et se chargent, en siégeant au sein des *Verkehrsverbünde,* de la bonne coordination de ces transports avec les services à vocation urbaine et périurbaine.
L'exemple des transports périurbains de Karlsruhe sont intéressants de ce point de vue par deux aspects : Par la coopération entre la DB et l'entreprise des transports de Karlsruhe d'une part ; et par la volonté politique d'adapter les périmètres de gestion des transports à la fonctionnalité des espaces de la mobilité quotidienne. En effet, « les tramways circulant dans le périmètre urbain sortent de la limite de la ville en utilisant le réseau de la compagnie

nationale de chemin de fer (DB) pour desservir des communes extérieures jusqu'à 30 kilomètres. » [CERTU, 94]

2.2. Le libéralisme anglais

Le Royaume-Uni s'est attaqué très tôt, en rapport avec une politique globale très libérale, à la privatisation du chemin de fer. Dès 1993, le parti conservateur met en place le *Railway Act* afin de diminuer les contributions publiques concernant l'activité ferroviaire. Il s'agit en réalité du démembrement complet du réseau ferroviaire par l'éclatement en plus de 90 filiales de la British Rail, l'ancienne société des chemins de fer britannique.
La plupart de ces filiales ont engendré de nouveaux exploitants du réseau, des *Trains Operating Compagnies*, qui fonctionnent par contrats de concession pour des durées de 7 à 15 ans. Mais la principale différence avec les voisins européens est certainement les choix faits en matière de gestion et d'entretien de l'infrastructure. En effet, une société privée, la *Railtrack*, a été créée et s'est vu confier la propriété et la gestion de l'infrastructure ferroviaire. Elle a principalement la charge de maintenance des voies et perçoit les redevances versées par les exploitants pour la location des sillons de passage. Le Royaume-Uni a donc totalement condamné la construction ou remise en fonction de lignes nouvelles en confiant la gestion du réseau à une société privée : de telles opérations présentant des coûts très élevés, aucune rentabilité n'est possible à court ou moyen terme sur une ligne nouvelle.
Deux organismes assurent la liaison opérationnelle entre la gestion de l'infrastructure et son exploitation par les différentes sociétés ferroviaires. Le *Rail Regulator* d'une part, organise les marchés alloués aux exploitants en délivrant les licences d'accès au réseau et en établissant les règles de concurrence. D'autre part, la *Health and Safety Executive* veille à ce que les normes de sécurité fixées par l'Etat soient respectées, aussi bien en ce qui concerne l'infrastructure que le matériel roulant.
Les *Trains Operating Compgnies* assurent donc l'exploitation des lignes et sont soumises à une obligation d'assurer un service public et à un encadrement des tarifs.

Ce choix de gestion a rapidement posé plusieurs problèmes. Le premier problème, et certainement le plus visible pour une personne non britannique, est la sécurité et les accidents qui en découlent. En effet, « depuis 1993, la part des accidents ferroviaires imputables au système ferroviaire (qu'il s'agisse de

problèmes liés à l'infrastructure ou à la circulation des trains) a augmenté de plus de 40 % sur le territoire britannique alors que les progrès techniques et les avancées en matière de sécurité ont amené la SNCF a réduire considérablement les accidents sur le réseau français » [l'Expansion, 2001]. En effet, depuis 1991 et l'accident de Melun, aucun accident ferroviaire n'a été imputable directement à la SNCF.
Le système d'entretien du matériel, basé sur un principe de rentabilité, ne garantit plus, en effet, la sécurité comme objectif principal. De même, les usagers du transport ferroviaire ne sont plus au centre de l'organisation, la rentabilité de l'entreprise a pris cette place. Ainsi, la mission de service public n'est plus assurée au point que Tony Blair, premier ministre britannique, déclarait récemment que « des propositions [étaient] en train d'être élaborées pour un système nouveau, plus simple, […] qui incitera fortement les managers à faire passer en premier les voyageurs ». En effet, le manque de coordination entre les différents exploitants et les collectivités locales organisatrices de certains transports collectifs pose des problèmes de correspondances et d'organisation générale du réseau.
Enfin, la très grande fragmentation du système, auquel s'ajoute un grand nombre de sous-traitants (souvent eux-mêmes sous-traitants d'une autre entreprise), a peu à peu déresponsabilisé le travail pourtant crucial effectué dans le système ferroviaire.

En ce qui concerne la régionalisation, le Royaume-Uni n'a pas encore décentralisé ses compétences en transport. Pourtant, plusieurs pistes de réflexion ont été, sur ce sujet, ouvertes dès le début des années 1990 et la compétence de gestion des transports locaux devrait être prochainement transférée aux autorités régionales par le biais de *Regional Planning Guidance*.
On voit là toute l'importance du processus de séparation des compétences dans les transports ferroviaires. En effet, la régionalisation britannique a été évoquée très tôt par les responsables politiques ; toutefois, un manque de cohérence générale de l'organisation et les grandes difficultés que nous venons d'évoquer ont bloqué ce processus.

*
* *

Le regard porté sur d'autres types de gestion des transports, décentralisés ou non, nous permet de mieux comprendre les avantages et inconvénients du

système ferroviaire français. En effet, la nécessaire mission de service public que représente le transport en commun ferré amène à relativiser le besoin de rentabilité d'un tel service.
D'autre part, une réflexion de fond sur les territoires de la mobilité, leur gestion et leur périmètre paraît nécessaire au regard de choix stratégiques payants de certains de nos voisins.

3. Etude d'une délimitation possible de la région de transport franc-comtoise

La région de transport franc-comtoise ne peut pas être étudiée, sortie de son contexte spatial que constitue le Grand Est. Le Grand Est a été défini par la Mission Interministérielle et Interrégionale d'Aménagement du Territoire (MIIAT) comme l'ensemble des Régions Alsace, Bourgogne, Champagne-Ardenne, Franche-Comté et Lorraine. Ces régions constituent une partie de l'espace français présentant une assez grande disparité et une hétérogénéité aussi bien physique, qu'économique ou structurelle.
Cependant, ces territoires trouvent une cohérence dans leur situation géostratégique commune : situés entre la dorsale européenne et la métropole européenne parisienne, ces régions bénéficient de grands corridors de circulation.
Il n'existe que peu de données nous permettant de traiter le problème de la délimitation spatiale d'une région. En conséquence, l'approche développée ici sera principalement qualitative.

3.1. Le Grand Est : une marge stratégique

L'image renvoyée par le Grand Est ne trouve pas d'accord selon les analyses. D'une « Région incomplète » décrite par R. Woessner [Woessner, 2004] à « une vocation européenne qui s'affirme pour le Grand Est » pour A. Mailfert [MIIAT, 2002], cet espace est à la fois une région de marge en dehors des grandes zones de peuplement et d'activités européennes, et une région offrant de réels avantages logistiques.

Situé entre la dorsale économique européenne définie par R. Brunet, les pôles urbains parisien et celui de Lyon-Grenoble (figure 14), le Grand Est n'est pas comparable avec ces espaces frontaliers. Le Grand Est dans son ensemble ne représente que « 2% de la population (8 127 000 habitants) et 3,3% de la superficie européenne. Territoire de faible densité, (77ha/km², contre 110 pour la France métropolitaine et 118 pour l'Europe), le Grand Est a également un poids économique en deçà de la moyenne. Son produit intérieur brut s'élève à 20 500 euros par habitants contre respectivement 22 400 pour la France et 21 260 pour l'Europe (en richesse produite par les entreprises en 1999) » [MIIAT, 2002].

Toutefois, cet espace, de par sa position, apparaît également comme un lieu de passage naturel (par la configuration du relief) et stratégique privilégié (figure 14). Le Grand Est semble également pouvoir revendiquer un rôle en tant qu'interface et espace de coopération entre les deux espaces européens forts que sont la dorsale économique et l'arc alpin. En réalité, le Grand Est se définit plus par ses rapports avec d'autres espaces que par des traits propres et affirmés.

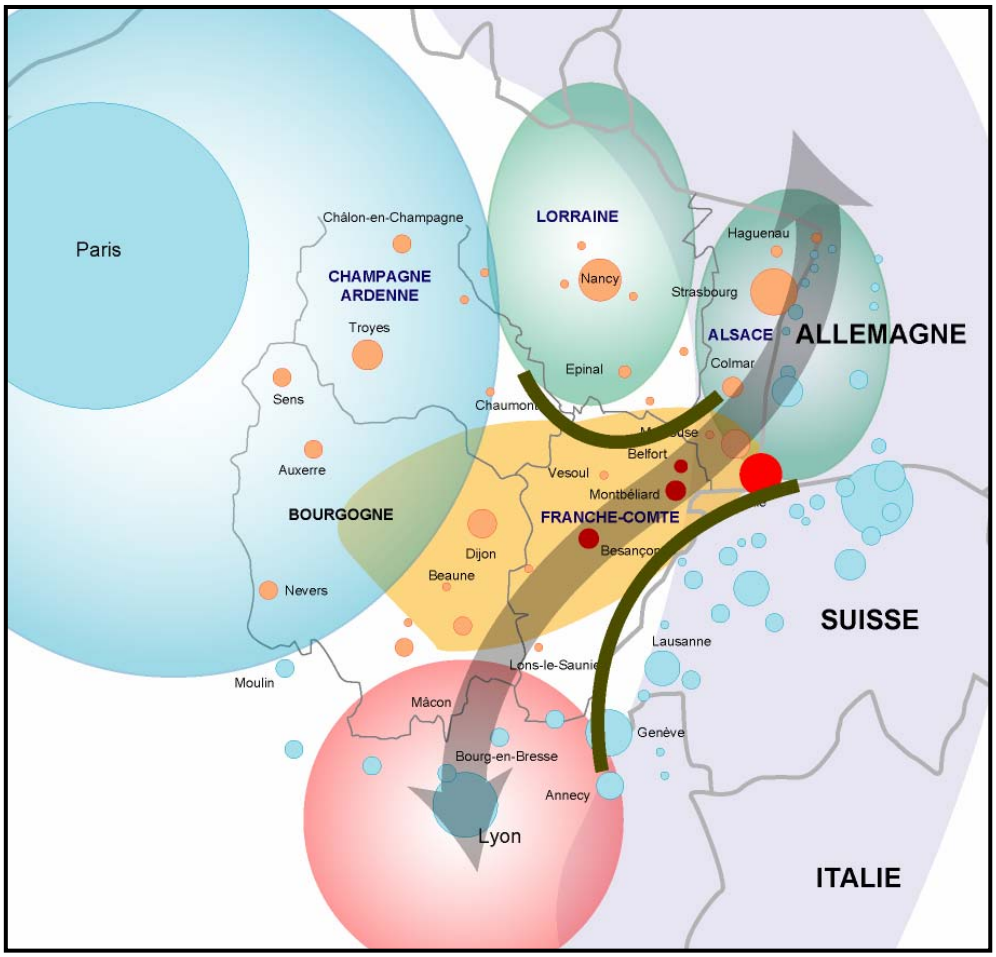


Figure 14 : La Franche-Comté en Europe
[SRIT, 2005]

3.2. Proposition d'une structuration territoriale en transport du Grand Est

Les enjeux des transports dans le Grand Est sont profondément liés aux transports transfrontaliers vers la Belgique, le Luxembourg, l'Allemagne et la Suisse. On trouve deux logiques de réseaux attachées à cet espace qui correspondent à deux logiques de relations.
Une première orientation nord-sud s'inscrit dans de grands corridors de transport correspondant à deux itinéraires : un premier entre le nord de la Lorraine et l'arc méditerranéen via Metz, Dijon, et Lyon ; un deuxième entre l'Allemagne et le sillon rhodanien via Strasbourg, Mulhouse et Besançon ; et un troisième, dans une moindre mesure, entre le Benelux et l'Espagne via Reims, Paris et Bordeaux.
L'orientation est-ouest, (plus justement ouest-est ici) de ce territoire est tout aussi importante même si « les principaux axes irrigant le Grand Est sont des axes nord-sud ». [MIIAT, 2002].

Au delà de ces aspects purement axés sur la mobilité et son accessibilité, la structuration territoriale est fondée tout ou partie sur l'armature urbaine de l'espace considéré. En ce qui concerne les transports, le concept de réseaux urbains et de centre polarisateur rejoint l'idée d'arrimage déjà évoquée et d'interconnexion des différents niveaux d'échelle des réseaux. Un centre urbain présente premièrement et de manière quasi systématique un point d'échange privilégié entre ces niveaux d'échelle ; mais il est également un pôle de rabattement fonctionnel pour tout usager. En d'autres termes, un déplacement (terme ambigu que nous définirons en détail plus tard) peut être conditionné par un lieu de passages fortement polarisateur : ainsi, un grand centre urbain attire ou émet des déplacements dont il n'est ni l'origine ni la destination. Il faut donc raisonner en terme de zones d'influence pour mettre en évidence des régions de transport fonctionnelles.
Ici, la dimension de réseau urbain prend une importance toute particulière par sa spécificité. En effet, l'absence de grandes métropoles polarisatrices sur ce territoire a engendré une sorte de polycentrisme par défaut (figure 15). En réalité, « la configuration géographique, une histoire mouvementée et les conséquences d'une industrialisation qui a produit ou fait croître certaines villes selon des logiques différentes de celles du commerce ou du commandement, ont dessiné une distribution de l'armature urbaine atypique ». [Woessner, 2004].

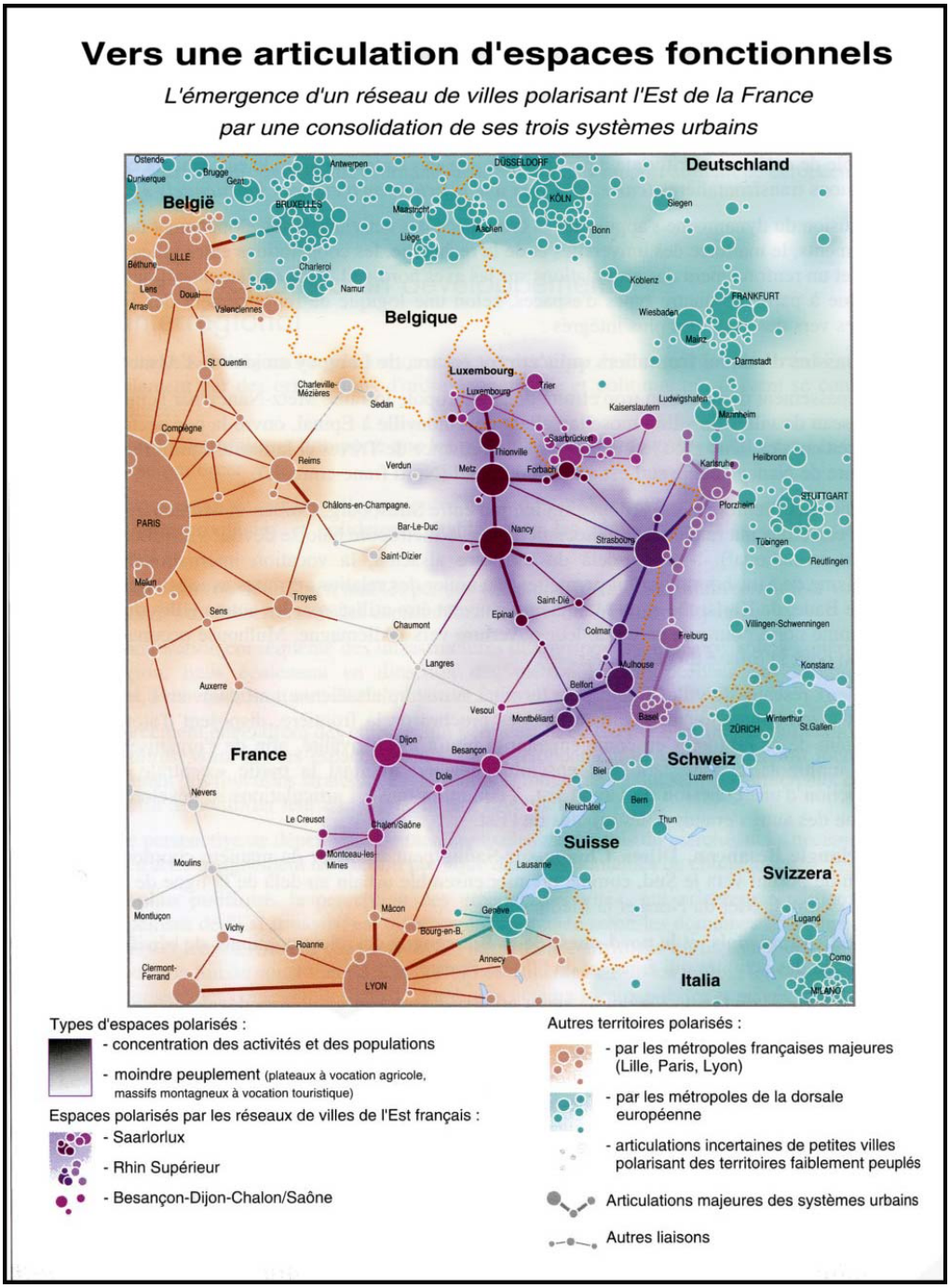


Figure 15 : Les espaces fonctionnels du Grand Est
[MIIAT, 2002]

Strasbourg, plus gros centre urbain du Grand Est, n'a en effet qu'un rayonnement limité sur le territoire français ; son influence ne dépasse guère l'axe rhénan et paraît plus prégnante du côté allemand. De même Metz est d'avantage tournée vers le Luxembourg et son influence est partagée avec

Nancy, ville la plus centrale, mais dont la connexion avec tout le sud du Grand Est reste difficile. Dijon pour sa part paraît structurellement au moins tournée vers Paris et Lyon, et Besançon ne dispose pas de la taille critique suffisante pour espérer jouer un rôle majeur à l'échelle de ce territoire.
Pour ajouter au fait de l'inexistence de métropole prédominante, le territoire du Grand Est ne dispose pas non plus d'un véritable polycentrisme maillé. « En fait, l'interrégion est composée par plusieurs systèmes ayant chacun leurs orientations propres et qui se juxtaposent sans complémentarités fonctionnelles bien définies ». [MIIAT, 2002].

On peut, à partir de cette constatation, faire émerger plusieurs grands espaces, soumis à une influence prédominante, et cohérente d'un point de vue structurel du réseau :
La région Champagne-Ardenne ainsi que l'ouest de la région Bourgogne sont, dans un premier temps, fortement polarisés par Paris. Elles ne constituent pas, cependant, un ensemble homogène, tant d'un point de vue fonctionnel par l'intensité de leurs échanges que d'un point de vue du réseau qui ne permet que peu leur interconnexion.
La Lorraine et l'Alsace ne subissent pas une influence extérieure marquante de la part d'autres grandes métropoles. Elles se distinguent tout de même par leurs dimensions transfrontalières différentes : l'Alsace est résolument tournée vers l'Allemagne, et la Lorraine vers le Benelux.
L'axe Dijon – Dole – Besançon présente un espace de liaison polarisé localement par Dijon

Certains territoires spécifiques, ou axes particuliers par leur fonctionnement ou leur incidence territoriale nécessitent une analyse plus approfondie. Les territoires de marge ou espaces frontaliers doivent particulièrement attirer notre attention :

- Le Jura, tout d'abord, où les articulations restent à dominantes locales, assez autonomes et autocentrées sur des petites villes qui bénéficient d'activités industrielles denses et fortement structurantes. Un intense échange avec la Suisse accentue les difficultés à rattacher cet espace à un système urbain français. C'est une définition de périmètre « par défaut » qu'il faut donc accepter ici. D'un point de vue fonctionnel, l'arc jurassien offre une connexion privilégiée avec le corridor de la vallée du Doubs et l'axe Dijon – Dole – Besançon.
- Cet axe Dijon – Dole – Besançon pose un autre problème dans sa transition avec le système alsacien. Le pôle urbain Belfort-Montbéliard-

Héricourt, sorte d'interface entre ces deux systèmes, paraît structurant pour cet axe. Toutefois, cette aire urbaine paraît tournée vers la Région Alsace quand on compare l'intensité des échanges qu'elle entretient avec l'ensemble de la vallée du Doubs et avec le sud Alsace.

- Vient ensuite le problème de Mâcon ou, pour le remettre dans un contexte plus large bien que débordant les limites du Grand Est, le problème des limites de gestion de Lyon et de son aire d'influence directe. Deux choix en terme de périmètre de compétences sont envisageables concernant Lyon et son aire d'influence : définir un périmètre restreint autour de Lyon et mettre en place un choix de gestion comparable au choix parisien avec une gestion propre à Lyon et son aire urbaine directe ou mettre en place un périmètre plus large, fondé sur l'aire d'influence lyonnaise. Le nœud ferroviaire lyonnais relevant d'une réelle complexité technique et organisationnelle, la SNCF avait jusqu'à présent décidé de ne pas étendre trop loin son périmètre de gestion. La question, dans le cadre de notre recherche, ne se pose pas pour la définition d'un périmètre lyonnais optimal pour la gestion des transports. En revanche, dans l'optique d'une conservation du choix de gestion appliqué jusqu'ici par la SNCF, la question se pose du rattachement de Mâcon qui se situe, tout comme Bourg-en-Bresse ou Ambérieu-en-Bugey, sur une sorte de couronne périphérique ferroviaire. La structure du réseau commande donc, tout comme l'intensité du trafic de voyageurs, de rattacher ces espaces urbains à Lyon.
- La dernière particularité à soulever est la ligne Paris-Bâle traversant d'ouest en est notre zone d'étude. Cette ligne, au trafic relativement peu important au moins dans sa partie est (entre Chaudenay et Belfort), ne présente pas de connexion forte avec le sud Franche-Comté et la Bourgogne. Pourtant, une cohérence sur l'ensemble de son parcours est réelle et cette ligne ne montre pas d'enjeux stratégiques fondamentaux au plan du transport ferré interrégional. En conséquence, une gestion spécifique de cette ligne pourrait certainement être envisagée. C'est dans ce cadre que la SNCF a déposé une demande pour que l'ensemble de cette ligne passe en gestion publique (un tiers financé par l'état, un tiers par la région, un tiers par le département), statut spécifique à quelques rares lignes de faible exploitation. Cette ligne n'est actuellement d'ailleurs par régulée[3] ce qui nous montre bien son faible trafic. De même, sur

[3] La plupart des lignes ferroviaires ont la caractéristique technique d'être dite « régulée ». Des feux de signalisation assez rapprochés permettent de faire circuler des trains sur une même ligne avec une fréquence élevée. Les lignes non régulée, moins bien équipées en terme de signalisation,

l'ensemble de sa partie est, aucune exploitation de TER n'existe pour l'instant. La SNCF a d'ailleurs longtemps évoqué l'idée de fermer cette ligne déficitaire entre Chaudenay et Belfort. Mais son importance stratégique en terme militaire a certainement plaidé pour le maintient de cette voie.

On voit ainsi se dessiner plusieurs grands ensembles ferroviaires, aux frontières parfois floues, correspondant à une logique de polarisation ou d'homogénéité territoriale.

3.3. Le cas spécifique de la Franche-Comté

Notre territoire d'étude, de par la disponibilité des données et la conjoncture actuelle de gestion des transports ferroviaires nous a contraint à axer la modélisation développée par la suite dans ce travail de recherche sur l'unique région de Franche-Comté. Toutefois, comme nous l'avons déjà vu, le découpage administratif régional ne répond pas forcément à une logique de mobilité de personnes. Nous nous proposons donc, dans un cadre purement théorique, d'imaginer dans le détail un périmètre de gestion ferroviaire potentiel englobant la région de Franche-Comté.

Comme nous l'avons déjà vu, la Franche-Comté est une région de passages privilégiée prise entre l'arc jurassien et le massif des Vosges. Elle ne subit que peu l'influence des grandes métropoles voisines et est principalement composée d'espaces tournés vers l'extérieur, que ce soit le Jura dolois tourné vers Dijon, l'aire urbaine de Belfort-Montbéliard tournée vers l'Alsace, le Haut-Doubs tourné vers la Suisse, ou le sud Jura tourné vers Lyon (figure 16). Le tableau 4 montre l'intensité des échanges en matières de déplacements domicile – travail en moyenne sur une année entre les différents ensembles de la région de Franche-Comté et les espaces extérieurs polarisants. Le Jura dolois paraît donc exercer un lien très fort vers le pôle dijonnais et l'unité urbaine de Belfort – Montbéliard est bien tournée vers l'Alsace.

fonctionnent par signaux de sécurité de gare à gare et ne permettent qu'une fréquence peu élevée du trafic.

	Grand Besançon	Grand Dijon	vallée du Doubs	Alsace	Suisse
Jura dolois	137240	399675			
Belfort Montbéliard			876365	1338090	
Haut Doubs			180675		278860

Tableau 4 : L'intensité des échanges domicile – travail entre les différents ensembles de la Région Franche-Comté et ses espaces frontaliers
Source : SNCF

On comprend donc rapidement que Besançon, ne polarisant pas suffisamment l'ensemble de la Franche-Comté, ne peut que difficilement justifier son statut de capitale régionale de transports. De plus, l'axe Dijon – Dole – Besançon, fortement structurant, et l'intensité des échanges entre les deux capitales régionales incitent à les regrouper au sein d'une même région de transport.

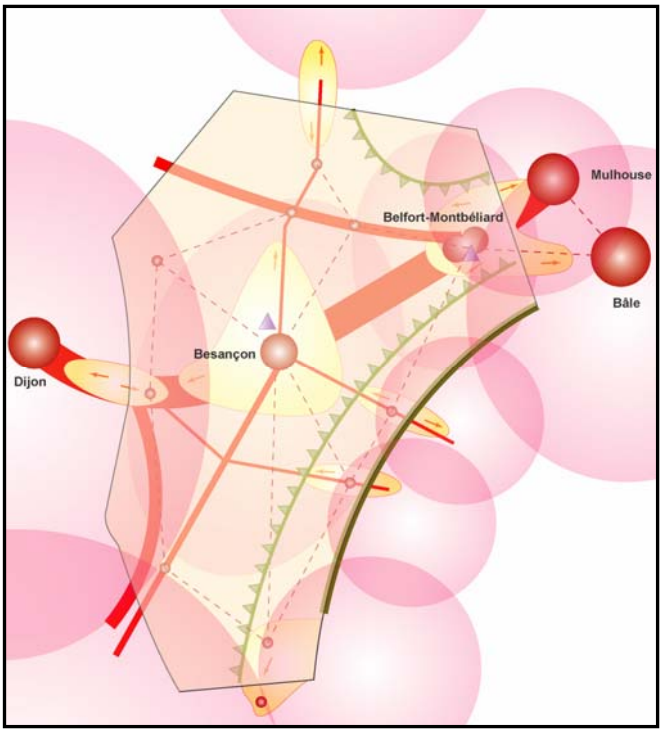


Figure 16 : Organisation de l'espace franc-comtois face aux aires d'influence des métropoles environnantes
[SRIT, 2005]

* *
*

On peut donc définir à partir de ces constatations, une grande région de transport s'étendant du nord de Mâcon au sud de Chaudenay et du nord de Bourg-en-Bresse à la limite ouest de l'aire urbaine Belfort – Montbéliard.

CONCLUSION

Il apparaît maintenant que si l'échelle régionale semble s'adapter aux nouvelles mobilités et à leurs répartitions spatiales, les périmètres régionaux administratifs actuels ne répondent pas toujours aux réalités pratiques de la gestion des transports régionaux. Le cas allemand notamment nous montre l'utilité de transgresser, parfois même de manière ponctuelle, le cadre administratif de gestion pour calquer au mieux les périmètres de gestion des transports avec la réalité fonctionnelle.

Notre travail s'inscrivant en recherche appliquée dans le cadre de la décentralisation des transports, nous concentrerons tout de même notre étude sur le territoire administratif régional franc-comtois. De plus, la disponibilité des données nous contraint à restreindre notre recherche sur le seul territoire régional administratif. Toutefois, il est nécessaire de garder présent à l'esprit le caractère parfois incohérent du périmètre de notre étude pour la suite de notre travail.

Conclusion de la première partie

Cette première partie nous a permis de comprendre dans quel contexte s'est déroulé le transfert de compétences en transport aux Régions administratives.
Ce contexte connaît trois volets spécifiques qui expliquent l'intérêt et la nécessité de la régionalisation des transports :

- Un contexte politique d'une part, inscrit dans un cadre européen, qui pousse les pouvoirs publics à modifier la répartition des compétences en terme de gestion ferroviaire. L'ouverture de l'exploitation du réseau ferré français à la concurrence en effet amené à séparer la gestion du réseau de son exploitation. La Région se pose alors dans ce nouveau contexte comme organisateur et financeur du transport ferroviaire régional par voie d'opérateur privé. Mais ce contexte politique ne peut pas, pour sa compréhension, être séparé du contexte économique propre au système français.
- La régionalisation des transports a également été favorisée par le contexte économique préoccupant du transport ferroviaire français. Le transport régional correspondant à la branche la moins rentable du transport ferroviaire, le transfert de la responsabilité financière de cette branche aux Régions a permis de déplacer une part de la source de la dette de la SNCF, cette dernière ne se positionnant plus que comme un simple opérateur. Ce contexte spécifique permet d'ailleurs d'amener une interrogation sur le devoir de rentabilité du transport ferroviaire et sur la signification de la dette de la SNCF. La question en réalité porte sur l'acceptation ou non du transport ferroviaire comme service public. Car si tel est le cas, l'entretien de l'infrastructure ferrée, au même titre que l'entretien des routes, ne peut pas correspondre à une source d'endettement d'une entreprise mais à une dépense publique. Il apparaît alors qu'il est important de reconsidérer le statut de RFF comme celui de la SNCF, et, dans ce sens, la décentralisation des transports paraît répondre, au moins en partie, à ce questionnement sur le statut de ce service en tant que service public.
- Enfin, un contexte social, de modification des pratiques temporelles et spatiales des individus, amène à reconsidérer les périmètres de gestion des transports pour les étendre à des espaces plus vastes.

D'autre part, l'étude de la mobilité à l'échelle régionale, dans le cadre de ce transfert de compétences, nous a permis de porter un regard critique sur la pertinence des périmètres des Régions administratives en tant que périmètres de gestion des transports. Deux aspects sont alors à considérer :

- L'échelle régionale paraît la mieux adaptée pour prendre en compte la totalité des nouveaux comportements de mobilité
- Pour autant, les périmètres des Régions de programme n'apparaissent pas toujours en cohérence avec la réalité des pratiques spatiales actuelles des individus.

Malgré une possibilité de choix restreinte de notre périmètre d'étude, il est maintenant possible de mesurer la pertinence du périmètre retenu dans le cadre de notre travail de modélisation. Il apparaît alors nécessaire, lors d'une étude portant sur la modélisation de la mobilité et sa structuration spatiale, de prendre en compte certaines incohérences liées à des limites territoriales transgressant parfois des logiques d'organisation des transports.

Deuxième partie

La modélisation des transports : Présentation de différentes approches

Introduction de la deuxième partie

Définir ce qu'est un modèle ou un processus de modélisation pourrait faire l'objet d'un travail à part entière tellement ces termes paraissent polysémiques. En effet, toutes les disciplines utilisent des modèles pour représenter, reproduire tout ou partie de la réalité afin de la comprendre, de la prévoir ou d'expliquer son évolution. R. Brunet définit le modèle comme la « représentation formalisée et épurée du réel ou d'un système de relations. » et la modélisation comme « l'art ou la science de produire des modèles au sens fort, et de hisser au rang de modèle des observations rassemblées, c'est-à-dire d'identifier les éléments majeurs et les relations les plus assurées, qui expriment ou bien la structure d'un objet en particulier, ou bien la structure commune à des objets d'une même classe. » La modélisation se pose donc comme le processus de fabrication du modèle mais également comme la réflexion sur le type et la nature du modèle à utiliser. Le modèle est donc à la fois l'idée et la réalisation concrète ; le modèle exige un fondement théorique qu'il permet de confronter au réel [Le Moigne, 1984]. C'est dans cet esprit que nous avons décidé, dans une étape préalable à la mise en place de notre modèle, de comprendre et évaluer la pertinence des différents modèles de simulation de trafic existants.

Parler de modélisation en transport ouvre un champ scientifique très large et renvoie à de nombreuses thématiques différentes. Bon nombre de modèles se trouvent liés de près ou de loin à la problématique de transport. Si les plus connus sont certainement les modèles de simulation de trafic, les modèles de pollution (atmosphérique ou sonore) ou les simulateurs de conduite se réfèrent aussi au domaine très large du déplacement.

L'objectif de ce travail n'est pas de faire l'inventaire de tous les modèles renvoyant aux transports. Il s'agit en réalité d'explorer les différentes pistes déjà ouvertes sur le sentier de la simulation de la mobilité de personnes en une démarche critique. Différents travaux, plus complets, réalisent une présentation exhaustive de la modélisation des transports[4].

La modélisation de trafic connaît aujourd'hui une mutation très forte directement liée au but même des modèles. Ces derniers ont été mis en place et conçus au départ pour faire de la prévision de trafic en vue de dimensionner au mieux les grandes infrastructures de transport. Le problème actuel se pose différemment. Le culte automobile [Dupuy, 1999] sur le déclin et la prise de conscience écologique pousse les pouvoirs publics à ne plus forcément adapter l'infrastructure à une demande croissante de l'automobile mais à proposer une alternative crédible à partir d'une connaissance approfondie du problème. La modélisation en transport a donc évolué pour permettre l'analyse des effets de politiques volontaristes telles que l'augmentation de tarifs, les restrictions de stationnement ou de circulation principalement en milieu urbain.

Cependant, l'approche que nous nous proposons de développer ici ne se réfère pas à l'évolution de cette modélisation, mais vise à distinguer les grands types de modèles à la fois selon leur fonction, leurs objectifs et leur territoire d'application. On peut identifier deux approches différentes en modélisation des transports : une relevant de la décision d'effectuer ou non un déplacement ; l'autre décrivant les caractéristiques de ce déplacement. Nous replacerons ensuite les choix de modélisation réalisés par le service de gestion des transports de la Région de Franche-Comté, dans lesquels s'inscrit notre travail, par rapport à ces différentes approches.

[4] LE NIR, M. (1991), Les modèles de prévision de déplacements urbains, Thèse de doctorat, Université Lyon II ; GESMAD (2000), *Evaluation des modèles de prévision de trafic, note de synthèse*, rapport pour le PREDIT, Paris, 125p

Chapitre 1

Analyse des facteurs à l'origine des déplacements

Appréhender et comprendre le processus décisionnel à l'origine d'un déplacement revient à poser la question, pour l'individu « faut-il effectuer un déplacement ? ». Il s'agit en fait de comprendre la motivation du déplacement de l'individu. Notre objectif est donc d'étudier les méthodologies d'analyse des liens entre le processus de choix à l'origine de la mobilité et les variables démographiques ou économiques de chaque zone.

Nous établirons dans un premier temps l'ensemble des définitions nécessaires à la compréhension de la mobilité et plus particulièrement concernant la décision ou non d'effectuer un déplacement. Cette étape préalable nous permettra par la suite de dresser un tableau des méthodologies actuelles concernant l'analyse des facteurs à l'origine des déplacements. Pour finir, nous étudierons les possibilités d'application d'une approche spécifique, l'approche désagrégée, à une telle analyse.

1. Principes et définitions

Selon les modèles courants, les déplacements relatifs à une zone géographique donnée sont répartis en deux grandes catégories : les déplacements qu'elle émet, et ceux qu'elle attire [GTMT, 2001]. Les émissions sont définies par l'ensemble des déplacements dont l'origine est située dans la zone. Les attractions correspondent quant à elle à l'ensemble des déplacements reçus par la zone et dont la destination se situe dans la zone (figure 17). Ces définitions, qui peuvent paraître triviales, sont nécessaires et amènent une interrogation : qu'est-ce qu'une destination ou une origine et comment définir un déplacement ? La personne se rendant à son travail mais s'arrêtant en route pour acheter du pain connaît-elle une ou deux destinations / origine et effectue-t-elle un ou deux déplacements ?

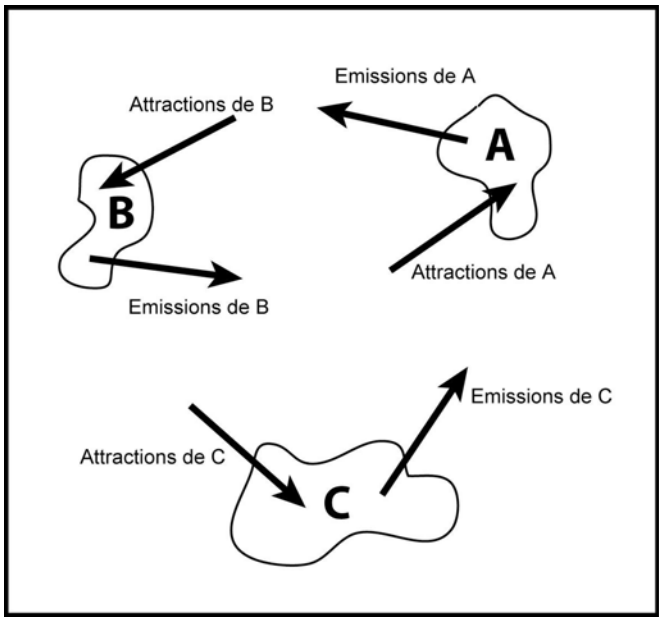


Figure 17 : Concepts d'émissions et attractions
Source : d'après [LET, MVA, IMTrans, 2000]

1.1. Déplacements / activités

La première question à se poser concerne tout d'abord l'identification même d'un déplacement. Quelle durée, quel but ou quelle distance peut justifier d'un déplacement ? Est-ce qu'un individu traversant la rue pour aller acheter du pain effectue un déplacement ? Si l'on accepte le fait qu'il s'agisse d'un

déplacement, est-ce que ce même trajet doit être pris en compte pour un autre motif tel que poster une lettre ou pour un tri sélectif de déchets ?
Il va de soi que ces questions doivent s'adapter au contexte et au but que l'on veut accorder aux données. De même le choix effectué pendant la production des données conditionne fortement les définitions que nous retenons.

1.2. Sortie / déplacement

Reprenons l'exemple d'une personne partant de son domicile (zone A) se rendant à son travail (zone C) mais effectuant un arrêt pour un achat en route (zone B) puis retournant à son domicile une fois sa journée finie. Combien cette personne accomplit-elle de déplacements ? Différentes réponses peuvent alors être proposées :
un déplacement dont le motif est le travail
deux déplacements pour les motifs successifs de travail et de domicile
trois déplacements pour les motifs achats, travail, domicile

Dans le cas où l'on retient trois déplacements, quelle zone émet un déplacement ? La zone A d'où est partie la personne, ou la zone A et la zone B, toutes deux à l'origine de déplacements pour les motifs respectifs d'achat et de travail ? (figure 18)
On différencie habituellement les notions de sortie, de chaîne de déplacements, et de déplacement [Zhang et al, 2001]. La sortie correspond à un ensemble de déplacements et de motifs pour lesquels la destination et l'origine sont confondues. La notion de chaîne correspond à la succession de déplacements pour des motifs différents entre une zone de départ et une zone d'arrivée attachée au motif principal. Il devient alors nécessaire de discerner un motif principal de motifs secondaires. Enfin, le déplacement est défini par le CERTU comme « le mouvement d'une personne, effectué pour un certain motif, sur une voie publique, entre une origine et une destination, selon une heure de départ et une heure d'arrivée, à l'aide d'un ou plusieurs modes de transport » [CERTU, 1998a].

On peut essayer de différencier une sortie multi-motifs d'une succession de motifs séparés pour écarter ce problème. On prend alors pour principe que pour être qualifié de motif unique, le déplacement qui le concerne doit être séparé par une certaine durée des autres déplacements. Cette définition peut toutefois dénaturer les caractéristiques du déplacement : un individu se rendant à la gare

en voiture pour prendre le train, achète un journal, attend son train un quart d'heure et se rend à sa destination finale. Soit l'on considère que ces deux déplacements sont séparés dans le temps et que chacun est attaché à un motif précis ; soit il s'agit d'un déplacement unique, multi-motifs avec une caractéristique spécifique d'inter modalité, caractéristique que l'on ne retrouve pas dans le premier cas de figure. De plus, dans le cas de la quantification des déplacements qui nous intéresse ici, on passe de deux émissions et deux attractions à comptabiliser à une émission et une attraction.

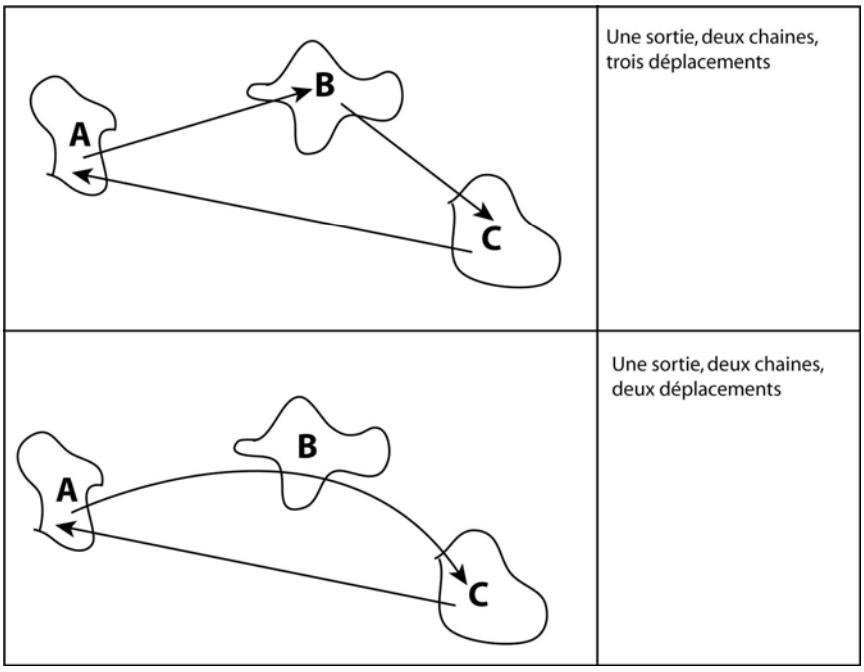


Figure 18 : Déplacement, chaîne de déplacements et sortie
Source : d'après [LET, MVA, IMTrans, 2000]

Si l'on privilégie, lors de l'analyse des facteurs à l'origine des déplacements, les sorties ou les chaînes plutôt que les déplacements, on se trouve confronté à une nouvelle difficulté. L'analyse des facteurs caractérisant le déplacement à travers la répartition modale et l'affectation d'itinéraire nécessite un comptage des déplacements et non des sorties ou chaînes [Hivert et al, 1988]. La génération de déplacements n'a alors plus de sens que pour elle-même et ne peut pas servir de base à la modélisation des déplacements dans leur ensemble.

Enfin réside un des problèmes principaux lié directement à la production même des données à savoir la perception du déplacement par la personne enquêtée. Car si une définition pour le déplacement est arrêtée, l'individu enquêté ne va

sans doute pas retenir la même interprétation, que l'enquête se fasse avec intervention d'un enquêteur ou de manière auto administrée.
Les techniques d'enquêtes spécifiques au transport ont évolué ces dernières années pour tenter de pallier à ces problèmes. Nous nous référons à différents ouvrages sur cette question[5]. Une des évolutions principales consiste à ne plus interroger l'individu sur son déplacement mais sur les activités successives qu'il a réalisées durant une période donnée. L'activité « se surimpose aux classiques modes de transport, trajet ou intention de déplacement » [Chardonnel et al, 2004]. Une fois l'activité énoncée, on situe géographiquement cette activité par une question complémentaire. Un écart important est alors constaté sur le nombre de déplacements déclarés entre une enquête déplacement et une enquête liée aux activités avec changement de lieu [Courgeau, 1988]. Cette méthode permet une meilleure compréhension de l'organisation de la journée. L'enquêté jouit d'une mémorisation plus aisée de ses activités que de ses déplacements et fournit ainsi une meilleure retranscription de sa journée. « Ainsi, l'unité de mesure n'est plus la sortie du domicile composée de déplacements auxquels sont associés des motifs de déplacement, mais davantage la boucle d'activités à laquelle est associée des déplacements lors des changements de localisation des activités. » [LET, MVA, IMTrans, 2000].

1.3. Méthode de calcul des déplacements prédéfinis

Comme nous venons de le voir, la définition choisie pour le déplacement influence directement le nombre d'émissions et attractions retenu. Mais, même avec une définition arrêtée, plusieurs méthodes de calcul des émissions et attractions sont possibles. Il faut donc établir au préalable une méthode de calcul de cette mobilité.
La première méthode consiste à ne dénombrer que les allers sans les retours. Dans le cas d'un déplacement domicile – étude, on ne comptabilise que le déplacement orienté du domicile vers le lieu d'étude ; le retour du lieu d'étude au domicile n'est pas pris en compte. On ne considère donc que la zone émettrice. Les attractions quant à elles sont estimées sur le même principe, en ne faisant cas que de la zone réceptrice. Cette méthode paraît être la méthode

[5] Javeau C (1985) *L'enquête par questionnaire - manuel à l'usage des praticiens*, Editions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, 138p ; A. Blanchet et al, 2005, *Les techniques d'enquête en sciences sociales [Texte imprimé] : observer, interviewer, questionner*, ed Dunod, 197 pp]

de décompte la plus simple mais pose cependant un problème lorsque la zone d'émission n'est plus le domicile. Reprenons le cas de la figure 18. L'achat effectué en zone B engendre bien une attraction de la zone B. Il est pourtant contestable que la zone B émette un déplacement, l'individu n'effectuant dans les faits qu'un « passage » dans cette zone. Si on suit strictement la méthode de calcul expliquée ici, deux émissions et deux attractions doivent être comptabilisées.

La deuxième méthode tente de pallier à ce problème en différenciant les déplacements dont l'origine est basée dans la zone du domicile, des autres. Le choix est donc fait ici de dénaturer en partie la définition du déplacement pour ne prendre en compte que les déplacements basés au domicile ; les déplacements non basés au domiciles sont donc considérés comme des déplacements secondaires et non comptabilisés. Avec cette méthode de calcul, l'individu dont la chaîne de déplacements est décrite à la figure 18 n'émet qu'une émission et ne génère qu'une attraction. La zone B n'a donc engendré aucune attraction.

On pourrait imaginer une troisième méthode comptabilisant l'ensemble des déplacements en émissions et attractions, qu'il s'agisse d'allers ou retours. Cette méthode, dans les faits, ne trouve sa justification que dans le cas précis d'une asymétrie constatée entre les émissions et attractions (plus d'émissions que d'attractions ont été constatées sur une même zone), la somme des émissions devant être égale à la somme des attractions.. Dans ce cas, on fait appel à une méthode de calcul permettant un réajustement (figure 19).

On somme les flux 1 et 2 avant de les diviser par deux pour obtenir une estimation des flux émis. On procède de même avec les flux 3 et 4 pour les flux reçus.

Ce genre d'ajustement est souvent réalisé dans le cas d'échantillon d'enquête peu important. En utilisant la deuxième méthode de comptage, la symétrie est beaucoup plus probable que dans la première méthode.

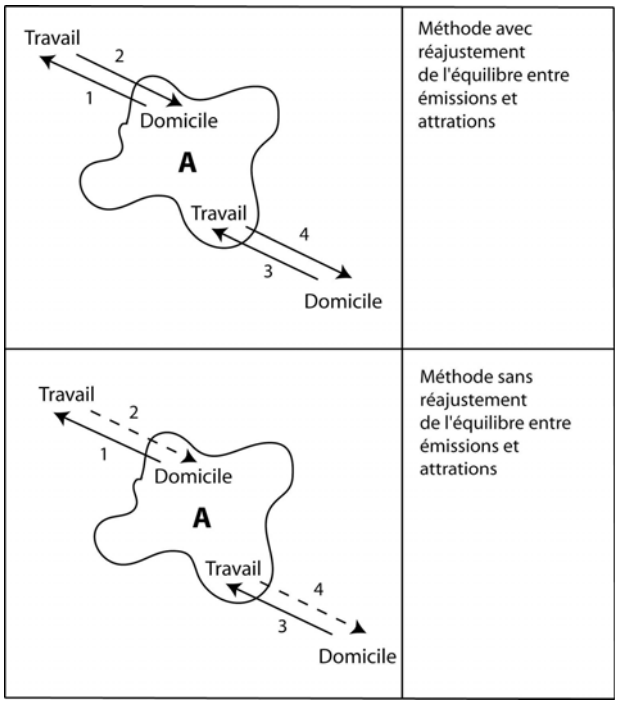


Figure 19 : Les méthodes de calcul des déplacements

1.4. Mobilité individuelle, mobilité du ménage

Très liée à ces questions d'activités, la question de l'unité de mesure des migrants doit également être posée et dépend du but de la modélisation. A l'exception de certaines études réalisées à un niveau très agrégé, la plupart des analyses sont construites autour du ménage ou de l'individu. Chacune de ces unités de mesure présente certains avantages ou inconvénients qu'il convient d'apparier au mieux aux problématiques concernées.

L'immense majorité des études actuelles, portant sur l'origine des déplacements ou la mobilité en général, traite l'information liée au migrant à l'échelle de l'individu. L'évolution actuelle de la mobilité vue en première partie, dans le cadre social et comportemental récent, pousse en effet à se concentrer sur la personne seule, extraite de son cadre familial. Les logiques individuelles grandissantes et la multiplication des moyens de locomotion personnels poussent en effet à ne plus restreindre l'analyse au seul ménage, dont la pertinence se trouve amoindrie.

De plus, le choix de l'individu comme centre de l'analyse de la mobilité quotidienne trouve son explication dans les inconvénients liés au choix du ménage. Le premier est une fois de plus liée aux buts attribués à la

modélisation de trafic : l'une des fonctions principales des modèles liés à la mobilité et la prévision. Or les données liées aux ménages sont plus difficilement prévisibles. Tout d'abord par l'évolution constante de la composition des ménages étudiée en première partie qui produit une difficulté supplémentaire à prévoir le nombre de ménages ; ensuite parce que certains changements démographiques sont plus difficiles à modéliser au niveau du ménage (l'allongement de la durée de la vie par exemple) ; enfin par la complexité même de l'information liée à la composition des ménages qui nécessite des classifications souvent difficiles à gérer [Courgeau, 1988].
Choisir le ménage trouve tout de même sa justification dans certaines études, plus fréquentes en sociologie qu'en géographie. Ces études se focalisent plus sur les fonctions de l'individu au sein du ménage et la répartition des déplacements en fonction des ressources du ménage en terme de mobilité. [LaSUR, 2003].

1.5. Quelle durée, quelle période ?

L'étude des facteurs à l'origine des déplacements n'est évidement pas la même selon qu'elle porte sur quelques heures, une journée, une semaine, voire des durées plus longues. Le choix concernant la période d'étude de la mobilité a évolué au fil des années. Cette évolution correspond aux transformations des modèles de modélisation de trafic, évoquées en début de cette partie, concernant la finalité des simulations de la mobilité. Les analyses concernant la prévision de trafic ont été mises en place et conçues au départ en vue de dimensionner au mieux les grandes infrastructures de transport. En conséquence, le choix de la période présentant le flux le plus important était souvent retenu.
L'évolution de la mobilité quotidienne ainsi que le changement de mentalité concernant les politiques de transport poussent actuellement les modélisateurs à élargir la fenêtre temporelle de leurs analyses. L'analyse de la journée dans son ensemble s'est peu à peu imposée comme nécessaire à la compréhension des besoins et possibilités en terme de déplacements quotidiens. La durée s'est même élargie à la semaine avec les nouvelles donnes temporelles liées à la réduction du temps de travail et à certains emplois du temps plus complexes.
Il ne faut toutefois pas oublier que si, concernant l'analyse des facteurs à l'origine des déplacements, l'étude spécifique de la période de pointe ne s'impose pas, elle reste nécessaire pour la modélisation inhérente à la caractérisation du déplacement même, cette modélisation étant la plupart du

temps basée sur des temps de parcours. Or, ces temps varient fortement entre une période de pointe et une période creuse.

1.6. Catégories de déplacements

Très vite, les modèles visant à expliquer les processus de choix d'effectuer ou non un déplacement se sont vu segmentés afin de renforcer leur caractère explicatif ; la segmentation permettant de relier le plus clairement des groupes de populations et les caractéristiques des zones à un comportement de mobilité est la segmentation par motif [GESMAD, 2000].
Cette répartition par motif se fait le plus souvent en trois grandes catégories :

- les déplacements domicile – travail
- les déplacements domicile – autres motifs
- les déplacements secondaires

Cette segmentation peut être opérée avec un plus grand niveau de détail, les autres motifs étant répartis selon la finesse des données disponibles entre les motifs d'études (parfois détaillés selon le niveau d'étude), achats et déplacements à but commercial, loisirs, santé, services administratifs, services de santé, recherche d'emplois, journée d'appel à la défense, etc…

L'estimation des émissions et attractions par motif se construit classiquement à partir des caractéristiques démographiques, économiques, ou urbaines de chaque zone. Ces caractéristiques sont résumées dans le tableau 5 [GESMAD, 2000].

Les générateurs et attracteurs particuliers de mobilité peuvent être spécifiques à un territoire en particulier.

	Emission	**Attraction**
Domicile ↔ travail	Population totale Nombre d'actifs Taux de motorisation des ménages	Emploi total
Domicile ↔ autres motifs	Population totale Scolaire et étudiants Structure de la population (âges, revenus…) Taux de motorisation des ménages Générateurs particuliers	Population totale Emplois tertiaires Surfaces commerciales Type d'habitat Attracteurs particuliers
Déplacements secondaires	Population totale Scolaires et étudiants Structure de la population (âges, revenus…) Taux de motorisation des ménages Générateurs particuliers	Population totale Emplois tertiaires Surfaces commerciales Type d'habitat Attracteurs particuliers

Tableau 5 : Variables explicatives de la génération des déplacements
[GESMAD 2000]

2. Les modèles explicatifs et descriptifs de la génération de déplacement

Après avoir brossé le tableau des différentes manières d'appréhender la génération de déplacements dans la définition de ses termes, nous allons maintenant présenter les méthodes existantes pour sa modélisation ainsi que leurs limites et contraintes.
L'évolution qu'ont connue les différentes méthodologies employées dans ce domaine correspond aux différents types de modèles utilisés. Nous avons donc pris le parti de présenter les modèles de génération de trafic par ordre d'apparition.

2.1. Les modèles normatifs

Premiers modèles mis en place pour l'analyse des facteurs à l'origine des déplacements, les modèles normatifs, apparus dans les années 50 aux Etats-Unis d'Amérique, ont permis de solutionner une certaine carence en données sur l'aire d'étude.
Comme leur nom l'indique, ces modèles se basent sur une norme de génération souvent attachée à un milieu urbain, et différente selon les tailles d'agglomérations. Ces normes sont issues d'enquêtes réalisées sur un territoire de référence et permettant d'extrapoler sur le territoire d'étude. On peut citer en exemple les normes calculées par Horowitz [Horowitz, 1993] qui s'appliquent aux agglomérations de taille moyenne (de 50 000 à 100 000 habitants) (tableaux 6 et 7).
Si l'utilisation d'un tel modèle pose des problèmes d'adaptabilité en milieu urbain (deux villes étant rarement comparables par leur forme et leur fonctionnalité), il paraît réellement problématique d'adapter une norme quelle qu'elle soit dans notre contexte. En effet, la taille, la densité, la structure (unipolaire, multipolaire…) d'une région implique de très fortes contraintes sur la mobilité et l'adaptation d'un milieu à un autre risque fort de produire des résultats erronés.

Nombre de déplacements attirés par…	Emploi commercial	Emploi non commercial	Ménage
Domicile – travail	1,7	1,7	0
Domicile – autre motif	10	0,5	1
Secondaire	2	2,5	0,5

Tableau 6 : Nombre de déplacements attirés selon les caractéristiques de la zone [Horowitz, 1993]

Revenu en milliers de $	Nombre de voitures par ménage	Nombre de déplacements par ménage	% domicile – travail	% domicile – autre motif	% de déplacements secondaires
6	0,56	4,5	21	57	22
8	0,81	6,8	21	57	22
10	0,88	8,4	21	57	22
12	0,99	10,2	18	59	23
14	1,07	11,9	18	59	23
16	1,17	13,2	16	61	23
18	1,25	14,4	16	61	23
20	1,31	15,1	16	61	23
25	1,47	16,4	15	62	23
30	1,69	17,7	14	62	24
35	1,85	18,0	13	62	25
40	2,03	19,0	13	62	25
50	2,07	19,2	13	62	25

Tableau 7 : Nombre de déplacements émis selon le revenu ou la motorisation de la zone
[Horowitz, 1993]

2.2. Les modèles de régression linéaire

Le modèle de régression, contrairement au modèle normatif, nécessite des données propres au territoire d'étude, en situation de référence, c'est-à-dire à un instant *t* donné. Il est donc nécessaire de pouvoir quantifier les émissions et attractions sur des zones prédéfinies, et déterminer les caractéristiques en terme de population, d'activités et d'équipement de ces zones.
Le principe de fonctionnement du modèle de régression linéaire est assez simple dans sa formulation, beaucoup moins dans sa mise en œuvre. Il s'agit de déterminer le plus finement possible les variables explicatives de la mobilité, leur importance et leur comportement vis-à-vis des émissions et attractions par zone.

Plusieurs problèmes se posent pour sa mise en application :

- Tout d'abord l'identification des variables explicatives. Il va de soi que le nombre d'actifs d'une zone explique en grande partie son attraction pour les déplacements domicile – travail. Toutefois, toutes les variables expliquant tout ou partie de la mobilité quotidienne ne sont pas aussi facilement identifiables à partir d'un seul raisonnement inductif. Que

pourrait-on par exemple identifier comme variables explicatives d'une émission de déplacements pour l'ensemble des motifs liés à la santé ? Le raisonnement inductif nous pousse à considérer la structure par âge de la population, partant du principe qu'une population fortement représentée aux extrémités de la répartition par âge est plus encline à se déplacer pour de tels motifs. Pourtant, comme nous le verrons de manière plus détaillée par la suite, l'offre –ou plutôt ici l'opportunité– paraît être une variable explicative forte de la mobilité inhérente à la santé. Le fait de disposer (ou de ne pas disposer) à proximité d'un service de santé pousse l'individu à consulter plus (ou moins l'utiliser si le service n'est pas présent) ce service. L'identification des variables explicatives nécessite donc une démarche rigoureuse d'identification, qui ne doit pas occulter une réflexion nécessaire sur la pertinence de la variable choisie.

- Vient ensuite le problème de la multi colinéarité, dans le cas où plusieurs variables seraient identifiées comme étant explicatives de la mobilité quotidienne pour un motif particulier. En clair, une des variables explicatives se pose potentiellement comme une fonction corrélée à une ou plusieurs autres variables explicatives. On se trouve dans ce cas confronté à une redondance forte d'information. Prendre par exemple sans la pondérer l'information liée aux revenus d'un ménage et son degré de motorisation (données que l'on sait fortement corrélées) amène à donner trop d'importance à l'information commune contenue dans ces deux jeux de données par rapport aux autres variables.

- Une régression linéaire est soumise à certaines contraintes dues aux hypothèses à la base de tels types de modèles. La première de ces hypothèses est la linéarité du modèle : le modèle de régression linéaire pose comme postulat de départ que chaque variable identifiée comme explicative exerce sur le phénomène étudié (ici la mobilité quotidienne) une influence linéaire. Ce n'est, dans les faits, pas toujours le cas, plus particulièrement concernant les variables socio-économiques. Plusieurs solutions se posent alors à nous :
  - La première solution consiste à définir des classes d'individus et à déterminer pour chaque classe un modèle de régression linéaire (figure 20).

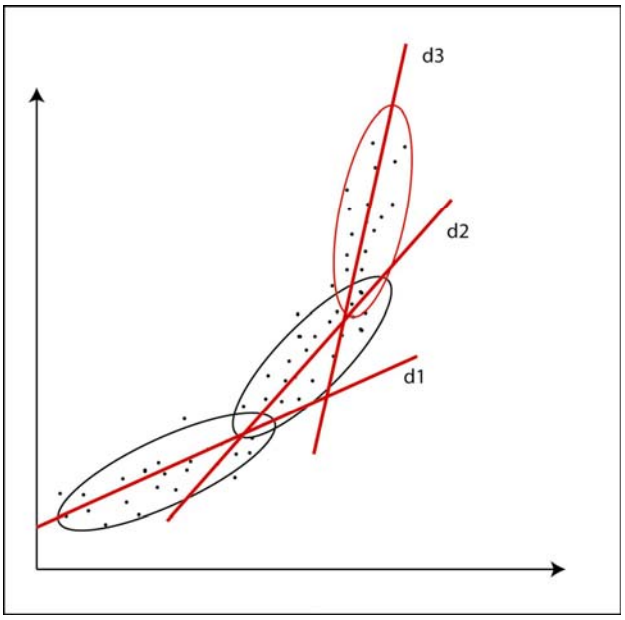


Figure 20 : Principe de régression du modèle catégoriel

Il est nécessaire, dans ce genre de méthode, de disposer de suffisamment de données. On peut ainsi évaluer avec plus de précision et en respectant les hypothèses de départ une droite de régression pour chacune des classes. Cette méthode propose certains avantages et est à privilégier dans certains cas bien précis :

- Si comme dans la figure ci-dessus les coefficients de la variable explicatives sont radicalement différents selon les classes.
- Si le nombre de classes pour obtenir des régressions significatives reste raisonnable
- Si, comme cela arrive parfois, les variables explicatives sont différentes pour chacune des classes. Il va de soi par exemple que les variables explicatives d'un choix de mode ne seront pas les mêmes pour une catégorie de population disposant d'un véhicule personnel et une autre n'en disposant pas.

Cette méthode, souvent appelée modèle catégoriel, pose néanmoins quelques problèmes, principalement concernant son utilisation comme modèle de prévision : la variabilité dans le temps de certaines données peut amener à modifier en profondeur la pertinence des classes et donc à mettre en péril la qualité de la régression. Pour certaines données, il est même possible de ne pas pouvoir prévoir l'évolution intra-classe. Dans ce cas, le choix des variables explicatives est contraint à des données prévisibles en fonction de la catégorisation effectuée.

• La linéarisation des variables constitue la deuxième solution. On transforme donc la variable afin de la rendre linéaire. On se base la plupart du temps sur une constatation théorique pour orienter le choix de la transformation. Quand celle-ci ne paraît pas satisfaisante, l'analyse de résidus permet d'orienter ce choix. Les résidus doivent d'ailleurs suivre une loi de distribution normale pour permettre ce genre de transformations. Toutes les variables, selon la fonction à laquelle elles se rapportent, ne sont toutefois pas linéarisables. La figure 21 présente les fonctions liénarisables.

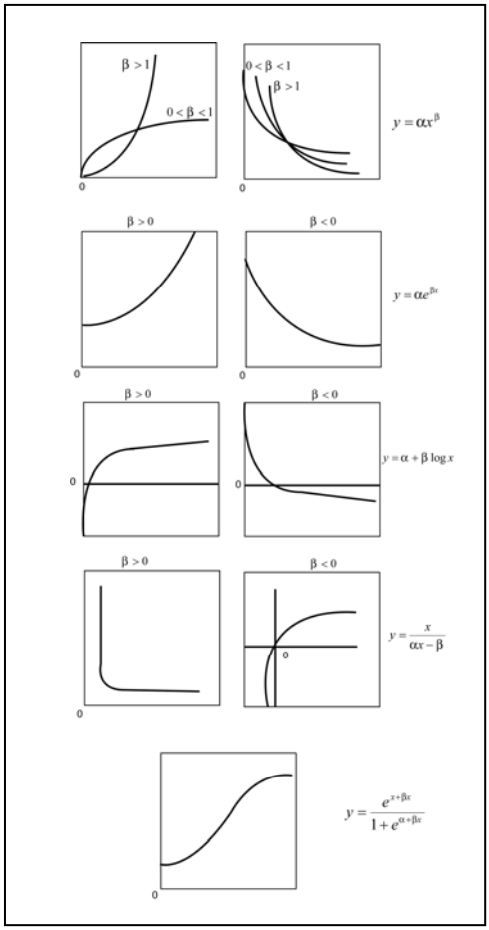


Figure 21 : Fonctions linéarisables
Source : d'après [Tomassone, 1984]

Le tableau 8 présente les transformations à appliquer pour linéariser ces différentes fonctions :

Fonctions	Transformations	Forme linéaire
$y = \alpha x^{\beta}$	$y' = \log y$ $x' = \log x$	$y' = \log\alpha + \beta x'$
$y = \alpha e^{\beta x}$	$y' = \log y$	$y' = \log\alpha + \beta x$
$y = \alpha + \beta \log x$	$x' = \log x$	$y = \alpha + \beta x'$
$y = \frac{x}{\alpha x - \beta}$	$y' = 1/y$ $x' = 1/x$	$y' = \alpha - \beta x'$
$y = \frac{e^{\alpha+\beta x}}{1+e^{\alpha+\beta x}}$	$y' = \log(y/(1-y))$	$y' = \alpha + \beta x$

Tableau 8 :Linéarisation des fonctions
[Tomassone, 1984]

• La troisième solution consiste à accepter d'alourdir le modèle et de le complexifier mathématiquement en réalisant des régressions non linéaires. Cela pose toutefois problème dans le cas de régressions multiples si plusieurs variables explicatives sont identifiées. On obtient alors des modèles mathématiquement très complexes et souvent plus difficiles à évaluer.

- Une autre hypothèse liée à la régression linéaire réside dans l'indépendance des individus étudiés. Dans le cas présent, cette hypothèse suppose que les zones géographiques choisies comme entités de base de l'étude sont indépendantes les unes envers les autres. Cette hypothèse, sur un territoire d'étude purement fictif, pourrait être vérifiée. La réalité est tout autre et les zones géographiques de l'aire d'étude, de par leurs interactions, ne remplissent évidemment pas les conditions dictées par cette hypothèse. L'échantillonnage des données constitue une réponse possible à cette difficulté.

3. L'approche désagrégée et les modèles de génération de déplacements

L'évolution majeure des modèles de simulation de trafic est apparue, d'après McFadden, au début des années 70, avec les modèles désagrégés [McFadden, 2002]. On trouve cependant les prémisses de ces modèles dès la fin des années 60 avec les travaux de Warner [Wamer, 1962]
On passe ainsi à des modèles dits de « choix discrets ». Ces modèles trouvent leur origine dans la recherche en psychologie comportementale sur le processus de décision suivi par un individu confronté à plusieurs alternatives. Ces travaux établissent que l'individu évalue les différentes alternatives qui lui sont offertes en fonction de l'utilité qu'il peut en retirer.

3.1. Principes de l'approche désagrégée

L'approche désagrégée est basée sur la théorie micro-économique de maximisation de l'utilité. L'utilité est en général fonction de différentes variables liées à l'individu, à son environnement direct, et à son déplacement. On détermine ainsi la probabilité pour chaque individu de faire ses choix de destination, d'itinéraire et de mode ce qui permet par agrégation, par la suite, d'établir des prévisions de choix collectifs. L'individu maximise sa fonction d'utilité par rapport à un panel de choix limité et inclu dans un ensemble fini. En clair, le nombre d'alternatives disponibles pour un individu correspond à une grandeur fixée au préalable. Nous nous reportons à des ouvrages plus complets sur ce sujet[6].
Les modèles désagrégés sont donc construits autour de l'approche individuelle du comportement et se basent sur le principe de l'individu rationnel cherchant à maximiser son utilité. Le modèle n'en est pas totalement déterministe pour autant puisqu'il considère, dans la plupart des cas, que l'utilité n'est pas totalement connue du modélisateur. En conséquence, on considère un certain nombre d'éléments ou facteurs comme non identifiés ou non mesurables. On joint donc à l'approche déterministe une approche aléatoire correspondant à cet ensemble d'éléments mal connus ou inconnus.

[6] Dossiers du CERTU n°81, Comportements de déplacement en milieu urbain : les modèles de choix discrets vers une approche désagrégée et multimodale, 1998, 132 pages ; et Ben-Akiva, M. and S.R. Lerman, 1985, 'Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand', MIT Press, Cambridge, MA.

Cette approche, par rapport à l'approche agrégée, offre l'avantage de différencier les comportements suivant les profils de l'individu. L'expérience montre en effet que, face à des situations identiques, deux individus offrant un profil dissemblable n'effectuent pas obligatoirement un choix similaire.

3.2. Une difficile mise en œuvre pour les modèles de génération de déplacements

Les premières applications dans le domaine des transports des modèles de choix discrets remontent au début des années soixante pour la détermination du choix modal [Wamer, 1962]. Ces modèles ont par la suite trouvé d'autres applications dans l'ensemble des autres analyses caractérisant les déplacements. A notre connaissance, très peu de travaux ont fait usage de tels modèles dans les modèles de génération de déplacements. Le modèle de transport longue distance, MODEV, a appliqué pour partie une approche désagrégée dans la génération des déplacements. Pour les déplacements basés au domicile, « l'analyse se fait au niveau des individus interrogés dans l'enquête transport (analyse désagrégée) ; [pour les autres déplacements], cette analyse désagrégée n'est plus possible et l'analyse retient comme base les caractéristiques zonales » [Calio, Meteyer, 2001].

Plusieurs points peuvent fournir des éléments d'explications à ces choix :

- Comme nous l'avons déjà précisé, ce type de modélisation requiert des données recelant un très haut niveau de détail. La production de telles données génère un coût très important et reste difficile à mettre en œuvre. Une enquête, pour permettre une modélisation désagrégée, doit fournir un profil d'individu détaillé, en complément de l'ensemble des informations liées à son déplacement. Dans le cadre d'enquêtes ménages effectuées *a posteriori* sur l'ensemble des déplacements d'une journée, un tel recueil d'informations est réalisable. Toutefois, lors d'enquêtes effectuées directement dans les services de transports, et plus encore dans le cas de questionnaires auto administrés, un tel spicilège pose de réels problèmes.

- Si les modèles désagrégés présentent l'avantage certain d'être estimés sur des données désagrégées, ce niveau de désagrégation ne peut que

rarement être utilisé en prévision, but principal des modèles de prévision de trafic. En effet, conjecturer sur l'évolution de groupes de population s'avère être un exercice risqué, mais tenter de prévoir les croisements entre différents groupes et différentes variables oblige à accepter une marge d'erreurs assez large. On perd ainsi tout le bénéfice de l'approche désagrégée. Prévoir l'évolution d'une population selon sa structure par âge, croisée avec l'évolution de sa motorisation, de son niveau de revenu et de sa place au sein d'un ménage, sur un territoire donné, est un exercice particulièrement périlleux. La prévision conduit donc presque systématiquement à un processus d'agrégation de la donnée, ôtant de ce fait l'intérêt même et la spécificité de tels modèles.

- En modélisation de la génération de déplacements, le panel de choix disponible à l'individu est assez conséquent. Un individu se demandant s'il doit ou non effectuer un ou plusieurs déplacements est confronté à plusieurs options : réaliser, un, deux, trois déplacements ou plus par jour, par semaine, ou par mois. On ne peut en effet limiter à la seule échelle temporelle quotidienne le choix du nombre de déplacements effectués, certains de ces déplacements correspondant à un cycle plus long. Il est rare, par exemple, d'effectuer une activité sportive tous les jours, mais plutôt une fois par semaine. De même certaines visites s'effectuent une fois par mois, voire à des fréquences moins élevées encore. On pourrait alors faire le choix unique d'une échelle temporelle large. Mais la répartition de ces déplacements au sein de la semaine ne serait alors pas prise en compte.
  Ce nombre élevé de choix n'est pas un problème en soi mais pose des difficultés quant à sa formalisation. Les modèles désagrégés utilisent la plupart du temps des fonctions relativement complexes pour leur formalisation. La multiplication du nombre de choix alourdit sensiblement le modèle et complexifie l'ensemble des calculs. On aboutit, de fait, à des modèles pour lesquels la validation s'avère difficile et peu fiable, et dont la robustesse est grandement amoindrie en prévision, par rapport aux modèles agrégés.

- Les modèles agrégés se réfèrent à un individu moyen, écrasant du même coup une part de l'information intervenant dans le processus de choix. Toutefois, si les modèles désagrégés intègrent ces données, leur lourdeur ne permet pas de prendre en compte, par le biais d'un modèle catégoriel, l'information liée à la perception propre à l'individu. Le

profil de l'individu permet, en fait, de comprendre pour une part l'imbrication des différents attributs dans le processus décisionnel de l'individu. Toutefois, on suppose que tous les individus perçoivent de la même manière l'ensemble de ces attributs. Pourtant, le niveau de revenu d'un individu ou sa place dans le ménage met clairement en évidence la fiction d'une perception moyenne et uniforme. Le coût d'un déplacement va être perçu différemment par une personne appartenant à un foyer de cinq individus avec des revenus faibles que par un célibataire à fort revenu [Cantillo, 2006].

On fait souvent appel à une segmentation de la population pour répondre à ces différences de perception. Certains processus de modélisation, comme les modèles logit multinominaux mixtes permettent d'établir une répartition différente de la perception au sein de la population [Swait et Bernardino, 2000]. Mais la lourdeur du modèle désagrégé n'autorise que difficilement le croisement de plusieurs modèles et la prise en compte de tels critères conduit souvent à renoncer à une estimation fiable du modèle.

- Enfin, la dernière difficulté présentée par les modèles désagrégés dans le cas de la génération de déplacements concerne à la fois l'accès à des données fiables et leur traitement. Car si l'individu est confronté au choix d'effectuer un, deux, trois déplacements ou plus dans une fenêtre temporelle donnée, il a également l'opportunité de n'effectuer aucun déplacement. Etablir pour un tel choix une fonction d'utilité pose plusieurs problèmes : les données, tout d'abord, permettant de comparer en situation de référence, deux individus soumis au même environnement et effectuant des choix de mobilité différents, l'un n'effectuant aucun déplacement et l'autre décidant de se déplacer. La plupart des enquêtes étant réalisée dans les services ou les lieux de transport, les individus faisant le choix de l'immobilité sont rarement pris en compte et évalués par ces enquêtes. De même, dans les enquêtes ménages-déplacements, les individus ne réalisant aucun déplacement ne sont souvent pas comptabilisés.

  Le comportement spécifique de ces individus nécessite donc des enquêtes particulières axées sur leur processus décisionnel et sur leur profil détaillé plus que sur leurs pratiques de mobilité.

Les difficultés que présentent les modèles désagrégés en prévision, associées à la complexité de ces modèles –autant d'un point de vue des calculs que de leur

mise en œuvre– dans le cas de la modélisation de la génération de déplacements, nous incitent donc à écarter une telle solution pour préférer l'utilisation de modèles plus simples et par là même plus facilement évaluables.

CONCLUSION

Ce chapitre présente une première étape dans la compréhension du déplacement. Nous avons identifié ici les principes et les méthodologies nécessaires à l'analyse des facteurs à l'origine des déplacements. Il est maintenant nécessaire, pour appréhender le problème de la mobilité dans son entier, d'analyser le déplacement lui-même et de voir les méthodologies employées dans sa modélisation.

Chapitre 2

Analyse des facteurs caractérisant les déplacements : structure spatiale des flux et choix modaux

Une fois le motif fixé et le déplacement décidé, l'individu se trouve placé devant un éventail de possibilités, sur sa destination, le mode de transport qu'il doit choisir, et l'itinéraire qu'il doit emprunter. Les choix qu'il réalise alors vont, à terme, caractériser l'ensemble de son déplacement. Par agrégation de ces choix individuels, une structure spatiale des flux de voyageurs va alors se dessiner et la répartition des usagers par mode va apparaître.

La compréhension de ces processus de choix, individuels ou collectifs, s'opère grâce à un panel de méthodologies. Dans l'analyse à proprement parler du déplacement, deux approches s'opposent et se complètent. L'approche agrégée d'une part, qui a pour base de réflexion des groupes d'individus présentant certaines caractéristiques communes, et l'approche désagrégée d'autre part, qui identifie l'individu comme pierre angulaire de l'analyse de la mobilité. Nous nous proposons d'étudier successivement ces deux approches, leurs avantages et inconvénients, ainsi que leurs champs respectifs d'application.

1. Approche agrégée

L'approche agrégée, en terme de modélisation, est basée sur l'analyse des comportements globaux. Elle s'appuit sur l'individu en tant que partie d'un groupe pour identifier, décrire et expliquer des comportements typiques [Huet, 2005]. Il est alors important de définir avec précision les paramètres d'agrégation afin d'assurer une bonne adéquation entre les données disponibles et les résultats attendus [CEMAGREF, 2006]. Cette méthodologie s'appuie, dans notre cas, sur l'analyse de variables agrégées caractérisant les déplacements, et exprime les dynamiques qui lient ces variables à la mobilité des individus.

Ces territoires d'application sont divers et se regroupent en deux grands types : la simulation de trafic interurbain, et la simulation de trafic intra urbain. Il est souvent admis que la simulation du trafic interurbain pose moins de problèmes que celle du trafic urbain. En réalité, l'observation et la compréhension du trafic hors agglomération présentent également de véritables défis. La quantification et l'affectation au réseau des déplacements paraissent en effet plus aisées qu'à travers un tissu urbain en ce qui concerne les motifs classiques de déplacement que sont le travail et les études. La compréhension des déplacements secondaires ou pour d'autres motifs pose quant à elle des difficultés que la recherche n'a encore que peu explorées.

Toutefois, la simulation de trafic dans son ensemble, en milieu urbain, pose des problèmes plus divers que le trafic interurbain. Il existe en effet une multitude d'itinéraires possibles entre chaque origine et chaque destination ; les temps de déplacement sont fonction de beaucoup plus de facteurs différents qu'en milieu non urbain ; et de nombreux modes de transports se trouvent plus aisément en concurrence.

Toutefois, tout comme les modèles de trafic interurbain trouvent parfois leur utilisation dans la prévision de trafic intra urbain, les modèles conçus pour simuler et prévoir le trafic en zones urbaines peuvent souvent être employés dans un cadre plus large.

En conséquence, nous présenterons ici les différents types de modèles, en fonction de leur champ d'application et non en fonction de leur territoire cible.

1.1. Détermination de la distribution spatiale des émissions et attractions

Plusieurs méthodologies sont employées, selon le contexte et les données disponibles, pour simuler la distribution des déplacements dans l'espace.

- Le modèle gravitaire

Le modèle gravitaire découle directement de la loi d'interaction gravitationnelle d'Isaac Newton qui postule que deux corps disposant d'une masse quelconque exercent une force d'attraction réciproque. La puissance de la force attractive est proportionnelle aux masses m1 et m2 des deux corps, inversement au carré de la distance d.

$$F = G \cdot m1 \cdot m2 / d^2$$

Les déplacements dont l'origine ou la destination sont situés dans une zone sont donc décrits, au départ, comme une fonction de la population des zones d'origine et de destination du déplacement, et de la distance qui les sépare. Différentes modifications ont été apportées par la suite au premier modèle gravitaire, appliqué à l'interaction spatiale par Ravenstein à la fin du XIX^{ème} siècle. Ce dernier tentait de quantifier le nombre de migrants des campagnes vers les villes industrielles anglaises.

Les principales modifications apportées, au-delà de l'ajout de facteurs de pondération, ont été la substitution des variables. Tout d'abord en remplaçant les données de population par les variables explicatives d'émissivité et d'attractivité, puis en modifiant la mesure des distances en prenant en compte divers facteurs de rugosité de l'espace (effets de frontière par exemple) [Barbet, 2002]. Enfin, certains modèles ont tenté d'intégrer la position relative des zones d'émission et d'attraction.

Guiseppe Pini, qui a retracé l'évolution de la modélisation gravitaire en sciences humaines[7], voit ces différentes évolutions comme une « dénaturation du modèle, qui s'explique par une préférence des planificateurs pour les meilleures propriétés déductives plutôt que pour une justification théorique ».

[7] PINI, G., (1992) L'interaction spatiale, Encyclopédie de Géographie, Economica, pp 557 - 576

- Les modèles des facteurs de croissance

Les modèles des facteurs de croissance ne sont pas propres au trafic interurbain mais y trouvent leur utilisation la plus fréquente et surtout la plus adaptée. Ce modèle se pose comme un modèle de prévision à court terme du trafic entre deux zones. Il prend pour hypothèse de base que l'évolution du trafic est régie par une loi de proportionnalité.

Il est traduit formellement par :

$$T_{ij}^{t+1} = T_{ij}^{t} \cdot A$$

Où T_{ij}^{t+1} représente le trafic au temps t+1, T_{ij}^{t} le trafic au temps t et *A* le facteur de croissance sur la période envisagée [Cornelis et al, 2003].

A peut être construit à partir de différentes hypothèses :

- Dans le cas du trafic urbain, on admet souvent que *A* peut-être défini par la croissance moyenne du trafic dans l'ensemble de la ville. C'est souvent le manque de données qui conditionne l'utilisation de ce type de modèle. Dans le cas où on connaît le détail spatial de l'augmentation du trafic, *A* est défini par la croissance du trafic dans les zones i et j par rapport à l'augmentation de celle de la ville :

  $$T_{ij}^{t+1} = T_{ij}^{t} \cdot \frac{F_i \cdot F_j}{F} \qquad \text{avec } A = \frac{F_i \cdot F_j}{F}$$

  Avec F_i F_j et F qui représentent respectivement les facteurs de croissance de trafic des zones i, j et de la ville dans son ensemble.

- Dans le cas du trafic interurbain, on considère que l'augmentation du trafic est proportionnelle à la croissance du trafic dans les zones i et j :

  $$T_{ij}^{t+1} = T_{ij}^{t} \cdot \frac{F_i \cdot F_j}{2}$$

- Les modèles d'opportunité

Les modèles d'opportunité fonctionnent à l'échelle de l'individu. Il s'agit de la première orientation conduisant aux modèles dits désagrégés que nous aborderons par la suite. Ces modèles ont été élaborés dès les années 50 et se basent sur la rationalité de l'individu. Chaque destination se voit affecter une probabilité d'être choisie par l'individu selon sa distance au point de départ et le degré d'opportunité de satisfaire au besoin du déplacement. La distance ici est rarement prise en

compte sous l'angle purement géométrique mais est plus souvent basée sur les notions de coût et de temps généralisés.

1.2. Répartition des déplacements en fonction du mode de transport utilisé

La compréhension et la description, voire la prévision du choix modal s'opèrent principalement, comme pour l'analyse des facteurs à l'origine du déplacement, par l'intermédiaire du modèle normatif, concernant l'approche agrégée.

Le modèle normatif

Le principe de fonctionnement des modèles normatifs appliqué au choix modal est comparable à celui déjà évoqué concernant la génération des déplacements. Il consiste à définir une norme qualifiant la répartition modale et d'appliquer cette norme à un territoire d'étude. On distingue généralement des groupes de déplacements, fonction de la pénibilité du trajet et de leur destination. On différencie alors les destinations situées sur des axes structurants des destinations périphériques.
On rencontre parfois des normes non linéaires établissant la répartition modale à partir de la mise en concurrence des différents modes de transport [CETUR, 1990].
Formellement, dans le cas d'une étude prenant en compte les modes transport en commun et voiture personnelle, la répartition modale est fonction de :

$$rep = \frac{\text{Coût généralisé TC}}{\text{Coût généralisé VP}}$$

Le coût généralisé lié à un mode de transport peut être identifié comme la spécification d'un trajet. Cette spécification dépend des caractéristiques de coût, de temps et de confort du trajet. C'est donc la somme pondérée de ces différents facteurs qui détermine le coût généralisé d'un mode de transport pour un trajet identifié.

On retrouve pour ces modèles les mêmes problèmes d'application déjà vus dans le cas des modèles de prévision de déplacements. Il est nécessaire de disposer d'une norme établie sur un territoire comparable au territoire d'étude. En conséquence, l'utilisation de ces modèles reste souvent cantonnée aux études ne disposant pas de données suffisantes pour appliquer d'autre type de modélisation.

On considère que le choix du mode relève de trois groupes de variables explicatives, entrant en considération dans la conception du coût généralisé :

- les variables qualifiant l'offre de transport
- les caractéristiques du déplacement (pénibilité du trajet : longueur, engorgement, qualité de la voie empruntée)
- les caractéristiques de l'individu ou du ménage

Nous nous proposons de détailler le contenu de ces différents groupes de variables et ainsi identifier les données nécessaires à la formalisation du choix modal.

• L'offre de transport

L'offre de transport, classiquement limitée aux notions de temps et de coût, est en fait à aborder sous un angle beaucoup plus large. Ces données présentent l'avantage certain de paraître assez aisément mesurables et objectivables. Ce point peut pourtant être soumis à débat : la notion de coût pose tout d'abord un problème lié à la perception de l'individu. Le coût à prendre en compte n'est pas nécessairement le coût réel du déplacement mais le coût ressenti par l'individu mobile. L'automobile en fournit le cas le plus évident avec un coût ressenti par l'individu n'incluant souvent que les coûts d'usage direct (péage, éventuellement essence si l'achat de carburant est lié au déplacement) [Orfeuil, 1996].

La notion de temps, quant à elle, n'est pas plus facile à cerner, le temps de déplacement intervenant dans le processus de décision de l'individu étant un temps perçu. Des enquêtes réalisées auprès d'usagers des transports publics révèlent par exemple que les temps de marche ou d'attente sont perçus comme étant au moins deux fois plus pénibles que les temps en véhicule. C'est pourquoi le temps absolu n'est que peu représentatif du temps pris en compte par l'individu dans sa décision. Le temps de parcours peut alors être estimé par décomposition des différents temps élémentaires perçus par l'individu mobile comme homogènes, puis par affectation de facteurs pondérateurs à chacun de ces temps. On obtient ainsi un temps « pénibilisé » [Lichère, Raux, 1997b].

Les perceptions de coût et de temps rencontrent également un problème vis-à-vis de l'heure à laquelle elles sont mesurées. En effet, si les temps et les coûts perçus sont différents en fonctions des

différents temps élémentaires constituant le déplacement, ils varient également selon que le trajet s'effectue dans un trafic dense ou avec une fréquence très faible des transports en commun. On oppose ainsi couramment période de pointe et reste de la journée. « En période de pointe […], les performances des transports collectifs sont généralement meilleures que le reste de la journée du fait d'une meilleure fréquence. En revanche, pour l'automobile la période de pointe est synonyme de congestion, généralement absente le reste de la journée. » [LET, MVA, IMTrans, 2000].

L'offre de stationnement qualifie également et de manière déterminante l'offre de transport. Les travaux de Kaumann et Guidez sur le sujet résument parfaitement l'importance de ce facteur dans le choix modal d'un déplacement. [Kaufmann, Guidez, 1996]. Certains travaux ont mis en évidence, par exemple, une plus forte propension à utiliser un véhicule personnel de la part des individus bénéficiant d'une place de stationnement réservée sur leur lieu de travail. Ainsi, le stationnement est vécu comme une contrainte à laquelle doit se soumettre l'automobiliste, pour peu que son lieu de stationnement corresponde à se destination [Pezzoli, 2001].

Cette notion du temps pénibilisé tout comme les facilités de stationnement introduit un autre critère important dans le processus décisionnel inhérent au mode de déplacement, celui du confort. Le coût et le temps peuvent rationnellement pousser un individu à choisir un mode de transport qui sera pourtant négligé au profit d'un mode répondant plus exactement à ses attentes d'agrément. Un individu va préférer sa voiture personnelle aux transports collectifs pour diverses raisons allant du refus de la promiscuité collective au plaisir de la conduite ; de même le choix d'un individu pourra se porter préférentiellement sur un transport collectif pour une raison unique de fatigue par exemple.

D'autres critères viennent encore s'ajouter à l'ensemble des déterminants intervenant dans le processus décisionnel modal. C'est le cas de la sécurité ou de la fiabilité du mode, variables souvent fortement liées au confort, au coût, voire au temps du déplacement. Peu de travaux permettent à l'heure actuelle de quantifier l'importance attribuée à ces critères par l'individu. [Girerd, 2004].

• Les caractéristiques du déplacement

Beaucoup de caractéristiques du déplacement peuvent être considérées comme explicatives du mode de transport utilisé.
La localisation de l'origine et de la destination, tout d'abord, est fortement déterminante dans le choix modal. Toutefois, il ne faut pas se laisser leurrer par ce facteur qui, s'il présente une importance réelle, est également fortement corrélé avec les critères d'offre de transport. En effet, si on hiérarchise les origines destinations selon leur appartenance à un flux central, radial ou périphérique en fonction de leurs extrémités, on s'aperçoit que l'offre de transport en commun s'amenuise quand le flux devient périphérique [Bonnel, 2000b]. On rejoint donc ici les données explicatives de l'offre de transport. De même, la liaison entre l'étape de distribution et de choix modal transparaît de nouveau ici puisque l'origine et la destination influence directement le processus de décision inhérent au mode de transport utilisé.
Certaines caractéristiques, liées au déplacement, sont également imbriquées avec le profil de l'individu : la fréquence et le motif du déplacement par exemple, pourtant descriptifs du déplacement, sont fortement corrélés au profil de l'individu et à sa fonction sociale.

• Les caractéristiques de l'individu ou du ménage

La première catégorie d'individus à identifier concernant le processus de choix modal est certainement la classe de la population ne disposant pas de choix entre différents modes de transport. En effet, l'ensemble de la population, au niveau individuel comme au niveau des ménages, n'a pas accès à un véhicule personnel [Massot, Orfeuil, 1989].
La motorisation des ménages a donc une conséquence forte sur le choix modal. L'enquête ménages déplacements réalisée sur Lyon en 1995 met en évidence que « les individus qui ne disposent pas de voiture dans leur ménage effectuent quatre fois plus de déplacements en transports collectifs qu'en voiture, alors que ceux qui disposent de deux voitures et plus en font dix fois moins. » [LET, MVA, IMTrans, 2000]. Systématiser cette interprétation n'est cependant pas une solution souhaitable : d'une part la mobilité est en perpétuelle

évolution vis-à-vis de l'offre de transport ; et d'autre part de nombreux autres facteurs sont explicatifs de ce phénomène. Ces chiffres diffèrent par exemple fortement d'un pays d'Europe à l'autre pour une même motorisation. [Bonnel, 1993].

Le profil social de l'individu peut également fournir une explication sur les pratiques modales de la mobilité. Le sexe, l'âge, la profession et la position dans le ménage sont structurants en terme de choix modal. Cette information sur l'individu est cependant fortement corrélée au rôle de l'individu dans le ménage et en particulier à la nature des activités qui lui sont dévolues. On retrouve ici les informations concernant le motif et la fréquence du déplacement évoquées plus haut. Différents travaux se penchent actuellement sur ces problématiques[8] et ont permis de constater une faiblesse de la part modale de la voiture pour les tranches d'âges extrêmes, une baisse tendancielle de l'usage de la voiture avec l'âge, plus sensible à partir de 45 ans, une tendance à la sous-utilisation de la voiture par les personnes sans enfant, visible surtout entre 20 et 45 ans.

On pourrait multiplier les facteurs qui, d'une manière ou d'une autre, peuvent fournir une part d'explication sur les choix de mobilité des individus. Les dimensions psychologiques de l'individu par exemple peuvent aussi expliquer un biais dans le processus décisionnel bien qu'ayant très peu été prises en compte jusqu'ici. Certains psychologues européens, regroupés au sein de la Fédération Européenne des Associations Professionnelles de Psychologues, travaillent actuellement sur ces thématiques. Nous invitons le lecteur à consulter leurs travaux[9] pour de plus amples informations.

Très liée à cet aspect comportemental de l'individu, la force de l'habitude pèse également dans le processus de choix modal. Ce volet, pourtant très imbriqué avec le profil de l'individu, est souvent étudié comme un temps d'adaptation commun. Ainsi, les effets d'une évolution de l'offre peuvent se faire ressentir très longtemps après la mise en service d'une nouvelle infrastructure. [Lewis, Paul, 2003]. La modélisation d'un phénomène tel que l'habitude est pourtant attachée

[8] Le groupe de recherche canadien « Transports Québec » développe actuellement un modèle de transfert modal prenant en compte le motifs et la position des origines et destinations ; Le projet belge MOBIDIC initié en 2005 et dirigé par le Pr Poulain M., en cours de développement, tente de paramétrer le choix modal en séparant les motifs et les principaux lieux de déplacement ; on retrouve enfin la prise en compte du motif dans les travaux de Jayet H. sur la détermination de classes de mobilité associées au cycle de vie

[9] EFPPA, Risser R., *Task Force Traffic Psychology – 1999/2001*, rapport d'activité

à l'individu et à sa position dans les différents cycles de vie. « Les changements d'établissements scolaires, le début de la vie professionnelle, un changement de travail, la cohabitation, la naissance d'un enfant, le passage à la retraite, etc…, sont autant de moments de transition dans le parcours de vie, qui modifient les pratiques de mobilité quotidienne [Lewis, Paul, 2003]. Toutefois, les habitudes modales biaisent la rationalité de choix de l'individu sur laquelle s'appuie la plupart des processus de modélisation.

1.3. Affectation d'itinéraires sur un réseau

En approche agrégée, l'affectation d'itinéraires sur un réseau est relativement restreinte en terme méthodologique. L'affectation tout ou rien, également méthode du plus court chemin, est certainement la méthode la plus simple concernant l'affectation d'itinéraire. Il s'agit d'affecter la totalité du trafic sur les plus courts chemins pour chaque origine-destination correspondante.
Ce type de modélisation pose cependant problème : en premier lieu, elle considère le coût généralisé affecté à chaque tronçon comme étant fixe et ne prend donc pas en compte la charge du réseau. De plus, cette méthode pose l'hypothèse que tous les individus perçoivent de manière similaire l'offre d'itinéraires disponibles et sont capables d'identifier *a priori* le chemin le plus court, hypothèse mise à mal par de nombreux travaux.
La détermination du plus court chemin s'opère par un algorithme dit « de détermination de l'arbre le plus court ». Dans le principe, il s'agit de se déplacer de nœuds en nœuds (c'est-à-dire d'intersection entre liens du réseau à intersection) en testant la totalité des chemins disponibles et en sélectionnant de manière hiérarchique un à un les nœuds composant l'itinéraire offrant la distance la plus courte.

2. Approche désagrégée pour la caractérisation des déplacements

Comme pour les modèles de génération de déplacements, l'approche agrégée découle de la théorie micro-économique de maximisation de l'utilité. Toutefois, son application, dans le cadre de l'analyse des facteurs caractérisant les déplacements, trouve une meilleure justification.

2.1. Application de l'approche désagrégée pour la caractérisation des déplacements

On rencontre différents modèles, différant principalement par leurs domaines d'application, généralement basés sur les fonctions de coût généralisé et la maximisation de l'utilité liée à ces fonctions.

- Les modèles de régression logistique

Les modèles de régression logistique pose l'hypothèse de départ d'un individu rationnel optant pour l'alternative (modale ou d'itinéraire) présentant la plus grande utilité. L'individu fait le choix de la solution maximisant l'utilité V définie par :

$$V = \sum_{k=1}^{n} \beta_k X_k$$

[Bonnafous, 1989]

Où X_k identifie les différentes variables explicatives de l'utilité et β_k le poids de la variable X_k.

Une approche purement déterministe de l'utilité établie à partir de la combinaison des variables définies ici conduirait à un choix de la forme tout ou rien pour chaque trajet. Or, la réalité constatée met en évidence une répartition plus complexe des déplacements en fonction du mode ou de l'itinéraire.
Une démarche empirique montre que le choix entre deux modes de transport (ou deux itinéraires) suit une courbe de forme logistique, fonction de la différence de l'utilité des deux modes de transport [Bhat, 2001].
Cette forme logistique (figure 22) paraît assez intuitive. « La part des individus choisissant le mode B lorsque l'utilité du mode A est

nettement plus grande que celle du mode B est logiquement très faible. La croissance n'est que faible à mesure que la différence s'amenuise pour s'accélérer lorsque la différence tend vers 0 et conduire à une répartition égale entre les deux modes. L'évolution est ensuite inverse car le rôle de A et B s'inverse » [LET, MVA, IMTrans, 2000].

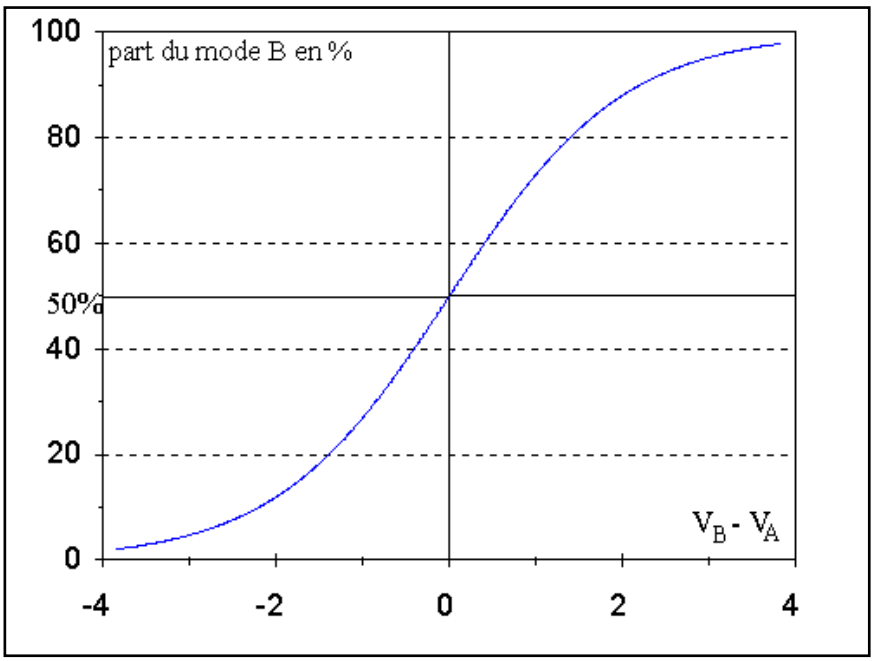


Figure 22 : Illustration de la forme générique des courbes de partage modal [LET, MVA, IMTrans, 2000]

Cette fonction est identifiable à une fonction de probabilité logit, ce qui vaut parfois aux modèles de régression logistique le nom de modèles logit.

Cette équation est définie formellement par :

$$f_{BA} = \frac{1}{1 + e^{-\pi(V_B - V_A)}}$$

Pour plus d'informations sur ce sujet, le lecteur pourra consulter différents ouvrages expliquant le fonctionnement détaillé de ce type de modèle[10].

Le modèle de régression logistique a connu certaines évolutions avec le modèle logit multinominal[11] qui permet de prendre en compte plus de

[10] Wen C-H, Koppelman FS (2001), The generalized nested logit models, *Transportation Research, part B*, vol. 35B, N°7, pp. 627-641;

[11] [Bhat C (2001), Quasi-random maximum simulated likelihood estimation of the mixed multinomial logit model, *Transportation research part B*, vol. 35B, N°7, pp. 677-693]

deux choix dans le processus décisionnel de l'individu ; et le modèle logit emboîté qui prend pour principe un raisonnement hiérarchique de l'individu (le choix porte dans un premier temps sur un mode individuel ou collectif, puis s'il choisit un transport collectif, fera le choix entre les différents modes proposant cette caractéristique, et ainsi de suite).

- L'affectation stochastique en affectation d'itinéraires

Il existe bon nombre de méthodes d'affectation d'itinéraire sur un réseau en approche désagrégée. L'affectation stochastique prend pour hypothèse que tous les individus ne perçoivent pas le coût du chemin de manière identique.
Nous allons présenter ici, à titre d'exemple, la méthode d'Abraham dont le principe recoupe les autres modèles employés dans ce domaine. On peut citer pour exemple les modèles de Dial [Dial, 1971], ou l'affectation multichemin de Burell [Burrell, 1968]

Parfois appelée méthode Ariane, cette méthode s'appuie sur la loi d'Abraham qui permet de répartir le trafic entre deux itinéraires pour une même origine-destination en fonction des coûts généralisés respectifs des différents chemins à partir de l'équation suivante : Formellement :

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{c_1}{c_2}\right)^{-\alpha}$$

Avec T_1 et T_2 les trafics sur les chemins 1 et 2
Et c_1 et c_2 les coûts généralisés de ces chemins
La part du trafic affectée au chemin *i* est alors définie par :

$$P_i = \frac{e^{\theta \ln(c_i)}}{\sum_j e^{\theta \ln(c_j)}}$$

Cette méthode permet ainsi de prendre en compte une dimension stochastique ainsi qu'une estimation plus souple de l'évaluation du réseau.

Il existe bon nombre d'autres méthodes d'affectation d'itinéraire sur un réseau en approche désagrégée.

2.2. Difficultés liées à l'approche désagrégée

Comme pour les modèles de génération de déplacements, l'approche désagrégée pose quelques problèmes d'applications.
La difficulté principale est certainement liée à la collecte de données. L'obtention de données au niveau individuel représente une étape longue et coûteuse d'un tel travail de modélisation. On est donc soumis, au moins en partie, à extrapoler certaines données à partir d'échantillons représentatifs. Dans ce cadre, l'estimation faite pour la modélisation désagrégée se trouve confrontée à différents problèmes. Chaque individu faisant partie d'un système profondément complexe, il est très difficile de prendre en compte l'ensemble des critères déterminant le processus de choix.
Par exemple, le calcul de l'utilité pour un individu face à une multitude de choix est fonction des choix des autres individus. On ne peut donc pas émettre une hypothèse d'indépendance entre les individus quant aux décisions qu'ils prennent. Le choix d'un itinéraire plus long pour un individu peut tout à fait être fonction d'une congestion de l'itinéraire optimal, saturé par les décisions des individus environnants.
Le problème est même encore plus vaste, puisque l'on considère, dans l'exemple présent, que l'individu isolé se contente d'observer et d'adapter son comportement. C'est supposer que l'action de l'individu n'a qu'une répercussion négligeable sur la situation générale. Or la superposition des choix individuels peut engendrer une nouvelle situation collective face à laquelle l'individu va de nouveau moduler son comportement.
On peut donc s'interroger quant à la pertinence de tels modèles et jusqu'à quel degré de désagrégation la modélisation conserve un sens et une légitimité de prévision.

Pour répondre à ces interrogations, la modélisation de trafic connaît aujourd'hui un certain renouveau, principalement en Amérique du nord, où la construction et l'accès aux données concernant l'individu sont radicalement différents des possibilités françaises. Situé entre le niveau de modélisation macroscopique plus ancien et le niveau microscopique des modèles de choix discrets est apparu un niveau intermédiaire appelé niveau mesoscopique. Développés à l'origine pour réduire les temps de calculs des modèles microscopiques, ces modèles semblent également tout à fait intéressants d'un

point de vue méthodologique. Ils considèrent les agents mobiles par paquets dont les mouvements sont calculés en utilisant un modèle macroscopique. [De Palma et Marchal, *2004*].

D'autres tentatives essayant d'intégrer les relations multiniveaux ont vu le jour dernièrement visant à incorporer dans le même environnement technique un simulateur microscopique et un outil macroscopique de planification. Le modèle SIMLAB[12] par exemple, est basé sur le croisement de deux outils : MITSIM[13], un simulateur microscopique portant sur les mesures d'accessibilité et MesoTS[14], un simulateur mesoscopique évaluant l'impact des politiques. Ainsi, la donnée se trouve employée à un niveau désagrégé relevant de l'information pour laquelle elle conserve un sens.

[12] Voir les travaux de Q. Yang, notamment Q. Yang et H. Koutsopoulos, 1996, A microscopique traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems, in Transportation Research Part C : Emerging Technologies, Volume 4 issue 3 pp113 à 179 et Q. Yang, 1997 et Ben-Akiva, M. E., Koutsopoulos, H. N., Mishalani, R. G., and Yang, Q. (1997) Simulation Laboratory for Evaluating Dynamic Traffic Management Systems. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 123, No. 4, pp. 283-289

[13] MITSIM : MIcroscopic Transport SIMulation, voir pour plus d'informations Masroor Hasan, Evaluation of ramp control algorithms using a microscopic traffic simulation laboratory, MITSIM

[14] MesoTS : Mesoscopique Transport Simulation

CONCLUSION

Nous connaissons maintenant, pour l'ensemble du déplacement, les possibilités méthodologiques de sa formalisation. Le critère de distinction majeur entre ces différentes méthodes concerne l'approche, c'est-à-dire les différentes prises en compte de l'individu.

Une approche agrégée du processus de choix se caractérise par la volonté de faire des grandes tendances à partir de groupes d'individus identifiés comme similaires ; une approche désagrégée a pour but quant à elle de prendre en compte l'ensemble des spécificités des individus afin de rapporter le plus fidèlement possible l'ensemble des différents comportements.

Mais l'approche que l'on a de la modélisation de la mobilité ne constitue pas le seul critère de distinction. Car si certains modèles se recoupent selon leur champ d'application, la plupart sont affectés à une étape précise du processus décisionnel de l'individu.

Nous allons maintenant voir comment chacune de ces étapes est prise en compte et combinée au sein de la méthodologie plus spécifique que constitue le modèle à quatre étapes.

Chapitre 3

Le modèle à quatre étapes : Une imbrication de différents modèles

C'est à l'origine pour faire face aux problèmes liés à la modélisation intra urbaine qu'a été fait le choix de segmenter la modélisation du trafic. C'est ainsi que sont mis au point aux Etats-Unis d'Amérique, dans les années 50, les premiers modèles à quatre étapes. Il s'agit du choix méthodologique réalisé par le service de gestion des transports de la Région de Franche-Comté pour l'organisation des transports sur son territoire. Nos recherches s'inscrivant, partiellement au moins, dans ce contexte appliqué, nous avons fait le choix de situer le modèle à quatre étapes dans la modélisation des transports.

Cette modélisation marque une rupture par rapport aux modèles précédents puisqu'elle est conçue pour prévoir les réactions du trafic face à des projets d'infrastructure ; mais conserve une continuité par son but qui reste fortement orienté pour l'automobile et le calibrage des infrastructures de déplacement. En effet, jusqu'à une date récente, les « modèles à quatre étapes ont pour fonction la reproduction et le développement du système automobile » [Dupuy, 1975].

Nous présenterons, au cours de ce chapitre, les principes de fonctionnement, le déroulement, et l'imbrication des différentes étapes du modèle ; puis nous

verrons comment les modèles à quatre étapes constituent un champ d'application aux modèles de simulation de trafic étudiés jusqu'ici.

1. Approche désagrégée pour la caractérisation des déplacements

Au-delà de segmenter la modélisation de trafic, il a fallu affecter un ordre aux différentes étapes identifiées. Il a donc fallu classer les choix successifs de l'individu dans la réalisation d'un déplacement. Nous allons étudier dans un premier temps les principes de fonctionnement des différentes étapes du modèle pour discuter, dans un second temps, de la pertinence de l'indépendance de ces étapes.

1.1. Principe de fonctionnement

Le modèle à quatre étapes a segmenté, pour des raisons pratiques, la modélisation de trafic en fonction des différentes problématiques rencontrées dans la simulation des déplacements de personnes. Ces différentes problématiques peuvent se résumer, du point de vue de l'individu mobile par les questions suivantes [Merlin, 1994] :

- Faut-il effectuer un déplacement ?
- Où se rendre ?
- Quel moyen de transport utiliser ?
- Quel itinéraire emprunter ?

auxquelles vient se rajouter une question liée directement ou indirectement à ces différentes interrogations :

- A quelle heure effectuer mon déplacement ?

Ces questions correspondent chacune à des étapes de modélisation visant à comprendre et décrire le processus de choix de l'individu au cours de son déplacement.
La première étape consiste en une phase de génération qui a pour but de considérer, pour chaque zone géographique pré-établie, le nombre d'attractions et émissions. La deuxième étape correspond à la problématique de distribution qui répartit les émissions et attractions sur les destinations et origines correspondantes. La troisième étape répond à la question de la répartition modale et distribue le trafic entre les différents modes de transport. La quatrième étape, quant à elle, affecte les déplacements au réseau et fixe ainsi l'itinéraire emprunté.

1.2. L'indépendance des différentes étapes

Les quatre étapes du modèle ont été séquencées et, comme nous allons le voir, découlent les unes des autres. Elles sont donc liées dans leur réalisation, mais pas dans leur conception. En clair, les étapes précédentes sont nécessaires à la construction d'une nouvelle étape. Mais la modélisation du processus décisionnel traité au cours d'une étape, quelle qu'elle soit, ne prend pas en compte le processus décisionnel d'une autre étape. La décomposition séquentielle de la modélisation du déplacement induit donc une indépendance des différentes étapes, ce qui ne correspond pas à la réalité. Un individu va par exemple potentiellement modifier sa destination en fonction de la présence ou non d'un mode de transport désiré pour un même service recherché. Les deux étapes de distribution et de choix modal sont alors inextricablement liées. On peut même imaginer que l'absence d'un service de transport peut modifier la décision à l'origine du déplacement et qu'en conséquence l'individu n'effectuera aucun déplacement. Le choix modal influence alors la génération du déplacement.
Au-delà de l'imbrication des différentes étapes du processus de choix, c'est la question de l'ordre des étapes qui peut également être en cause. Lors de la construction initiale du modèle, il a été pris pour postulat de départ que l'individu répondait successivement aux questions liées au déplacement vues précédemment. Mais il n'est pas certain que l'individu suive scrupuleusement la séquence de questions dans l'ordre prédéterminé par le modèle. Car avant de se demander s'il faut se déplacer, l'individu peut se demander si l'opportunité de se déplacer existe. C'est alors l'offre qui peut susciter la demande.

Pour tenter de solutionner ces problèmes, des tentatives ont été faites pour créer des modèles dits « directs » regroupant les trois premières étapes du modèle. Le modèle Baumol [Quandt, Baumol, 1966], par exemple, définit en une seule équation le trafic sur une origine - destination *ij* données, pour un itinéraire et un mode *k* prédéfini. Ce modèle est traduit formellement par :

$$T_{ij}^{k} = \Phi 0 (P_i P_j)^{\Phi 1} (I_i I_j)^{\Phi 2} (t_{ij}^{k})^{\theta 1} (c_{ij}^{k})^{\theta 2} (t_{ij}^{\eta})^{\theta 3} (c_{ij}^{\mu})^{\theta 4}$$

Ou P représente la population et I les revenus moyen de la zone concernée. $\Phi 1$, $\Phi 2$, sont des coefficients d'élasticité. t^k et c^k sont respectivement le temps et le coût du trajet affecté au mode *k*. t^η et c^μ représentent respectivement le temps le moins long et le coût le moins élevé sur le trajet concerné.

Toutefois, ces modèles ont été rapidement abandonnés pour les raisons qui avaient amené la segmentation de modélisation de trafic. En effet, la validation comme le calage de tels modèles se sont avérés être de véritables freins au développement de telles méthodologies.

2. Le modèle à quatre étapes, enchaînement de différents modèles

2.1. Etape 1 : la génération de trafic

L'objectif de cette phase de la modélisation est dans un premier temps de comprendre le processus décisionnel à l'origine du déplacement des personnes afin, dans un deuxième temps, de fournir une estimation des déplacements émis et reçus par chacune des zones prédéfinies du territoire d'étude.
Cette étape peut faire appel à l'ensemble des méthodologies d'analyse des facteurs à l'origine des déplacements. Le choix de cette méthodologie dépend fortement des objectifs généraux du modèle à quatre étapes dans son entier et conditionne le choix des méthodologies des autres étapes.
Le choix, dans cette première étape, d'un modèle normatif agrégé exclu par logique, l'utilisation d'une approche désagrégée pour l'ensemble des autres étapes. Un tel choix serait alors comparable à nettoyer au pinceau un site archéologique que l'on vient de passer au jet d'eau haute pression.

2.2. Etape 2 : la distribution de trafic

L'étape de distribution du trafic sur les différentes origines et destinations est directement liée à l'étape de génération. En effet, la distribution relie les origines et les destinations en respectant les données d'émissions et attractions établies durant la première étape. Le calcul des sommes de l'ensemble des déplacements proposant une même origine doit correspondre aux émissions de cette zone. Cette condition, valable également pour les attractions, est appelée contrainte aux marges et est formalisée par le tableau suivant :

		destination			Emissions : $\sum_j T_{ij}$
	Zone	1	2	3	Total
origine	1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	$T_{1.} = E_1$
	2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	$T_{2.} = E_2$
	3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	$T_{3.} = E_3$
Attractions : $\sum_i T_{ij}$	Total	$T_{.1} = A_1$	$T_{.2} = A_2$	$T_{.3} = A_3$	$T_{..} = \sum_{ij} T_{ij}$

Tableau 9 : Contrainte aux marges de la distribution de trafic

Où T_{ij} définit le trafic entre la commune *i* et la commune *j*.
Plusieurs modèles peuvent être utilisés au cours de cette étape. Les modèles gravitaires, des facteurs de croissance ou d'opportunité fournissent des solutions potentielles de modélisation de la génération de trafic.
Mais, contrairement à l'étape précédente, plus que l'objectif général du modèle à quatre étapes, c'est la disponibilité des données qui va conditionner le choix méthodologique.

2.3. Etapes 3 et 4 : le choix modal et l'affectation de trafic

L'étape de choix modal, comme son nom l'indique, répartit le trafic en fonction des différents mode de transport. L'étape d'affectation de trafic, quant à elle, correspond à l'affectation de la demande de déplacement sur les réseaux, à partir de la matrice origines-destinations pour chacun des modes.
Il est nécessaire dans cette étape de faire le choix de l'approche, agrégée ou désagrégée, qui doit également prévaloir pour l'affectation de trafic, dernière étape du modèle. La sélection d'une approche agrégée avec un modèle normatif concernant le choix modal va induire généralement l'utilisation d'une approche tout ou rien en affectation de trafic. En effet, une approche désagrégée de la quatrième étape ne peut se faire sans une méthodologie comparable à l'étape précédente, le lien entre ces deux phases étant important. De même, traiter avec un grand niveau de détail l'étape de choix modal et agréger l'information lors de l'étape suivante n'aurait pas de sens.

CONCLUSION

Le modèle à quatre étapes est en fait une succession de modèles dont l'interaction n'est que minime. Plus qu'un modèle, il s'agit donc d'une méthodologie associant différents modèles et les combinant pour décrire une mobilité dans son ensemble, sur un territoire donné.
Cette méthodologie présente divers avantages et inconvénients qu'il convient de connaître. Car sans les solutionner, il est nécessaire de les prendre en compte dans la production des résultats. Toutefois, leur utilisation, de plus en plus étendue, montre une certaine fonctionnalité de ce modèle, de même qu'une capacité à absorber les innovations méthodologiques en modélisation des transports ainsi qu'à utiliser les nouvelles possibilités techniques.

Conclusion de la deuxième partie

Nous avons maintenant situé le cadre méthodologique de notre travail. L'état de l'art établi ici a permis de dissocier à la fois les étapes du processus de choix inhérent à la mobilité d'une part et les approches en terme de modélisation d'autre part.
Au-delà de la structuration proposée par le modèle à quatre étapes avec les étapes de génération, de distribution, de répartition modale et d'affectation, l'appréhension du processus décisionnel de l'individu peut se scinder en deux grandes étapes : en premier lieu la décision de se déplacer ; et l'ensemble des décisions conditionnant le trajet en second lieu.
Nous avons donc resitué dans l'ensemble du processus de modélisation de la mobilité les outils et méthodes nécessaires à l'étude plus approfondie de l'étape spécifique de génération de trafic, liée à la décision de se déplacer. Nous avons également fixé les possibilités et contraintes liées à cette étape. En terme d'approche tout d'abord, avec les potentialités ouvertes par l'approche désagrégée et les contraintes qui s'imposent spécifiquement à l'analyse des facteurs à l'origine du déplacement ; et les possibilités offertes par une approche désagrégée. Mais également en terme de méthode, avec les différents outils à mettre en œuvre et les différentes précautions à prendre dans le traitement de l'information.

L'objectif maintenant est d'adapter au mieux les méthodologies et approches éventuelles aux buts de la modélisation et à notre territoire d'étude. Il s'agira donc d'établir un protocole méthodologique à la lumière des possibilités présentées précédemment afin de réaliser, dans son ensemble, une modélisation de l'étape de la génération de trafic. Ce sera l'objectif de la partie suivante.

Troisième partie

Modélisation de la génération de trafic, un premier pas vers un outil nécessaire à l'amélioration du réseau TER franc-comtois

Introduction de la troisième partie

Nous avons défini, dans la deuxième partie, le cadre du modèle à quatre étapes et les méthodologies employées dans sa réalisation. Nous avons ainsi replacé dans son contexte l'étape spécifique de la génération de trafic.
Nous nous proposons ici de déterminer les règles de la mobilité quotidienne par une analyse des liens entre le phénomène étudié et les variables démographiques ou économiques de chaque zone. Il ne s'agit pas ici d'établir un principe unique de mobilité à partir de variables explicatives mais de comprendre les relations entre ces variables et des motifs de déplacement clairement identifiés. Nous allons donc, pour chaque groupe de motifs, identifier les variables et leurs relations permettant de comprendre le processus de génération attaché à une zone d'émission ou d'attraction.
L'étude des possibilités actuelles en terme de modélisation en génération de trafic nous a permis d'analyser l'ensemble des méthodes existantes et les évolutions possibles vers de nouvelles possibilités de modélisation. Nous allons maintenant définir le protocole le plus adapté à notre problématique et analyser les résultats fournis.

Dans le cadre d'une gestion de transport en commun, la mobilité s'agrège en certains points de l'espace, s'organise autour des réseaux, et façonne le territoire de la mobilité. Il est donc nécessaire, –dans le modèle à quatre étapes

mais également dans toute problématique de gestion des transports–, de disposer de zones cohérentes d'émissions et d'attractions des déplacements, répondant à une logique comportementale des individus.

Après avoir défini un protocole de modélisation de la génération de trafic à l'échelle communale au cours d'un premier chapitre, nous verrons donc comment les émissions et attractions qui en découlent s'agrègent dans l'espace au cours d'un deuxième chapitre. Notre modèle s'inscrivant dans la gestion du transport régional de voyageurs et plus spécifiquement du réseau des transports express régionaux, notre travail consiste à organiser ces territoires de la mobilité en fonction de ce réseau spécifique. Il s'agit donc ici, non seulement de comprendre les principes inhérents à la décision de mobilité, mais de cerner le processus de choix de rabattement (potentiel ou réel) sur un point d'arrêt du réseau de transport en commun

Chapitre 1

Génération des émissions et attractions à l'échelle des communes

Nous avons étudié jusqu'ici les différentes possibilités en génération de trafic. Il s'agit maintenant de faire le choix de méthodologies adaptées à notre territoire d'étude, aux objectifs du modèle de génération, aux objectifs plus généraux du modèle à quatre étapes et aux données disponibles.
La présentation de la construction des données, de l'accès que nous en avons eu ainsi que de l'extrapolation de certaines informations est nécessaire pour comprendre les choix méthodologiques que nous avons réalisés. Cette présentation permettra également d'expliciter clairement les positions que nous avons choisies quant à la modélisation effectuée par la suite. Enfin, nous présenterons les résultats en terme d'émissions et attractions des déplacements à l'échelle communale du modèle ainsi mis en place.

1. Les données disponibles

Différentes sources de données sont accessibles concernant la mobilité en France. Elles sont principalement contenues dans la base de données de l'Insee *Communes mobilité*. Ces données ne sont toutefois pas exhaustives et ne présentent qu'une partie restreinte de l'information.
Afin d'approcher au plus près la mobilité et sa quantification à un instant de référence, différentes techniques ont été employées :Une enquête axée sur les transports en commun a tout d'abord été réalisée ; à laquelle sont venues s'ajouter les données de l'enquête ménages – déplacement de la Communauté d'agglomération du Grand Besançon (CAGB) qui nous ont permis d'extrapoler les données inhérentes au déplacement en voiture personnelle sur l'ensemble de la région de Franche-Comté. Nous allons présenter ici les différents protocoles, d'enquête et d'extrapolation, qui nous ont fourni les données nécessaires à la modélisation, après avoir expliqué les objectifs du modèle qui ont conditionnés nos choix.

1.1. Objectifs du modèle

L'objectif du modèle de génération de trafic est, en premier lieu, de pouvoir prévoir, de la manière la plus fine possible, l'évolution de la mobilité à court et moyen terme. Prévoir à long terme de ce genre de phénomène s'avère être un exercice périlleux, de par la difficulté d'estimation des différents paramètres liés à la mobilité quotidienne.
Remis dans le cadre plus complet du modèle à quatre étape, le modèle de génération de trafic a également pour but de pouvoir estimer l'impact d'une modification de l'offre de transport sur les comportements de mobilité des individus. Cette problématique n'est au demeurant qu'assez peu liée à l'étape spécifique de la génération de trafic. Nous considérons en effet ici que l'individu fait le choix d'effectuer ou non un déplacement sans prendre en compte les potentialités liées à l'offre de transport. Il va de soi que la réalité du processus décisionnel est plus complexe et que les informations liées aux possibilités modales influencent la décision de mobilité. Le modèle de génération de trafic étant à terme inclus dans un modèle à quatre étapes, la séparation des étapes reste une contrainte forte, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre. Les postulats de départ du modèle à quatre étapes nous obligent donc à ignorer les phénomènes d'induction qui sont responsables de l'augmentation ou la diminution de la mobilité à la suite de mise en service de nouvelles prestations ou de nouvelles infrastructures. Les inactifs motorisés

connaissent par exemple une forte évolution de leurs déplacements, spécifiquement pour des motifs non contraints, en fonction de l'évolution de l'offre de transport en commun [Bonnel, 1995a].
La modélisation développée ici est donc une modélisation à but prévisionnel, chargée de quantifier, à un instant t+1, les émissions et attractions de zones géographiques préétablies. Ces émissions et attractions pourront par la suite, au cours des autres étapes du modèle, permettre de tester les incidences de politiques spécifiques de transport.

1.2. Les données disponibles

1.2.1. Les données « Communes mobilité »

Les données *communes mobilité* ne couvrent qu'une partie des motifs de déplacement. Ces données sont réparties selon les motifs travail et études et fournissent diverses informations attachées à cette mobilité (annexe 1). On connaît notamment la répartition modale de cette mobilité. Même si la question du mode n'est pas abordée dans notre modélisation, elle reste importante dans la quantification des déplacements. En effet, si on connaît l'ensemble des déplacements concernant les deux motifs détaillés ici, nous allons voir par la suite que les diverses enquêtes et données dont nous disposons ne nous permettent pas d'accéder aux données concernant la mobilité en voiture personnelle attachée à certains motifs.

1.2.2. L'enquête TER Franche-Comté

La construction de l'enquête

Dans le cadre de la modélisation de la mobilité régionale, une enquête a été réalisée durant l'automne 2004. Cette enquête a été effectuée sur l'ensemble des services de transport en commun (cars et trains) à la charge de la Région de Franche-Comté. Plusieurs réflexions ont été menées à cette occasion sur la qualité de l'information à collecter et donc sur le fond et la forme de cette enquête.

Le premier point à soulever, conditionnant l'ensemble des autres interrogations concernant l'enquête, porte sur le choix entre un questionnaire auto administré

ou avec l'intervention d'un enquêteur. L'avantage certain de l'intervention d'un enquêteur réside dans la compréhension de l'enquête par l'individu enquêté. Comme nous l'avons déjà vu, l'interprétation de l'enquête peut fournir un biais important sur les résultats. Mais ces considérations ne constituent pas les seuls critères de choix relatifs à la voie d'administration du questionnaire. Le coût tout d'abord, plus important dans le cas d'un entretien dirigé, pousse à préférer, sur une enquête de cette ampleur, la solution d'un questionnaire que les usagers des transports en commun peuvent remplir seuls. Le choix ici d'une enquête exhaustive amène donc, dans tous les cas, à préférer un questionnaire auto administré. De plus, vouloir cerner l'ensemble des usagers des transports en commun amène à considérer également la longueur du questionnaire. Beaucoup de trajets étant réalisés sur de petites distances, et donc des laps de temps courts, il est nécessaire que le questionnaire soit conçu avec un nombre de questions limitées et que son remplissage se fasse avec une certaine rapidité (annexe 2).
Il est possible, au demeurant, que bien que conçu pour l'ensemble des usagers, tous les individus concernés par l'enquête ne fassent pas le choix de remplir le questionnaire distribué. Un comptage aux arrêts des différentes montées et descentes est donc nécessaire pour d'éventuels redressements statistiques.

Concernant le comptage des déplacements, la réalisation du questionnaire nous amène à nous interroger sur la définition retenue pour ces déplacements. Nous reviendrons par la suite sur la période et la durée de l'enquête, mais quelque soit la durée choisie, il est possible d'enquêter plusieurs fois le même individu, se situant dans une chaîne de déplacements ou une sortie. Il est alors important de pouvoir situer l'enquête dans cette chaîne afin de ne pas comptabiliser plusieurs fois les caractéristiques liées à un aller-retour. De même, dans le cas d'enquête réalisée sur plusieurs jours, il est nécessaire de savoir si l'enquêté à déjà ou non été pris en compte lors des précédentes journées. Le choix a été fait ici de quantifier le nombre de réponses déjà données par voie de questionnaire. Ainsi, par croisement avec les profils des individus et les motifs de déplacement, les allers-retours pourront être pris en compte, ainsi que les trajets répétés d'une journée sur l'autre.

Vient ensuite la question liée à l'unité de mesure des migrants. Même si le profil de l'individu enquêté peut être remis dans le cadre de son ménage assez aisément par voie de questionnaire, qualifier la mobilité totale de ce ménage paraît être difficile. L'enquête réalisée ici est donc individu centré et ne considère que les caractéristiques liées à l'individu remplissant le

questionnaire. De plus, le but principal du modèle de génération de trafic étant la prévision, travailler à l'échelle de l'individu paraît être la solution la plus judicieuse au vu des avantages et inconvénients expliqués au début de ce chapitre.

Concernant une enquête dont le but est de quantifier des déplacements, le choix de la période et de la durée d'enquête s'avère être de première importance. Toute période de vacances scolaires est à exclure dès le départ : la mobilité quotidienne se trouve radicalement modifiée à ces périodes, autant pour les populations scolaires que pour les actifs. On pourrait se poser la question de la saison de l'enquête. La mobilité paraît naturellement être différente selon la météo et la température extérieure. Toutefois, les moyens financiers et temporels ne nous permettant pas de réaliser une enquête parfaite dans la théorie, nous ferons le postulat d'une relative constance de la mobilité au cours de l'année, hors périodes de vacances. Le mois d'octobre a finalement été retenu.

A propos de la durée, toute échelle temporelle d'enquête inférieure à une journée a été écartée. La mobilité, qu'il s'agisse de mobilité contrainte ou non, s'inscrit traditionnellement dans une période journalière. Pour autant, tous les jours de la semaine ne se ressemblent pas en terme de quantité et de nature de déplacements. Hormis les jours de week-end qui sont radicalement différents du reste de la semaine, les débuts et fins de semaine « active » (à savoir les lundi et vendredi) proposent également des différences notables avec les jours de milieu de semaine. Il est donc important de pouvoir avoir un aperçu de l'ensemble de ces plages temporelles. La Région de Franche-Comté, financeur de cette enquête, a ici fait le choix d'enquêter le lundi et le jeudi de plusieurs semaines consécutives. On retrouve ici certains réflexes hérités des objectifs passés de la modélisation de trafic qui vise à quantifier les déplacements aux instants où le trafic est le plus dense afin de dimensionner au mieux l'offre de transport et les infrastructures. Adopter de tels choix d'enquête nous amène à renoncer à comprendre la mobilité marginale du week-end au profit d'un gain relatif de précision sur les jours présentant les plus gros contingents d'usagers.
La question peut également se poser d'enquêter sur la totalité d'une semaine plutôt que sur deux jours choisis comme référents sur plusieurs semaines consécutives. Etaler l'enquête sur plusieurs semaines offre l'opportunité de lisser l'impact d'évènements ponctuels comme certaines manifestations commerciales ou culturelles, certains retards sur divers services ou encore une météo spécifique. Toutefois, faire le choix de jours référents, -choix qui se

justifie pleinement dans le cas où l'enquête est limitée à deux jours maximum pour des raisons financières ou techniques-, amène une approximation certaine pour les autres jours de la semaine. Le mercredi par exemple, spécifique par les horaires des scolaires auxquels s'ajoutent souvent des emplois du temps aménagés de certains actifs ayant des enfants à charge, n'est que mal pris en compte. De même, le vendredi, avec les modifications évoquées en première partie en lien avec les transformations des emplois du temps, n'est plus tout à fait comparable au lundi.

Enfin, la question de la perception de l'individu est tout à fait intéressante à traiter dans le cadre d'une enquête de cette ampleur. Nous parlons ici de la perception intrinsèque de la qualité de certains aspects du service comme de leur importance.
Au-delà de la modélisation de la génération de trafic, que ce soit pour l'étape de répartition modale ou celle de l'affectation de trafic, la perception par chaque individu du coût, de la rapidité, du confort et de l'écologie relatifs à son déplacement influence les choix qu'il réalise en amont ou pendant le déplacement. De plus, concernant ce type de données, il est difficile de se référer à des données existantes. Les mentalités liées à ces questions évoluent rapidement dans le temps et ne sont que rarement comparables d'un territoire à un autre. On peut donc regretter que pour raccourcir au maximum le questionnaire la Région de Franche-Comté ait écarté toute question se référant à l'individu sous l'angle de la perception de son déplacement.
Toutefois, ces données existent sous une autre forme, à travers des enquêtes « satisfaction » réalisées chaque année par la SNCF sur des échantillons de population. Réalisées par voie téléphonique, ces enquêtes détaillent la perception qu'a l'individu des critères de rapidité, de confort et de coût sur son trajet. Nous n'avons hélas pas pu avoir accès à ces données.

Premiers traitements concernant l'enquête : nettoyage de la base de données

Les premiers traitements concernant l'enquête nous ont révélé certaines invraisemblances et nous avons rapidement constaté qu'une certaine proportion des vingt mille enquêtes réalisées contenait des réponses erronées.
La première étape a consisté à évaluer le degré de cohérence de chaque questionnaire pour extraire les réponses risquant de fausser l'analyse. Trois critères ont été retenus pour faire émerger divers degrés d'incohérence :

- Le nombre de réponses nous a fourni un premier élément d'analyse. Nous avons considéré que sur huit jours d'enquête, le nombre de fois qu'un individu peut répondre à l'enquête est limité. Nous avons donc appliqué une note dégressive lorsque ce nombre augmentait avec un seuil de départ fixé à seize, soit deux réponses par jours. Il est toujours possible, en théorie, qu'un individu ait été amené à répondre un plus grand nombre de fois au questionnaire. Il nous paraît cependant probable que toute réponse supérieure à ce chiffre soit le reflet de réponses erronées.
- L'âge ensuite, nous a permis d'écarter certains questionnaires. Tout âge inférieur à sept ans a été évalué comme présentant un degré d'incohérence.
- Enfin, le croisement des informations du profil de l'individu avec le nombre de fois où le questionnaire a déjà été rempli nous a permis d'affiner encore notre analyse : A profil constant, le nombre de réponses déjà fourni doit présenter une continuité. Un individu ne peut pas avoir rempli 9 fois le questionnaire sans l'avoir rempli une septième et une huitième fois. Nous avons toutefois considéré qu'une erreur de comptage de la part de l'enquêté était toujours possible. Nous avons donc noté de manière dégressive les réponses suivant la taille de l'erreur constatée.

Nous avons par la suite agrégé ces différents indices d'incohérence pour obtenir une évaluation de chaque questionnaire d'enquête. Plus de 1500 enquêtes sur les 19928 de départ ont révélé au moins deux facteurs d'incohérence simultanés. Cette proportion assez forte (plus de 7,5 % de réponses erronées) nous a amené à pousser plus loin cette analyse et à tenter de comprendre les causes de ces invraisemblances. Il n'est pas possible d'écarter l'ensemble de ces questionnaires nous paraissant présenter des réponses fausses sans en comprendre la raison.

Notre raisonnement intuitif nous a tout d'abord amené à analyser la répartition de ces réponses dans le temps en fonction de la représentation des catégories socioprofessionnelles aux différents moments de la journée. La figure 22 présente la répartition de ces groupes en fonction du temps avec le degré moyen de cohérence des enquêtes par heure.

La répartition des scolaires paraît expliquer, en premier lieu, au moins en partie la proportion de réponses erronées : plus la proportion des scolaires augmente, plus le nombre de réponses recelant des degrés d'incohérence semble croître.

Cependant, cette proportion de scolaires est elle-même fortement corrélée avec d'autres facteurs.

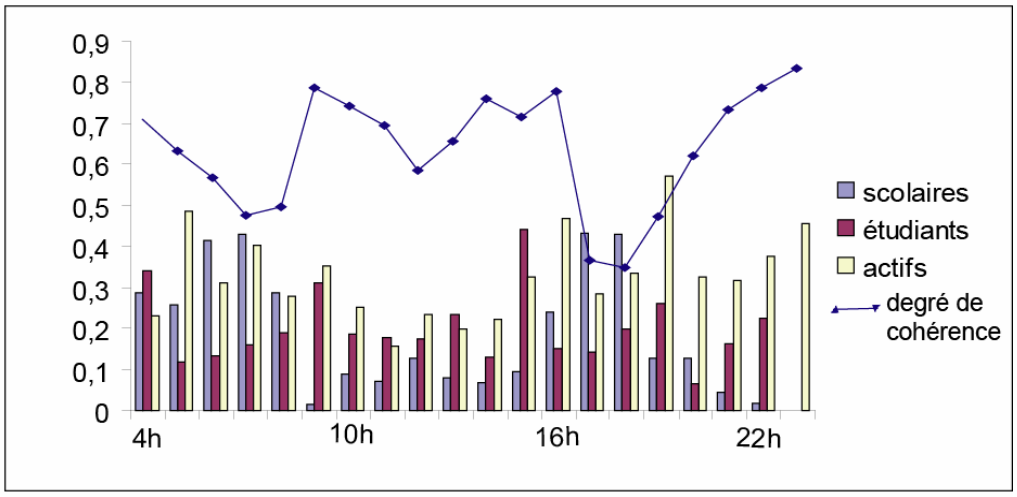


Figure 22 : Les principales catégories sociales et les réponses erronée aux enquêtes TER
Source : enquête TER Franche-Comté

La figure 23 montre par exemple la fréquentation des services TER aux différentes heures de la journée.

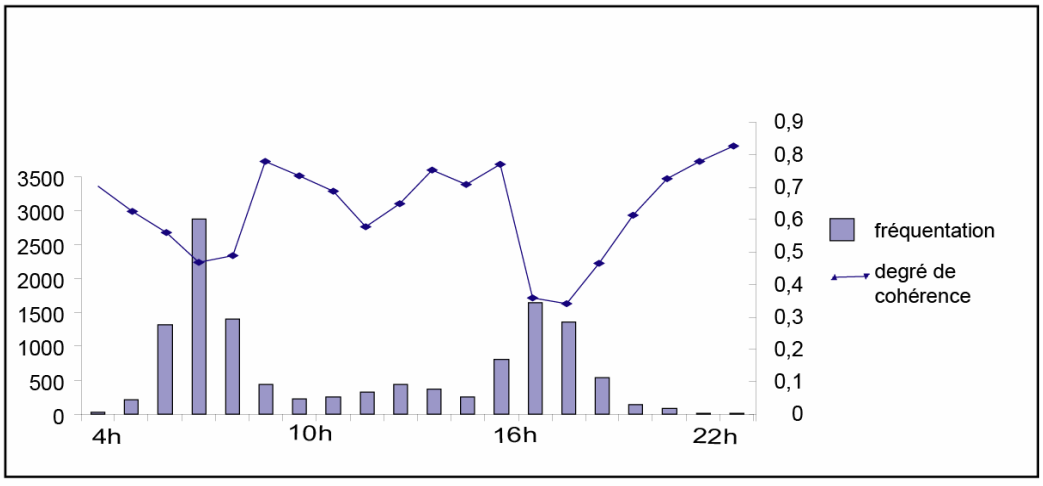


Figure 23 : Cohérences de réponses et fréquentation du service enquêté
Source : enquête TER Franche-Comté

On constate également ici une relation forte entre les pics de fréquentation et le pourcentage de réponses erronées. On remarque tout de même une proportion plus forte de réponses présentant des incohérences pour le pic de fin de journée,

pourtant moins important en terme de fréquentation que le début de la journée. Il est donc possible que la proportion de scolaires ne soit que peu liée au phénomène de réponses erronées et que la fréquentation explique cette manifestation d'erreurs.
L'analyse segmentée des lundi et jeudi tend effectivement à confirmer cette théorie. La figure 24 développe cette idée en mettant en évidence les degrés de cohérence de chacun des jours avec la fréquentation qui lui est affiliée.

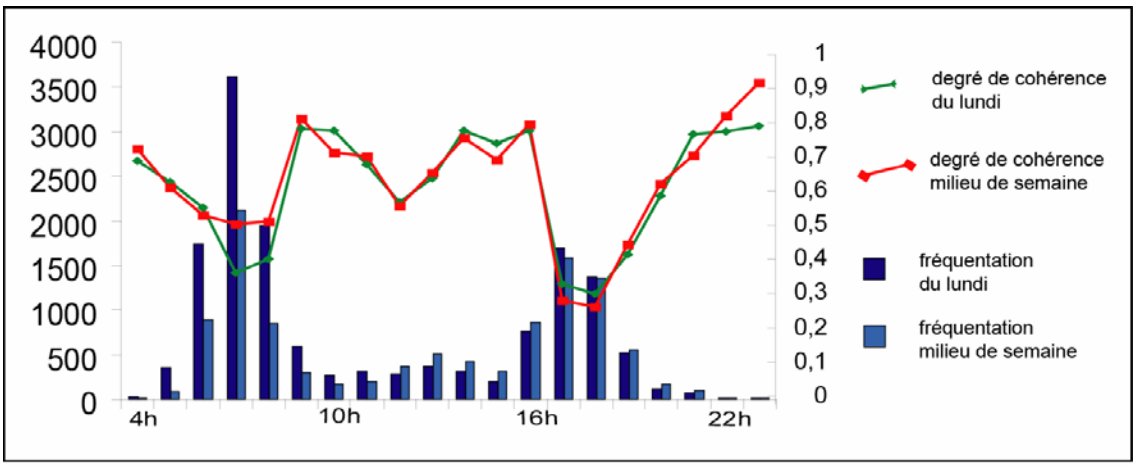


Figure 24 : analyse comparative des fréquentation et cohérence des réponses de début et milieu de semaine
Source : enquête TER de Franche-Comté

On voit effectivement le lundi, pour lequel la fréquentation est plus forte en début de journée, présenter un plus fort taux de questionnaires incohérents à cette même heure. Il est néanmoins difficile de déterminer avec précision si ce phénomène est dû ou non à la fréquentation ou à la proportion de scolaires, puisque cette dernière est également plus importante le lundi.
On peut raisonnablement penser que les populations scolaires ont une plus forte tendance, de par leur jeune âge, à fournir des réponses erronées ; mais qu'une forte fréquentation favorise ce phénomène, en couvrant plus ou moins ce genre de comportement dans la foule. On imagine en effet plus volontiers remplir le questionnaire de manière apocryphe lorsqu'on le rend en même temps que trente autres individus que lorsqu'on le rend seul à l'enquêteur.
Un autre phénomène vient également s'ajouter à ceux-ci. L'avancée du temps au cours de la journée semble correspondre à une croissance progressive du nombre de réponses incohérentes. La figure 25 est construite en pondérant le nombre de réponse par la fréquentation.

On voit nettement la qualité des réponses se dégrader avec le temps et le pic de fin de journée reparaître. La fatigue peut certainement expliquer en grande partie ce phénomène.

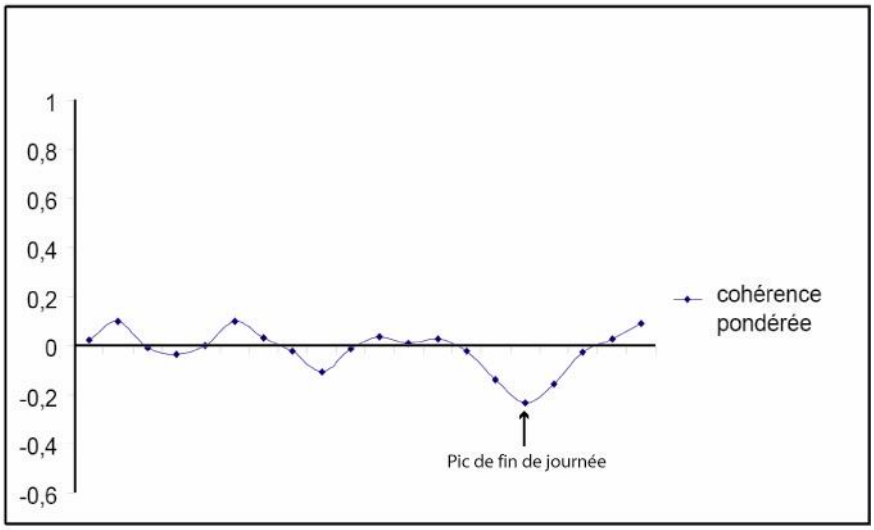


Figure 25 : Evolution du degré de cohérence moyen pondéré par la fréquentation au cours de la journée
Source : Enquête TER Franche-Comté

Nous avons donc établi une base de données fiable sur les transports en commun sur l'ensemble de la région, couplée à la base *communes mobilité* de l'Insee. Manque alors à ce recueil l'ensemble des informations de déplacements liés aux motifs différents du travail ou des études non contenus dans la base de l'Insee et réalisés par un autre mode que le transport en commun, ces derniers étant présents dans la base issue de l'enquête TER de la Région. Ces données n'existant pas en l'état, nous avons dû les construire par conjecture à partir d'un territoire test.

2.1.3. La construction des données manquantes

Nous avons vu, au cours de ce chapitre, le fonctionnement des modèles normatifs. Ces modèles consistent à appliquer à un territoire d'étude, des normes obtenues à partir de calculs sur un territoire référent.
Ne disposant pas d'une norme récente sur un territoire comparable au nôtre, nous avons pris le parti de concevoir une norme des attractions et émissions par commune sur le territoire référent de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB). L'enquête ménages déplacement réalisée au cours de l'année 2005 sur la CAGB nous fournit en effet la totalité des informations

nécessaires à la construction d'une telle norme de calcul. Elle pose toutefois le problème de ne pas avoir été conçue à la même date que nos autres sources de données. Nous considèrerons pourtant que ce décalage temporel de recueil de données n'influence que peu les résultats obtenus sur les déplacements des individus.
Bien que nommée communauté d'agglomération, la CAGB présente un panel très large de communes que l'on peut, en terme de mobilité, classer en plusieurs catégories. Il va de soi que les communes, suivant leur profil, ne sont pas soumises aux mêmes comportements de mobilité. Il convient donc d'établir une typologie afin de pouvoir construire une norme différente pour chaque profil ainsi dégagé. Nous pourrons par la suite appliquer à chaque commune, suivant le type auquel elle appartient, le comportement référent.

La mise en place d'une typologie de communes

La typologie de commune qu'il convient d'établir ici doit se baser sur la mobilité quotidienne et plus précisément sur les déplacements liés aux motifs autres que travail ou études.
Pour cela, nous avons dans un premier temps dégagé l'ensemble des variables explicatives de la mobilité quotidienne liée aux motifs nous concernant ici en nous basant sur la littérature (tableau 5)[15]. Puis, à l'aide d'une analyse factorielle (tableau 10), nous avons dégagé deux axes factoriels nous permettant de situer les communes de notre territoire dans un espace à deux dimensions.

	Valeurs propres initiales			Sommes des carrés chargées		
Composante	Total	% de la variance ==	% cumulés	Total	% de la variance ==	% cumulés
1	5,954	76,931	76,931	6,954	86,931	86,931
2	1,976	22,204	99,135			

Tableau 10 : Analyse factorielle à partir des variables explicatives de la mobilité quotidienne

Puis nous avons appliqué aux communes une méthode de groupement à partir de cet espace bidimensionnel en faisant appel à la méthode de classification autour des centres mobiles appelée également méthode des nuées dynamiques (annexe 3).

[15] Rapport PREDIT, 2000, *Evaluation des modèles de prévisions de trafic*, GESMAD

Nous avons donc obtenu une classification en quatre classes. Il est difficile d'attribuer une signification à chacune de ces classes. Elles regroupent chacune des communes présentant des profils de mobilité semblables mais ne correspondent pas forcément à un profil préétabli de commune (rural, périurbain…). Chacune de ces classes étant représentée au sein de la CAGB (figure 26), il est possible de fixer une norme à partir de ces groupes.

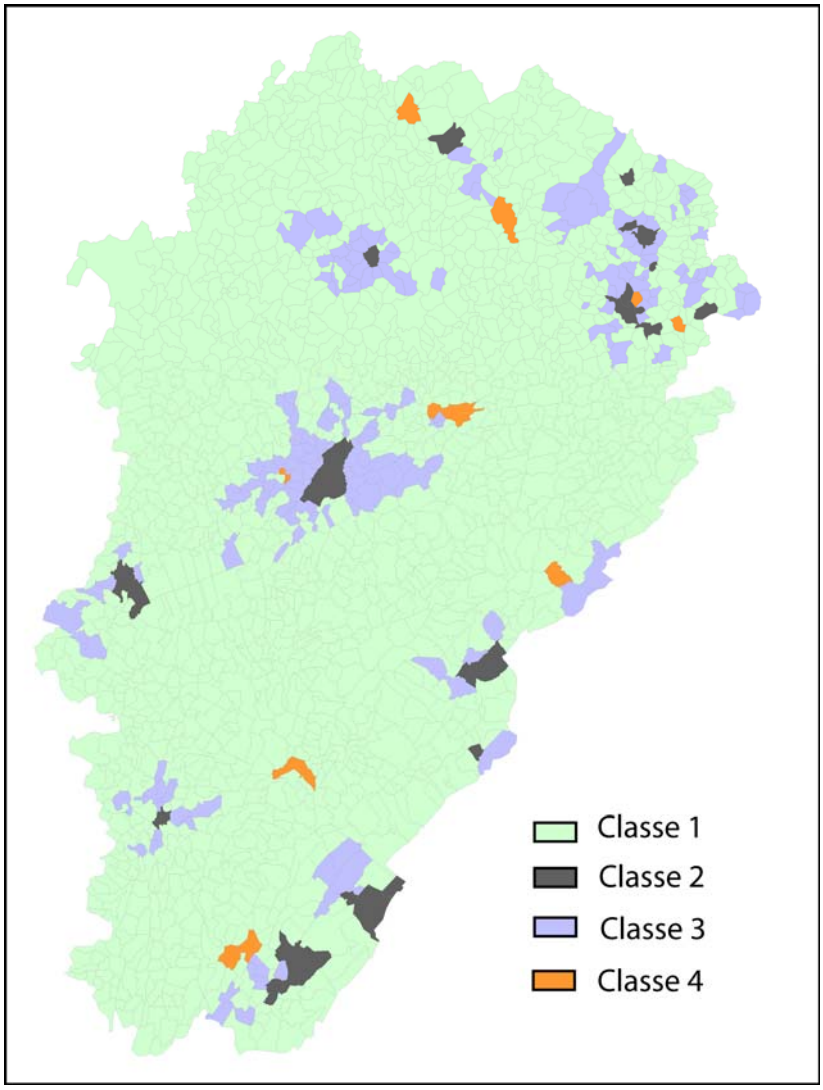


Figure 26 : Typologie des communes franc-comtoises en fonction de leur comportement de mobilité
Source : enquête TER Franche-Comté, INSEE

L'extrapolation des données

Nous avons, par la suite, calculé des profils types concernant les émissions et attractions de chaque groupe en calculant la moyenne arithmétique des émissions et attractions connues sur la CAGB.
Enfin, nous avons appliqué ces profils à chaque commune de Franche-Comté afin de conjecturer des émissions et attractions sur le territoire d'étude concernant les motifs non traités par les données de l'Insee.

On peut regretter de n'avoir pas appliqué ici une norme plus détaillée afin de prévoir au mieux les déplacements inhérents aux motifs concernés, à l'image des travaux déjà cités de Horowitz [Horowitz, 1993]. Toutefois, tenter d'approcher à un tel niveau de détail des informations pour lesquelles nous n'avons aucun moyen de vérification nous paraît être superflu. Car même si la CAGB peut fournir, faute de mieux, un territoire de référence, on ne peut certifier que les comportements de mobilité d'une Région sont strictement identiques à celui d'une portion de ce même territoire régional.
Il est pourtant nécessaire de disposer de données concernant cette part modale de la mobilité attachée aux motifs précédemment cités. Il n'est pas possible, en fait, de réaliser deux modèles parallèles, l'un à niveau de détail élevé et ne prenant en compte que les données sur les transports en commun, et l'autre plus agrégé fondé sur les données manquantes. Faire un tel choix équivaut à poser le postulat de départ que le mode est la première variable intervenant dans le processus de choix lié à la génération de trafic. On peut alors, avec cette hypothèse, accepter le fait que deux groupes de population distincts aux comportements de mobilité différents sont identifiables *a priori* en fonction de leur mode de transport. La réalité est pourtant tout autre et les expériences passées, comme nous l'avons déjà vu au cours de ce chapitre (paragraphe 1.1), nous poussent à considérer le motif du déplacement comme première variable explicative. Nous avons donc fait le choix de garder le niveau d'analyse le plus détaillé possible en conjecturant une partie de la donnée générale et en gardant à l'esprit le caractère approximatif de cette information.

2. Le cadre méthodologique

Nous disposons maintenant d'une base de données complète sur l'ensemble des émissions et attractions pour l'ensemble des modes et l'ensemble des motifs de déplacement.
Il s'agit maintenant de mettre en place une méthodologie adaptée à notre problématique afin de comprendre les émissions et attractions par motif pour pouvoir les prévoir sur chaque commune de notre aire d'étude.
Ne disposant pas de données suffisamment fines sur l'ensemble de la Franche-Comté concernant les déplacements multi motifs, nous avons pris le parti de traiter le déplacement en tant que mouvement effectué par un individu sur une voie publique, d'une commune à une autre, pour un motif principal (et potentiellement un ou plusieurs motifs secondaires), à l'aide d'un ou plusieurs modes de transport, qu'il soit basé ou non au domicile.
Par le fait, les émissions sont comptabilisées comme le mouvement de l'origine à la destination, liée au motif principal du déplacement en ne considérant que la zone émettrice. Les attractions sont comptabilisées quant à elles comme le mouvement de l'origine à la destination, liée au motif principal du déplacement en ne considérant que la zone réceptrice.

Le détail des données dont nous disposons nous autorise toutefois à mettre en place un modèle de régression afin d'approcher au plus près la réalité concernant la mobilité individuelle sur le territoire franc-comtois. Comme nous l'avons vu, le choix de cette méthodologie pose certains problèmes qu'il convient de résoudre pour la mise en place de notre protocole.

2.1. L'indépendance des individus

La première hypothèse à respecter au cours d'un tel traitement statistique est l'indépendance des individus. Comme nous l'avons déjà évoqué, les individus de notre série statistique représentés par les communes franc-comtoises ne sont pas indépendants de par leur contiguïté et leurs échanges permanents. On peut en conséquence tenter de diminuer ce biais en échantillonnant nos individus de façon à réduire la continuité du territoire. Ainsi, on amenuise les chances de contiguïté entre les communes et l'intensité de la relation entre les individus : les individus présentent de la sorte une relative indépendance.
Reste alors la question du protocole d'échantillonnage. On peut tout simplement choisir aléatoirement les communes en émettant l'hypothèse que le

hasard fournit une chance acceptable de choisir des individus indépendants les uns des autres. Une autre solution consiste à contraindre l'échantillon à des communes ne présentant pas de contiguïté et ainsi tenter de réduire au maximum les relations entre les individus. Une issue différente à ce problème est d'obliger l'échantillonnage à sélectionner le même pourcentage de communes dans chaque département ou canton afin de garantir une bonne répartition spatiale des individus. Enfin, on peut sélectionner de manière dirigée des communes dans chaque groupe de communes présentant un comportement de mobilité différents. Pour cela, il convient de réaliser, comme pour l'extrapolation de données, une typologie des communes franc-comtoises basée sur l'ensemble des variables explicatives de la mobilité quotidienne.
Cette dernière méthode permet d'éviter une sur représentation des communes appartenant au type le plus présent sur le territoire. En effet, une fois la typologie établie, on se rend compte qu'une seule classe concerne plus de 80 % des communes franc-comtoises. Cette classe concerne principalement des communes rurales caractérisées par une population faible. Cette méthode permet donc de rééquilibrer l'échantillonnage en fonction de la population représentée par chaque commune. Ainsi, on ne donne pas une importance trop grande à des communes ne représentant qu'une part faible de la population totale. Les communes représentant une part importante de la population sont évidemment beaucoup moins nombreuses que les communes à faible poids démographique.
Comme nous allons le voir maintenant, le choix de l'échantillonnage dépend également des choix effectués concernant la linéarité du modèle.

2.2. La linéarité du modèle

La seconde hypothèse est la linéarité du modèle. Cette hypothèse, ici non respectée, peut se solutionner de différentes façon comme nous l'avons déjà vu. Dans le cas de la génération de trafic, le nombre de variables explicatives pouvant être important, il est préférable d'écarter tout de suite la possibilité de réaliser des régressions non linéaires. Le modèle mathématique s'en trouverait compliqué et beaucoup plus difficile à évaluer.
Reste alors l'option du modèle catégoriel ou celle de la linéarisation par transformation des variables. Découper la population en classes pose plusieurs problèmes déjà évoqués précédemment. Seule l'analyse nous permettra donc de définir la solution optimale à la résolution de ce problème.

L'application du modèle catégoriel trouve en effet son application principale lorsque la linéarisation et la régression qui l'accompagne ne fournissent pas de solution satisfaisante. Il est alors utile de découper la population en classes afin d'affiner au mieux les régressions linéaires sur chaque classe. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que l'objectif principal de notre modèle est la prévision, domaine pour lequel le modèle catégoriel pose des problèmes d'application.

Une simple constatation théorique nous permet de voir à quelle transformation nous devons faire appel pour la transformation des variables non linéaires. Nous sommes ici dans la configuration d'une équation de type :

$y = \alpha x^{\beta}$

Il est donc nécessaire d'utiliser le logarithme de cette fonction pour obtenir ainsi la fonction :

$y' = \log\alpha + \beta x'$

Avec : $y' = \log y$ et $x' = \log x$

Le logarithme d'une variable présente également l'avantage de normaliser sa distribution [Besse, 2003]. On répond mieux, de ce fait, aux hypothèses d'un modèle de régression linéaire, à savoir la normalité des variables explicatives. Ainsi, parmi les différentes possibilités d'échantillonnage étudiées auparavant, le choix aléatoire paraît justifié. Il n'existe en effet plus dans le logarithme de la variable, de valeur qui diffère fortement du reste des données. Il ne paraît donc pas nécessaire de sélectionner les individus en fonction de leur profil afin de représenter l'ensemble des spécificités présentes au sein de la population statistique. Une autre solution, concernant ces individus, appelés « points leviers »[16], qui influence considérablement les estimateurs par leur excentricité, consiste à les écarter de la série statistique. Nous avons préféré ici conserver ces valeurs et réduire leur influence par la normalisation de la distribution.
Nous avons toutefois fait le choix de réaliser deux échantillons parallèles, l'un contraint par les classes de population, l'autre aléatoire, afin de pouvoir comparer les résultats fournis par ces deux méthodes.

[16] Nous nous référons ici à P. Besse, 2003, Modélisation statistique et apprentissage, publications du laboratoire de statistique et probabilités, Université Paul Sabatier.

2.3. L'identification des variables explicatives et la multi colinéarité

La multi colinéarité et l'identification des variables, expliquant le processus de choix de l'individu sur sa volonté de déplacement, sont deux problèmes profondément liés. Il s'agit en réalité de comprendre le lien entre l'ensemble des variables ; ce lien peut se décomposer en deux catégories, le lien entre toutes les variables (qu'elles soient explicatives ou non) et la variable à expliquer, et les liens qu'entretiennent les variables explicatives entre elles.
Les variables explicatives étant supérieures à deux quel que soit le motif traité, il est nécessaire de raisonner en terme de régression multiple. Plusieurs possibilités sont envisageables en terme de traitement statistique pour identifier les différentes variables et leur implication dans le modèle final de génération.
Nous avons opté pour une solution déjà éprouvée et offrant des aménagements possibles en fonction du but de la modélisation. De plus, la méthode employée ici nous permet de mettre en place des indicateurs de fiabilité et de significativité sans faire appel à des calculs très complexes et souvent difficilement reproductibles dans le cas de prévisions.
Nous avons donc fait appel à la régression multiple pas-à-pas. Cette démarche consiste « à recueillir un assez grand nombre de variables jugées explicatives et à choisir parmi elles l'ensemble le plus explicatif. Le but est d'obtenir une régression optimale : le plus fort R^2 pour un minimum de variables explicatives. » [Groupe Chadule, 2001]. Il existe plusieurs méthodes pour éliminer les variables les moins intéressantes pour le modèle.

- La méthode backward ou méthode descendante.

  Cette méthode fonctionne sur les bases d'un algorithme démarrant du modèle complet et en supprimant progressivement les variables les moins significatives pour le modèle. On calcule donc dans un premier temps la régression pour toutes les variables jugées comme explicatives. A chaque étape, la variable associée à la plus grande p-value du test de student (probabilité critique du test) est éliminée. La procédure s'arrête lorsque l'ensemble des variables restant dans le modèle ont des p-values plus petites que le seuil fixé au départ.
  Cette méthode est couramment utilisée lorsque le raisonnement inductif seul ne permet pas de dégager une série de variables explicatives satisfaisante. Elle présente l'inconvénient majeur d'écarter définitivement une variable lorsqu'elle a été supprimée du modèle. Une variable non significative à une étape du modèle peut le redevenir

lorsque d'autres variables avec lesquelles elle était fortement corrélée ont été à leur tour écartées.

- La méthode forward ou méthode ascendante

Cette méthode procède dans le sens inverse de la précédente. On examine le modèle avec une seule variable explicative, puis on introduit une à une d'autres variables explicatives. On effectue donc toutes les régressions possibles avec une seule variable jugée comme explicative et on retient la variable pour laquelle le test de Student est le plus significatif.
On effectue par la suite toutes les régressions possibles avec deux variables explicatives parmi lesquelles se trouve la variable explicative sélectionnée auparavant et rechercher la nouvelle variable la plus significative. On réitère le processus jusqu'à ce qu'aucune d'entre elles ne soit significative relativement au seuil fixé au début par la p-value.
L'inconvénient de cette méthode est du même ordre que pour la méthode backward : une fois introduite dans le modèle, une variable ne peut plus en être éliminée. Ainsi, le modèle final peut contenir des variables qui ne sont plus significatives une fois toutes les variables introduites. On rencontre ce genre de problème principalement concernant les variables soumises à une très forte multi colinéarité.
Ce problème trouve sa solution dans le Stepwise

- Le stepwise ou méthode mixte

Cette méthode fonctionne sur le même principe d'ajout de variables que la méthode forward. Cette procédure diffère toutefois de la précédente puisqu'elle fonctionne sur le réexamen à chaque étape de toutes les variables introduites précédemment. La méthode Stepwise propose donc, après l'introduction d'une nouvelle variable, de réexaminer les tests de Student pour chaque variable explicative anciennement admise, et de retirer du modèle une ou plusieurs variables si elles s'avèrent n'être plus significatives dans le modèle. Le processus s'arrête lorsque aucune variable ne peut être introduite ou retirée du modèle.

En raison des très fortes corrélations entre les variables explicatives, nous avons pris le parti d'utiliser la méthode des Stepwise. Nous verrons par la suite,

lors de leur application, les différents indices et tests qui vont nous permettre d'évaluer le modèle calculé.

3. Emissions et attractions à l'échelle communale

Nous avons tenté, pour chaque motif de déplacement, de conserver un maximum de variables jugées explicatives afin de permettre un choix très large de sélection par le Stepwise.
Les résultats des régressions multiples sont présentés par motif, en détaillant les émissions des attractions.

3.1. Emissions pour le motif travail

Les déplacements liés au travail, fortement contraints, s'expliquent certainement plus facilement que les autres. C'est le seul motif pour lequel le Stepwise n'a retenu qu'une variable explicative (tableau 11).
En effet, le nombre d'actifs de la zone conditionne beaucoup le nombre d'individus se déplaçant pour un motif professionnel. On obtient donc très logiquement une régression de très haute qualité et une part d'explication du modèle qui s'élève à 99 %.

Modèle de régression

Variable à expliquer : E_{Trav} = Emissions pour le motif travail
Variable explicative : $RATA$ = Nombre d'actifs dans la zone

$$\log(E_{Trav}) = 0{,}993\log(RATA) - 0{,}0212$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	134,121	1	134,121	NCo	0,999	0,999	0,999
Résidus	0,197	523	0,000376	Co	0,999	0,999	0,999
Total	134,318	524			F=	356663 (NCo)	738340 (Co)

Elasticité	
Variables	*RATA*
Echantillon non contraint	0,993 (0,002)
Echantillon contraint	0,988 ((0,001)

Tableau 11 : Modèle de régression pour les émissions liées au motif travail

On obtient ici un modèle très satisfaisant, que l'échantillon soit contraint ou non. Nous ne ferons ici qu'un bref rappel concernant les différents indices et

tests d'évaluation du modèle. Nous nous référons à des ouvrages traitant cette question de manière exhaustive.[17].

Le R² est le coefficient de détermination, il permet de traduire la variance expliquée par le modèle. Il exprime l'intensité de la liaison entre la variable à expliquer et l'ensemble des régresseurs. Ce coefficient présente l'inconvénient majeur d'augmenter à mesure que l'on ajoute des variables dans le modèle. En clair, un modèle avec un nombre élevé de variables va tendre vers un R² qui peut parfois être surestimé. On fait appel dans ce cas au R² ajusté qui est corrigé par les degrés de liberté.

Le R² predict est un coefficient de prédiction défini par Turchin et Ellner [Turchin et Ellner, 2000] qui équivaut à la proportion de la variance des densités expliquées par le modèle. Il est calculé sur le contre échantillon de données et est défini par :

$$R^2_{predict} = 1 - \frac{\text{Moyenne des erreurs au carré}}{\text{Variance des données prédites}}$$

Si $R^2_{predict} \approx R^2$, alors les données prévues possèdent une certaine validité. Lorsque $R^2_{predict} < R^2$, alors il est probable que le modèle n'ait pas saisi toute la prévisibilité des données, suggérant que le modèle est basé sur des principes ou des paramètres du modèle incorrects. Enfin, si $R^2_{predict} > R^2$, on peut considérer que ce coefficient traduit une approbation forte du modèle. Il suggère que les données prédites, fondées sur le modèle, fournissent une exactitude encore meilleure que les données elles-mêmes. Ce résultat s'explique lorsque l'on dispose de beaucoup d'individus et que le modèle permet d'isoler certains individus dont le comportement échappe à toute logique.

Enfin, si ces différents coefficients de détermination mettent en évidence l'intensité de la liaison entre la variable à expliquer et les variables explicatives, ils ne permettent pas de savoir si le modèle est statistiquement pertinent, pour un seuil d'erreur α donné. Ici, nous avons fixé la valeur de α à 0,5, soit 5 % de risque d'erreur acceptable. Nous avons donc calculé un test de significativité F de la régression multiple afin de vérifier si la liaison mise en évidence avec la régression n'est pas un simple artefact.

F est défini par :

[17] Y. Dodge, V. Rousson, *Analyse de régression appliquée*, Dunod, 2004 ; TOMASSONE RICHARD, *La régression : nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique*, 1983

$$F = \frac{R^2/p}{(1-R^2)/(n-p-1)}$$

Avec p : nombre de variables explicatives insérées dans le modèle
n : nombre de valeurs de chaque variable

Si F calculé est supérieur à F théorique défini en annexe 5, le coefficient de détermination multiple est significatif pour le degré d'erreur fixé.

Dans le cas des émissions pour le motif travail, le F calculé est très largement supérieur au F théorique. La bonne qualité de la régression vue auparavant est donc considérée comme significative.

Afin de comparer au mieux les résultats obtenus selon les deux méthodes choisies d'échantillonnage, nous avons également calculé la variance entre les données prédites sur les contre échantillons issues du modèle contraint et celles du modèle non contraint :

$E(\text{var})_{travail} = 1{,}5065E-05$

Nous avons donc une variance très faible au regard de l'ordre de grandeur des valeurs. Le modèle est donc robuste, quel que soit la technique d'échantillonnage choisie, en ce qui concerne les émissions liées au motif travail. Nous verrons à la fin de ce chapitre, une fois les variances liées à chaque motif calculées, si cette constatation peut-être faite sur l'ensemble de l'analyse.

La qualité du modèle peut également être éprouvée graphiquement, en croisant les données de mobilité prédites aux données de mobilité réelles (figure 27).

La mobilité prédite par le modèle est représentée sur l'axe des ordonnées, la mobilité réelle est portée sur l'axe des abscisses. On retrouve ici les caractéristiques déjà évoquées par les différents indices et tests de la régression qui nous amène à une excellente adéquation entre ces deux jeux de données. Nous avons pris le parti ici de représenter les valeurs prédites et réelles encore logarithmées afin de mieux se rendre compte graphiquement du résultat. En effet, le retour aux valeurs réelles fait disparaître la répartition normale des individus, amène des valeurs très fortes et a tendance à regrouper graphiquement le reste des observations ce qui amenuise la qualité de l'observation (figure 28)

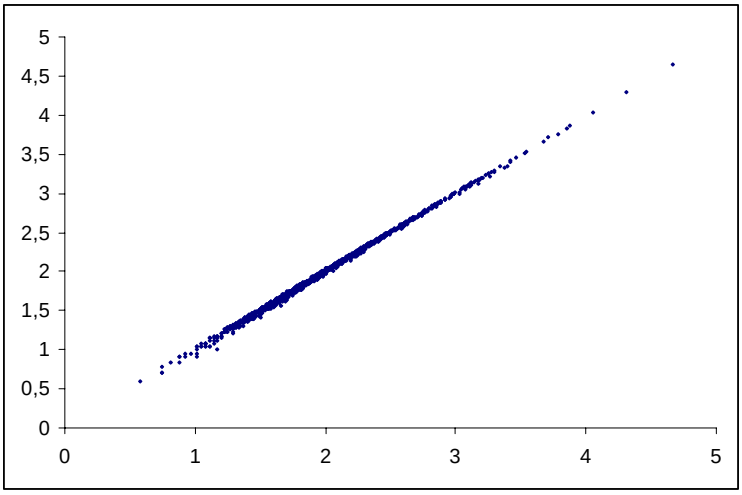


Figure 27 : Validation du modèle E_{Trav} (logarithme des valeurs) par le croisement des flux prédits avec les flux observés

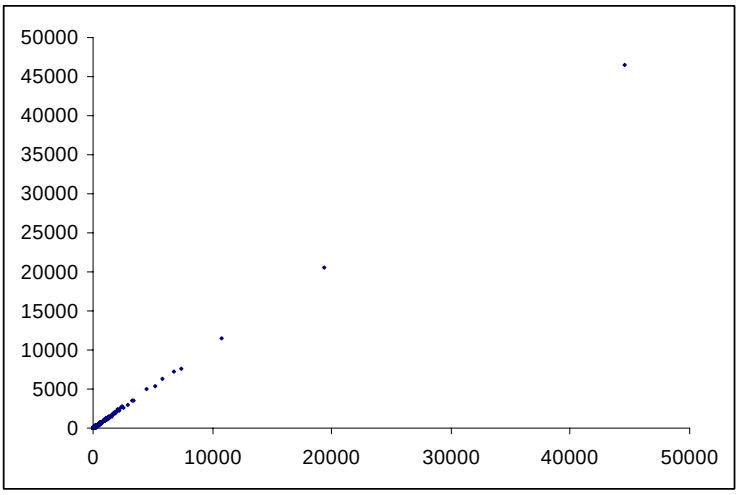


Figure 28 : Validation du modèle E_{Trav} (valeurs réelles) par le croisement des flux prédits avec les flux observés

3.2. Attractions pour le motif travail

Comme nous l'avons déjà dit, le motif travail trouve son explication à travers des variables déjà connues et facilement identifiables. Comme pour les émissions, le Stepwise n'a trouvé concernant les attractions liées au travail, qu'une seule variable explicative. Le nombre d'emplois de la zone explique en effet très logiquement l'attraction de cette zone concernant le motif professionnel (tableau 12).

Modèle de régression

Variable à expliquer : A_{Trav} = Attractions pour le motif travail

Variable explicative : EET = Nombre d'emplois dans la zone

$$\log(A_{Trav}) = 0{,}999\log(EET) - 0{,}01403$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	203,058	1	203,056	NCo	0,996	0,996	0,996
Résidus	0,908	523	0,001736	Co	0,998	0,998	0,996
Total	203,967	524			F=	116935 (NCo)	211384 (Co)

Elasticité

Variables	*EET*
Echantillon non contraint	0,999 (0,005)
Echantillon contraint	1,001 ((0,002)

Tableau 12 : Modèle de régression pour les attractions liées au motif travail

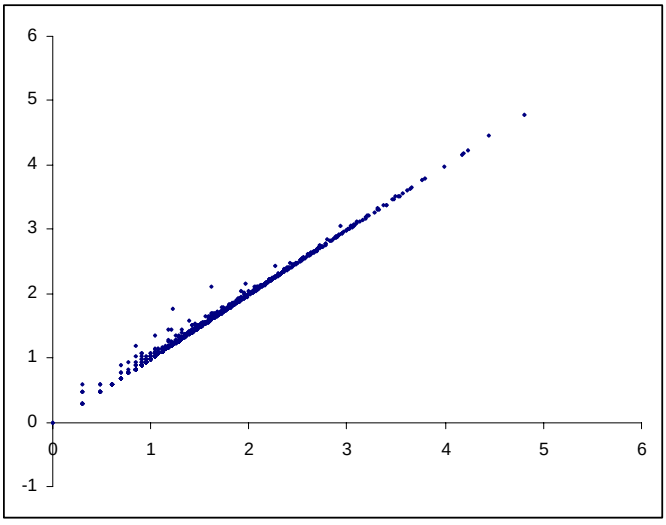


Figure 29 : Validation du modèle A_{Trav} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

L'ensemble des indices et tests de cette régression nous permettent de conclure à la validité du modèle. La figure 29 montre une fois encore la très bonne adéquation entre les données prédites et les valeurs réelles.

3.3. Emissions pour le motif études

La mobilité quotidienne liée au motif études reste une mobilité déjà souvent appréhendée et bien connue des modélisateurs. Le modèle défini par la démarche pas à pas trouve sa pertinence maximale avec trois variables explicatives (tableau 13). Il s'agit très logiquement de la part de la population fortement concernée par un tel motif.

L'ensemble des indices ainsi que la figure 30 nous permettent d'approuver ce modèle et de juger sa validité comme satisfaisante. Aucun écart significatif, que ce soit dans la validité ou dans le paramétrage du modèle, n'apparaît quant aux deux méthodes d'échantillonnage.

Modèle de régression

Variable à expliquer : E_{Etu} = Emissions pour le motif études

Variables explicatives : *RAF7*= Nombre d'enfants scolarisés de 7 à 15 ans

RDPO15= Population totale de 15 à 19 ans

RAF3=Nombre d'enfants scolarisés de 3 à 6 ans

$$\log(E_{Etu}) = 0{,}532\log(RAF7) + 0{,}310\log(RDPO15) + 0{,}193(RAF3) + 0{,}392$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	142,322	3	47,441	NCo	0,991	0,991	0,990
Résidus	1,305	521	0,002504	Co	0,996	0,996	0,994
Total	143,626	524			F=	18946 (NCo)	38853 (Co)

Elasticité

Variables	*RAF7*	*RDPO15*	*RAF3*
Echantillon non contraint	0,532 (0,015)	0,310 (0,013)	0,193 (0,010)
Echantillon contraint	0,554 (0,015)	0,301 (0,013)	0,177 (0,011)

Tableau 13 : Modèle de régression pour les émissions liées au motif études

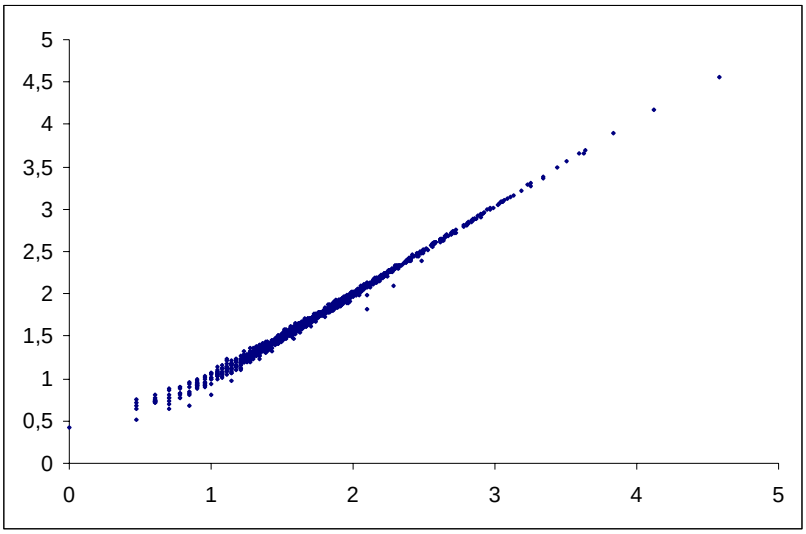


Figure 30 : Validation du modèle E_{Etu} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

3.4. Attractions pour le motif études

Modèle de régression

Variable à expliquer : A_{Etu} = Attractions pour le motif études

Variables explicatives : *EFFP*= Effectifs en établissement d'enseignement primaire

EFFS= Effectifs en établissement d'enseignement secondaire et universitaire

$$\log(A_{Etu}) = 0{,}875\log(EFFP) + 0{,}180\log(EFFS) + 0{,}215$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	395,296	2	197,648	NCo	0,955	0,955	0,948
Résidus	18,553	522	0,03554	Co	0,966	0,966	0,959
Total	413,849	524			F=	5561 (NCo)	12650 (Co)

Elasticité

Variables	*EFFP*	*EFFS*
Echantillon non contraint	0,875 (0,010)	0,180 (0,015)
Echantillon contraint	0,895 (0,007)	0,150 (0,008)

Tableau 14 : Modèle de régression pour les attractions liées au motif études

L'attraction liée aux études est naturellement liée à la capacité d'accueil des populations scolarisées de chaque zone. La régression présentée ici est satisfaisante par l'ensemble des tests présentés ici (tableau 14) et paraît concluante au regard de la figure 31.

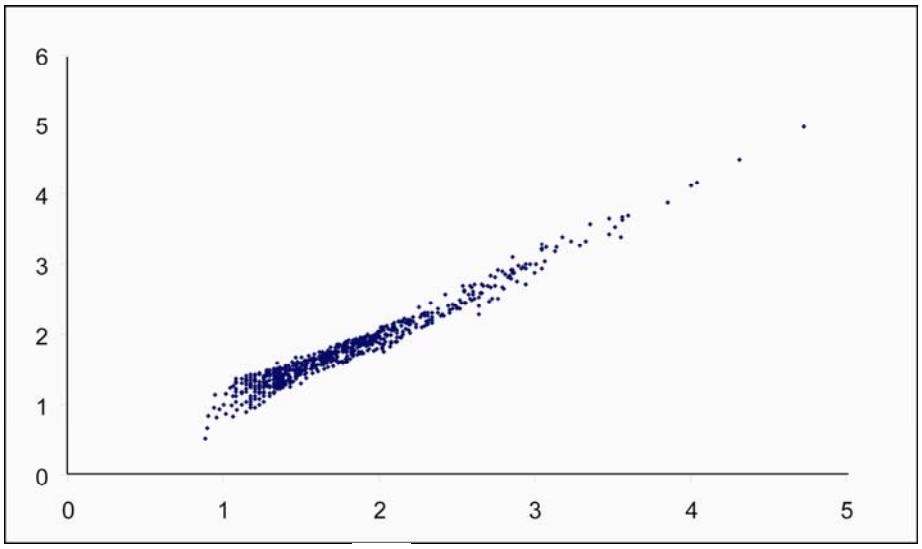


Figure 31 : Validation du modèle A_{Etu} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

Les résultats présentés ci-après résument les différents modèles mis en place en fonction des motifs de déplacement. Ils présentent un ensemble concluant que nous ne commenterons pas en détail comme nous l'avons fait jusqu'ici pour réserver nos commentaires aux modèles moins performants.

3.5. Les déplacements liés au motif achats

Il est à noter ici que le nombre de commerces de détail défavorise les émissions pour le motif achats. On le voit par l'élasticité négative constatée par rapport à cette variable. On peut s'interroger sur l'élasticité positive liée à la présence de grandes surfaces commerciales. Cette tendance peut certainement s'expliquer par la localisation de ces espaces commerciaux, souvent situés sur des communes périphériques aux grandes villes n'accueillant souvent que très peu d'autres équipements commerciaux.

Modèle de régression

Variable à expliquer : E_{Achat} = Emissions pour le motif achats

Variables explicatives : $RATA$ = Nombre d'actifs dans la zone

GSPC= Grandes surfaces à prédominance commerciale

ACDMON= Autres commerces de détail en magasin ou non

$$\log(E_{Achat}) = 0{,}352\log(RATA) + 0{,}338\log(GSPC) - 0{,}105(ACDMON) - 0{,}464$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	33,259	4	8,315	NCo	0,912	0,911	0,902
Résidus	3,227	520	0,006206	Co	0,918	0,918	0,910
Total	36,486	524			F=	1339 (NCo)	2234 (Co)

Elasticité

Variables	*RATA*	*GSPC*	*ACDMON*
Echantillon non contraint	0,352 (0,011)	0,338 (0,065)	-0,105 (0,021)
Echantillon contraint	0,383 (0,012)	0,204 (0,050)	-0.100 (0,023)

Tableau 15 : Modèle de régression pour les émissions liées au motif achats

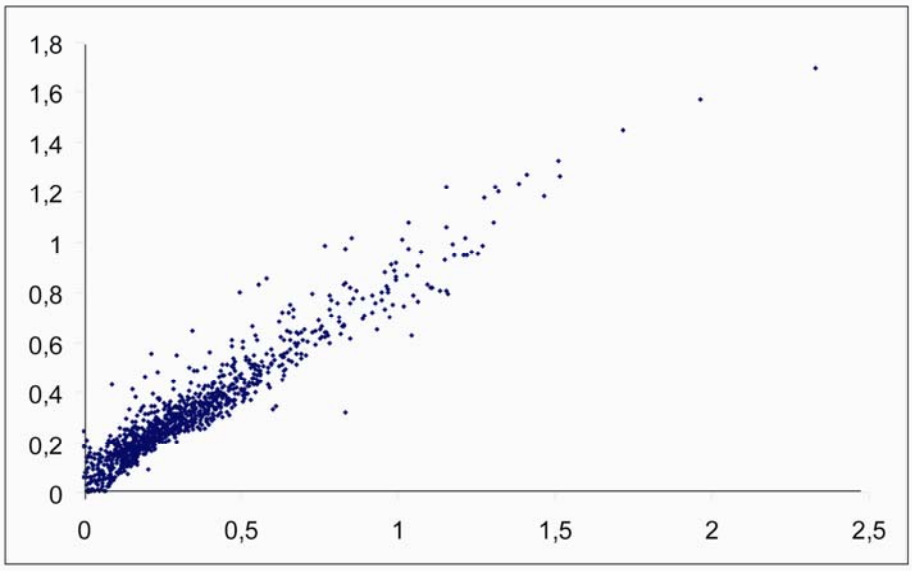


Figure 32 : Validation du modèle E_{Achat} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

Modèle de régression

Variable à expliquer : A_{Achat} = Attractions pour le motif achats

Variables explicatives : *PCRA*= Petits commerces et réparation automobile

ACDMON= Autres commerces de détail en magasin ou non

EEC= Total des emplois commerciaux

MASON= Magasins d'alimentation, spécialisés ou non

$$\log(A_{Achat}) = 0{,}326\log(PCRA) + 0{,}224\log(ACDMON) + 0{,}124\log(EEC) + 0{,}336\log(MASON) - 0{,}446$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	78,566	4	15,713	NCo	0,764	0,761	0,748
Résidus	24,316	520	0,04685	Co	0,854	0,852	0,837
Total	102,882	524			F=	335 (NCo)	605 (Co)

Elasticité

Variables	*PCRA*	*ACDMON*	*EEC*	*MASON*
Echantillon non contraint	0,326 (0,067)	0,224 (0,055)	0,124 (0,023)	0,336 (0,076)
Echantillon contraint	0,269 (0,059)	0,142 (0,056)	0,130 (0,025)	0,312 (0,066)

Tableau 16 : Modèle de régression pour les attractions liées au motif achats

Certains éléments peuvent ici nous surprendre. L'absence des grandes surfaces pour expliquer l'attraction des communes en terme commercial paraît en effet surprenante. Cette absence s'explique certainement par deux aspects : n'est prise en compte ici que la mobilité intercommunale, et on peut supposer qu'un grand nombre de déplacements dans ces espaces commerciaux sont intra communaux d'une part ; d'autre part, ne sont prises en compte que les données d'enquête déclarées par les individus enquêtés. On peut alors supposer que l'individu se rendant dans une grande surface commerciale va associer sa destination à l'agglomération à laquelle se rattache la grande surface. Hors, comme nous l'avons vu auparavant, ces grandes surfaces ne sont pas obligatoirement situées dans ces agglomérations mais dans les communes qui leur sont périphériques. Il se peut alors que la perception de l'enquêté vis-à-vis de sa destination influence le résultat.

La régression, bien que la part d'explication qu'elle fournit soit moins importante que pour les régressions précédentes (85% pour le modèle issu de l'échantillon contraint), reste satisfaisante. On peut toutefois noter l'influence moins importante des commerces de faible taille pour le modèle correspondant à l'échantillon contraint.

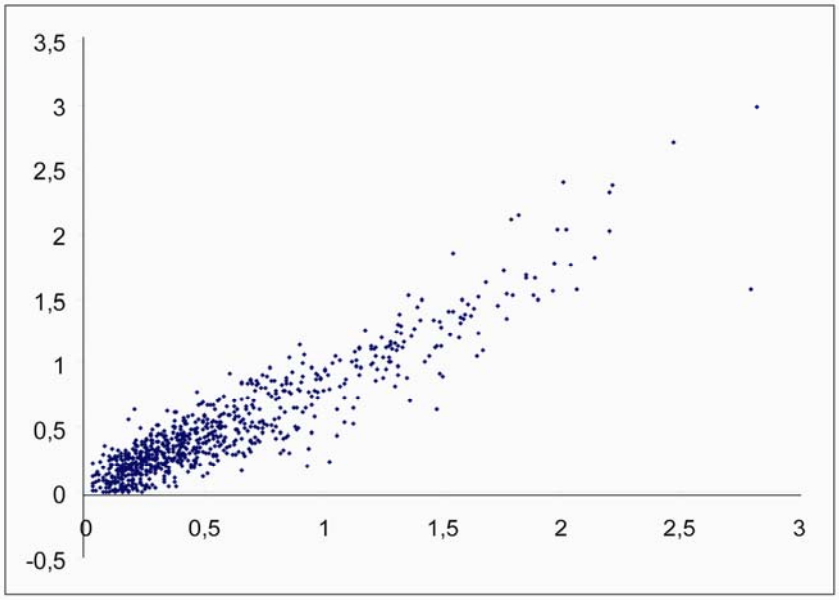


Figure 33 : Validation du modèle A_{Achat} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

3.6. Les déplacements liés au motif loisirs

Les résultats liés à la mobilité inhérente aux loisirs nécessitent une plus grande attention. Ils diffèrent selon que l'on travaille sur l'échantillon contraint ou non. En effet, le Stepwise ne retient que trois variables explicatives à partir de l'échantillon contraint contre quatre dans l'autre cas. On retrouve toutefois cette variable si on augmente la tolérance d'introduction d'une nouvelle variable (diminution de la p-value). Il est difficile d'émettre une hypothèse pour expliquer cet écart d'un modèle à l'autre.

Modèle de régression

Variable à expliquer : E_{Lois} = Emissions pour le motif loisirs

Variables explicatives : *RDPOP*= Population totale de la zone

ELAV= Equipement de loisir ou agence de voyage

RD20= Part de la population âgée de 20 à 40 ans

RD40= Part de la population âgée de 40 à 60 ans

$$\log(E_{Lois}) = -0{,}173\log(RDPOP) - 0{,}839\log(ELAV) + 0{,}209\log(RD20) + 0{,}191\log(RD40) - 0{,}108$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	21,002	9	2,334	NCo	0,870	0,868	0,857
Résidus	3,127	515	0,006072	Co	0,840	0,838	0,825
Total	24,129	524			F=	384 (NCo)	680 (Co)

Elasticité				
Variables	*RDPOP*	*ELAV*	*RD20*	*RD40*
Echantillon non contraint	-0,173 (0,074)	-0,839 (0,106)	0,209 (0,037)	0,191 (0,040)
Echantillon contraint	-0,092 (0,049)	-1,025 (0,094)	0,187 (0,027)	

Tableau 17 : Modèle de régression pour les émissions liées au motif loisirs

Un second aspect de ce modèle nécessite une explication : il s'agit de l'élasticité négative liée à la population totale de la zone. Cette élasticité, prise indépendamment, signifie que plus la population augmente moins on a d'émissions liées aux loisirs. En réalité, il est nécessaire de cerner le modèle dans son ensemble pour en comprendre le sens. Si on remonte aux itérations précédentes du Stepwise, on se rend compte que l'élasticité de cette variable change de signe avec l'introduction des autres variables explicatives liées à la population. En fait, cette élasticité négative renforce le sens de l'élasticité positive des autres variables liées aux caractéristiques de la population.

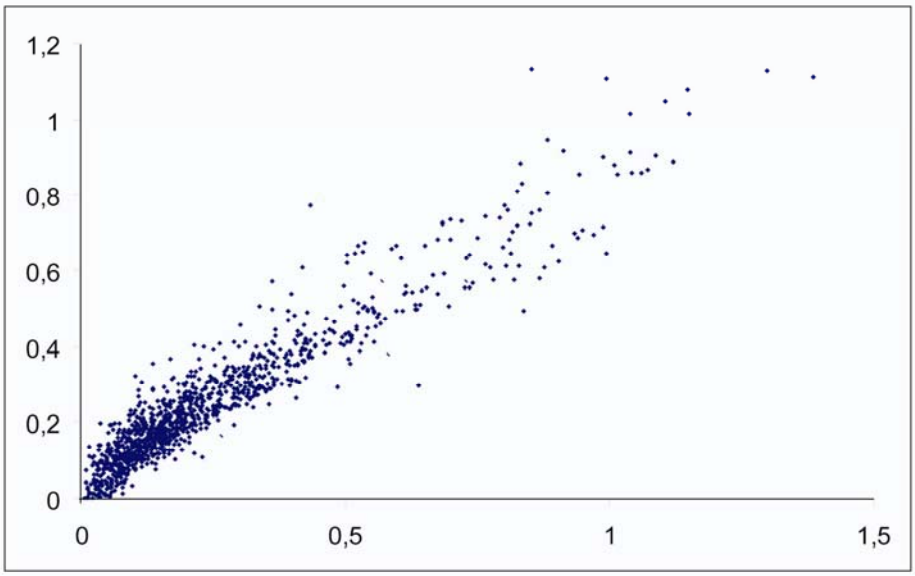


Figure 34 : Validation du modèle E_{Lois} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

Modèle de régression

Variable à expliquer : A_{Lois} = Attractions pour le motif loisirs

Variables explicatives : *EETEV*= Total des emplois tertiaires

HER= Hôtels et restaurants

ACDMON= Autres commerces de détail en magasin ou non

PCRA= Petits commerces et réparation automobile

ELAV= Equipement de loisir ou agence de voyage

$$\log(A_{Lois}) = 0{,}108\log(EETEV) + 0{,}334\log(HER) + 0{,}210\log(ACDMON) + 0{,}271\log(PCRA) + 0{,}124\log(ELAV) - 0{,}270$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	73,956	5	14,791	NCo	0,775	0,773	0,768
Résidus	21,457	519	0,04134	Co	0,845	0,843	0,825
Total	95,413	524			F=	357 (NCo)	564 (Co)

Elasticité

Variables	*EETEV*	*HER*	*ACDMON*	*PCRA*	*ELAV*
Echantillon non contraint	0,108 (0,022)	0,334 (0,053)	0,210 (0,051)	0,271 (0,063)	0,124 (0,045)
Echantillon contraint	0,113 (0,025)	0,221 (0,048)	0,178 (0,053)	0,211 (0,062)	0,118 (0,038)

Tableau 18 : Modèle de régression pour les attractions liées au motif loisirs

Il peut paraître surprenant, concernant les attractions liées au motif loisirs, de ne trouver la variable *ELAV* qu'en dernière variable introduite par le Stepwise. En réalité, c'est la très forte corrélation avec la première variable introduite (*EETEV*) qui explique une si faible importance pour cette variable.
On peut noter ici une relative amélioration du modèle avec le recours à l'échantillon contraint. Cette amélioration trouve certainement son explication par la meilleure représentation des données dans ce type d'échantillon, la plupart des équipements sportifs étant localisé dans les communes pourvues d'une population importante.

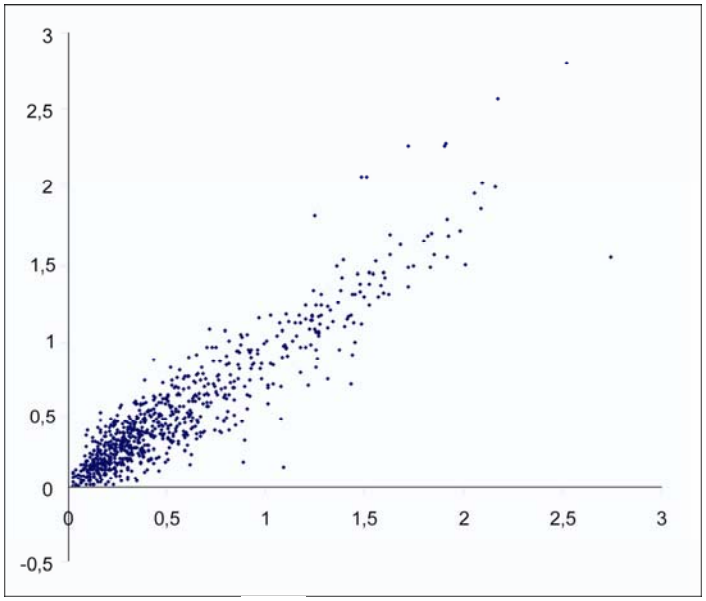


Figure 35 : Validation du modèle A_{Lois} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

3.7. Les déplacements liés au motif visites

L'élasticité négative constatée ici pour la population totale de la zone est à rapprocher du phénomène vu précédemment pour les émissions liées aux loisirs. On constate donc ici que ce sont les populations jeunes ou âgées qui expliquent le mieux la mobilité liée aux visites à des parents ou amis.

Modèle de régression

Variable à expliquer : E_{Visi} = Emissions pour le motif visites

Variables explicatives : *RDPOP*= Population totale de la zone

RD75= Part de la population âgée de 75 ans et plus

RD20= Part de la population âgée de 20 à 40 ans

RL1V=Part de la population à posséder un véhicule par foyer

$$\log(E_{Visi}) = -0{,}265\log(RDPOP) + 0{,}06028\log(RD75) + 0{,}248\log(RD20) + 0{,}187\log(RL1V) - 0{,}161$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	18,398	5	3,680	NCo	0,848	0,846	0,840
Résidus	3,306	519	0,006371	Co	0,905	0,905	0,897
Total	21,705	524			F=	577 (NCo)	824 (Co)

Elasticité				
Variables	*RDPOP*	*RD75*	*RD20*	*RL1V*
Echantillon non contraint	-0,265 (0,072)	0,06028 (0,018)	0,248 (0,038)	0,187 (0,036)
Echantillon contraint	-0,236 (0,067)	0,110 (0,021)	0,132 (0,032)	0,241 (0,038)

Tableau 19 : Modèle de régression pour les émissions liées au motif visite

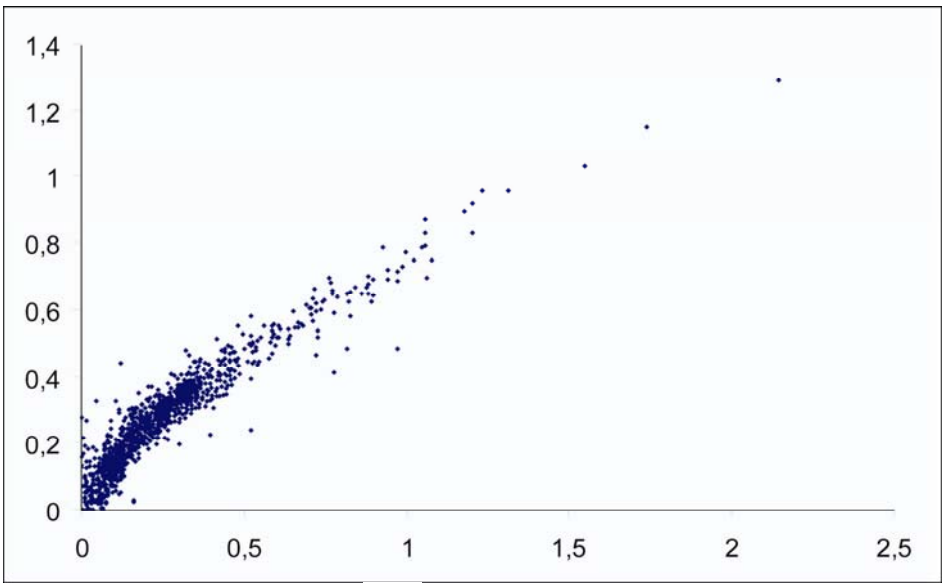


Figure 36 : Validation du modèle E_{Visi} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

Modèle de régression

Variable à expliquer : A_{Visi} = Attractions pour le motif visites

Variables explicatives : *PCRA*= Petits commerces et réparation automobile

RD75= Part de la population âgée de 75 ans et plus

RD20= Part de la population âgée de 20 à 40 ans

TRV= Services de transport routier de voyageurs

$$\log(A_{Visi}) = 0{,}443\log(PCRA) + 0{,}117\log(RD75) + 0{,}353\log(RD20) + 0{,}220\log(TRV) - 0{,}379$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	62,899	5	12,580	NCo	0,753	0,751	0,741
Résidus	20,603	519	0,03970	Co	0,831	0,830	0,824
Total	83,502	524			F=	316 (NCo)	519 (Co)

Elasticité				
Variables	*PCRA*	*RD75*	*RD20*	*TRV*
Echantillon non contraint	0,443 (0,058)	0,117 (0,036)	0,353 (0,033)	0,220 (0,095)
Echantillon contraint	0,367 (0,055)	0,193 (0,040)	0,346 (0,037)	0,105 (0,082)

Tableau 20 : Modèle de régression pour les attractions liées au motif visite

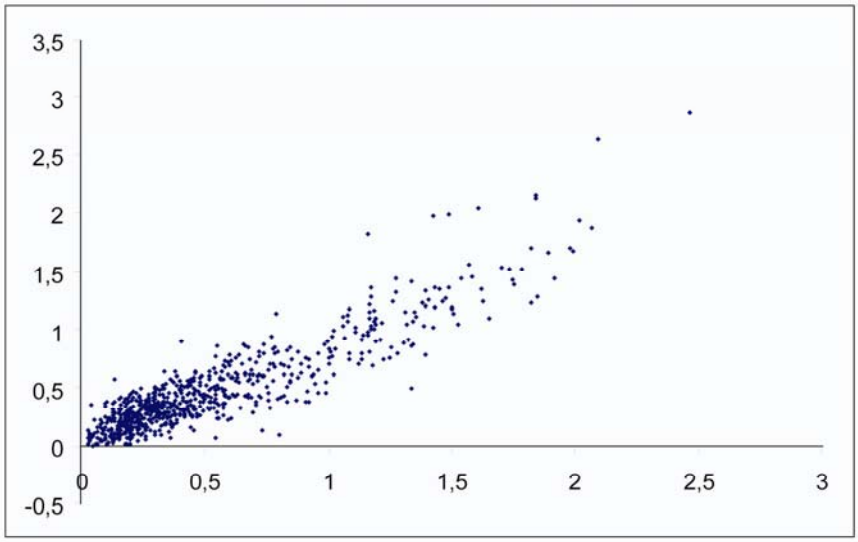


Figure 37 : Validation du modèle A_{Visi} par le croisement des flux prédits avec les flux observés

On retrouve très logiquement les mêmes groupes de population que ceux concernés par les émissions liées aux visites. La part de petits commerces semble également être une variable favorisant l'attraction d'une zone en terme

de visites. Le regroupement d'activités au sein d'une même sortie peut peut-être expliquer en partie ce résultat, bien qu'il paraisse surprenant qu'un individu puisse choisir sa destination de visite en fonction de la proximité d'un espace commercial dans la zone d'arrivée de son déplacement.
La présence de service de transport de voyageurs semble également avoir une incidence positive sur l'attraction des zones pour le motif nous intéressant ici. La population âgée, concernée ici par ce phénomène, représente en effet une population captive des transports en commun et peut donc expliquer ce phénomène. Nous avons donc ici une mobilité qui peut être influencée par un choix modal contraint.
Le modèle paraît obtenir de relatifs meilleurs résultats par l'échantillon contraint dans ce cas.

3.8. Les déplacements liés au motif santé

Modèle de régression

Variable à expliquer : $E_{Santé}$ = Emissions pour le motif santé

Variables explicatives : *ARS*= Activité relative à la santé

ARAS= Activité relative à l'action sociale

RD20= Part de la population âgée de 20 à 40 ans

RD40= Part de la population âgée de 40 à 60 ans

RL1V=Part de la population à posséder un véhicule par foyer

$$\log(E_{Santé}) = -0{,}132\log(ARS) - 0{,}400\log(ARAS) + 0{,}0{,}0570\log(RD20) + 0{,}0341\log(RD40) + 0{,}0500(RL1V) - 0{,}147$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	4,714	5	0,943	NCo	0,768	0,765	0,745
Résidus	1,428	519	0,002751	Co	0,734	0,732	0,715
Total	6,142	524			F=	342 (NCo)	328 (Co)

Elasticité

Variables	*ARS*	*ARAS*	*RD20*	*RD40*	*RL1V*
Echantillon non contraint	-0,132 (0,013)	-0,400 (0,063)	0,0570 (0,018)	0,0341 (0,016)	0,0500 (0,019)
Echantillon contraint	-0,158 (0,020)	-0,386 (0,066)	0,0478 (0,017)	0,0594 (0,025)	0,0813 (0,027)

Tableau 21 : Modèle de régression pour les émissions liées au motif santé

Les émissions liées à la santé sont fortement corrélées à la présence ou non d'un service de santé dans la zone concernée –l'élasticité négative nous montre que la présence d'un service de santé défavorise les émissions de déplacement pour un tel motif– et s'explique également par la population faisant plus volontiers appel à ces services. L'absence de population âgée peut nous surprendre. Cette déficience peut s'expliquer par une mobilité réduite de ce groupe d'individus et la possibilité de déplacer le service plutôt que la personne. On peut également émettre l'hypothèse que les personnes les plus soumises à la fréquentation régulière des services de santé, comme les personnes âgées par exemple, modifient leur lieu d'habitat en fonction de ces services et n'ont, de fait, plus de déplacements intercommunaux à réaliser concernant ce motif.

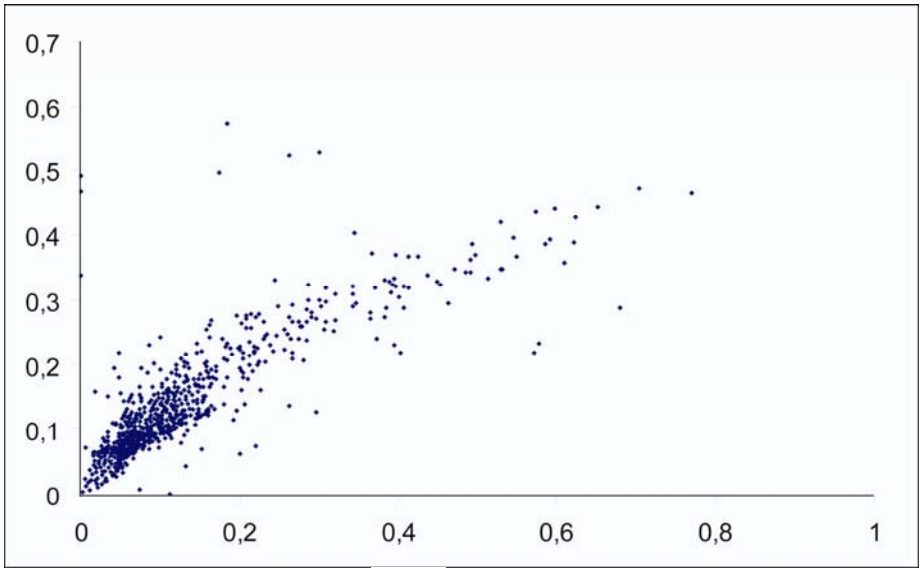


Figure 38 : Validation du modèle $E_{Santé}$ par le croisement des flux prédits avec les flux observés

Concernant les attractions de déplacements liées au motif de santé, la présence ou non de services liés à ce motif suffit à expliquer ce phénomène. Nous avons tenté, devant les résultats légèrement moins probants de ces deux derniers modèles, d'employer un modèle catégoriel pour améliorer la qualité de la régression. Cependant, le détail des relations de chaque variable explicative avec la variable à expliquer ne nous a fourni aucun résultat nous permettant de catégoriser la population statistique de cette série.

Modèle de régression

Variable à expliquer : $A_{Santé}$ = Attraction pour le motif santé

Variables explicatives : *ARS*= Activité relative à la santé

ARAS= Activité relative à l'action sociale

$$\log(A_{Santé}) = 0{,}695\log(ARS) + 0{,}448\log(ARAS) + 0{,}01499$$

Variance				Indices et test d'évaluation			
	Somme des carrés	**dl**	**Carré moyen**		R²	R² ajusté	R² predict
Modèle	8,839	2	4,419	NCo	0,659	0,658	0,652
Résidus	4,574	522	0,008763	Co	0,761	0,760	0,752
Total	13,413	524			F=	504 (NCo)	832 (Co)

Elasticité		
Variables	*ARS*	*ARAS*
Echantillon non contraint	0,448 (0,016)	0,695 (0,112)
Echantillon contraint	0,592 (0,017)	0,612 (0,105)

Tableau 22 : Modèle de régression pour les attractions liées au motif santé

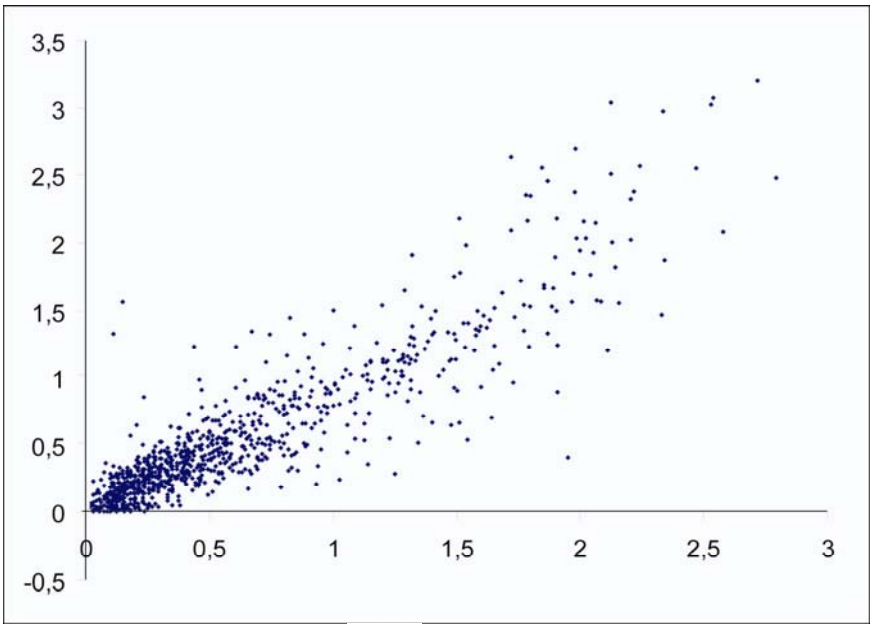


Figure 39 : Validation du modèle $A_{Santé}$ par le croisement des flux prédits avec les flux observés

L'influence de l'échantillonnage, bien que visible parfois à travers les modèles que nous venons de présenter, ne nous apparaît que peu importante. On semble toutefois gagner globalement en qualité de régression par le biais de l'échantillon contraint par un tirage réparti dans les groupes de communes présentant des comportements de mobilité différents.

CONCLUSION

Nous disposons maintenant de l'évaluation des émissions et attractions par motif à l'échelle communale. Nous avons fait ici le choix de méthodologie nous permettant d'identifier finement les variables explicatives liées à l'origine des déplacements, sans faire appel à des formalisations trop lourdes. Nous avons donc pris le parti de conserver un pouvoir d'évaluation de la méthode.
Cette évaluation, construite à partir de données en grande partie issues d'enquêtes, paraît fournir des résultats satisfaisants et présentants une certaine robustesse statistique.
Cependant, la détermination des émissions et attractions à l'échelle communale n'est pas une fin en soi, même si elle peut trouver sa place dans certaines simulations de la mobilité régionale, transcendant le simple service TER.

Chapitre 2

Génération des émissions et attractions à l'échelle des aires de rabattement du réseau TER

Déterminer les émissions et attractions liées à un service de transport en commun nécessite d'élaborer des aires de rabattement au tour des points d'entrée de ce réseau. Il existe énormément de facteurs pouvant, à un moment ou un autre du processus décisionnel, expliquer le choix d'un point de rabattement plutôt qu'un autre. Aux vues de la très grande quantité d'informations à exploiter, nous avons dû mettre en place, pour la modélisation du découpage de l'espace, un degré d'automatisation élevé. Mais nous avons tenté de conserver un regard critique sur le processus comme le résultat de cette modélisation afin d'éviter l'effet « boîte noire », couramment rencontré lors de la modélisation de systèmes aussi complexes que la mobilité quotidienne et son organisation spatiale.

Nous avons fait appel à des méthodes issues de disciplines non géographiques comme la biologie par le biais des algorithmes métaheuristiques. Les choix de modélisation défendus ici sont donc ceux d'une pleine utilisation des possibilités informatiques nouvelles combinées au refus d'une automatisation aveugle et souvent vide de sens.

C'est dans cet esprit que, après avoir rappelé le rôle fondamental de la partition spatiale dans la gestion des transports, nous présenterons notre protocole de modélisation lié à la partition de l'espace dans la problématique de la mobilité quotidienne. Enfin, nous situerons notre propos par la mise en œuvre des résultats fournis par le modèle.

1. La problématique du zonage, outil de compréhension territoriale

Il a été montré précédemment que la mobilité quotidienne était liée à une multitude de facteurs combinés par les individus pour façonner leur processus de choix. Ce processus peut se diviser en plusieurs étapes. Quelle que soit l'étape à étudier dans ce processus, la modélisation qui en découle dépend toujours des zones que l'on a définies comme génératrices des déplacements. Le décompte des émissions et attractions, lors de la phase de génération, s'en trouve modifié, tout comme l'étape de distribution ne fournit pas les mêmes résultats selon les limites ou la taille des zones ; enfin l'affectation de trafic et le choix modal, conçus autour de fonctions d'utilité basées sur des temps de parcours, se trouvent changés en fonction du zonage effectué. Il s'agit donc ici de définir les éléments spatiaux servant de base à l'ensemble de la modélisation de trafic.

Le choix du zonage doit suivre certaines contraintes tout en répondant à certains objectifs, fixés au préalable, et en accord avec l'ensemble du processus de modélisation. Ainsi, chaque zone doit présenter une certaine cohérence interne, une certaine homogénéité, garantissant une logique lors de l'application de ces frontières. Au-delà de cette cohérence interne, une cohérence avec le réseau s'impose également : soit avec le réseau dans son ensemble, soit avec un réseau spécifique dans le cas d'étude centrée sur un mode particulier. Enfin, le zonage choisi doit garantir une certaine applicabilité : sur la disponibilité des données d'une part qui doivent fournir une certaine compatibilité spatiale, et sur des temps de calcul réalistes d'autre part.

Lors de la première partie, nous avons discuté de la définition du périmètre de l'aire d'étude en géographie des transports et plus particulièrement dans le cas de la gestion de la mobilité quotidienne. Cette définition revient à déterminer un isolat qui nous conduit à considérer ce qui est extérieur à ce périmètre comme exogène.
Le zonage est lié à cette définition de périmètre mais trouve une traduction différente en terme de modélisation. Il est mis en place afin d'agréger certaines données liées à l'individu ou au transport (temps d'accès au réseau…). On abandonne ainsi toute information désagrégée sur le plan spatial à l'intérieur de la zone. De ce fait, on a longtemps considéré que le découpage le plus fin possible fournissait la garantie d'une modélisation optimale. Le frein principal à ce désir de détail résidait alors dans le coût d'acquisition des données, le

temps de travail que représentait leur traitement, et connaissait la plus grande entrave par le temps de calcul nécessaire aux ordinateurs.
L'amélioration récente des capacités de traitement du matériel informatique nous ramène souvent à des temps de calcul réalistes pour un zonage d'un haut niveau de détail. Cette amélioration pousse souvent les concepteurs de modèles de simulation de trafic à faire le choix du zonage le plus fin qu'autorisent les temps de calcul. Ce choix, servant de base à l'ensemble des calculs opérés au cours des quatre étapes de la modélisation, n'est pourtant pas obligatoirement le plus judicieux en fonction des objectifs du modèle. L'étude du rôle, parfois multiple, de ce zonage va donc nous permettre d'avoir un œil critique sur les différentes solutions déjà appliquées dans ce domaine.

Notre travail s'articulera donc autour de l'enjeu du partitionnement spatial dans le modèle à quatre étapes et pour toute gestion d'un système de transport, ce qui nous amènera par la suite à faire un tour d'horizon des solutions existantes et des différentes possibilités de découpage déjà mises en œuvre en géographie des transports.

1.1. Le partitionnement spatial dans le modèle à quatre étapes

Un découpage, fonction de ses objectifs

Le choix d'un zonage doit clairement se faire en accord avec les objectifs fixés pour la modélisation. Cela ne veut pas dire pour autant que les zones définies vont permettre tout type d'analyse mais bien qu'elles doivent permettre de répondre aux questions que l'on se pose. La modélisation liée à la gestion du trafic autoroutier, par exemple, amène à découper le territoire en fonction des zones de chalandise de chaque axe autoroutier. On peut ainsi « isoler » les territoires et les individus concernés par cette infrastructure. Dans le cas où les objectifs du modèle sont axés sur les aménagements des échangeurs, il est souhaitable de disposer de zones définissant les aires d'attraction de chacun de ces échangeurs. On peut par la suite imaginer des zonages beaucoup plus complexes, prenant en compte les problématiques de correspondance ou des études liées à des générateurs spécifiques de mobilité qu'il est bon de pouvoir isoler dans des zones spécifiques.

Un zonage disposant d'entités cohérentes et homogènes

La cohérence des zones, dans le cas de modèles désagrégés, (à l'exception de l'étape de génération de trafic pour laquelle, comme nous l'avons vu, il est difficile d'appliquer un tel modèle), ne présente pas une nécessité flagrante. On évite, avec une telle modélisation, l'approximation due à l'illusion de l'individu moyen d'une zone qui reste plus ou moins forte pour les modèles agrégés. Il est alors utile pour ces derniers de pouvoir prétendre à des zones présentant une certaine cohérence interne par rapport aux variables explicatives de la mobilité. Il est par exemple judicieux de séparer les zones d'activités des zones d'habitat dans la mesure où les données le permettent. On peut même imaginer séparer, principalement en milieu urbain, des zones ne présentant pas un comportement de mobilité uniforme.
On fait souvent appel aux frontières naturelles ou à toute infrastructure qui se présentent comme un frein à la mobilité entre les espaces situés de chaque côté. On obtient ainsi de possibles ensembles présentant une cohérence comportementale.

Un zonage organisé autour des réseaux

Comme nous l'avons déjà illustré avec l'exemple de la gestion du trafic autoroutier, l'organisation du zonage en fonction des réseaux est fortement conditionnée par les objectifs du modèle. Pour tout modèle lié à un réseau spécifique, l'organisation du zonage correspond aux aires de chalandise de ce réseau. Le problème est un peu différent dans le cas d'une modélisation de la mobilité pour l'ensemble des modes et concernant donc l'ensemble des réseaux. Il est globalement recommandé de limiter à la fois le nombre de déplacements émis ou attirés au regard des infrastructures d'accès à traiter, et le nombre de points d'entrée sur le réseau par zone. Certains réseaux comme le réseau routier classique fournissent toutefois une irrigation du territoire telle, qu'il paraît très difficile de disposer de données à une échelle aussi fine. On peut alors organiser le zonage en fonction du réseau représentant une part forte du trafic global et isoler au maximum les points d'accès à ce réseau tout en conservant l'échelle la plus fine possible.
Le choix de zones de taille réduite nous amène à soulever un autre aspect lié au réseau et à l'organisation du découpage qui en découle. Au-delà des aires de chalandise (des points d'entrée sur le réseau ou du réseau lui-même), le zonage doit tenir compte de la structure du réseau. Il s'agit en fait de définir des zones

pour lesquelles le temps d'accès au réseau principal est relativement uniforme. Ce problème est commun aux approches agrégées et désagrégées puisque la localisation au sein de la zone reste agrégée, la désagrégation ne portant que sur les données socio-économiques. On traite donc, à l'intérieur de chaque zone, une distance moyenne et un temps d'accès moyen au point d'entrée sur le réseau.

L'adéquation entre découpage et données disponibles

L'ensemble des critères vus jusqu'ici conditionnant le zonage nous pousse à préférer des zones de taille réduite en adéquation avec les sorties attendues du modèle. Les considérations évoquées maintenant nous ramènent souvent à des ambitions plus mesurées.
Concernant le modèle de génération de trafic, en premier lieu, il est fondamental de disposer de zones représentant chacune un nombre de déplacements suffisants pour permettre un calage fiable du modèle. Faire le choix de zones trop réduites pour représenter une population statistique suffisante nous amène à considérer démesurément des phénomènes locaux, voire ponctuels temporellement. Ainsi, la précision que l'on pensait gagner par un découpage fin n'est qu'une illusion en conséquence d'une estimation faussée par le modèle.
Il est également important de prendre en compte la correspondance entre le découpage et la précision spatiale des variables socio-économiques explicatives de la mobilité. Cette correspondance ne pose pas de problèmes importants concernant la modélisation du trafic interurbain. La plupart de ces données sont disponibles à l'échelle communale et permettent une analyse à ce niveau de détail. En milieu urbain, certaines données sont disponibles à l'échelle de l'îlot ; toutefois, il est rare de disposer de l'ensemble des données à un tel niveau de détail. De plus, que la modélisation porte sur de la mobilité intra ou interurbaine, travailler à un niveau très fin est totalement illusoire et en inadéquation complète avec le but prévisionnel des modèles. Plus la population traitée est faible, plus les marges d'erreur en prévision sur les données socio-économiques sont fortes. On perd ainsi, à l'horizon d'étude, le détail gagné en situation de référence.

Certains modèles font le choix d'élaborer différents découpages en fonction de l'étape à traiter dans la modélisation. On fait ainsi appel à un découpage plus grossier concernant l'étape de génération, la plus problématique en terme de

disponibilité de données comme en terme de prévision. Puis on construit un zonage plus fin pour les étapes de distribution et d'affectation, afin de réduire au maximum le biais lié à la fonction d'utilité. Cette manière de procéder ne fait que déplacer le problème puisqu'on introduit une marge d'erreur supplémentaire dans la procédure de répartition des origines et destinations en désagrégeant l'information agrégée à l'étape de génération.

La limite technique

Le temps nécessaire à la production des données mais également à l'analyse permettant le calage des différents modèles propres à chaque étape croît énormément avec l'augmentation du nombre de zones à traiter. Et même si, comme nous l'avons vu, les progrès informatique permettent de traiter un nombre considérable d'informations, le temps alloué à l'étude conditionne fortement la précision du zonage que l'on souhaite développer.
Il faut prendre garde de ne pas se laisser aveugler par les possibilités techniques et bien considérer les avantages et inconvénients des différents niveaux de détail, plus particulièrement avec les sorties attendues de la modélisation. On rejoint ici les problématiques liées à la géographie dite « computationnelle » qui s'inscrit dans une philosophie de la technique. Elle découle de la notion de *technique originaire*, à savoir que la technique possède une identité propre dans le monde de la recherche, jouant un rôle constitutif dans l'évolution des connaissances, voire de la pensée. L'outil est donc constituant de sciences. La géographie computationnelle correspond donc à la géographie du possible constituée et portée par les nouveaux supports techniques et dynamiques. Chaque technique permet donc de constituer de nouveaux ensembles conceptuels élargissant les possibilités géographiques.
Il nous parait risqué de laisser les possibilités techniques nous guider vers des solutions plus complexes à mettre en œuvre, et ne garantissant que rarement une amélioration à terme du pouvoir prévisionnel des modèles de simulation de trafic.

1.2. Les solutions existantes

Les solutions existantes concernant un découpage spatial optimal dans le cadre de la modélisation de trafic sont relativement restreintes. La plupart des modèles interurbains récents traitent l'information au niveau le plus fin que

leur permet la disponibilité des données. Ils sont donc classiquement centrés sur l'échelle communale. Certains modèles, comme le modèle MODEV (un modèle géographique mulimodal de transport de marchandises), pour lequel le zonage est basé sur les zones d'emplois, fonctionnent sur des zones spécifiques en lien avec leurs objectifs.
La plupart des modèles intra urbains, quant à eux, sont la plupart du temps basés sur les îlots en raison d'une adéquation plus facile avec les découpages de l'INSEE.

Certains zonages ont été mis en place pour la gestion spécifique de transports collectifs. Dans la majorité des cas, l'application de buffers autour des points d'entrée sur le réseau est utilisée. Cette technique, bien que ne prenant pas en compte les différents éléments détaillés précédemment, fournit l'avantage de garantir une relative homogénéité pour les temps d'accès à ces connexions au réseau. Ces découpages sont donc plus adaptés à l'étape d'affectation de trafic qu'à celle de génération, pour laquelle la question du zonage n'est que rarement traitée en tant que telle.
D'autres applications ont vu le jour pour tenter de répondre mieux à ces problématiques de zonage. On peut citer le zonage mis en place sur l'agglomération lyonnaise [SEMALY 2000] en 196 zones, élaboré de manière intuitive en respectant au mieux une certaine homogénéité des zones ainsi qu'une identification des pôles de rabattement.
Il n'existe à notre connaissance pas de procédure automatisée prenant en compte la cohérence interne de chaque zone, la structure des réseaux et de leurs points d'encrage au territoire, adaptée à la gestion d'un mode particulier, attaché à une infrastructure ou un réseau qui lui est propre.
Nous présenterons, au cours du chapitre prochain, une procédure de découpage spatial adapté à la gestion d'un service de transport en commun, fondée sur la cohérence locale et globale du zonage.

2. Le modèle de structuration spatiale, l'optimisation du rabattement

Avant de mettre en place un protocole de modélisation pour la structuration spatiale de notre territoire d'étude, nous avons mené une réflexion préalable sur la complexité et la difficulté d'appliquer un modèle à un tel système. Nous avons tenté, en réalité, de porter un regard critique sur la modélisation des systèmes complexes, sur les difficultés qu'elle engendre et sur les erreurs qu'elle peut introduire.
Nous présenterons, par la suite, la méthodologie mise en place pour la construction des aires de rabattement autour des points d'entrée du réseau TER. Il nous a fallu, pour mener à bien ce processus complexe de modélisation, procéder par étapes. Nous avons dans un premier temps identifié des indicateurs pertinents pour guider la construction des agrégats. Dans un second temps, nous avons fait appel à une méthode classique de partitionnement basée sur la solution optimale commune par commune. Enfin, dans un troisième temps, notre réflexion s'est portée sur un autre niveau d'échelle pour transcender le simple optimum local et tenter d'évaluer le zonage dans son ensemble.

2.1. Modélisation des territoires de la mobilité et complexité

La compréhension et la modélisation du transport de personnes nécessitent de « penser la complexité ». Il faut donc réussir à admettre un mode de raisonnement –voire même un état d'esprit– complexe en acceptant ses implications, en percevant ses possibilités et en gardant en tête ses restrictions.

2.1.1. La mobilité quotidienne, un phénomène complexe

Comme nous l'avons déjà évoqué concernant les difficultés liées à sa modélisation, la mobilité quotidienne est un phénomène qui, par définition, est en mouvement permanent. Le modèle de génération de trafic mis en place auparavant a mis en évidence la multitude de variables explicatives de la mobilité et nous a montré que l'ensemble du phénomène n'était pas expliqué par le modèle. De fait, d'autres facteurs entrent en compte dans les déplacements et accroissent ainsi la difficulté de compréhension de ce phénomène.

De plus, la mobilité est soumise à une fluctuation constante, le choix d'un des individus conditionnant par ses conséquences une part du choix du reste de la population. Le système dans son entier est donc soumis à une instabilité. La notion de choix en elle-même nous pousse à considérer le phénomène de la mobilité comme complexe par son aspect flou. Le processus de choix de l'individu n'est en effet que rarement résumable à un comportement binaire.

2.1.2. Les difficultés liées à la modélisation de la complexité

En tant qu'approche, la complexité est « fondée sur des nouvelles représentations de la réalité prenant en compte l'instabilité, l'ouverture, la fluctuation, le chaos, le désordre, le flou, la créativité, la contradiction, l'ambiguïté, le paradoxe » [Donnadieu et Karsky, 2002]. Ces différents concepts, souvent complémentaires, donnent une vision assez large mais réaliste de l'étendue de la complexité. Un système complexe peut donc être défini comme une entité cohérente selon certains critères mais dont les éléments, les interactions et la dynamique (de par leur très grand nombre et leur dynamique différente) engendrent des structures qui recèlent des surprises, de la nouveauté, que l'on ne peut pas définir *a priori*. Les systèmes complexes sont donc plus que la somme de leurs parties, la conséquence étant que tout modèle de leur structure ou de leur fonctionnement est nécessairement incomplet et partiel. Cependant, plus qu'une définition arrêtée du terme, c'est la philosophie et le mode de réflexion attachés au vocable qui nous intéressent ici.
Accepter la complexité signifie plus qu'admettre uniquement l'ensemble des concepts cités précédemment. « Penser la complexité, c'est affirmer à la fois que le monde échappe à nos concepts, les dépasse, tout en maintenant la possibilité d'agir, de schématiser provisoirement le réel » [Duits 1999]. Le mode de réflexion développé ici par Duits nous encourage à traiter avec circonspection toute étude d'un environnement complexe, sans toutefois réfuter toute possibilité d'analyse. Aucune grille de lecture n'est suffisante pour cerner la dimension complexe, mais une accumulation de plusieurs grilles, de multiples approches, permet de saisir de mieux en mieux les objets complexes (sociaux, comportementaux…) sans jamais les épuiser.
Ce mode de pensée, encourageant dans un processus de compréhension et de modélisation, soulève pourtant un véritable défi vis-à-vis de cette complexité. La multiplicité des approches et des critères pris en compte tend à développer une certaine inintelligibilité de la démarche d'analyse du système dans sa complexité. Ainsi, la tentative de représentation des modèles au plus près de la réalité complexe s'apparie de manière presque systématique avec le sacrifice de

la compréhension du processus de modélisation. Une conséquence directe de cette renonciation apparaît alors, avec l'aboutissement à des solutions potentiellement en décalage avec la réalité et donc à un amoindrissement du pouvoir prévisionnel du modèle.
L'enjeu de la modélisation de la complexité réside donc dans la capacité d'une procédure d'intégrer un grand nombre de données différenciées d'une part (et ainsi se rapprocher au plus près de la complexité du système) sans perdre le caractère intelligible de la démarche d'autre part, dans le but de conserver une possibilité de contrôle des prévisions proposées.

2.1.3. Proposition méthodologique de modélisation

Plus qu'un simple modèle ou procédure, il est nécessaire de développer un véritable principe de raisonnement en adéquation avec un mode de pensée complexe. Le principe de complémentarité, développé dans les années 1920 par le physicien danois Niels Bohr, répond assez convenablement aux exigences présentes. Il reprend, de manière formalisée, le fameux dualisme esprit et matière de Descartes : « Les deux notions doivent être vraies en même temps, donc il doit exister deux royaumes de réalités ». Le principe de Bohr s'applique à la mécanique quantique dans la résolution de l'antinomie onde-particule[18]. Le principe de complémentarité, dans sa philosophie, consiste à résoudre le problème de la description des particules, en terme d'onde ou de corpuscule : pour ne pas trahir la conviction qu'il n'y a qu'une seule réalité, Bohr conclue que chaque description est vraie, mais dans des circonstances différentes. Cela ne signifie pas qu'il faille abandonner la métaphysique, mais plutôt qu'il faut reconnaître qu'un concept ne peut pas être défini par une seule phrase. Einstein, pour sa part, avait toujours refusé que la description du réel puisse dépendre de nos observations. Ceci aurait signifié qu'il fallait renoncer à parler d'un réel en soi. Or, adopter un raisonnement complexe n'autorise pas une telle renonciation.

Nous allons ici adapter à la problématique de description d'un système complexe le principe de complémentarité. Nous accepterons donc qu'il existe une vision de la réalité issue d'un modèle complexe ; assortie d'une autre vision de la réalité, découlant d'un modèle "simple" (en opposition au premier

[18] Une entité quantique peut être simultanément observée comme une particule et comme une onde, mais ces deux états sont mutuellement exclusifs à l'observation. Pour plus de détails, consulter [Rosenfeld L., article Bohr (Niels), Encyclopaedia Universalis, 1974] ou [Bohr N., Causality and Complementarity, in Philosophy of Science, 4, 1937]

modèle). Ces deux représentations de la réalité, sans s'inscrire dans des circonstances différentes, correspondent dans les faits à des angles de vue dissemblables. En fait, « en jouant des deux images, en passant de l'une à l'autre, en revenant à la première nous obtenons finalement l'impression juste sur l'étrange sorte de réalité qui se cache derrière nos expériences ». [Eisenberg]
Nous nous proposons donc ici de confronter deux visions, par deux prismes différents, d'un système complexe. Il s'agira en fait de fournir, par le moyen d'un modèle simple (et donc intelligible dans son déroulement), un contrôle des résultats obtenus par un système intégrant de multiples approches et critères.

2.2. Le modèle d'optimum local

La première démarche, concernant le découpage de l'espace, répond au problème de l'affectation d'une commune sur un point d'entrée sur le réseau TER de manière purement locale. Il s'agit donc de mettre en place un protocole permettant d'évaluer la pertinence d'une commune en tant que part d'un agrégat de rabattement.

2.2.1. Définition de la fonction d'utilité du rabattement de chaque commune

L'évaluation de chaque commune passe donc par la construction d'un indice mesurant la pertinence territoriale du rabattement effectué. Cet indice est construit à partir de la maximisation de l'utilité d'utilisation du transport régional sur lequel est rabattue la commune par rapport à une solution en transport personnel. Il s'agit donc en fait de mettre en évidence le point d'entrée sur le réseau régional de transport en commun le plus avantageux pour la commune concernée, en comparaison de l'utilisation d'une voiture personnelle. En clair, un rabattement est considéré comme bon lorsque la fonction d'utilité du transport en commun pour l'ensemble des individus concernés est acceptable et qu'elle reste relativement concurrentielle vis-à-vis de la fonction d'utilité de la voiture personnelle. On tente ainsi de ne pas privilégier une solution de transport en commun qui paraît acceptable au regard des autres possibilités en transport en commun, mais qui serait trop défavorable par rapport à une solution en véhicule personnel.

La fonction d'utilité du rabattement est basée sur le coût généralisé de la liaison. Ce coût généralisé, concernant le transport en commun, entre une commune origine *i* et une commune destination *j* est fonction de différents facteurs (de coût et de temps) indépendants les uns des autres. Nous sommes donc ici, dans la conception du modèle, dans une logique additive. Ces facteurs sont définis par :

- La valeur du temps de rabattement effectué en voiture personnelle : λ_{VP_1}
- Le temps de rabattement en voiture personnelle entre la commune *i* et la gare *G* de rabattement : t_{iG}^{Rab}
- La valeur du temps du trajet en transport en commun entre la gare *G* et la commune *j* : λ_{TC}
- Le coefficient de pénibilité de l'attente au départ du transport en commun : p^{Att}
- Le temps d'attente au départ du transport en commun : t^{Att}
- Le temps trajet en transport en commun entre la gare *G* et la commune *j* : t_{Gj}^{TC}
- Le coefficient de pénibilité de l'attente des correspondances : p_c^{Cor}
- Le temps d'attente de la correspondance : t_c^{Cor}
- Le coût du déplacement en transport en commun entre la gare *G* et la commune *j* : c_{Gj}^{TC}
- Le coût du déplacement en voiture personnelle entre la commune *i* et la gare *G* : C_{iG}^{VP}

La formule de coût généralisé liée au transport en commun s'écrit donc :

$$C_{ij}^{TC} = \lambda_{VP_1} \cdot t_{iG}^{Rab} + \lambda_{TC}\left(p^{Att} t^{Att} + t_{Gj}^{TC} + \sum_{c=1}^{q} p_c^{Cor} t_c^{Cor}\right) + c_{Gj}^{TC} + C_{iG}^{VP}$$

Dans le cas du choix modal de la voiture personnelle, la fonction de coût généralisé est fonction de :

- La valeur du temps du trajet en voiture personnelle entre la commune *i* et la commune *j* : $\lambda_{VP_{ij}}$

- Le temps de trajet en voiture personnelle entre la commune *i* et la commune *j* : t_{ij}^{VP}

- Le coût du déplacement en voiture personnelle entre la commune *i* et la commune *j* : c_{ij}^{VP}

La formule de coût généralisé liée à la voiture personnelle s'écrit donc :

$$C_{ij}^{VP} = \lambda_{VP_{ij}} \cdot t_{ij}^{VP} + c_{ij}^{VP}$$

Se pose alors le problème de l'évaluation des différents coefficients de pénibilité et du calcul des indices de valeur de temps. Cette étape se présente comme particulièrement importante ; les gains de temps représentent l'avantage principal que retirent les usagers au cours du déplacement [Hammadou Jayet, 2002]. Il va de soi que le temps n'est pas perçu de la même manière selon les conditions du transport, l'environnement dans lequel il est effectué, et le motif justifiant ce déplacement. Il existe différentes évaluations de la valeur du temps. On peut faire le choix de considérer le temps comme une ressource à utiliser ou comme une variable non affectée spécialement à une activité et dont la valeur se modifie en fonction d'un environnement spécifique [SMALL, 1982]

Le temps comme ressource est alloué à différentes activités et déplacements qui permettent à l'individu de produire des biens ou services. Il en résulte une valeur de ce temps, fonction de la ressource temporelle attachée à l'individu et de l'utilité retirée pour l'activité concernée [Becker, 1965]. On peut, à partir de cette acceptation du temps comme ressource, identifier plusieurs types ou valeurs de temps : la première se rapportant à la définition de Becker, reconnue comme ressource et attachée à une activité ; la seconde comme gain de temps dans une activité donnée. Il est alors nécessaire de définir une contrainte liée aux durées nécessaires à certaines activités ou à certains temps de transport [De Serpa, 1971].

Nous nous sommes appuyé sur les travaux de A. Causse, [Causse, 1999] afin de définir les différents indices de valeur de temps. Ces travaux se basent sur la théorie de l'allocation des ressources temporelles de Becker et définissent une valeur de temps fonction du mode de transport utilisé, du motif du déplacement et de la durée du déplacement. Ces motifs sont répartis en deux grands ensembles : les motifs professionnels et les motifs privés. Même si cette répartition peut paraître assez grossière, les motifs privés pouvant subir parfois une contrainte temporelle aussi importante que les motifs professionnels, elle

reste relativement adaptée à la perception générale du temps par les individus au cours de leurs déplacements.

	Voiture personnelle	Transport en commun
Motif privé	1,0	1,3
Motif professionnel	2,0	4,4

Tableau 23 : Valeur du temps en fonction du mode et du motif
Source : d'après [Causse 99]

Le tableau 23 nous présente les coefficients relatifs à la valeur du temps en fonction du mode et du motif du déplacement. On constate que la valeur du temps est plus importante lorsque le déplacement est à but privé ou quand il s'effectue en transport en commun.

Les différents indices de valeur de temps évoqués précédemment sont donc définis en fonction du temps par :

$$\lambda_{TC} = \omega_m^{TC}(1{,}4\times10^{-3}\times(t_{Gj}^{TC} + \sum_{c=1}^{q} t_c^{Cor}) + 2{,}27$$

$$\lambda_{VP} = \omega_m^{VP}(2{,}3\times10^{-3}\times(t_{ij}^{VP}) + 1{,}67$$

d'après [Causse, 1999]

avec $\omega_m^{TC/VP}$ définit par le tableau 23.

2.2.2. Mise en place du modèle

Comme nous l'avons vu, le modèle d'optimum local est construit sur la mise en concurrence des deux modes de transport principaux que sont le transport en commun et la voiture personnelle. On calcule ainsi un indice affecté à chaque commune pour toutes les gares de rabattement de la région. De plus, la fonction d'utilité d'une origine – destination est pondérée par le poids qu'elle représente dans la fréquentation quotidienne du trajet concerné. On multiplie donc l'indice par U_{ij} afin de ne prendre en compte que les individus liés au trajet. Le tout est normalisé par le nombre d'individus se déplaçant par jour dans la commune origine afin de ne pas attribuer un indice trop élevé aux communes représentant un grand nombre d'usagers. Le modèle fonctionnant sur une logique additive des indices attribués à chaque trajet, un grand nombre d'émissions liées à une commune garantirait, sans cette normalisation, une valeur de I_{iG} élevée, même dans le cas d'une qualité de rabattement médiocre.

Il se traduit formellement par :

$$I_{iG} = \sum_{j=1}^{n} \frac{\lambda_{VP_i} \cdot t_{iG}^{Rab} + \lambda_{TC}\left(p^{Att} t^{Att} + t_{Gj}^{TC} + \sum_{c=1}^{q} p_c^{Cor} t_c^{Cor}\right) + c_{Gj}^{TC} + C_{iG}^{VP}}{\lambda_{VP_{ij}} \cdot t_{ij}^{VP} + c_{ij}^{VP}} \cdot \frac{U_{ij}}{U_i}$$

$$I_{iG} = \sum_{j=1}^{n} \frac{C_{ij}^{TC}}{C_{ij}^{VP}} \cdot \frac{U_{ij}}{U_i}$$

Avec U_{ij} = Nombre d'individus effectuant un déplacement depuis la commune *i* vers la commune *j*
Et U_i = Nombre d'individus effectuant un déplacement ayant pour origine la commune *i*

On affecte ensuite la commune à la gare présentant l'indice le plus élevé en respectant une contrainte de contiguïté de niveau 1. En clair, une commune ne peut être affectée à une gare que si elle est contiguë avec la commune sur le territoire de laquelle la gare est située ou avec des communes déjà agrégées à cette gare. On raisonne donc de manière itérative pour agréger dans un premier temps les communes pour lesquelles l'indice est maximum et présentant un degré de contiguïté avec la gare concernée, puis de proche en proche en redéfinissant à chaque étape un nouvel agrégat autour de chaque gare. La contrainte de contiguïté nous pousse naturellement à isoler certaines communes de leur agrégat. Nous avons alors mis en place un protocole de réaffectation de ces communes vers la gare située en deuxième, puis en troisième position pour l'indice I_{iG} avec une valeur seuil minimum d'exclusion de la réaffectation.
Le résultat final présenté par la figure 40 laisse donc apparaître encore des communes non affectées.

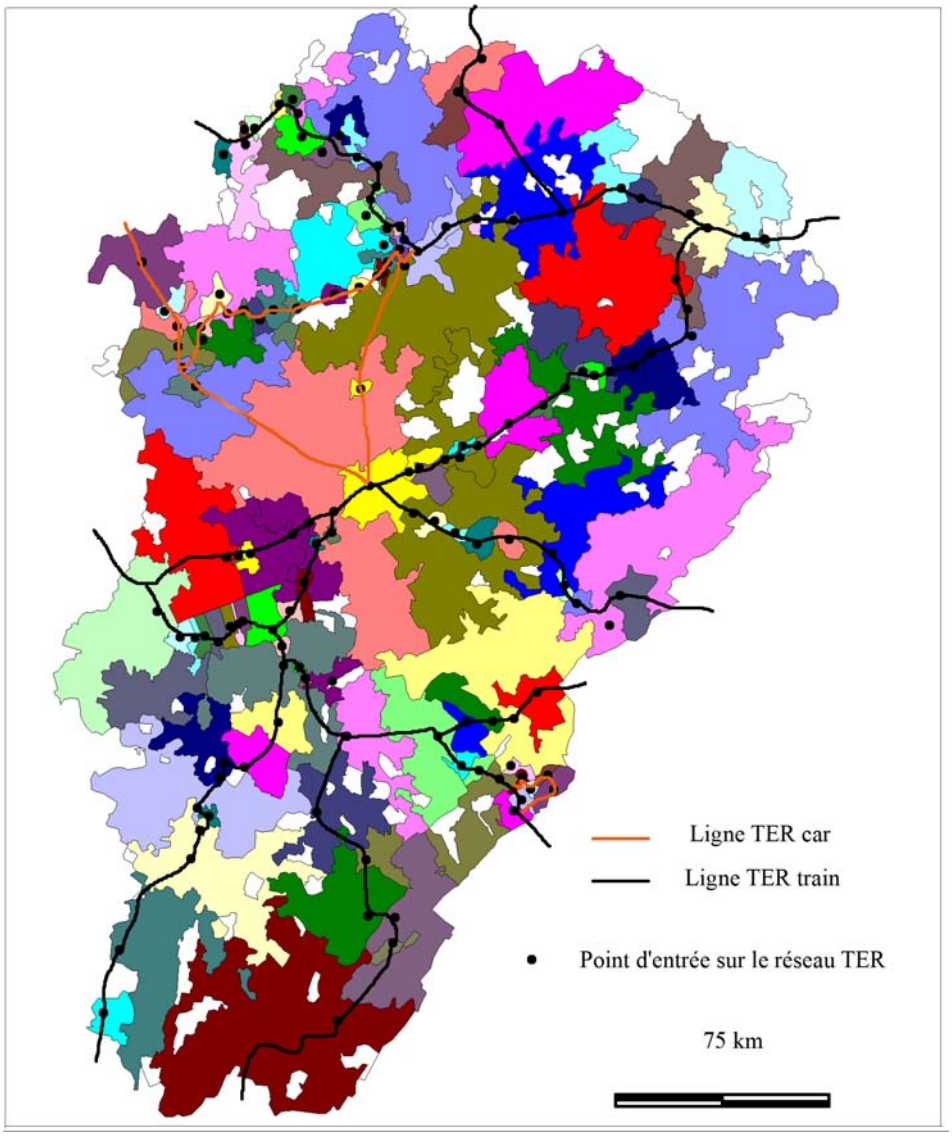


Figure 40 : Zonage établi sur le principe de l'optimum local

Avec le système de multi rabattement mis en place, peu de communes ne sont pas affectées à une gare. La majorité de ces communes exclues se situe aux marges de notre territoire d'étude, cet isolement peut s'expliquer par un effet de frontière. Ces communes trouvent en effet souvent un rabattement intéressant sur les territoires frontaliers de la Franche-Comté.

Nous voyons également se dégager des aires de rabattement importantes aux entrées des grandes villes. Ces aires, recadrées dans le contexte de la maximisation de la fonction de coût généralisé, traduisent spatialement les difficultés de circulation des entrées des agglomérations. Ainsi, un individus aura intérêt à garer sa voiture à la gare la plus proche de l'agglomération constituant sa destination et effectuer un report modal sur un transport en

commun afin d'éviter la circulation d'entrée de ville. Ce résultat, dans le contexte actuel de mise en place de parkings relais aux entrées des agglomérations, paraît tout à fait intéressant pour la localisation d'espaces privilégiés de report modal.

Toutefois, l'ensemble des résultats fournis par ce modèle ne paraît pas satisfaisant. En effet, les aires d'attraction des points d'arrêt TER aux marges des agglomérations ne paraissent pas crédibles en terme de zones d'émissions ou d'attractions de déplacements. De plus, elles ne sont pas cohérentes d'un point de vue purement pratique. Imaginer un report modal sur ces points d'arrêt nous pousse à considérer les possibilités de stationnement à chacun de ces points et nous pousse à relativiser les capacités d'accueil de certains arrêts.
Il manque donc certains critères d'évaluation à ce modèle afin de le rendre opérationnel. Toutefois, il n'est pas possible d'intégrer ces facteurs aux vues du processus d'affectation des communes. De plus, le principe de fonctionnement de l'optimum local, qui nous permet d'affecter une à une les communes aux gares présentant pour chacune un rabattement optimal, ne garantit pas obligatoirement la solution optimale pour l'ensemble de la Région. En effet, le déplacement d'une ou plusieurs communes d'un agrégat à un autre peut localement correspondre à une solution moins adéquate mais fournir pour l'ensemble du territoire une réponse plus satisfaisante par rapport aux attentes et aux buts de la modélisation.

En conséquence, nous avons fait le choix d'appliquer une seconde méthode, nous permettant d'inclure d'autres facteurs aux protocoles de définition de zones et de dépasser la simple échelle de raisonnement locale.

2.3. Le modèle d'optimum régional

La seconde méthode employée pour l'optimisation du zonage de l'espace pose comme différence principale avec la méthode précédente le niveau d'échelle de la réflexion portée sur l'évaluation du découpage. Ici, l'évaluation ne porte pas sur chaque commune mais sur la Région dans son ensemble. Nous avons donc fait appel à une méthode nous permettant de modifier à volonté un découpage par l'introduction d'un aléa et d'évaluer les différentes solutions ainsi proposées.

2.3.1. Les algorithmes génétiques appliqués à la partition spatiale

Nous avons fait appel à une seconde méthode de partition de l'espace, nous permettant à la fois de modifier le niveau d'échelle de notre raisonnement, de faire appel à de nouvelles variables explicatives et d'introduire un aléa dans la construction des zones. Dans ce but, nous avons opté pour l'utilisation des algorithmes génétiques.

Définition et principes de fonctionnement

« Un algorithme génétique est un algorithme stochastique itératif qui opère à partir d'une population initiale et qui est bâti à l'aide de trois opérateurs : croisement, mutation, sélection. » [Goldberg, 1994]. Cette définition résume parfaitement le principe et la méthode.
Le principe est donc basé sur une construction stochastique, les solutions fournies résultant du hasard, et sur la recherche de l'optimisation de ces solutions. La méthode employée pour cette optimisation, quant à elle, consiste en un dispositif appelé « méthode d'essai et erreur » [Birchenhall, 1995]. Il s'agit de tester un certain nombre de solutions potentielles jusqu'à l'obtention d'une solution adéquate. Cette méthode pourrait tout à fait se traduire par le principe Shadock présenté à la figure 41.
Les algorithmes génétiques s'inspirent de la théorie de l'évolution de Darwin ; ils consistent à faire évoluer une population virtuelle vers un individu moyen. Cette méthode se présente donc comme une procédure qui s'inspire des mécanismes de sélection naturelle et des phénomènes génétiques. L'algorithme simule donc un processus d'évolution dans un environnement spécifique.

Nous utiliserons donc ici un vocabulaire propre à la méthodologie employée et se référant à celui de la génétique. Nous parlerons ainsi d'individus, inclus dans une population. L'individu est défini par ses gènes qui contiennent le caractère héréditaire de l'individu. Ces individus sont soumis à différents processus de sélection, de croisement ou de mutation que nous définirons plus en détail par la suite.
Ici, un individu correspond à un zonage de la Région de Franche-Comté, dont les gènes sont définis par la combinaison des différentes zones de rabattement. La population est donc composée d'un ensemble de zonages différents les uns des autres.

Figure 41 : Devise Shadok n°2
Source : Jacques Rouxel

Darwin montre que l'apparition d'espèces distinctes est liée à la sélection naturelle de certaines variations individuelles [Darwin, 1876]. Cette sélection est basée sur la lutte pour la survie et est fonction de l'adaptation au milieu. Les individus les mieux adaptés tendent donc à survivre et à se reproduire de manière plus importante.
Les variations individuelles constituent donc le point fondamental du fonctionnement de l'évolution. Elles interviennent par hasard et permettent d'expliquer le phénomène d'évolution sans avoir recourt à une modification directe de l'individu ni à la création d'une population nouvelle. L'espèce évolue donc mais ne tend pas pour autant vers un but prédéterminé.

Il existe différents types d'algorithmes génétiques, basés sur les mêmes principes, mais différant par leurs méthodes d'application. Nous utiliserons ici les algorithmes dits évolutionnaires basés sur les opérateurs génétiques déjà cités de sélection, de croisement et de mutation. La figure 42 présente l'organigramme de l'algorithme évolutionnaire.

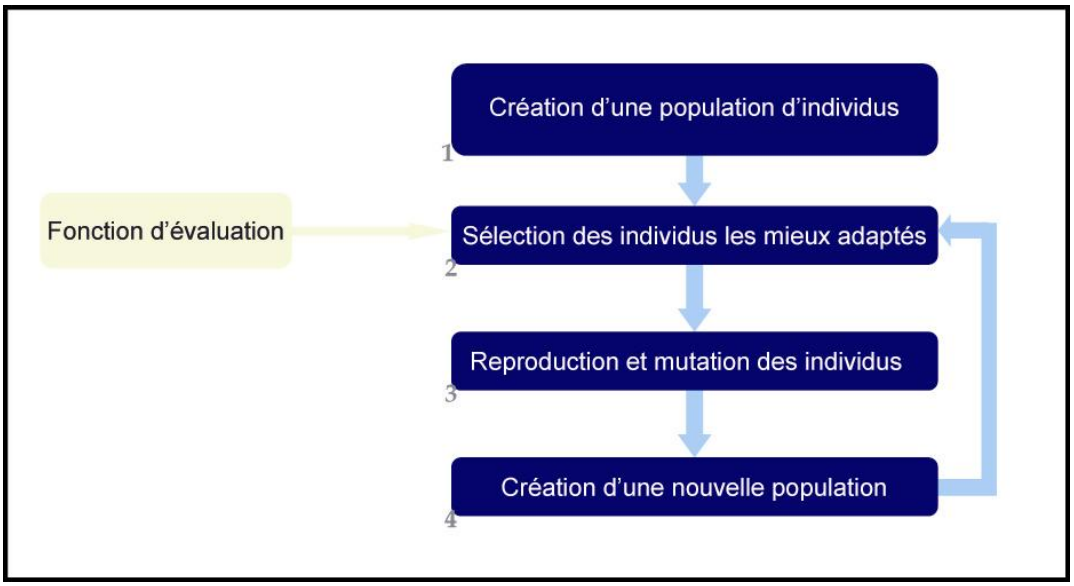


Figure 42 : Le principe itératif d'un algorithme évolutionnaire

Il s'agit donc de simuler l'évolution d'une population d'individus de départ fondée sur l'aléa, à laquelle on applique les principes de croisement et de reproduction de la génétique. Ce principe de reproduction suit le même principe que l'évolution des espèces édictée par Darwin à savoir la sélection des individus les plus adaptés au milieu. Cette sélection s'opère donc à partir d'une fonction d'évaluation qui pousse la population à s'améliorer à chaque génération. Cette méthode ne nécessite pas la compréhension du problème en lui-même, ici le profil génétique des individus, mais requiert la connaissance de l'optima désiré.

Les éleveurs de bétail par exemple ont ainsi procédé pendant plusieurs siècles en sélectionnant selon leur désir les bêtes les plus adaptées à une certaines demande. Ils ont réussi à modifier le patrimoine génétique de certaines espèces sans connaissance en génétique ou biologie moléculaire.

Il ne s'agit donc pas de fournir une solution analytique exacte ou une approximation de qualité, mais d'identifier les solutions correspondant au mieux à des critères pré-établis.

Il est fondamental, dans la mise en place d'un algorithme évolutionnaire, de respecter certaines étapes, qui garantissent le bon fonctionnement et le respect des principes de base que nous venons de voir.

Le codage des variables

La première étape consiste en la définition de codage du problème. Il s'agit, en clair, de définir ce qui compose les gènes des individus à évaluer. Ces gènes composent des chromosomes qui assemblés constituent le génotype de l'individu (figure 43). Il faut donc identifier avec précision l'élément d'évaluation qui permet de créer des individus dissemblables.

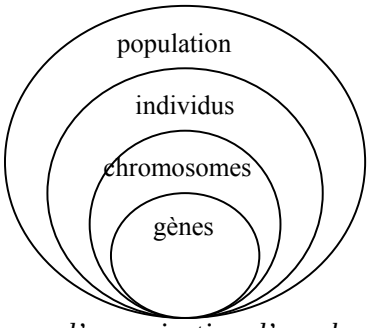


Figure 43 : Les quatre niveaux d'organisation d'un algorithme évolutionnaire [Magnin 2006]

Dans le cas présent, les individus, identifiés comme nous l'avons vu par les zonages dans leur ensemble de la Région de Franche-Comté, sont caractérisés par des gènes composés des communes situées sur le territoire régional. Elles se combinent en agrégats, sous forme d'aires de rabattement autour des points d'arrêt du réseau TER, qui constituent les chromosomes. La population est définie, quant à elle, par un nombre N d'individus, pouvant varier selon la simulation désirée.

La genèse, ou création d'une population initiale

La seconde étape consiste à générer une population initiale. Car si l'algorithme permet l'amélioration de la vie, il ne la crée pas. Il paraît peu important que cette population initiale soit performante ou non, l'algorithme se chargeant de faire converger la population vers les caractéristiques souhaitées. La population initiale peut donc être définie aléatoirement, en respectant les contraintes liées aux chromosomes.
Dans notre cas, les aires de rabattement ont été définies aléatoirement, en respectant une contrainte de contiguïté de niveau un.

La sélection des individus

Cette étape consiste à identifier les individus les plus adaptés à l'environnement, ou, comme ici, aux attentes du modélisateur. « L'évaluation, définie par les contraintes liées aux critères de convergence, a pour fonction d'attribuer une note à chaque individu » [Bolot, 1999].
Le principe de sélection repose donc sur la qualité de chaque individu. Elle est calculée à partir de la fonction d'évaluation, qui fournit un score à chaque membre de la population. Ce score permet par la suite d'opérer une sélection sous contrainte de probabilité des individus considérés comme bon. Ce principe de sélection est appelé « roue de la fortune » et consiste donc à associer à chaque individu une probabilité de tirage proportionnelle à sa part de score dans la population. En clair, les individus bénéficiant d'un score élevé ont plus de chance d'être sélectionné pour transmettre tout ou partie de leur génotype à la génération suivante. Ces individus constituent la génération dite intermédiaire.
Il existe d'autres modes de sélection qui fournissent, selon le contexte, des convergences plus ou moins rapides. Dans le cas de population peu importante, on fait parfois appel à la sélection dite par tournoi. Deux individus sont choisis au hasard et combattent pour accéder à la part de la population pouvant subir les opérateurs de croisement ou de mutation. On conserve ainsi un certain aléa dans la sélection. On fait également appel à l'ordonnancement comme méthode de sélection. Cette méthode est employée dans les systèmes de forte convergence, c'est-à-dire lorsque l'évaluation permet de dégager de grandes différences entre les individus. On attribue à chaque individu un classement pas ordre d'évaluation. On sélectionne par la suite une population intermédiaire en utilisant les probabilités indexées sur les rangs des individus. Dans le cas d'individus peu différenciés par la fonction d'évaluation, cette méthode présente le désavantage principal d'exagérer le rôle des meilleurs individus. Le second individu aura par exemple une probabilité d'être sélectionné beaucoup plus faible que le premier, bien qu'il puisse représenter une part de la réponse finale non négligeable.
On trouve parfois d'autres méthodes, souvent hybrides, telles que la roue de la fortune modifiée [Farley et Jones, 1994], méthode plus déterministe sur laquelle on réaffecte un aléa de manière artificielle.

Croisement et mutation des individus

Une fois la génération intermédiaire définie, on utilise différents opérateurs afin de transmettre à la génération suivante le patrimoine génétique sélectionné, tout en conservant une part d'aléa propre aux algorithmes génétiques.
Le premier de ces opérateurs est le croisement, relativement similaire à la reproduction connue dans le monde biologique. Il a pour but d'enrichir la diversité de la population en hybridant les chromosomes des individus, voire dans certains cas directement les gènes. Classiquement, cette phase de l'algorithme se conçoit avec deux parents qui génèrent deux enfants.
Le croisement consiste à scinder en deux moitiés le génotype coupé à l'identique de deux individus différents et d'affecter à l'un une des moitiés de l'autre et réciproquement (figure 44). Habituellement, la structure des chromosomes est la même d'un individu à l'autre ; ce sont les gènes qui les constituent qui diffèrent. Dans notre cas, les chromosomes, c'est-à-dire les aires de rabattement, n'ont pas obligatoirement les mêmes limites d'un zonage à un autre. On ne peut donc pas appliquer ici le croisement classique opéré à partir du découpage de chromosomes. Pratiquement, il n'y a que peu de chance que les frontières des zones d'un individu correspondent parfaitement aux frontières d'un autre individu. Il est alors nécessaire de réaffecter les gènes séparés, ici les communes isolées, à un chromosome existant.

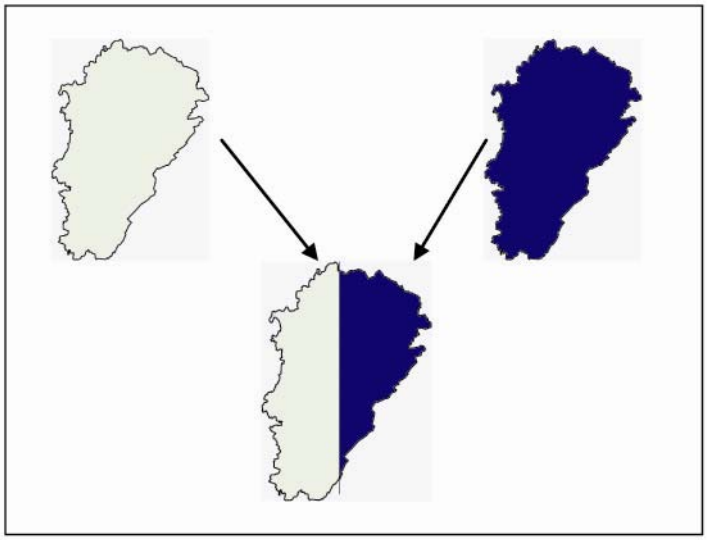


Figure 44 : Le principe du croisement

Nous avons pris le parti, dans le processus de réaffectation des communes isolées par l'étape de croisement, de réagréger ces communes à une des aires de rabattement qui lui est contiguë sans chercher à optimiser cette affectation.

Vient ensuite le processus de mutation. Cette étape a pour fonction de fournir à l'algorithme l'aléa nécessaire à une exploration efficace des solutions. Cet opérateur nous garantit que l'algorithme évolutionnaire sera susceptible d'atteindre toutes les solutions potentielles sans pour autant les parcourir toutes dans le processus de résolution. [Goldberg, 1994]. Dans la pratique, la mutation permet d'explorer des possibilités génétiques que le hasard peut avoir ignorées dans la population initiale.
Dans le cas présent, la mutation s'opère directement sur les gènes. Des communes changent donc aléatoirement d'agrégat, tout en respectant la contrainte de contiguïté. La probabilité de mutation est dépendante de deux indices. Un premier fixant la probabilité qu'a ou non un individu de subir une mutation ; un second établissant la probabilité qu'a ou non une commune de muter.

Il existe plusieurs processus d'amélioration ou d'accélération des algorithmes évolutionnaires. Le but ici n'étant pas l'optimisation du temps de calcul, nous nous sommes restreint à une utilisation « classique » de cette méthode. Le lecteur pourra consulter des ouvrages plus complets à ce sujet, détaillant les méthodes de scalling qui amplifient artificiellement les écarts entre les individus, obtenus par la fonction d'évaluation[19].

2.3.2. Mise en place de la modélisation

La mise en place de l'algorithme, et donc principalement la conception de la fonction d'évaluation, pose plusieurs interrogations.
La première concerne les communes non affectées. Le modèle précédent a mis en évidence certaines communes pour lesquelles l'affectation obtenait une note trop basse pour être affectée à une aire de rabattement. La question se pose donc de savoir si le fait d'isoler certaines communes doit à terme améliorer l'évaluation des individus ou constituer un handicap quel que soit l'espace concerné.

[19] L. Goffe, G. D. Ferrier, J. Roger, 1994, *Global optimization of statistical functions with simulated annealing*, Journal of Econometrics, Vol 60, pp 65-99

Il faut revenir aux buts initiaux du modèle afin de répondre le plus justement possible à cette question. Le zonage, dans le cadre du modèle à quatre étapes et plus particulièrement concernant l'étape de génération de trafic, a pour but de dimensionner au mieux les aires de rabattement autour des points d'arrêt du service TER. Le but final est de pouvoir quantifier au mieux et de la manière la plus pertinente possible les usagers concernés, ou potentiellement concernés par un service particulier. Dans ce contexte, ne pas agréger certaines communes à une aire de rabattement revient à ignorer une partie de l'information afin de permettre une plus grande cohérence de l'information restante. Il paraît donc important de pouvoir isoler certaines communes, tout en s'assurant de ne pas privilégier ce processus vis-à-vis du rabattement. De plus, les données de l'enquête TER révèlent un certain nombre de communes de l'espace franc-comtois ne déclarant aucun migrant usager d'un quelconque service TER. Cette constatation renforce donc l'importance de configurer le modèle pour une acceptation de communes non rabattues.
En clair, si le fait d'isoler une commune peut fournir une solution plus satisfaisante pour le zonage dans son entier, il est nécessaire de ne pas agréger cette commune. Toutefois, il faut garder une certaine vigilance afin de ne pas écarter le modèle de son but initial qui reste d'agréger les communes de notre espace autour de points de rabattement.
Il s'agit donc de rejeter la possibilité de non agrégation d'une commune tant que l'évaluation locale reste suffisamment satisfaisante ; puis d'infléchir la fonction d'évaluation proportionnellement à la baisse de l'évaluation locale. Nous avons donc adopté ici une logique de commutation (« *switching* ») basée sur une valeur seuil, mais prenant en compte le caractère flou de la qualité du rabattement (ou du non rabattement).
Cette étape a deux fonctions. Elle permet dans un premier temps l'évaluation des communes non rabattues, et opère dans un second une forme de *scaling* qui vise à ramener les valeurs de l'indice dans un intervalle compris entre 0 et 1. Cette « remise à l'échelle » de l'indice $I_{iG}^{généré}$ a pour but de pouvoir lui ajouter par la suite d'autres indices, d'évaluation globale du zonage ou de potentialité de parking, tout en conservant la même échelle d'évaluation. C'est ainsi qu'ont été calculées les valeurs de la fonction $I_{iG}^{généré}$ lorsque les communes sont rabattues. Nous nous sommes basés sur des valeurs repères du premier modèle (valeur minimale, valeur maximale, moyenne) afin de traduire en une fonction retranscrivant au mieux l'évaluation attendue en sortie du modèle. Nous avons donc paramétré une fonction retranscrivant au mieux le comportement de l'indice $I_{iG}^{généré}$ attendu, à savoir augmentation très faible de la valeur de l'indice jusqu'à la valeur seuil du non rabattement ; puis augmentation rapide pour

favoriser son rabattement ; enfin relative stagnation une fois la valeur de l'indice considérée comme satisfaisante atteinte. Nous nous somme basé sur une fonction logistique :

$$I_{iG}^{géné} = \frac{\beta}{1+\gamma \cdot e^{-\alpha}} \qquad \text{avec}$$

$$\alpha = -\ln \frac{\sum_{t=2}^{n} \frac{1}{y_t y_{t-1}} - \frac{1}{n-1} \sum_{t=2}^{n} \frac{1}{y_{t-1}} \sum_{t=2}^{n} \frac{1}{y_t}}{\sum_{t=2}^{n} \left(\frac{1}{y_{t-1}} \right)^2 - \frac{1}{n-1} \left(\sum_{t=2}^{n} \frac{1}{y_{t-1}} \right)^2}$$

$$\gamma = \frac{(n-1)(1-e^{-\alpha})}{\sum_{t=2}^{n} \frac{1}{y_t} - e^{-\alpha} \sum_{t=2}^{n} \frac{1}{y_{t-1}}}$$

$$\beta = e^{(n+1)\alpha/2 + (\sum_{t=1}^{n} \ln(\gamma / y_{t-1}))/n}$$

Concernant la fonction mise en place pour les communes non rabattues, nous nous sommes basé sur la valeur seuil du premier modèle correspondant à la valeur de I_{iG} pour le nombre *n* de communes non rabattues.

Formellement :

$$I_{iG}^{géné} \begin{cases} \dfrac{-0{,}92}{1+1392 \cdot e^{-26{,}52 \cdot I_{iG}}} \text{ si la commune est rabattue} \\ -3{,}8\, I_{iG} + 0{,}5 \text{ si } I_{iG} \leq 0{,}12 \text{ et si la commune n'est pas rabattue} \\ 0 \text{ si } I_{iG} > 0{,}12 \text{ et si la commune n'est pas rabattue} \end{cases}$$

Nous avons par la suite, construit deux indices complémentaires basés sur les capacités de parking de chaque point d'arrêt et sur l'équilibre général du zonage régional.
Concernant la contrainte liée au parking, l'évaluation doit être bonne tant que la capacité d'accueil n'est pas saturée, puis doit décroître en fixant une valeur maximale du nombre d'individus acceptés à chaque point d'arrêt.

Formellement :

$$f_{park(v)} \begin{cases} 1 \text{ si } \sum U_i \leq v \\ 1 - \dfrac{U_i - v_G}{\delta v_G} \text{ si } \sum U_i > v_G \text{ et } \sum U_i < \delta v_G \\ 0 \text{ si } \sum U_i > \delta v_G \end{cases}$$

Avec v_G = nombre de places de parking de la gare G

et δ =coefficient de tolérance d'accueil du nombre de voitures supplémentaires lorsque celui-ci est supérieur au nombre de places de parking

Pour ce qui est de l'indice d'équilibre général du zonage, il est basé sur la relative bonne répartition de la population et du nombre de communes dans chaque agrégat. Cette répartition homogène ne se fait pas indifféremment sur l'ensemble du territoire régional mais par type de commune. Nous reprenons pour cela la typologie de communes mise en place lors de la deuxième partie.
Afin de conserver la même échelle de valeur que pour les indices $I_{iG}^{géné}$ et $f_{park(v)}$, nous avons adopté une mesure de dispersion comprise entre 0 et 1. Nous employons pour cela l'écart-type relatif définit par :

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x}{\sum_{i=1}^{n} x_i'}$$

[Groupe Chadule, 2001]

Où *x'* est définit par :

$$x_i' = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i}$$

Cet indice « vaut 0 si toutes les valeurs sont constantes, et $((n-1)/n^2)^{1/2}$ si la dispersion est minimale, c'est-à-dire si tous les x_i sauf un valent 0 » [Groupe Chadule, 2001]. Donc la relativisation de cet indice entre 0 et 1 correspond à :

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x \Big/ \sum_{i=1}^{n} x_i'}{((n-1)/n^2)^{1/2}}$$

Formellement, concernant le zonage :

$$E_T = \frac{\sigma^t_{(C)} \Big/ \sum C'}{2\max\left|\sigma^t_{(C)} \Big/ \sum C'\right|} + \frac{\sigma^t_{(P)} \Big/ \sum P'}{2\max\left|\sigma^t_{(P)} \Big/ \sum P'\right|}$$

Où C représente le nombre de communes et P la population par aire de rabattement. $\sigma^t_{(C)}$ représente l'écart type lié à ces valeurs pour chaque type *t* de commune.

L'étape suivante consiste à optimiser les différents paramètres liés au déroulement de l'algorithme évolutionnaire. Nous avons testé pour cela la rapidité de convergence de l'algorithme en faisant varier la taille de la population, la probabilité de faire muter un individu, la probabilité de mutation d'un gène pour les individus enclins à muter, la probabilité de conserver des individus sans croisement ni mutation, et enfin la probabilité de sélectionner ou non les meilleurs individus en fonction leur part de score.
Le paramétrage de ces différents facteurs n'est pas crucial dans le processus même d'optimisation, l'algorithme améliorant par principe les générations au fur et à mesure de son déroulement. Il recouvre cependant une certaine importance dans la rapidité de cette optimisation. La figure 45 présente la convergence sur les 1000 premières itérations de l'algorithme pour les meilleurs paramètres.
Les tests de paramétrage concernant la taille de la population montrent que l'algorithme fournit l'optimisation la plus rapide pour une population d'environ 600 individus par génération.

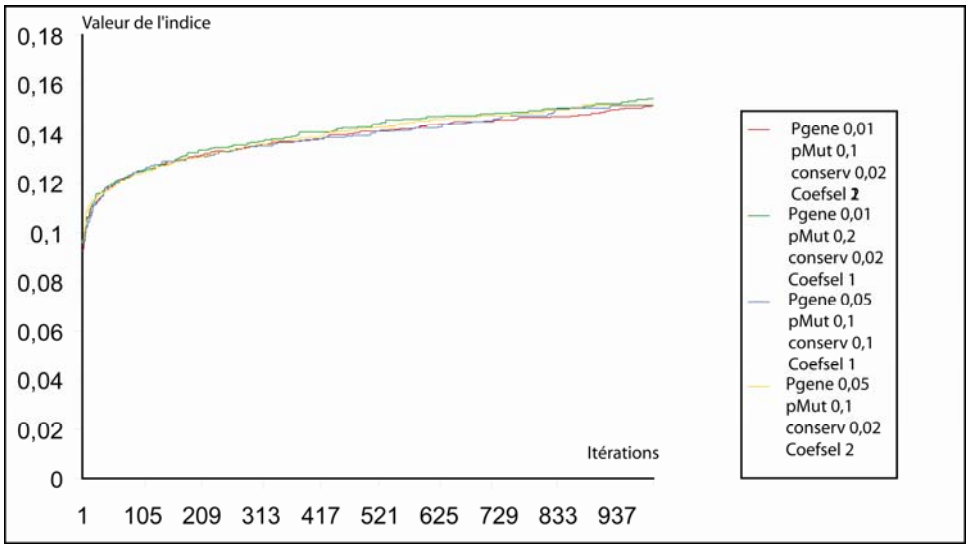


Figure 45 : Test des paramètres, la convergence de l'algorithme génétique

Nous avons par la suite « testé » l'algorithme évolutionnaire en combinant les différents indices de rabattement, de parking et d'évaluation globale mis en place.

La figure 46 présente le zonage construit à partir de l'indice $I_{iG}^{géné}$ seul. On retrouve très rationnellement la même logique organisationnelle que pour le modèle d'optimum local, à quelques exceptions près de communes non rabattues et quelques dissemblances au niveau des agrégats. Cependant, les entrées d'agglomérations constituent toujours les pôles principaux et on retrouve dans l'ensemble l'effet de frontière explicité précédemment.
Le premier modèle joue donc son rôle de contrôle et nous permet de ne pas nous fier aveuglément à une modélisation dont le déroulement, plus obscur, peut conduire à des solutions erronées.

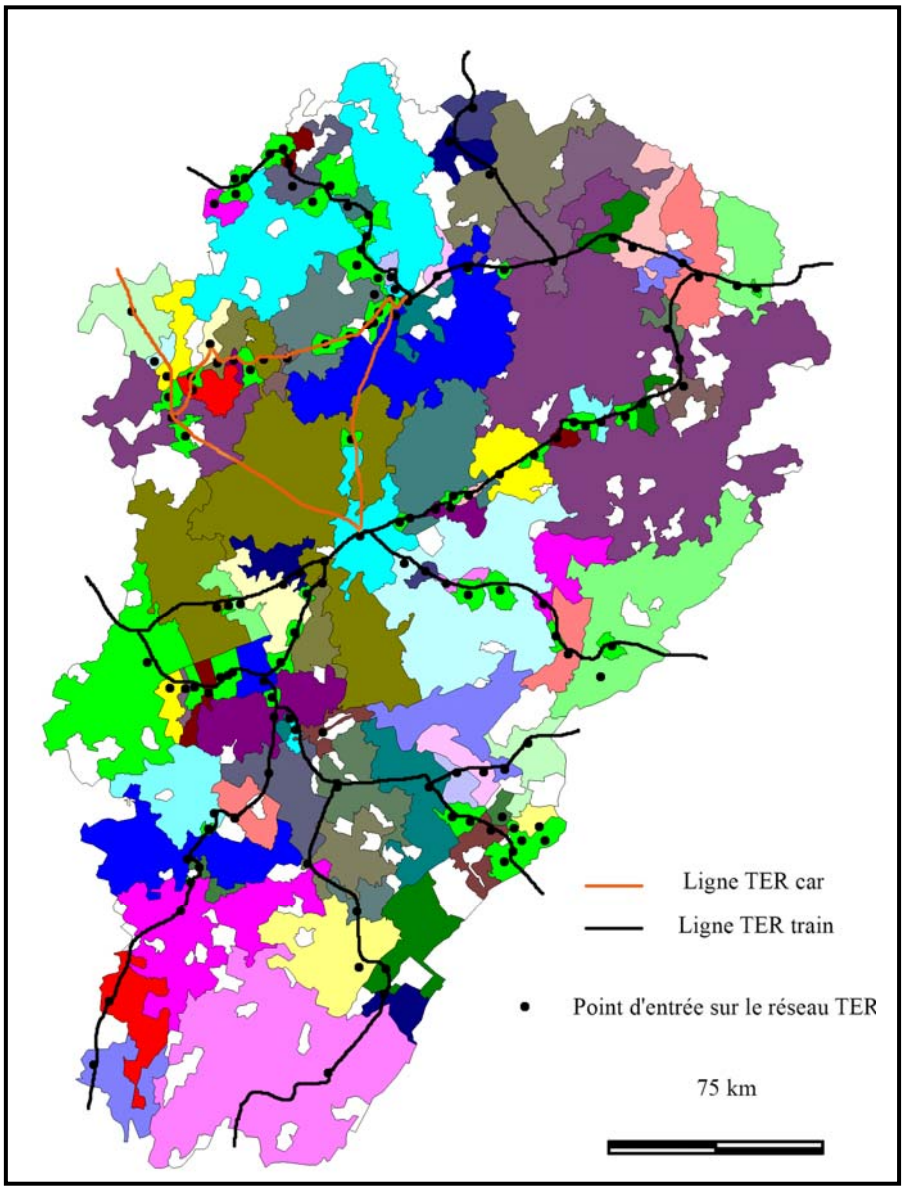


Figure 46 : Aires de rabattement autour des points TER pour l'indice de rabattement seul

Lorsque l'on ajoute l'évaluation globale pour l'élaboration du zonage, on obtient naturellement une meilleure répartition de l'espace entre les agrégats.
On constate, en premier lieu, la disparition des zones de grande taille aux entrées des agglomérations au profit d'un autre type de communes. Rappelons ici que la typologie des communes a été élaborée à partir des comportements de mobilité des individus. Les points d'entrée sur le réseau présentant les aires de rabattement les plus vastes correspondent globalement aux pôles secondaires et villes de moyennes importance. Ainsi, Dole à l'ouest, Saint-Claude au sud, Pontarlier à l'est, et dans une moindre mesure Baume-les-Dames et L'Isle-sur-le-Doubs voient leur aire composer une part importante du zonage régional.

Ces points d'entrée sur le réseau TER, déjà pourvus d'aires de rabattement conséquentes dans le zonage précédent, ne subissent que peu l'effet de l'équilibrage général du zonage et correspondent vraisemblablement à des points de rabattement privilégiés du réseau franc-comtois.

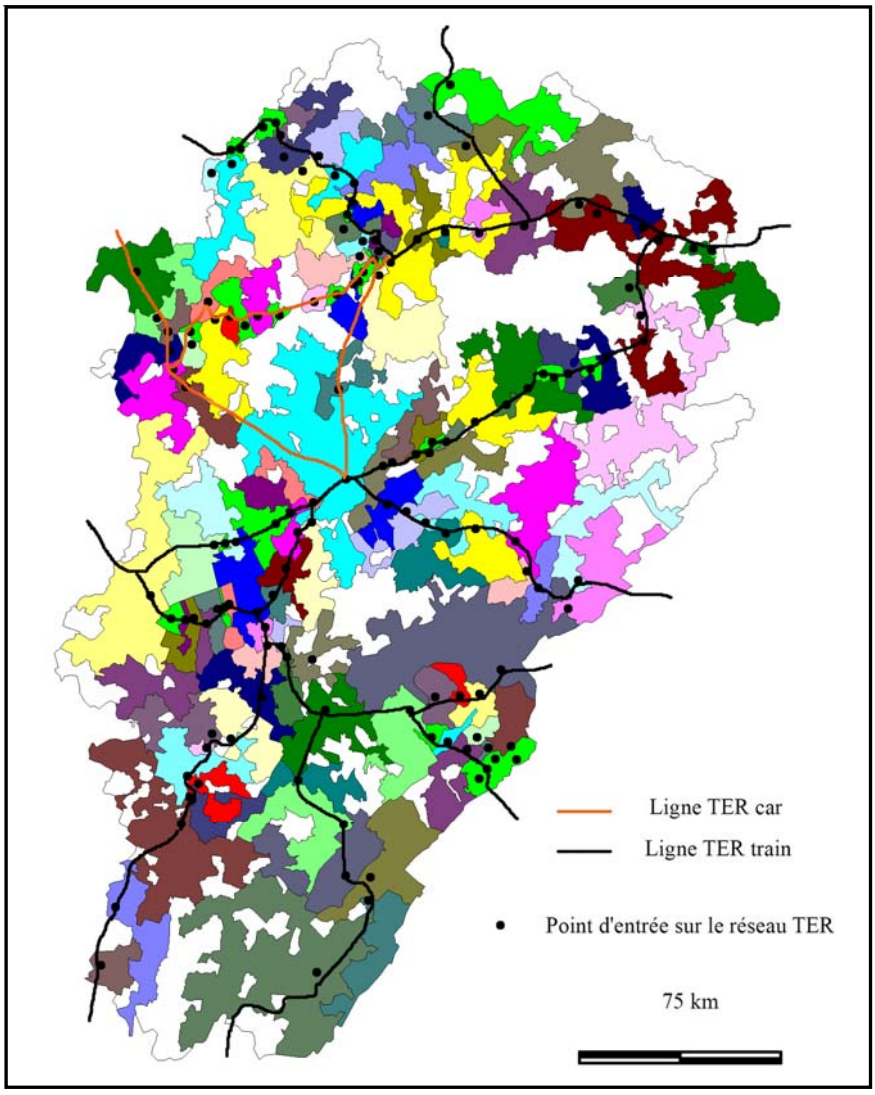


Figure 47 : Aires de rabattement autour des points TER pour l'indice de rabattement et l'indice global

L'aire d'influence de Besançon s'étend vers le nord, là où la desserte TER est moins présente. Le sud de la capitale régionale, quant à lui, présente un espace non rabattu par l'algorithme. L'isolation de ces communes, en terme d'organisation spatiale, signifie globalement pour les individus qu'il est préférable, aux vues de la fonction d'évaluation, de faire usage d'un véhicule personnel plutôt que de transports en commun, pour la majorité de la

population concernée. Le modèle met donc ici en évidence une portion du territoire régional sur laquelle le service TER n'offre certainement pas une alternative suffisante aux solutions de transport individuelles.
On retrouve ce même phénomène sur un espace relativement vaste situé entre la ligne Besançon – Strasbourg et la ligne Paris – (Vesoul – Belfort) – Bâle. L'analyse de cet espace nous permet d'affiner notre propos. L'isolation de certaines communes par le modèle ne signifie par forcément l'absence de point de rabattement proche de ces communes, mais l'inadaptation des services proposés dans ces points d'entrée par rapport aux attentes de mobilité des individus résidant dans ces communes.
On retrouve enfin l'effet de frontière, principalement dans le sud jura, dont l'organisation est guidée par des points de rabattement extérieurs à notre territoire, effet constaté également le long de la frontière suisse.

Ajouter une contrainte de parking à l'évaluation revient à traiter le problème de manière beaucoup plus appliquée. On ne travaille ainsi que sur des rabattements réalisables en l'état. Les étapes précédentes de la modélisation trouvent toutefois leur utilité dans la compréhension du potentiel d'utilisation de certains points d'entrée sur le réseau TER pouvant paraître pour l'instant sous exploités.
Comme lors de l'application précédente, les entrées d'agglomération conservent des aires de rabattement tout à fait modestes. On constate également que les pôles secondaires évoqués précédemment gardent des aires de rabattement étendues. Il ne s'agit donc pas d'un simple effet d'équilibre dicté par une appartenance au même type de commune. On constate à cette occasion que la gare de Lure, située sur la ligne Paris – Bâle, étend son aire d'influence sur une grande partie des communes non rabattues précédemment. C'est certainement l'appartenance au type de commune le plus présent sur notre territoire qui peut expliquer la restriction de son aire de rabattement lors de l'application précédente. On peut sans doute formuler les mêmes hypothèses concernant l'extension de l'aire d'influence de Vesoul.

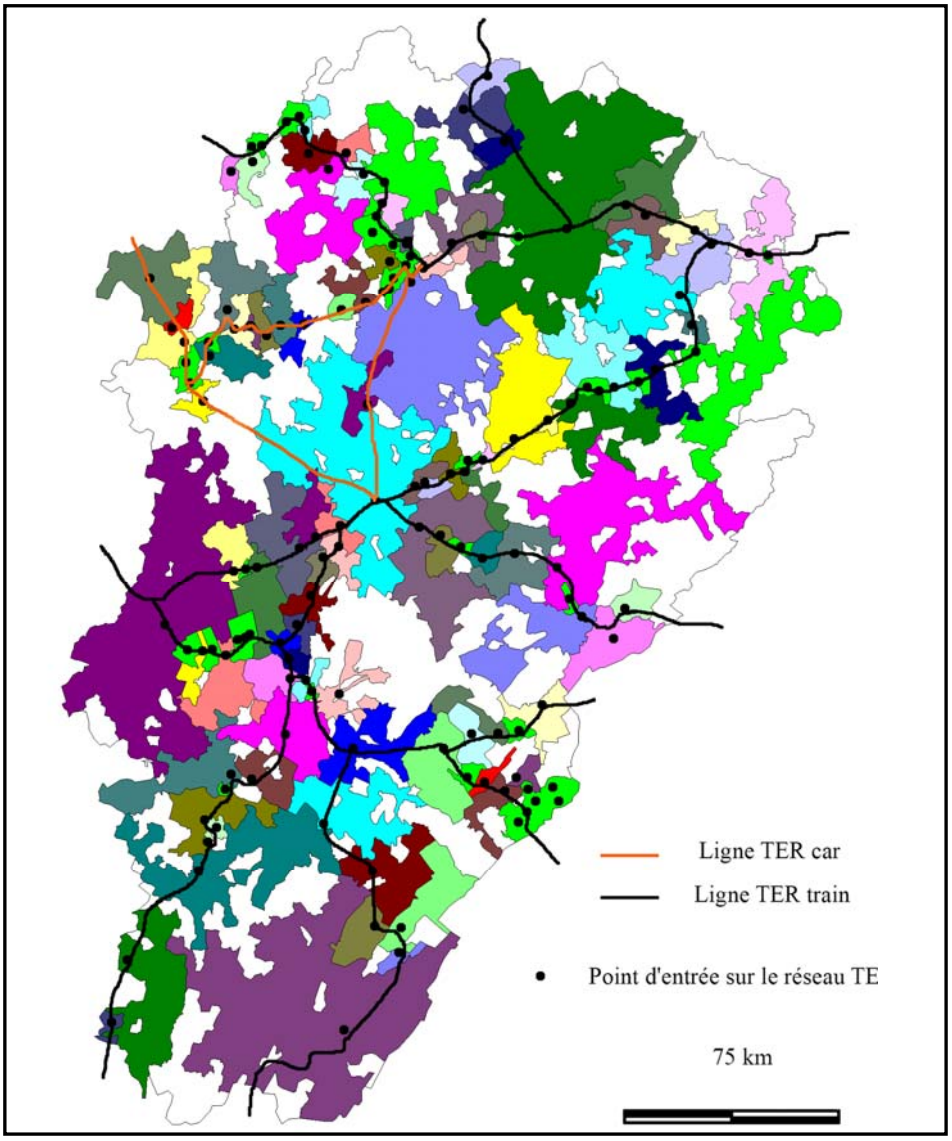


Figure 48 : Aires de rabattement autour des points TER pour l'indice de rabattement et l'indice de parking

L'espace non rabattu au sud de Besançon reste quant à lui isolé et ne trouve pas plus dans cette application de solution d'optimisation de rabattement. Les solutions en terme de service TER apparaissent donc ici comme inadaptées à la demande.

Enfin, afin de croiser l'approche très pragmatique que nous venons de voir et l'approche plus théorique précédente, nous avons configuré l'algorithme évolutionnaire pour une prise en compte de l'ensemble des indices dont nous disposions. La figure 49 présente le résultat de cette simulation.

On retrouve globalement les mêmes phénomènes déjà observés au cours des deux applications précédentes. Une certaine nuance est néanmoins apportée concernant les aires d'influences des pôles secondaires ainsi que sur les communes non rabattues. Ainsi, on voit réapparaître une partie de l'espace non rabattu entre les deux lignes ferroviaire du nord Franche-Comté.

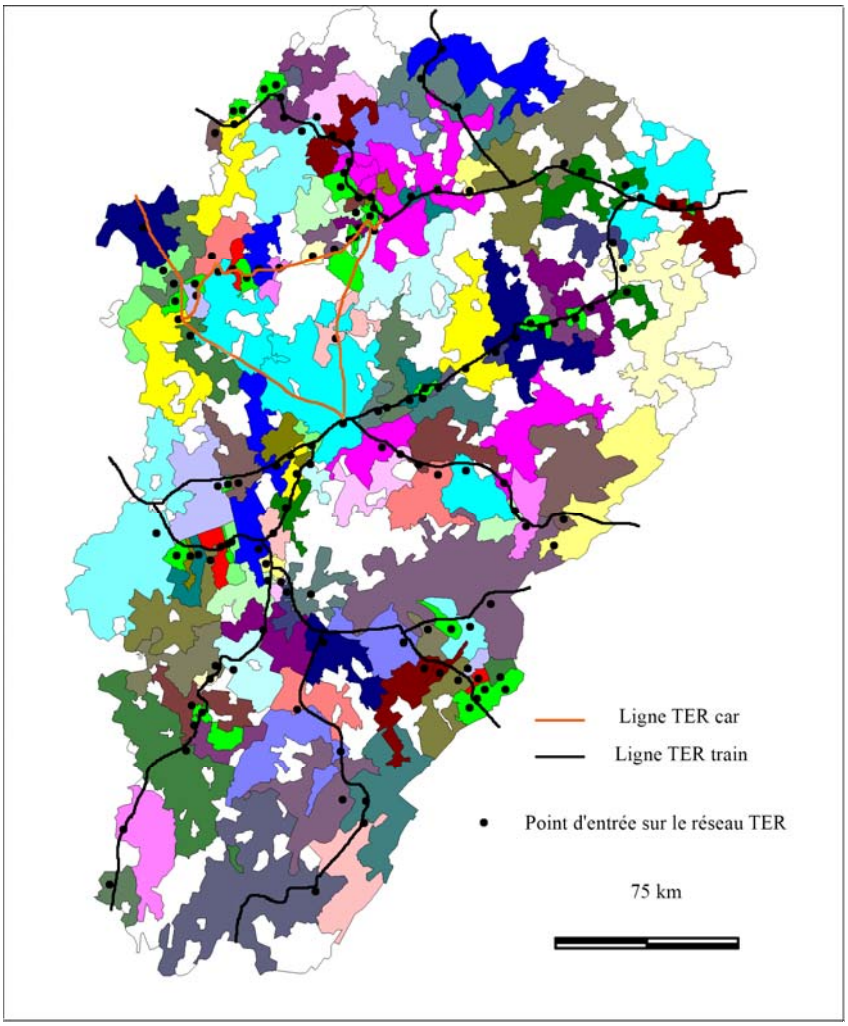


Figure 49 : Aires de rabattement autour des points TER pour l'indice de rabattement, l'indice de parking et l'indice global

On peut imaginer augmenter encore le nombre d'indices ou facteurs pouvant infléchir plus ou moins la composition et la forme des aires de rabattement. Les critères de confort, au-delà des simples possibilités de stationnement, mériteraient sans doute un approfondissement pour une meilleure prise en compte dans la fonction de coût généralisé employée ici. De même la perception de la sécurité joue un rôle dans le processus décisionnel du mode de transport et donc du rabattement. Mais le manque de données sur ces critères

explique le caractère incomplet dans cette prise en considération, les données détenues par la SNCF dans ce domaine ne nous étant pas accessibles. De même, faute de données satisfaisantes dans ce domaine, nous n'avons pas pu prendre en compte la perception et la manière dont se combinent les différents critères de coût, de temps et de confort dans le processus de choix de l'individu. Il va de soi que la même importance n'est pas accordée à la rapidité, au coût ou à tout autre critère dans la décision d'un point de rabattement. Il s'agit là de pistes encore peu traitées en géographie des transports, autant pour l'importance de ces critères en terme de perception que concerant le processus de recombinaison mentale de ces facteurs lors d'une prise de décision finale.

Une analyse temporelle plus fine pourrait également être souhaitable. Il serait alors nécessaire de disposer de données nous permettant une telle analyse. L'enquête TER nous a fourni un tel niveau de détail ; mais nous ne disposons pas de données comparables concernant les autres modes de transport. Comme nous l'avons déjà vu, l'analyse par mode de transport, concernant la génération de trafic, ne peut pas s'appliquer. Ce serait faire un postulat de départ erroné en considérant que le mode constitue la variable explicative principale dans le processus du choix de déplacement.
On peut raisonnablement penser que le zonage même se trouverait modifié selon les différents horaires de la journée. Il nous fournirait alors sans doute une meilleure compréhension du territoire de la mobilité.
On peut s'attendre à rencontrer des espaces non rabattus, et donc pour lesquels les transports régionaux ne sont pas adaptés, beaucoup plus vastes en dehors des heures d'affluences.
L'analyse spécifique du dimanche ou des jours fériés pourrait également constituer un champ d'investigation tout à fait intéressant. Les études et simulations concernant la mobilité quotidienne, souvent coûteuses, poussent les modélisateurs à centraliser leurs efforts sur les périodes regroupant la plus forte part de la population. Ces périodes où l'affluence est moindre ont donc jusqu'ici été laissées de côté et nous offrent un champ presque vierge de toute analyse. Mais, comme précédemment, il est nécessaire, afin de pouvoir réaliser une véritable étude sur ces espaces temporels, de disposer de données détaillées issues d'enquêtes encore non réalisées à ce jour.

2.4. Agrégation des résultats obtenus à l'échelle communale pour chaque aire de rabattement

Dénombrer les émissions par agrégat

La logique de construction des aires de rabattement nous pousse à considérer les émissions et attractions de chaque zone. En effet, l'élaboration des agrégats étant basée sur le rabattement potentiel des migrants journaliers, le calcul des émissions et attractions, dans ce cadre, ne s'opère pas par une simple addition des émissions et attractions des communes composant l'agrégat. Nous avons conçu les aires de rabattement autour des points d'entrée du réseau TER afin d'identifier au mieux les individus concernés par ce point d'entrée. Or, comme nous l'avons vu, tous les migrants d'un agrégat ne sont pas concernés par le point d'arrêt de l'agrégat auquel ils appartiennent.
Il est alors nécessaire d'indicer les émissions de chaque commune par la valeur de l'indice $I_{iG}^{géné}$ de la commune *i*. Formellement, $I_{iG}^{géné}$ étant compris entre 0 et 1 (1 correspondant au rabattement de l'ensemble des individus de la commune *i* sur la gare *G*), les émissions liées au point de rabattement *G* et attachées à l'agrégat A_G sont exprimées par :

$$E_G' = \sum_{i=a_1}^{a_n} I_{iG}^{géné} \cdot E_i$$

Toutefois, ce mode de calcul ne prend en compte que les émissions liées au réseau TER, de manière potentielle ou réelle, à partir des données prises en compte au départ, c'est-à-dire de la population concernée par les communes de l'agrégat.

On peut imaginer utiliser l'indice $I_{iG}^{géné}$ en dehors du contexte du zonage dans l'optique d'une simulation présentant le désavantage certain de temps de calculs beaucoup plus conséquent. Ainsi, on peut évaluer plus précisément les émissions liées à un point de rabattement particulier, sans considérer de zonage ni de découpage communal, mais en prenant comme point d'émission la gare concernée. On traite ainsi l'ensemble du territoire régional et non plus juste la zone définie lors de la partition spatiale.
Les émissions liées au point d'arrêt *G* sont alors exprimées par :

$$E_G = \sum_{i=1}^{n} I_{iG}^{géné} \cdot Ei$$

Cette manière de procéder, bien que plus longue en terme de temps de calcul, a l'avantage certain de n'ignorer aucun individu concerné par le point d'arrêt *G*.

La prise en compte du zonage laisse en effet à l'écart l'ensemble des individus potentiellement concernés par le point de rabattement *G* mais en dehors de l'agrégat A_G .

2.5. Dénombrer les attractions par agrégat

Concernant le dénombrement des attractions, le problème est un peu différent. Il est nécessaire alors de prendre en compte la distribution des déplacements c'est-à-dire considérer les trajets dans leur ensemble pour pouvoir calculer les attractions à partir des émissions prises en comptes dans l'étape précédente. On fait alors l'hypothèse que les individus pris en compte lors du calcul des émissions correspondent aux individus faisant le plus augmenter l'indice $I_{iG}^{généré}$. On définit alors un ensemble *K* correspondant à l'ensemble des V_G plus forts indices I_{ij}^{p} pour la gare *G*, où

$V_G = I_{iG}^{généré} \cdot U_i$ et,

$$I_{ij}^{p} = \frac{\lambda_{VP_i} \cdot t_{iG}^{Rab} + \lambda_{TC}\left(p^{Att} t^{Att} + t_{Gj}^{TC} + \sum_{c=1}^{q} p_c^{Cor} t_c^{Cor}\right) + c_{Gj}^{TC} + C_{iG}^{VP}}{\lambda_{VP_{ij}} \cdot t_{ij}^{VP} + c_{ij}^{VP}}$$

Les attractions sont alors définis, par aire de rabattement par :

$$A_G' = \sum_{j=a_1}^{a_n} \sum_{i=1}^{n} \sum_{G=1}^{m} U_{ij} \text{ sur } K$$

CONCLUSION

Nous avons finalement modélisé dans son ensemble l'étape de génération de trafic, de la définition d'un zonage pertinent à la quantification des émissions et attractions de déplacements pour chacune de ces zones.
Il est difficile d'évaluer la pertinence du zonage défini au cours de ce chapitre. Dans la définition de partition spatiale liée à des flux, on évalue la pertinence des aires obtenues à partir d'une comparaison des flux internes et du flux entrants et sortants de la zone [Josselin et al, 2000]. Dans notre cas, comparer sur une zone ces flux n'aurait pas réellement de sens.
La comparaison des émissions et attractions théoriques par point d'arrêt avec les montées-descentes constatées peut fournir un élément de contrôle partiel de la qualité du zonage. La figure 50 qui met en relation les valeurs théoriques et réelles pour chaque point d'arrêt de ces montées-descentes (une échelle logarithmique a été appliquée pour que Besançon n'écrase pas le graphique par une valeur trop forte (figure 51) ne fait que confirmer le bon fonctionnement du modèle mais ne valide pas la pertinence de la délimitation spatiale des aires de rabattement. Le modèle de structuration spatiale étant basé, au moins en partie, sur le décompte des émissions et attractions optimales à chaque point d'arrêt, il est naturel de retrouver des valeurs estimées proches des valeurs réelles. On constate tout de même que les valeurs théoriques sont légèrement sous-estimées, certainement en raison des individus non pris en compte car en dehors de l'agrégat de rabattement. Besançon principalement, dans la table des valeurs non logarithmées, voit son nombre de montées-descentes presque divisé par deux, ce qui n'est pas le cas pour les autres gares importantes de notre aire d'étude.
La logique de rabattement concernant le pôle central relève donc d'un fonctionnement spécifique, qu'un zonage quel qu'il soit, ne peut que difficilement retranscrire.

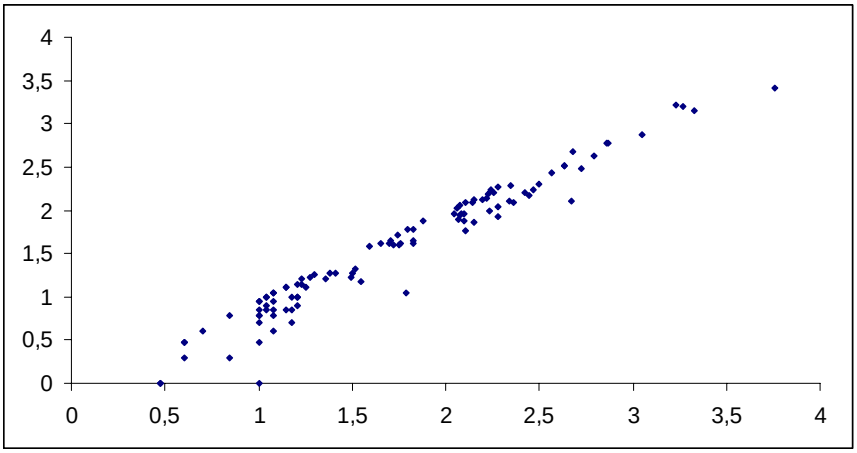


Figure 50 : Croisement des montées-descentes prédites et réelles, échelle logarithmique

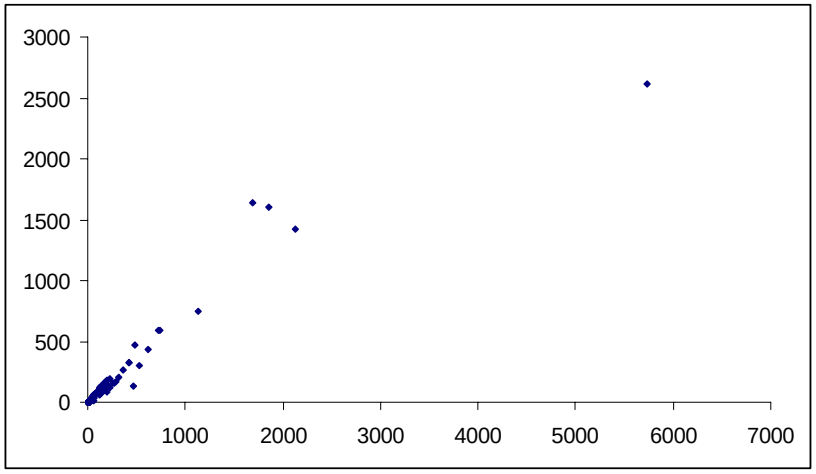


Figure 51 : Croisement des montées-descentes prédites et réelles

La mise en place d'un protocole de validation du zonage dans l'étape de génération de trafic reste donc à accomplir pour parfaire cette première étape du modèle à quatre étapes.

Conclusion de la troisième partie

Au cours de cette troisième partie, nous avons défini une méthodologie de modélisation de l'étape de génération de trafic à deux échelles spatiales distinctes. Chacune de ces échelles implique un mode d'appréhension spécifique de la mobilité et ouvre sur des champs d'applications propres.
A l'échelle communale, nous avons appréhendé la mobilité indifféremment pour l'ensemble des modes et l'ensemble des motifs de déplacement. Cette approche, bien qu'utile en elle-même dans certains contextes de modélisation de l'ensemble du trafic d'un espace, ne constitue ici qu'une étape dans l'appréhension de la mobilité liée à la fréquentation du service TER. L'aboutissement de cette première étape nous a permis de nous pencher plus avant sur l'analyse de la mobilité à l'échelle des aires de rabattement sur les points d'entrée du réseau TER.
Les résultats obtenus par le modèle à l'échelle des aires de rabattement nous amènent à différentes conclusions. D'une part les simulations réalisées sans la prise en compte des contraintes des infrastructures de parking mettent en évidence un réel potentiel en terme d'aménagement de la mobilité quotidienne. Les points d'arrêt aux entrées d'agglomérations paraissent pouvoir remplir la fonction de pôles multi modaux et ainsi constituer des gares relais, à l'image des parkings relais d'entrées de villes. On peut alors tout à fait imaginer l'aménagement de structures capables d'organiser un report modal important à ces différents points d'interface. Toutefois, de tels aménagements ne peuvent s'imaginer sans une politique volontariste contraignant à la fois la circulation et le parking dans les centres urbains concernés.
D'autre part, le point de rabattement bisontin apparaît comme échappant à la logique du zonage dans la modélisation de génération de trafic. Il apparaît alors que, dans le cadre d'un modèle à l'échelle régionale, le pôle centralisateur du territoire étudié doit faire l'objet d'un sous modèle spécifique transgressant le zonage appliqué à l'ensemble des autres points de rabattement.

Conclusion Générale et perspectives

Au terme de ce travail et de ces années de recherche, différentes constatations se posent à nous. Guidé au départ par une approche purement géographique, nous avons pris plaisir à nous ouvrir à des champs différents par la voie de l'interdisciplinarité. La sociologie, en premier lieu, qui par l'approche comportementale des individus, nous a indéniablement permis d'enrichir notre vision de la mobilité quotidienne. L'économie des transports d'autre part, a fourni la base de réflexion et a constitué le socle méthodologique de la première phase du modèle de génération de trafic. Nous nous posons donc en géographe modélisateur au croisement des disciplines économiques et sociologiques qui se rejoignent au sein de la géographie en modélisation des transports, auxquelles s'ajoute la biologie pour le seul volet méthodologique. Seule cette interdisciplinarité permet, en réalité, d'embrasser dans sa totalité la complexité de la mobilité quotidienne.

Nous nous positionnons également en modélisateur au service de l'aménagement des transports de personnes. Issu au départ d'un problème de gestion dû à un transfert de compétence de l'Etat aux Régions, ce travail se pose résolument comme prenant part à la recherche appliquée. Nous avons tenté de répondre au mieux à des attentes opérationnelles concrètes tout en conservant une vision de chercheur en menant des réflexions dégagées de tout parti pris ou toute situation préétablie et en développant des méthodologies encore peu exploitées en géographie. Ce travail ne reflète, à ce propos, qu'une partie des méthodes développées au cours de ces quatre années. Une méthodologie, adaptées des mathématiques, sur le prototypage et son application à la théorie des sous-ensembles [Audard, 2005], a, par exemple, finalement été écartée du rendu final faute de données pour l'alimenter.

Une piste d'innovation méthodologique

La complexité apparaît de plus en plus dans les préoccupations des géographes. La géographie quantitativiste principalement, et plus encore le pan modélisateur de la discipline, se trouvent confrontés aux difficultés de représentation de ces systèmes complexes. Nous avons tenté d'ouvrir deux voies pour la réflexion menée à ce sujet. D'une part par l'utilisation d'algorithmes métaheuristiques, encore peu présents en géographie ; d'autre part par une proposition méthodologique de contrôle des résultats fournis par les modèles relevant de systèmes complexes.
Les algorithmes génétiques ont montré ici de réelles possibilités pour la géographie. Premièrement de par leur capacité à intégrer un nombre important de données et à pouvoir croiser dans le même temps différentes fonctions d'évaluations relevant des variables dissemblables. Deuxièmement par la possibilité offerte d'évaluer un territoire dans son ensemble à partir de l'estimation faite des entités le composant.
L'idée développée parallèlement de complémentarité de deux modèles –l'un de prévision, l'autre de contrôle– trouve également sa place dans la géographie de la complexité. Bien que sous une simple forme d'ébauche dans ce travail, cette piste de recherche trouve sa justification dans le manque d'évaluation des modèles de complexité croissante et reste à développer à l'avenir.

L'étape de génération de trafic traitée dans la totalité de ses champs disciplinaires

L'ensemble des réflexions et propositions méthodologiques émises au cours de ce travail a eu pour but de comprendre et modéliser, dans son entier, l'étape de génération de trafic. De la délimitation du périmètre le plus pertinent pour cette étude –même si cette réflexion n'a pu aboutir dans la pratique–, au zonage de notre territoire, puis à la quantification des émissions et attractions des déplacements, notre recherche s'est appliquée à mettre en cohérence l'ensemble de ces étapes du modèle en faisant appel aux différents champs méthodologiques nécessaires. La géographie a ainsi pris toute sa place dans des modèles souvent dominés par l'économie des transports, discipline totalement complémentaire de l'approche développée ici.

Perspectives de recherche : un modèle de partition spatiale pour des transports personnalisés

Le zonage dont nous disposons, décrivant les aires de rabattement autour de points d'entrée du réseau TER, peut trouver d'autres applications en dehors du modèle à quatre étapes. L'une de ces applications potentielles consiste en une définition des aires optimales de desserte d'un transport à la demande.
L'individualisation des emplois du temps et de la mobilité qui en découle favorise actuellement une nouvelle adaptation de l'offre à la demande. Cette recherche de correspondance entre les attentes de la population et les propositions des pouvoirs publics trouve un écho encore plus retentissant dans le cadre actuel de la prise de conscience écologique générale visant à limiter l'usage de la voiture personnelle.
Dans certaines configurations pourtant, l'organisation classique des transports en commun ne peut pas répondre à une demande trop faible, ou trop dispersée pour justifier la présence d'un service de transport.
Comme nous l'avons vu, ce sont principalement les milieux ruraux qui sont les laissés pour compte des transformations actuelles de la mobilité et les plus mal servis par les évolutions des services de transport. Dans ce cadre, le transport à la demande peut fournir une alternative concrète aux transports collectifs « classiques » et répondre plus efficacement aux attentes des individus développant des exigences de plus en plus fortes.

Le transport à la demande se définit comme un service de transport mis en place lors d'une demande ponctuelle. Il s'agit donc « du point de vue de l'exploitation, de mieux utiliser les ressources disponibles (suppression des prestations inutiles), tout en réalisant une meilleure adéquation du service aux besoins de déplacement » [Banos, 2001].
La mise en place d'un tel service impose alors certaines contraintes et nécessite une gestion pouvant répondre à cette demande fluctuante. Il s'agit de pouvoir identifier la demande afin de pouvoir y répondre par le service le plus adapté, à la fois en terme de rentabilité financière et temporelle, mais également en terme de qualité de service attendue.

Jusqu'ici, la majorité des services de transport à la demande opérationnels ont pris comme territoire d'application des milieux urbains, en réponse à des manifestations particulières et ponctuelles, ou pour couvrir des tranches horaires délaissées par les transports collectifs habituels. L'ensemble de ces services a été organisé jusqu'ici en système de « convergence-divergence unipolaire », c'est-à-

dire un service qui prend en charge les usagers répartis selon un semis de points prédéfinis pour les acheminer ensuite en un seul lieu. (figure 52) [Thévenin, 2002].

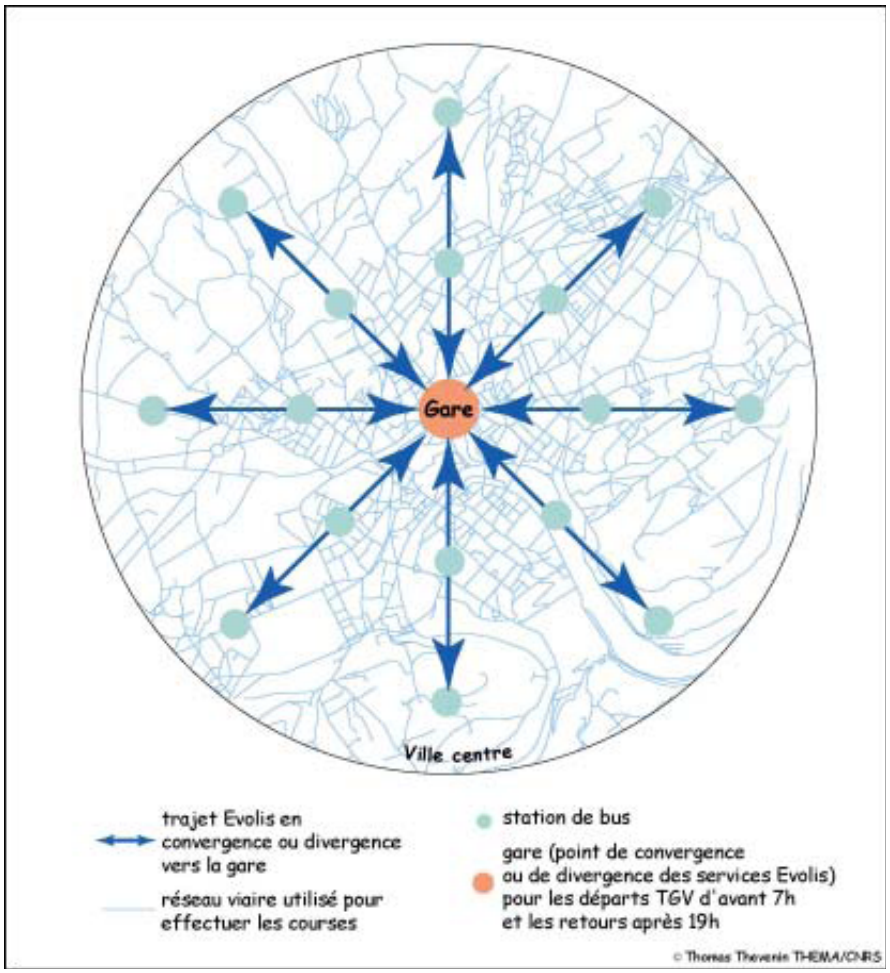


Figure 52 : Evolis : un service de transport en convergence divergence unipolaire [Thévenin 2002]

Organiser des transports à la demande à partir d'un système multipolaire pose des difficultés de gestion qui ont découragé jusqu'ici les gestionnaires des services de transport en commun. De plus, la difficulté d'organisation d'un service de transport personnalisé s'accroît avec la baisse du nombre d'usagers en raison d'une flexibilité moindre. Organiser un transport à la demande en milieu rural nécessite donc une bonne organisation des dessertes d'une part et une certaine flexibilité concernant l'organisation de ces dessertes. La flotte de véhicule étant obligatoirement limitée, il est nécessaire de pouvoir modifier en fonction de la demande instantanée la structure même des dessertes des véhicules.

Nous nous proposons d'adapter ici les systèmes de transport en convergence-divergence unipolaire en un système basé sur la convergence-divergence unipolaire mobile (figure 53). Le point de rabattement du système de convergence ne sera plus un lieu unique mais un service mobile. Ici, chaque point d'arrêt du réseau TER représente un point de convergence (ou divergence) et chaque agrégat identifie une zone de desserte des véhicules.

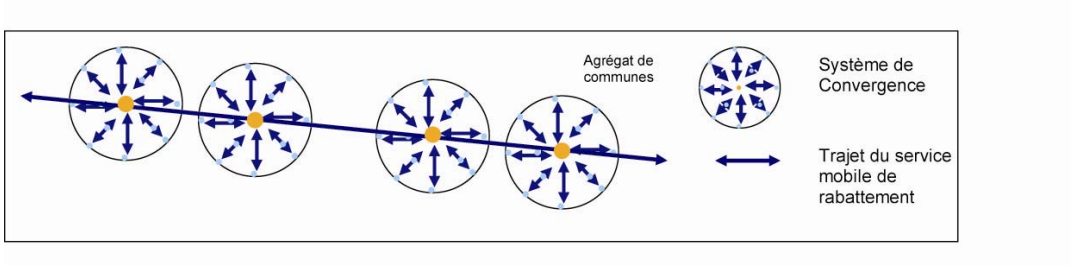


Figure 53 : Service de transport en convergence divergence unipolaire mobile

Comme nous l'avons dit, il est fondamental, sur des territoires représentant parfois une demande faible, de disposer d'une flexibilité de ces zones de desserte.
Le caractère flou de l'indice d'évaluation locale du rabattement peut alors nous fournir un élément de réponse. Car si l'affectation est réalisée en prenant la gare de rabattement pour laquelle l'indice est maximum, il existe un potentiel d'autres points de rabattement. Réciproquement, si un certain nombre de communes sont affectées à un point d'entrée sur le réseau TER, ce point d'entrée peut potentiellement attirer un plus grand nombre de communes (figure 54). On peut alors imaginer des périmètres flous des zones de desserte, fluctuant en fonction de la demande instantanée pour optimiser des circuits de ramassage en perpétuelle évolution.
Un immense travail reste à effectuer dans ce domaine, pour imaginer des processus de réaffectation de certaines communes en fonction de la demande sur l'ensemble du territoire d'étude.

Ces nouvelles pistes de réflexion, qu'il s'agisse de protocole d'évaluation des zonages, de complémentarité des modèles de systèmes complexes, ou de limites spatialisées floues dans la gestion de nouveaux services de transport en commun, constituent des évolutions futures pour notre discipline qui stimulent notre désir de recherche, renouvelé par ce travail, et ouvrent des perspectives de futures collaborations interdisciplinaires.

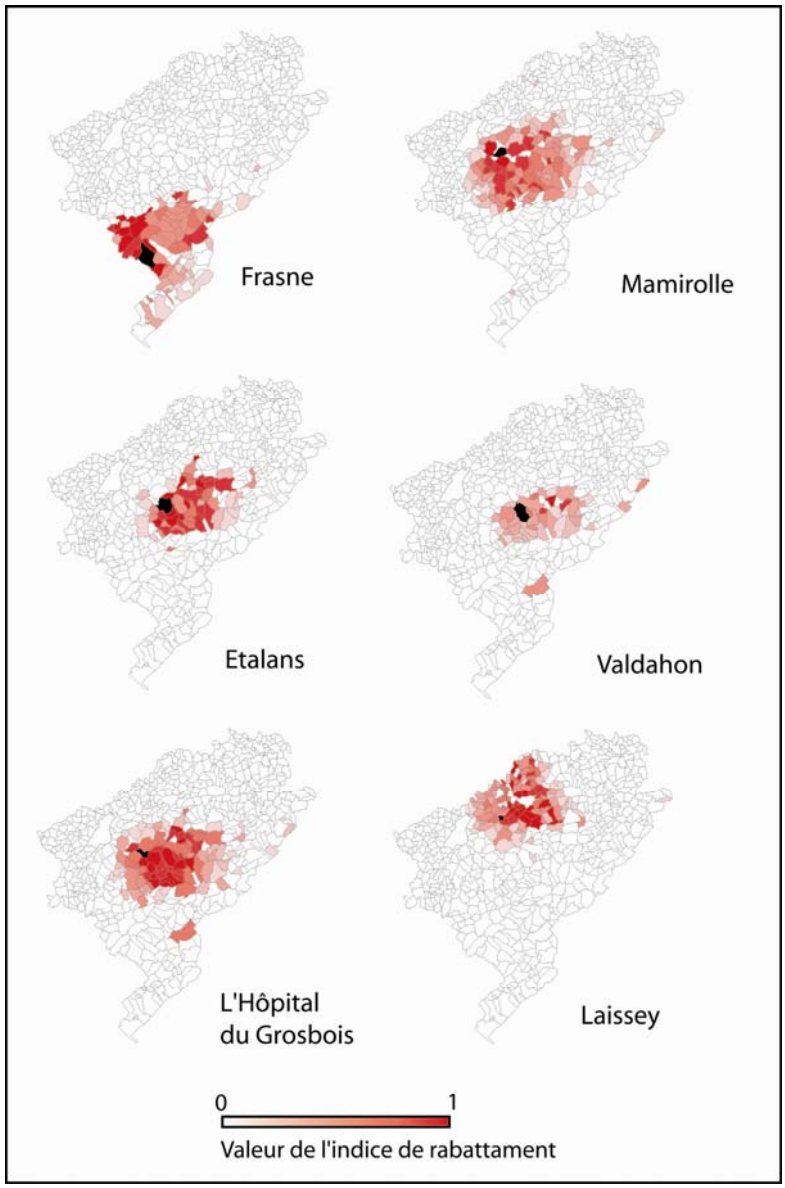


Figure 54 : Exemple d'aires de rabattement floues pour six gares du Doubs

Bibliographie

Tous les ouvrages indexés dans cette bibliographie ne sont pas appelés dans le texte, mais ont contribué à la construction de ce travail.

Aguilera-Belanger A., Bloy D., Buisson M.-A., Cusset J.-M., Mignot D. (1999) Localisation des activités et mobilité. Rapport final. DRAST N° 96 MT 23. 1999. 279 p

Ascher F. (2003) L'ambition moderne de maîtrise individuelle des espaces-temps: outils et enjeux. Actes du colloque Modernité: la nouvelle carte du temps, Ed de l'aube, pp. 17 - 28.

Audard F. (2005) Méthodologie pour une discrétisation spatiale appliquée aux transports. Actes du colloque ThéoQuant 2005, à paraître.

Audard F. (2004) L'optimisation du découpage spatial dans une problématique de transport. Actes du colloque Géopoint, la Forme en géographie, à paraître.

Audard F. (2004) Mobilité : de la norme comportementale aux pratiques singulières. Colloque Penser et agir, Besançon

Audard F. (2004) L'optimisation du découpage spatial pour l'organisation des modes de transport personnalisés. Colloque Mobilités et temporalités, Bruxelles

Audard F., Billet C. (2004) Comprendre les formes de mobilité classique, pour répondre aux formes de mobilité singulières. Colloque l'individu social, autre réalité, autre sociologie.

Bailly A., Beguin H. (1990) *Introduction à la géographe humaine.* Masson, Paris, 188 p.

Bailly J.-P. (2001) Nouveaux rythmes urbains: quels transports ? Rapport du conseil national des transports, Ed de l'Aube, 221 p.

Banos A. (2001) Le lieu, le moment, le mouvement. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 355 p.

Barbet A. (2002) Géographie des pratiques spatiales hospitalières dans la région Nord-Pas-de-Calais : un modèle gravitaire de calculs d'aires d'attractions hospitalières. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 652 p.

Bardy C. (2004) Le rôle de l'Etat dans le déroulement du processus de régionalisation. In *La revue générale des chemins de fer*, Delville, n° janvier, pp. 23 – 30.

Batty M., Torrens P-M. (2001) Modeling Complexity: The Limits to Prediction. In cybergeo, n° 201.

Baumstark L. (1998) Tarification de l'usage des infrastructures et théorie de l'allocation optimale des ressources de la logique des coûts à la révélation des préférences. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, 357 p.

Becker G-S. (1965) A theory of the allocation of time. In *The economic Journal,* pp 493 – 517.

Ben-Akiva M., Lerman S-R. (1991) Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. The MIT Press, Cambridge, 390 p.

Besse P. (2003) Modélisation statistique et apprentissage. Publications du laboratoire de statistique et probabilités, Université Paul Sabatier, 103 p.

Bhat C. (2001) Quasi-random maximum simulated likelihood estimation of the mixed multinomial logit model. In *Transportation research*, part B, vol. 35B, n° 7, pp. 677 - 693.

Birchenhall C. (1995) Modular technical change and genetic algorithms. In *Comutational Economics*, vol. 8, n° 3, pp. 233-253.

Blanchet A. (2005) *Les techniques d'enquête en sciences sociales: observer, interviewer, questionner.* Dunod, 197 p.

Bohr N. (1937) Causality and Complementarity. In *Philosophy of Science*, n° 4.pp 289 – 298.

Bolot J. (1999) Les algorithmes génétiques en géographie. Mémoire de DEA, Université de Franche-Comté, 10 p.

Bonnafous A. (1989) *Le siècle des ténèbres de l'économie*. Economica, 184 p.

Bonnafous A. (1993) Réseaux secondaires et transport intégré: promouvoir un aménagement du territoire équilibré. Actes du colloque ″perspectives de développement du territoire de la Grande Europe″, Dresde.

Bonnel P. (1993) Europe: des politiques de transports urbains très contrastées. In *Transports Urbains*, n° 81, pp. 5 - 15.

Bonnel P. (1995) An application of activity-based travel analysis to simulation of change in behaviour. In *Transportation*, vol. 22, n° 1-2, pp. 73 - 93.

Bonnel P. (2000) Une mesure dynamique des relations entre transports collectifs, étalement urbain et motorisation, le cas de Lyon, 1976-1995. In *Cahiers scientifiques du Transport*, n°38, pp. 19 - 44.

Brongniart P. (1971) *La Région en France*. A. Colin, 128 p.

Burlando C., Guihéry L. (2004) La régionalisation du transport ferroviaire régional de voyageurs: expériences françaises et italiennes. In *les cahiers scientifiques du transport*, n°45, pp. 125 - 154.

Burrell J-E. (1968) Multiple road assignment and its application to capacity restraint, in Leutzbach W and Baron P, Beiträge zur Theorie des Verkehrsflusses, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft, Karlsruhe. Cité dans LET, MVA, IMTrans, Formation à la modélisation des transports, PREDIT 2000.

Calio J., Meteyer J-C. (2001) Le modèle multimodal de transport intérieur à longue distance du SES: MODEV. Note de synthèse du SES, 8 p

Campagne P-Y. (2004) Du rapport Nora (1969) au rapport Haenel (1994).0 In *La revue générale des chemins de fer*, n° janvier, pp. 15 – 21.

Cantillo V., Heydecker B., De Dios Ortúzar J. (2006) A discrete choice model incorporating thresholds for perception in attribute values. In *Transportation Research*, part B: Methodological, vol. 40, Issue 9, pp. 807 - 825.

Carenco P. (2002) 40 ans de Chemins de fer Secondaires. In *La France vue du Rail*, dossier thématique.

Castel R. (2004) *La face cachée de l'individu hypermoderne, l'individu par défaut, in Aubert N*. L'individu hypermoderne, Erès, pp. 119 - 128.

Causse A. (1999) La valeur du temps de transport : de l'usage des théories micro-économiques de l'affectation du temps dans les modèles désagrégés aléatoires de transport. Thèse de doctorat à l'Université de Montpellier.

Cellier J-M., De Keiser V., Valot C. (1996) *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*, PUF, 313 p.

CEMAGREF (2006) Le modèle MODELIX: Comprendre des comportement globaux à partir de dynamiques individuelles. Dossier thématique.

Centre de prospective et de veille Scientifique de la direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques (1999) Mobilité et vie quotidienne: synthèse et questions de recherche. n° 48, 64p.

CERTU (1994) La desserte ferrée des zones urbaines et périurbaines. Tome 2: En Europe, la place de compagnies non conventionnelles. CERTU, 80 p.

CERTU (1998a) La mobilité régionale: le train et les autres modes de transport. Rapport d'étude, 251 p.

CERTU (1998b) L'enquête ménages déplacements ″méthodes standard″. CERTU, 295 p.

CERTU (1998c) Comportements de déplacement en milieu urbain: les modèles de choix discrets vers une approche désagrégée et multimodale. Dossier n° 81, CERTU, 132 p.

CERTU (2005) Information sur les déplacements multimodaux en Franche-Comté. Rapport d'étude, CERTU, 18 p.

CERTU, ENTPE. (2003) La régionalisation des transports ferroviaire. Rapport d'étude, Université Lumière Lyon, CERTU, 120 p.

CETUR (1990) Les études de prévision de trafic en milieu urbain. Guide technique, Bagneux, 79 p.

CES (Conseil Economique et Social) (2002) Plan de développement du transport régional de voyageurs. Rapport pour la région Lorraine, 59 p.

CESR (2002) Communication sur la convention Région-SNCF.

Chabrol M., Sarramia D. (2003) Modélisation hybride et simulation combinée des systèmes de trafic urbain. 4° conférence Francophone de modélisation et simulation, 7 p.

Chadule (groupe) (2001) *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*. Masson, 189 p.

Chapelon L. (1996) Modélisation multi-échelles des réseaux de transport : vers une plus grande précision de l'accessibilité. Mappemonde, n° 3, 9 p.

Chardonnel S. (1993) La géographie des espaces temps, études spatio-temporelle de la vie quotidienne d'une familles suédoise. In *L'Institut de géographie alpine*

Chardonnel S. (2001) dans model en analyse spatiale. Hermès, pp. 129 – 156.

Chardonnel S., Du Mouza C., Fauvet M.-C., Josselin D., Rigaux P. (2004) Patrons de mobilité: proposition de définition, de méthode de représentation et d'interrogation. Actes du colloque, Journées Cassini, 13 p.

Claval P. (1970) La géographie urbaine. In *La revue géographique de Montréal.*

Claval P. (1992) La géographie Historique de la France. In *La revue géographie et culture.* L'Harmattan, pp 196 – 214.

Conseil régional de Franche-Comté (2001) Rapport relatif à la convention d'organisation et de financement des transports régionaux de voyageurs. Rapport, 201 p.

Cornelis E., Luyckx A., Masquilier B. (2003) ATESAME: Another Traffic Equilibrium Software And Matrix Estimation. Manuel d'utilisation du logiciel ATES, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, rapport de recherche.

Courgeau D. (1988) *Méthodes de mesure de la mobilité spatiale: migrations internes, mobilité temporaire, navettes*. INED, 298 p.

Darwin C. (1876) *L'Origine des espèces: au moyen de la sélection naturelle ou la lutte pour l'existence dans la nature*. Reinwald, 610 p.

De la blache V. (1888) *Des divisions fondamentales du sol français*, bulletin littéraire, pp 49 – 57.

De la blache V. (1910) Région françaises. In *La revue de paris*, pp. 822 – 849.

De Palma A., Marchal F. (2004) Estimation of non-recurrent congestion using dynamic traffic simulations. In *Transportation Research Board*. 20 p.

De Serpa A-J. (1971) A theroy of economics of time. In *Economic journal*, vol. 81, pp. 828 - 845.

Deyon P. (1996) *L'état face au pouvoir local: un autre regard sur l'histoire de France.* Dexia, 243 p.

Deyon P, 2000, *La France et l'aménagement de son territoire : 1945-2015.* Dexia, 189 p.

Dial R-B. (1971) A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration. In *Transportation Research*, vol. 5, n° 2, pp. 83 - 112.

Direction de l'aménagement du territoire des Pays de la Loire (1999) Expérimentation de la régionalisation des transports régionaux de voyageurs. Bilan des exercices 1997 et 1998, 97 p.

Direction Régionale du Travail (2004) La modulation du temps de travail, Pratiques et limites, Conjoncture, n° 11, 8 p.

Dodge Y., Rousson V. (2004) *Analyse de régression appliquée*. Dunod, 279 p.

Donnadieu G., Karsky M., (2002*) La systémique, penser et agir dans la complexité*. Ed Liaisons, 269 p.

Duits E. J. (1999) *L'Homme réseau ; Penser et agir dans la complexité*. Chronique sociale.

Dupoirier E. (1998) *Régions, la croisée des chemins : perspectives françaises et enjeux européens*. Les presses de sciences po, 381 p.

Dupuis G. (1975) *Une technique de planification au service de l'automobile, les modèles de trafic urbain*. Copedith, Paris, 201 p.

Dupuy G. (1999) *La dépendance automobile*. Economica, 166 p.

Faivre E. (2003) Infrastructures autoroutiers mobilité et dynamique territoriales. Thèse de doctorat , université de Franche-Comté, 620 p.

Favre-Bulle E. (2004) Les aides publiques au transport régional de voyageurs. Notes de synthèse du SES, n° 155, 8 p.

Farley A-M., Jones S. (1994) Using a genetic algorithm to determine an index of leading economic indicators. In *Computational Economics*, vol. 7, n° 3. pp 163 – 173.

Flamm M. (2004) La signification des temps de déplacements: Une catégorisation qualitative (A qualitative characterization of the different uses of travel time). In *Recherche, transports, sécurité* n° 85, pp. 241 - 259.

Foulon C-L. (1975) *Le pouvoir en province à la libération.* Fondation Nationale des Sciences Politiques, 301 p.

Fourcade A. (2002) Premier bilan sur la régionalisation ferroviaire en Région Bourgogne. Rapport d'étude pour le conseil économique et social de la région Bourgogne, 19 p.

Gavini C. (2001) La métamorphose du travail, gagnants et perdants des 35 heures. Ed Liaisons, 126 p.

Gayda S. (1998) Préférences déclarées sur le choix de localisation résidentielle et le choix modal à Bruxelles. Congrès International Francophone de l'ATEC, 14 p.

GEIST (Groupe d'études interuniversitaires en sciences du travail) (2000) Temps de travail, temps de vie. Rapport de travail, Presses Universitaires de Strasbourg, 172 p.

GEODE (bureau d'étude) (1996) Proposition pour un schéma régional de transport multimodal. Rapport pour la région Pays de la Loire, 31 p.

GESMAD (2000) Evaluation des modèles de prévision de trafic, note de synthèse. Rapport pour le PREDIT, Paris, 125 p.

Girerd G. (2004) Analyse du comportement des pendulaires dans la perspective d'un report modal. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 382 p.

Goffe L., Ferrier G-D., Roger J. (1994) Global optimization of statistical functions with simulated annealing. In *Journal of Econometrics*, vol. 60, pp. 65 - 99.

Goldberg D. (1994) *Algorithmes génétiques: exploration, optimisation et apprentissage automatique*. Addison-Wesley éditions, 417 p.

Goujon S. (2004) Le transport ferroviaire en Europe, les étapes de la libéralisation. Notes de synthèse du SES, n° 151, 8 p.

GTMT (Groupe de Travail Modèles de trafic) (2001) Modélisation du trafic. INRETS, Actes du groupe de travail, 171 p.

Guidez J-M. (2002) *La Mobilité urbaine en France*. CERTU, 103 p.

Guihéry L. (2003) Le réseau ferroviaire du monopole naturel à la régionalisation. In *région et développement*, n° 18, pp. 172 – 189.

Guihéry L., Perez M. (1998) Régionalisation du transport ferroviaire régional du voyageur. In *Les cahiers scientifiques du transport,* n° 33, pp. 147 – 180.

Haenel H., Gerbaud F. (2003) Fret ferroviaire français : la nouvelle bataille du rail. Rapport de mission ministérielle, 42 p.

Halleux J-M. (2001) Evolution des organisations urbaines et mobilités quotidienne. In *L'espace géographique*, n° 1, pp. 67 – 80.

Hammadou H., Jayet H. (2002) La valeur du temps pour les déplacements à longue distance: une évaluation sur données françaises. In *les cahiers scientifiques du transport*, n° 42, pp. 3 - 23.

Heurgon E. (2001) Face aux nouveau rythme urbain : quels services à la mobilité et à l'accessibilité ? Rapport de la RATP, 12 p.

Hilal M., Sencébé Y. (2002) Mobilités quotidiennes et urbaines suburbaine. In *Revue Espaces et Sociétés,* n° spécial, 21 p.

Hivert L., Orfeuil J-P., Troulay P. (1988) Modèles désagrégées de choix modal: réflexions méthodologiques autour d'une prévision de trafic. INRETS, rapport n° 67, Arcueil, 65 p.

Horowitz A-J. (1993) *Reference Manual, Quick Reference System II for windows, version 3.6*, Centre for transportation studies, University of Wisconsin, Milwaukee, 207 p. cité dans [LET, MVA, IMTrans, 2000]

Houée M., De Jong G., Jiang F. (2002) Modélisation du choix modal en transport de marchandises à partir de la combinaison de données en préférences révélées et déclarées. Note de synthèse du SES, 8 p.

Huet S. (2005) Modélisation et exploration des modèles: modèle individus-centré versus modèle agrégé. Mémoire d'ingénierie, Laboratoire d'ingénierie pour les systèmes complexes, 148 p.

Jarosson B. (2004) *Briser la dictature du temps, comprendre ce qu est le temps pour mieux le vivre*. Maxima Ed, 236 p.

Javeau C. (1985) *L'enquête par questionnaire - manuel à l'usage des praticiens*. Editions de l'Université de Bruxelles, 138 p.

Joly I. (2005) L'allocation du temps au transport – De l'observation internationale des budgets temps de transport aux modèles de durées. Thèse de doctorat de sciences économiques, Université de Lyon 2.

Josselin D., Bolot J., Chatonnay P. (2000) Optimisation de découpages territoriaux. In *Revue de géomatique*, pp. 383 – 409.

Julienne C. (2002) *Le rail et la route : pour une nouvelle économie des transports.* Les Belles Lettres, 350 p.

Kaufmann V., Guidez J-M. (1996) Les citadins face à l'automobilité – les déterminants du choix modal. Rapport du FIER, n° 19.

La vie du Rail n° 2928. 7 janvier 2004.

LaSUR (2003) Programme de recherche du laboratoire de Sociologie Urbaine.

Le Breton E. (2005) *Bouger pour s'en sortir : mobilité quotidienne et intégration sociale*. Armand Colin, 247 p.

Le Moigne J.L. (1984) *La théorie du système général, théorie de la modélisation*. PUF, 330 p.

Le Nir M. (1991) Les modèles de prévision de déplacements urbains. Thèse de doctorat Université Lyon II, 313 p.

Lebart L., Morineau A., Piron M. (2000) *Statistique exploratoire multidimensionnelle*.Ed Dunod, 439 p.

LET, MVA, IMTrans (2000) Formation à la modélisation des transports. Rapport PREDIT.

Leveque J. (2003) Quelle stratégie politique y a-t-il derrière la création d'un fond d'intervention pour les grandes lignes ferroviaires déficitaires ? In *Transports,* n° 422 novembre/décembre.

Lewis P. (2003) La planification des transports : enjeux et défis, présentation devant l'AQTR. Colloque La planification des personnes et des marchandises: nouveaux cadres, nouveaux enjeux, 18 p.

Lichère V., Raux C. (1997) Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Guide de l'utilisateur. SEMALY, LET, 33 p.

Macherey P., Comte A.(1989) *La philosophie et les sciences*. PUF. 125 p.

Madre J-L. (2002) Pour un suivi temporel et spatial des comportements. Acte des journées de Méthodologie Statistique, Insee Méthode.

Madre J-L., Maffre J. (1997) La mobilité des résidants français: panorama général et évolution. In *Recherche transports et sécurité*, Elsevier, n° 56, pp. 9 - 26.

Magnin V. (2006) *Optimisation et algorithmes génétiques*. IEMN (Electronic, Microelectronic and Nanotechnology Institue).

Marithon H. (2004) Propos recueillis par Nicolas Lecaussin. Entretien dans société civil, SNCF, transports publics et autres, n° 39, pp.18.

Masroor H. (1999) Evaluation of ramp control algorithms using a microscopic traffic simulation laboratory, MITSIM, 80 p.

Massot M-H., Orfeuil J-P. (1989) Offre et demande de transport en commun dans les villes françaises sans métro - Usages et usagers des services de transport en commun urbain. Rapport n 100, premier tome. Arcueil: INRETS, 63 p.

Mathieu R. (2004) Le réseau ferré franc-comtois. Mémoire de maîtrise, Université de Besançon. 138 p.

Mc Fadden D. (2002) The Path to Discrete-Choice Models. In *Transportation research at the University of California*, pp. 2 - 7.

Meersman H. (2005) Découplage du transport de marchandises et de l'activité économique: réalisme ou utopie ? In16e Symposium international sur la théorie et la pratique dans l'économie des transports: 50 ans de recherche en économie des transports: l'expérience acquise et les grands enjeux, CEMT, p. 9 - 35.

Mendel G. (1979) *Quant plus rien ne va de soi.* Robert Laffont, 258 p.

Merlin P. (1994) *Les transports en France.* La direction de la documentation française, 176 p.

Mignot D. (2003) Inégalités de déplacement et équité sociale, la donne. In PREDIT, GART, CERTU, http://www.innovations-transports.fr/

MIIAT (Mission interministérielle et interrégionale d'aménagement du territoire) (2002) *Le grand Est.* La documentation française, 160 p.

Montulet B., Kaufmann V. (2004) *Mobilités, fluidité…libertés ?* Publication des Facultés Universitaires Saint-Louis Bruxelles, 310 p.

Montulet B. (2005) Au-delà de la mobilité, des formes de mobilité. In *Cahiers internationaux de sociologie*, vol. 118, pp. 137 - 159.

Mothé D. (1999) *Le temps libre contre la société*. Normandie roto impr, 110 p.

Orfeuil J-P. (1996) *Les coûts externes de la circulation routière*. INRETS, Arceuil, 103 p.

Orfeuil J-P (2001) *L'évolution de la mobilité quotidienn: comprendre les dynamiques, éclairer les controverses.* Publications de l'INRETS, 146 p.

Orfeuil J-P. (2002) Etat des lieux des recherches sur la mobilité quotidienne en France, dans *L'accès à la ville, les mobilités spatiales en question*. (dir. par Lévy J. P. Dureau F.), l'Harmattan, pp. 65 – 99.

Ouvrage commun. (2001) Etude rétrospective et prospective des étudiants de la société française (1950 2030). Futuribles.

Ouvrage commun. (1997) Regard sur la régionalisation des réseaux dans le monde. In *Revue générale des chemins de fer*, n° 4.

Passé-present. (2004) La régionalisation: un retour aux sources du réseau français ? In *Revue générale des chemins de fer*, avril.

Pezzoli F. (2001) Processus d'évaluation dans le stationnement automobile à domicile. 5e rencontre de ThéQuant, Besançon.

Piercy P. (2000) *Le fait régional.* Hachette, 287 p.

Pini G. (1992) *L'interaction spatiale*. In *Encyclopédie de Géographie* (Bailly, Ferras, Pumain), Economica, pp. 557 - 576.

Plassard F. (2003) *Transport et territoire*. La direction de la documentation française, 97 p.

Plassard F. (1994) Le transport à grande vitesse et le développement régional. CEMT, In *table ronde "*Politiques régionales, réseaux de transport et communications", Paris.

PREDIT (groupe de définition) (2000) Actions fédératives intermodalité-voyageurs / information-communication. Rapport final, 63 p.

Pronovost G., Mercure D. (1999) Temps et société. Institut québécois de recherche sur la culture, 258 p.

Quandt R-E., Baumol W-J. (1966) The demand for abstract transport modes: theory and measurement. In *Journal of Regional Science*, vol. 6, n° 2, pp. 13 - 26.

Risser R. (1999/2001) Aspect de la psychologie du trafic à l'aube du troisième millénaire. EFPPA (fédération européenne des associations professionnel des psychologues), séminaire INRETS, 22 p.

Rolland-May C., Prosic M. (1996) Régionalisation d'espaces géographiques imprécis et incertains définis par des variables qualitatives. In *revue géographique de l'Est*, pp. 213 – 277.

Rosenfeld L. (1974) article Bohr (Niels). Encyclopaedia Universalis.

Samuel P. (2000) *Michel Debré, L'architecte du Général*. Préface d'Alain Peyrefitte, Franel, 415 p.

SEMALY (2000) TERESE, Modèle d'affectation de voyageurs dans les études de transport collectif. ENTPE, document pédagogique.

Small K.A. (1982) The Scheduling of Consumer Activities: Work Trips. In *American Economic Review*, n° 3, pp. 467 - 479.

SRIT (Schéma Régional des infrastructures et des transports) (2005) Conseil Régional de Franche-Comté, Rapport d'étude.

Swait J. (2001) Choice set generation within the generalized extreme value family of discrete choice models. In *Transportation Research Part B*, vol. 35, pp. 643 – 666.

Swait J., Bernardino A. (2000) Distinguishing taste variation from error structure in discrete choice data ARTICLE *Transportation Research Part B: Methodological,* vol. 34, Issue 1, pp. 1 - 15.

Talbot J. (2001) Les déplacements domicile-travail. INSEE, études territoriales, n° 767, 4 p.

Thévenin T. (2002) Quand l'information géographique se met au service des transports publics urbains. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 261 p.

Tomassone R., Audrain S., Lesquoy-de Turckheim E., Millier C. (1983) *La régression: nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique*, Masson, 188 p.

Troin J-F. (1995) Rail et aménagement du territoire : des héritages aux nouveaux défis. Edisud, 261 p.

Turchin P., Ellner S. (2000) Living on the edge of chaos: population dynamics of fennoscandian voles. In *Ecology*, n° 81, pp. 3099 – 3116.

Vagnon H. (2000) *La chasse à la bagnole*. Harmattan, 95 p.

Wamer S-L (1962) Stochastic Choice Of Mode. In *Urban Travel: A Study of Binary Choice*, Northwestern University Press.

Wen C-H., Koppelman F-S. (2001) The generalized nested logit models. In *Transportation Research*, part B, vol. 35B, n° 7, pp. 627 - 641.

Wiel M. (1999) Forme et intensité de la périurbanisation, aptitude à la canaliser. Rapport pour la DRAST, programme Prédit, 74 p.

Wiel M. (2002) *Ville et automobile*. Descartes&Cie, 140 p.

Woessner R. (2004) Le grand Est français, une région incomplète. In *Les cahiers scientifiques du transport*, n° 46, pp. 45 – 62.

Yang Q., Ben-Akiva M., Koutsopoulos H., Mishalani R. (1997) Simulation Laboratory for Evaluating Dynamic Traffic Management Systems. In *Journal of Transportation Engineering*, vol. 123, n° 4, pp. 283 - 289.

Yang Q., Koutsopoulos H. (1996) A microscopique traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems. In *Transportation Research,* part C, Emerging Technologies, vol. 4 issue 3, pp. 113 - 179.

Zahavi Y., Talvitie A. (1980) Regularities in Travel Time and Money Expenditures. In *Transportation research Record*, n° 750, pp. 13 - 19.

Zhang C., Mercier S., Bonnel P., Clément L., Morain J-E. (2001) Définition d'une typologie de la mobilité adaptée à la modélisation de la demande. Rapport pour la DRAST, programme de recherche Prédit, partie 1, 114 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Description des fichiers communes mobilités

Annexe 2 : Questionnaire de l'enquête TER de la Région de Franche-Comté

Annexe 3 : Principes théoriques de la méthode des centres mobiles

Annexe 4 : Valeur du seuil de significativité

ANNEXE 1

Description des fichiers communes mobilités

Domicile étude selon age et sexe

entre le lieu de domicile et le lieu d'études selon les variables suivantes :
– CODGEO_A : Code géographique de la commune de sortie.
– CODGEO_B : Code géographique de la commune d'entrée.
– LIBGEO_B : Nom de la zone d'entrée.
– EENS_S : Total sortant de A vers B.
– E0305_S : Ensemble des sorties d'enfants de 3 à 5 ans de la zone A vers B.
– E0611_S: Ensemble des sorties d'enfants de 6 à 11 ans de la zone A vers B.
– E1218_S: Ensemble des sorties de 12 à 18 ans de la zone A vers B.
– E1924_S: Ensemble des sorties de 19 à 24 ans de la zone A vers B.
– E25PL_S: Ensemble des sorties des plus de 25 ans de la zone A vers B.
– HENS_S : Hommes sortants de A vers B.
– H0305_S : Hommes sortants de 3 à 5 ans de la zone A vers B.
– H0611_S: Hommes sortants de 6 à 11 ans de la zone A vers B.
– H1218_S: Hommes sortants de 12 à 18 ans de la zone A vers B.
– H1924_S: Hommes sortants de 19 à 24 ans de la zone A vers B.
– H25PL_S: Hommes sortants des plus de 25 ans de la zone A vers B.
– FENS_S : Femmes sortants de A vers B.
– F0305_S : Femmes sortants de 3 à 5 ans de la zone A vers B.
– F0611_S: Femmes sortants de 6 à 11 ans de la zone A vers B.
– F1218_S: Femmes sortants de 12 à 18 ans de la zone A vers B.
– F1924_S: Femmes sortants de 19 à 24 ans de la zone A vers B.
– F25PL_S: Femmes sortants des plus de 25 ans de la zone A vers B.
– EENS_S : Total entrant de A vers B.
– E0305_S : Ensemble des entrées d'enfants de 3 à 5 ans de la zone A vers B.
– E0611_S: Ensemble des entrées d'enfants de 6 à 11 ans de la zone A vers B.
– E1218_S: Ensemble des entrées de 12 à 18 ans de la zone A vers B.
– E1924_S: Ensemble des entrées de 19 à 24 ans de la zone A vers B.
– E25PL_S: Ensemble des entrées des plus de 25 ans de la zone A vers B.
– HENS_S : Hommes entrants de A vers B.
– H0305_S : Hommes entrants de 3 à 5 ans de la zone A vers B.
– H0611_S: Hommes entrants de 6 à 11 ans de la zone A vers B.
– H1218_S: Hommes entrants de 12 à 18 ans de la zone A vers B.
– H1924_S: Hommes entrants de 19 à 24 ans de la zone A vers B.
– H25PL_S: Hommes entrants des plus de 25 ans de la zone A vers B.
– FENS_S : Femmes entrants de A vers B.

– F0305_S : Femmes entrants de 3 à 5 ans de la zone A vers B.
– F0611_S: Femmes entrants de 6 à 11 ans de la zone A vers B.
– F1218_S: Femmes entrants de 12 à 18 ans de la zone A vers B.
– F1924_S: Femmes entrants de 19 à 24 ans de la zone A vers B.
– F25PL_S: Femmes entrants des plus de 25 ans de la zone A vers B.

Domicile travail selon âge et sexe

entre le lieu de domicile et le lieu de travail.
– CODGEO_A : Code géographique de la commune de sortie.
– CODGEO_B : Code géographique de la commune d'entrée.
– LIBGEO_B : Nom de la zone d'entrée.
– ETOTAL_S: Total sortant de A vers B.
– E1519_S : Ensemble des sorties de A vers B pour les 15-19 ans.
– E2029_S : Ensemble des sorties de A vers B pour les 20-29 ans.
– E3049_S : Ensemble des sorties de A vers B pour les 30-49 ans.
– E50PL_S : Ensemble des sorties de A vers B pour les 50 et plus.
– HTOTAL_S: Total hommes sortants de A vers B.
– H1519_S : Hommes sortants de A vers B pour les 15-19 ans.
– H2029_S : Hommes sortants de A vers B pour les 20-29 ans.
– H3049_S : Hommes sortants de A vers B pour les 30-49 ans.
– H50PL_S : Hommes sortants de A vers B pour les 50 et plus.
– FTOTAL_S: Total femmes sortant de A vers B.
– F1519_S : Femmes sortants de A vers B pour les 15-19 ans.
– F2029_S : Femmes sortants de A vers B pour les 20-29 ans.
– F3049_S : Femmes sortants de A vers B pour les 30-49 ans.
– F50PL_S : Femmes sortants de A vers B pour les 50 et plus.
– ETOTAL_E: Total entrant de B vers A.
– E1519_E : Ensemble des entrées de B vers A pour les 15-19 ans.
– E2029_E : Ensemble des entrées de B vers A pour les 20-29 ans.
– E3049_E : Ensemble des entrées de B vers A pour les 30-49 ans.
– E50PL_E : Ensemble des entrées de B vers A pour les 50 et plus.
– HTOTAL_E: Total hommes entrants de B vers A.
– H1519_E : Hommes entrants de B vers A pour les 15-19 ans.
– H2029_E : Hommes entrants de B vers A pour les 20-29 ans.
– H3049_E : Hommes entrants de B vers A pour les 30-49 ans.
– H50PL_E : Hommes entrants de B vers A pour les 50 et plus.
– FTOTAL_E: Total femmes entrant de B vers A.
– F1519_E : Femmes entrants de B vers A pour les 15-19 ans.
– F2029_E : Femmes entrants de B vers A pour les 20-29 ans.

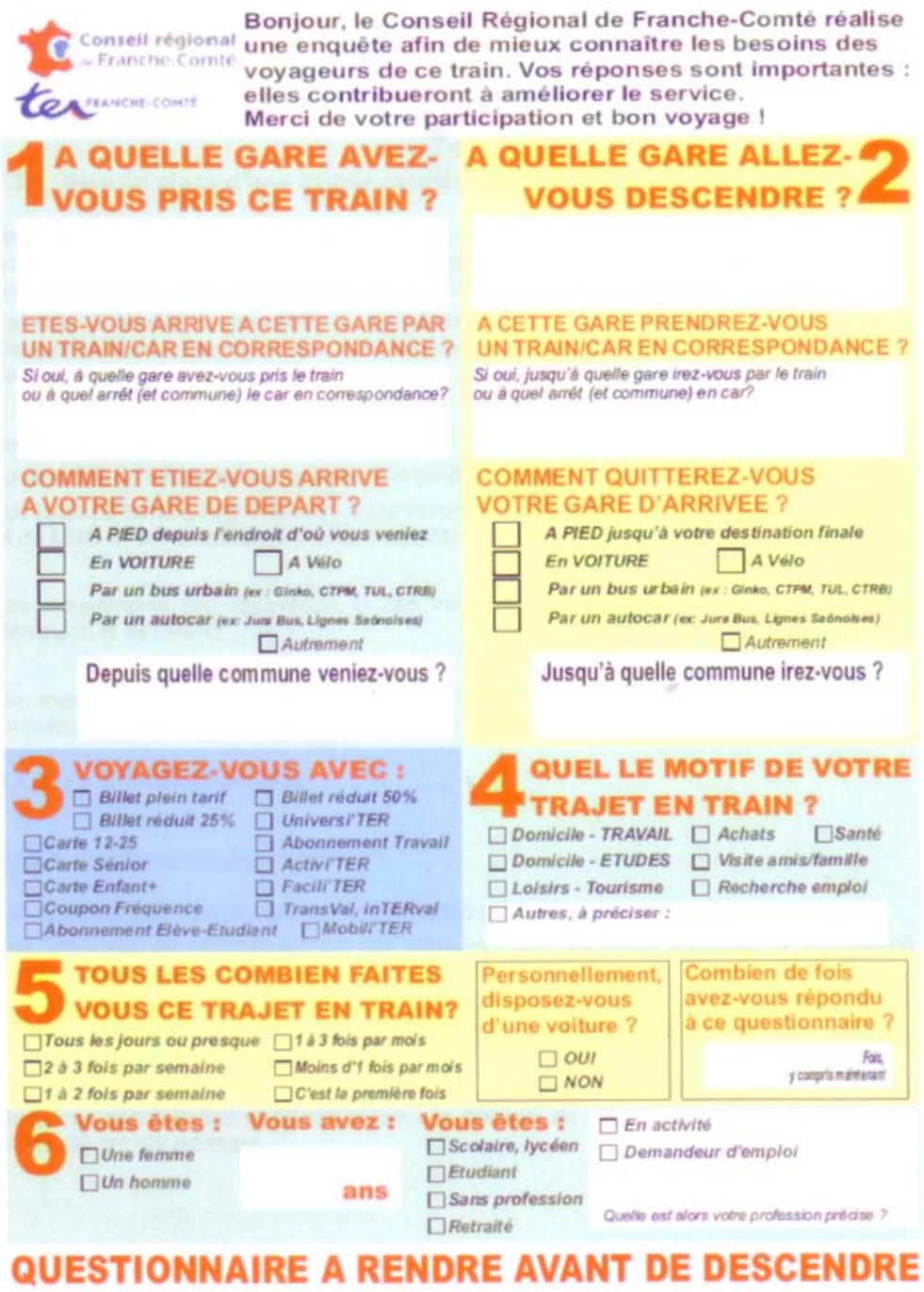
– F3049_E : Femmes entrants de B vers A pour les 30-49 ans.
– F50PL_E : Femmes entrants de B vers A pour les 50 et plus.

Domicile travail selon moyens de transport

– CODGEO_A : Code géographique de la commune de sortie.
– CODGEO_B : Code géographique de la commune d'entrée.
– LIBGEO_B : Nom de la zone d'entrée.
– EAAETR_S : Hommes sortants de A vers B.
– PTRANS_S : Personnes sans transport.
– PIED_S : Marche à pied.
– TRANS1_S : Un seul mode de transport.
– TR2ROU_S : Deux roues uniquement.
– TRVOIT_S : Voiture particulière uniquement.
– TRCOM_S : Transport en commun uniquement.
– XTRANS_S : Plusieurs modes de transport.
– EAAETR_E : Hommes sortants de B vers A.
– PTRANS_E : Personnes sans transport.
– PIED_E : Marche à pied.
– TRANS1_E : Un seul mode de transport.
– TR2ROU_E : Deux roues uniquement.
– TRVOIT_E : Voiture particulière uniquement.
– TRCOM_E : Transport en commun uniquement.
– XTRANS_E : Plusieurs modes de transport.

ANNEXE 2

Questionnaire de l'enquête TER de la Région de Franche-Comté



Conseil régional de Franche-Comté

ter FRANCHE-COMTÉ

Bonjour, le Conseil Régional de Franche-Comté réalise une enquête afin de mieux connaître les besoins des voyageurs de ce train. Vos réponses sont importantes : elles contribueront à améliorer le service.
Merci de votre participation et bon voyage !

1 A QUELLE GARE AVEZ-VOUS PRIS CE TRAIN ?

A QUELLE GARE ALLEZ-VOUS DESCENDRE ? 2

ETES-VOUS ARRIVE A CETTE GARE PAR UN TRAIN/CAR EN CORRESPONDANCE ?
Si oui, à quelle gare avez-vous pris le train ou à quel arrêt (et commune) le car en correspondance?

A CETTE GARE PRENDREZ-VOUS UN TRAIN/CAR EN CORRESPONDANCE ?
Si oui, jusqu'à quelle gare irez-vous par le train ou à quel arrêt (et commune) en car?

COMMENT ETIEZ-VOUS ARRIVE A VOTRE GARE DE DEPART ?
- ☐ A PIED depuis l'endroit d'où vous veniez
- ☐ En VOITURE ☐ A Vélo
- ☐ Par un bus urbain (ex : Ginko, CTPM, TUL, CTRB)
- ☐ Par un autocar (ex: Jura Bus, Lignes Saônoises)
- ☐ Autrement

Depuis quelle commune veniez-vous ?

COMMENT QUITTEREZ-VOUS VOTRE GARE D'ARRIVEE ?
- ☐ A PIED jusqu'à votre destination finale
- ☐ En VOITURE ☐ A Vélo
- ☐ Par un bus urbain (ex : Ginko, CTPM, TUL, CTRB)
- ☐ Par un autocar (ex: Jura Bus, Lignes Saônoises)
- ☐ Autrement

Jusqu'à quelle commune irez-vous ?

3 VOYAGEZ-VOUS AVEC :
- ☐ Billet plein tarif
- ☐ Billet réduit 25%
- ☐ Billet réduit 50%
- ☐ Universi'TER
- ☐ Carte 12-25
- ☐ Carte Sénior
- ☐ Carte Enfant+
- ☐ Coupon Fréquence
- ☐ Abonnement Elève-Etudiant
- ☐ Abonnement Travail
- ☐ Activi'TER
- ☐ Facili'TER
- ☐ TransVal, inTERval
- ☐ Mobili'TER

4 QUEL LE MOTIF DE VOTRE TRAJET EN TRAIN ?
- ☐ Domicile - TRAVAIL
- ☐ Achats
- ☐ Santé
- ☐ Domicile - ETUDES
- ☐ Visite amis/famille
- ☐ Loisirs - Tourisme
- ☐ Recherche emploi
- ☐ Autres, à préciser :

5 TOUS LES COMBIEN FAITES VOUS CE TRAJET EN TRAIN?
- ☐ Tous les jours ou presque
- ☐ 2 à 3 fois par semaine
- ☐ 1 à 2 fois par semaine
- ☐ 1 à 3 fois par mois
- ☐ Moins d'1 fois par mois
- ☐ C'est la première fois

Personnellement, disposez-vous d'une voiture ?
- ☐ OUI
- ☐ NON

Combien de fois avez-vous répondu à ce questionnaire ?
Fois, y compris maintenant

6 Vous êtes :
- ☐ Une femme
- ☐ Un homme

Vous avez : ans

Vous êtes :
- ☐ Scolaire, lycéen
- ☐ Etudiant
- ☐ Sans profession
- ☐ Retraité
- ☐ En activité
- ☐ Demandeur d'emploi

Quelle est alors votre profession précise ?

QUESTIONNAIRE A RENDRE AVANT DE DESCENDRE

ANNEXE 3

Principes théoriques de la méthode des centres mobiles

La méthode des centres mobiles est une méthode de classification des données couramment utilisée pour le traitement de vastes recueils de données. « Produisant des partitions des ensembles étudiés, elle est utilisée aussi bien comme technique de description et d'analyse que comme technique de réduction, généralement en association avec des analyses factorielles et d'autres méthodes de classification » [Lebart et al, 2000]. Cette méthode est en réalité un cas particulier des techniques de nuées dynamiques.

La méthode des centres mobiles est basée sur un algorithme construit sur différentes étapes. Chacune de ces étapes est basée sur *n* individus à partitionner appartenant à l'ensemble *I*.

« **- Etape 0** :

On détermine *q* centres provisoires de classes (par exemple, par tirage pseudo aléatoire sans remise de *q* individus dans la population à classifier […]). Les *q* centres :

$$\left\{C_1^0,...,C_k^0,...,C_q^0\right\}$$

induisent une première partition P^0 de l'ensemble des individus *I* en *q* classes :

$$\left\{I_1^0,...,I_k^0,...,I_q^0\right\}$$

Ainsi l'individu *i* appartient à la classe I_k^0 s'il est plus proche de C_k^0 que tous les autres centres.

- Etape 1 :

On détermine *q* nouveaux centres de classes :

$$\left\{C_1^1,...,C_k^1,...,C_q^1\right\}$$

en prenant les centres de gravité des classes qui viennent d'être obtenues :

$$\left\{I_1^0,...,I_k^0,...,I_q^0\right\}$$

Ces nouveaux centres induisent une nouvelle partition P^1 de *I* construite selon la même règle que pour P^0.

La partition P^1 est formée des classes notées :

$$\left\{I_1^1,...,I_k^1,...,I_q^1\right\}$$

- Etape *m* :

On détermine *q* nouveaux centres de classes :

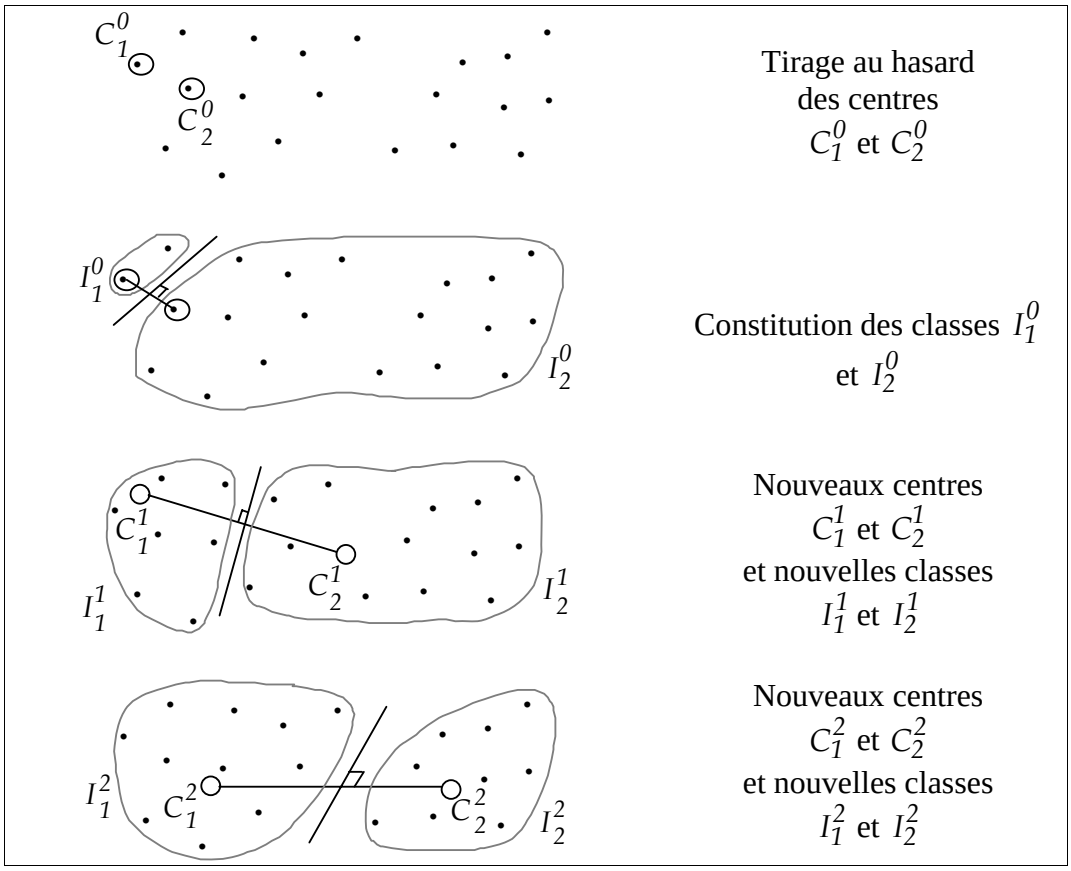
$$\left\{C_1^m,...,C_k^m,...,C_q^m\right\}$$

en prenant les centres de gravité des classes qui ont été obtenues lors de l'étape précédente,

$$\left\{I_1^{m-1},...,I_k^{m-1},...,I_q^{m-1}\right\}$$

Ces nouveaux centres induisent une nouvelle partition P^m de I formée des classes :

$$\left\{I_1^{m},...,I_k^{m},...,I_q^{m}\right\}$$ » [Lebart et al, 2000]



Etapes de l'algorithme des centres mobiles

L'algorithme s'arrête lorsque le phénomène se stabilise et des itérations successives conduisent à la même partition. On peut également faire le choix d'arrêter l'algorithme lorsque la variance intra classe cesse de décroître de façon sensible ou à un nombre d'itérations prédéfini.

ANNEXE 4

Valeur du seuil de significativité

Pour que le résultat d'un test soit significatif, F calculé doit dépasser F lu dans la table pour le risque d'erreur de 5%.

V_1 / V_2	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	238,9	243,9	249,0	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,90	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,61	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,42	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,29	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,55	2,38	2,19	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,15	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,48	2,31	2,11	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,36	2,18	1,98	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,16	1,96	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,32	2,15	1,95	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,30	2,13	1,93	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,29	2,12	1,91	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,28	2,10	1,90	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,79	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,92	1,70	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,01	1,83	1,61	1,25
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,52	1,00

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 *: L'évolution des déplacements* 24
Tableau 2 *: Evolution de la motorisation des ménages*.....25
Tableau 3 *: Les types de mobilité comportementaux*.....34
Tableau 4 *: L'intensité des échanges domicile – travail entre les différents ensembles de la Région Franche-Comté et ses espaces frontaliers* 77
Tableau 5 *: Variables explicatives de la génération des déplacements* 96
Tableau 6 *: Nombre de déplacements attirés selon les caractéristiques de la zone*.....97
Tableau 7 *: Nombre de déplacements émis selon le revenu ou la motorisation de la zone* 98
Tableau 8 *:Linéarisation des fonctions* 102
Tableau 9 *: Contrainte aux marges de la distribution de trafic* 130
Tableau 10 *: Analyse factorielle à partir des variables explicatives de la mobilité quotidienne* 149
Tableau 11 *: Modèle de régression pour les émissions liées au motif travail*.....158
Tableau 12 *: Modèle de régression pour les attractions liées au motif travail*.....162
Tableau 13 *: Modèle de régression pour les émissions liées au motif études* 163
Tableau 14 *: Modèle de régression pour les attractions liées au motif études* 164
Tableau 15 *: Modèle de régression pour les émissions liées au motif achats*.....166
Tableau 16 *: Modèle de régression pour les attractions liées au motif achats* 167
Tableau 17 *: Modèle de régression pour les émissions liées au motif loisirs* 169
Tableau 18 *: Modèle de régression pour les attractions liées au motif loisirs*.....170
Tableau 19 *: Modèle de régression pour les émissions liées au motif visite*.....172
Tableau 20 *: Modèle de régression pour les attractions liées au motif visite* 173
Tableau 21 *: Modèle de régression pour les émissions liées au motif santé*.....174
Tableau 22 *: Modèle de régression pour les attractions liées au motif santé* 176
Tableau 23 *: Valeur du temps en fonction du mode et du motif* 193

TABLE DES FIGURES

Figure 1 *: L'extension du champ des déplacements quotidiens* 24
Figure 2 *: Time-geography :les différentes prises en compte du temps* 26
Figure 3 *: Le cercle vicieux de l'Automobile* 34
Figure 4 *: Processus d'individuation par la mobilité* 35
Figure 5 *:La discrimination spatiale de l'évolution de la mobilité quotidienne* 37
Figure 6 *: Les vingt et une Régions de programme* 41
Figure 7 *: Les provinces françaises* 44
Figure 8 *: Trame principale du réseau ferré français actuel* 45
Figure 9 *: Le réseau TGV français à l'horizon 2025* 47
Figure 10 *: Le réseau ferré français lors de son extension maximale et son découpage en six compagnies* 49
Figure 11 *: Organisation financière et de gestion du transport ferroviaire français* . 57
Figure 12 *: Le découpage du territoire français : la confrontation des régions administratives et des régions SNCF* 61
Figure 13 *: L'évolution du trafic TER* 64
Figure 14 *: La Franche-Comté en Europe* 71
Figure 15 *: Les espaces fonctionnels du Grand Est* 73
Figure 16 *: Organisation de l'espace franc-comtois face aux aires d'influence des métropoles environnantes* 77
Figure 17 *: Concepts d'émissions et attractions* 88
Figure 18 *: Déplacement, chaîne de déplacements et sortie* 90
Figure 19 *: Les méthodes de calcul des déplacements* 93
Figure 20 *: Principe de régression du modèle catégoriel* 100
Figure 21 *: Fonctions linéarisables* 101
Figure 22 *: Illustration de la forme générique des courbes de partage modal* 120
Figure 23 *: Cohérences de réponses et fréquentation du service enquêté* 146
Figure 24 *: analyse comparative des fréquentations et cohérence des réponses de début et milieu de semaine* 147
Figure 25 *: Evolution du degré de cohérence moyen pondéré par la fréquentation au cours de la journée* 148
Figure 26 *: Typologie des communes franc-comtoise en fonction de leur comportement de mobilité* 150

Figure 27 *: Validation du modèle* E_{Trav} *(logarithme des valeurs) par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 161
Figure 28 *: Validation du modèle* E_{Trav} *(valeurs réelles) par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 161
Figure 29 *: Validation du modèle* A_{Trav} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 162
Figure 30 *: Validation du modèle* E_{Etu} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 164
Figure 31 *: Validation du modèle* A_{Etu} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 165
Figure 32 *: Validation du modèle* E_{Achat} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 166
Figure 33 *: Validation du modèle* A_{Achat} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 168
Figure 34 *: Validation du modèle* E_{Lois} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 170
Figure 35 *: Validation du modèle* A_{Lois} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 171
Figure 36 *: Validation du modèle* E_{Visi} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 172
Figure 37 *: Validation du modèle* A_{Visi} *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 173
Figure 38 *: Validation du modèle* $E_{Santé}$ *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 175
Figure 39 *: Validation du modèle* $A_{Santé}$ *par le croisement des flux prédits avec les flux observés* 176
Figure 40 *: Zonage établi sur le principe de l'optimum local* 195
Figure 41 *: Devise Shadok n°2* 198
Figure 42 *: Le principe itératif d'un algorithme évolutionnaire* 199
Figure 43 *: Les quatre niveaux d'organisation d'un algorithme évolutionnaire* 200
Figure 44 *: Le principe du croisement* 202
Figure 45 *: Test des paramètres, la convergence de l'algorithme génétique* 208
Figure 46 *: Aires de rabattement autour des points TER pour l'indice de rabattement seul* 209
Figure 47 *: Aires de rabattement autour des points TER pour l'indice de rabattement et l'indice global* 210
Figure 48 *: Aires de rabattement autour des points TER pour l'indice de rabattement et l'indice de parking* 212
Figure 49 *: Aires de rabattement autour des points TER pour l'indice de rabattement, l'indice de parking et l'indice global* 213
Figure 50 *: Croisement des montées-descentes prédites et réelles, échelle logarithmique* 218
Figure 51 *: Croisement des montées-descentes prédites et réelles* 218
Figure 52 *: Evolis : un service de transport en convergence divergence unipolaire* 224
Figure 53 *: Service de transport en convergence divergence unipolaire mobile* 225
Figure 54 *: Exemple d'aires de rabattement floues pour six gares du Doubs* 226

INTRODUCTION GENERALE 9

PREMIERE PARTIE
Analyse des périmètres régionaux dans la mobilité quotidienne 15

Introduction de la première partie 17

Chapitre 1
De la mobilité locale à la mobilité régionale 19

1. Nouvelle physionomie de la mobilité quotidienne 21
   1.1. L'émergence de nouveaux besoins 21
   1.2. L'accès grandissant à l'automobile, clé d'une échelle régionale de la mobilité 23

2. Les nouvelles pratiques temporelles : vers une plus grande diversité des types de comportements 28
   2.1. La désynchronisation des temps d'activité 28
   2.2. La cause de cette désynchronisation 29

3. De nouvelles temporalités conduisant à de nouveaux types de mobilité 31
   3.1. L'émergence de nouveaux comportements de groupe 32
   3.2. De nouvelles mobilités inégalement réparties spatialement 35

Conclusion 38

Chapitre 2
La Région administrative et la gestion des transports 39

1. La Région administrative, un cadre institutionnel en dehors des réalités de gestion de la mobilité quotidienne 40
   1.1. Le processus de régionalisation 40
   1.2. La problématique de délimitation d'espaces régionaux 42

2. La décentralisation et les transports 45
   2.1. La gestion des transports ferroviaires régionaux avant la décentralisation 48
   2.2. La décentralisation des transports ferroviaires 52
   2.3. Le transfert de compétences aux régions : la loi SRU 55

Conclusion 57

Chapitre 3
Analyse critique de la Région administrative en tant qu'autorité organisatrice des transports 59

1. Analyse critique du niveau d'échelle de gestion de la mobilité quotidienne.....60
1.1. L'échelle régionale, échelle de la mobilité quotidienne 60
1.2. La gestion de la mobilité quotidienne dans la problématique des réseaux de transports.....62
1.3. L'importance grandissante du transport ferroviaire régional.....63

2. Les choix de gestion de nos voisins européens.....65
2.1. Le fédéralisme allemand.....65
2.2. Le libéralisme anglais 67

3. Etude d'une délimitation possible de la région de transport franc-comtoise 70
3.1. Le Grand Est : une marge stratégique.....70
3.2. Proposition d'une structuration territoriale en transport du Grand Est 72
3.3. Le cas spécifique de la Franche-Comté 76

Conclusion 79

Conclusion de la première partie 80

DEUXIEME PARTIE
La modélisation des transports : présentation de différentes approches... 83

Introduction de la deuxième partie 85

Chapitre 1 87
Analyse des facteurs à l'origine des déplacements.....87

1. Principes et définitions.....88
1.1. Déplacements / activités 88
1.2. Sortie / déplacement.....89
1.3. Méthode de calcul des déplacements prédéfinis.....91
1.4. Mobilité individuelle, mobilité du ménage.....93
1.5. Quelle durée, quelle période ? 94
1.6. Catégories de déplacements.....95

2. Les modèles explicatifs et descriptifs de la génération de déplacement.97

2.1. Les modèles normatifs 97
2.2. Les modèles de régression linéaire 98

3. L'approche désagrégée et les modèles de génération de déplacements103
3.1. Principes de l'approche désagrégée 103
3.2. Une difficile mise en œuvre pour les modèles de génération de déplacement 104

Conclusion 108

Chapitre 2
Analyse des facteurs caractérisant les déplacements : structure spatiale des flux et choix modaux 109

1. Approche agrégée 110
1.1. Détermination de la distribution spatiale des émissions et attractions 111
1.2. Répartition des déplacements en fonction du mode de transport utilisé 113
1.3. Affectation d'itinéraires sur un réseau 118

2. Approche désagrégée pour la caractérisation des déplacements 119
2.1. Application de l'approche désagrégée pour la caractérisation des déplacements 119
2.2. Difficultés liées à l'approche désagrégée 122

Conclusion 124

Chapitre 3 125
Le modèle à quatre étapes : Une imbrication de différents modèles 125

1. Approche désagrégée pour la caractérisation des déplacements 127
1.1. Principe de fonctionnement 127
1.2. L'indépendance des différentes étapes 128

2. Le modèle à quatre étapes, enchaînement de différents modèles 130
2.1. Etape 1 : la génération de trafic 130
2.2. Etape 2 : la distribution de trafic 130
2.3. Etapes 3 et 4 : le choix modal et l'affectation de trafic 131

Conclusion 132

Conclusion de la deuxième partie 133

TROISIEME PARTIE

Modélisation de la génération de trafic, un premier pas vers un outil nécessaire à l'amélioration du réseau TER franc-comtois..... 135

Introduction de la troisième partie 137

Chapitre 1
Génération des émissions et attractions à l'échelle des communes.....139

1. Les données disponibles 140
   1.1. Objectifs du modèle 140
   1.2. Les données disponibles 141
      2.1.1. Les données « Communes mobilité » 141
      2.1.2. L'enquête TER Franche-Comté.....141
      2.1.3. La construction des données manquantes 148

2. Le cadre méthodologique.....152
   2.1. L'indépendance des individus.....152
   2.2. La linéarité du modèle 153
   2.3. L'identification des variables explicatives et la multi colinéarité 155

3. Emissions et attractions à l'échelle communale 158
   3.1. Emissions pour le motif travail 158
   3.2. Attractions pour le motif travail.....161
   3.3. Emissions pour le motif études 163
   3.4. Attractions pour le motif études.....164
   3.5. Les déplacements liés au motif achats 165
   3.6. Les déplacements liés au motif loisirs 168
   3.7. Les déplacements liés au motif visites.....171
   3.8. Les déplacements liés au motif santé.....174

Conclusion 178

Chapitre 2
Génération des émissions et attractions à l'échelle des aires de rabattement du réseau TER.....179

1. La problématique du zonage, outil de compréhension territoriale 181
   1.1. Le partitionnement spatial dans le modèle à quatre étapes.....182
   1.2. Les solutions existantes.....185

2. Le modèle de structuration spatiale, l'optimisation du rabattement 187
2.1. Modélisation des territoires de la mobilité et complexité 187
2.1.1. La mobilité quotidienne, un phénomène complexe 187
2.1.2. Les difficultés liées à la modélisation de la complexité 188
2.1.3. Proposition méthodologique de modélisation 189
2.2. Le modèle d'optimum local 190
2.2.1. Définition de la fonction d'utilité du rabattement de chaque commune 190
2.2.2. Mise en place du modèle 193
2.3. Le modèle d'optimum régional 196
2.3.1. Les algorithmes génétiques appliqués à la partition spatiale 197
2.3.2. Mise en place de la modélisation 203
2.4. Agrégation des résultats obtenus à l'échelle communale pour chaque aire de rabattement 215
2.5. Dénombrer les attractions par agrégat 216

Conclusion 217

Conclusion de la troisième partie 219

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 221

Bibliographie 229
Annexes 243
Table des tableaux 253
Table des figures 254
Sommaire 257