

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2019

Etude, analyse et modélisation des caractéristiques de l'offre et de la demande associées au réseau ferré secondaire français



Source image : <http://www.macigaleestfantastique.com/2016/03/23/montez-dans-le-train-le-train-bleu-de-la-cote-bleue/>

Etude, analyse et modélisation des caractéristiques de l'offre et de la demande associées au réseau ferré secondaire français

Hervé Baptiste
2018

Noé Limbach

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnels, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en Génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au Génie de l'Aménagement et de l'Environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département Aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon tuteur Hervé Baptiste, pour l'aide et le temps qu'il a apporté à la mise en œuvre de ce projet, mais aussi pour la liberté qu'il m'a laissé dans le choix de la thématique.

Enfin je tiens également à remercier Nina et mes parents qui ont été les premiers lecteurs de ce projet.

SOMMAIRE

Introduction	8
Phase de définition et d'identification	9
Définition du réseau secondaire	9
La classification UIC et ses limites	9
La catégorisation tarifaire de SNCF Réseau	10
L'importance du réseau secondaire	11
Identification des enjeux du réseau secondaire	11
Phase d'analyse.....	12
Analyse de l'offre ferroviaire régionale française.....	12
Caractéristiques macroscopiques	12
Caractéristiques régionales.....	13
Principaux aspects de l'offre ferroviaire régionale française.....	14
Analyse des attentes en termes de mobilités régionales ferroviaires	14
Enseignement de l'enquête menée par SNCF et SOFRES	14
Consolidation des enseignements.....	16
Principaux enjeux des attentes de la demande française en termes de mobilité régionale ferroviaire	17
Phase de modélisation	18
Principe de modélisation.....	18
Méthode de modélisation du choix : l'analyse multicritère.....	19
Analyse multicritère : étapes préliminaires	19
Définition des critères	19
Evaluation des critères	20
Définition des poids des critères	21
Exemple de matrice des jugements	22
Choix de la méthode d'agrégation	23
Détail des critères durée et coût	24
Détail du critère coût financier.....	25
Détail du critère : durée de trajet.....	27
Exemples de choix sur deux trajets régionaux en région Centre.....	28
Limites de la modélisation	32
Conclusion.....	33
Bibliographie.....	34
Ouvrages imprimés	34
Ouvrages électroniques.....	34

Tables des illustrations.....	36
Figures.....	36
Tableaux.....	36
Lexique.....	37
Annexes	38
Annexe 1 : Cartes des tronçons du réseau ferré national selon leur catégorie tarifaire.....	38
Annexe 2 : Carte des dessertes grandes lignes de la SNCF	40

INTRODUCTION

Avec 30 000 kilomètres de lignes, La France possède le deuxième réseau ferré d'Europe derrière l'Allemagne, ainsi qu'un des plus importants à l'échelle mondiale. Cependant, il présente de fortes disparités. En effet, si les LGV, le réseau francilien et quelques axes reliant les grandes métropoles sont les éléments forts du réseau, certaines lignes connaissent de grandes difficultés et sont très peu utilisées. L'appellation courante de « réseau secondaire » pour les qualifier, illustre le retard qu'elles possèdent sur les autres.

Dans un contexte actuel financièrement difficile, elles questionnent les acteurs du rail et leur suppression partielle est parfois envisagée. Mais, au-delà de l'aspect économique, elles possèdent une importance non négligeable en termes d'aménagement du territoire. Le train est, en effet, synonyme de transport en commun durable dans le temps. Par conséquent, l'avenir de l'utilisation du réseau secondaire pose des questions d'ordre économique et sociétal majeures. Il demeure donc nécessaire de mieux le comprendre, afin de mieux le concevoir.

L'ambition de ce projet est de déchiffrer les facteurs influençant cet avenir et par conséquent, de découvrir les leviers d'actions permettant de le maîtriser. Pour ceci, il explore les domaines de la prospective, des statistiques, de l'informatique et des sciences humaines, en utilisant des outils qui leurs sont propres.

Le projet se découpe en trois phases. La première, consiste à définir les limites et les caractéristiques du réseau secondaire afin d'identifier la nature de son utilisation actuelle. La seconde, analyse cette utilisation en mettant en relief l'offre et la demande. Enfin, la dernière phase propose une modélisation de l'évolution de l'usage du réseau secondaire en fonction des facteurs identifiés et de leurs importances.

.

PHASE DE DEFINITION ET D'IDENTIFICATION

Définition du réseau secondaire

Afin d'étudier le réseau secondaire, il est nécessaire d'identifier les lignes qui sont regroupées sous ce terme. Pour ceci, le projet se base majoritairement sur la classification des lignes de l'union internationale des chemins de fer (UIC). Ce classement est, en effet, celui qui est utilisé par SNCF Réseau et par la majorité des acteurs du ferroviaire, pour hiérarchiser le réseau national.

La classification UIC et ses limites

Les lignes y sont notées entre 1 et 9 grâce au trafic qu'elles supportent. Ce dernier est fonction de la masse pondérée par la vitesse des trains qui les empruntent. Selon une étude¹ du laboratoire ville mobilité et transport (LVMT), il est calculé de la manière suivante :

$$T = S(Tv + K.Tm + K'.Tr)$$

Avec : T : trafic ; S : coefficient de qualité de la voie ; Tv: Tj² des trains voyageurs; Tm: Tj des trains marchandises ; Tr: Tj des engins de traction ; K et K' des coefficients.

La cour des comptes résume cette classification dans un rapport daté de 2012³ : « L'Union internationale des chemins de fer (UIC) classe les lignes en fonction de leurs charges de trafic : les LGV et les grandes lignes appartiennent au réseau 1 à 4, les lignes transversales au réseau 5 et 6, les lignes locales à faible trafic (...) constituent le réseau 7 à 9 ». D'autres définitions semblables sont trouvables sur le site de l'ARAFER ou dans un rapport de 2005 de l'EPFL⁴. Les principaux acteurs définissent, par conséquent, le réseau secondaire comme étant l'ensemble des lignes classées entre 7 et 9. Ceci correspond à des niveaux d'exploitation généralement faibles, bien que très diverses. Par exemple, le nombre de trains pour un jour ouvrable de base (JOB) varie entre plus de 40 sur la ligne Facture-Arcachon à 2 ou moins sur la ligne Tours Loches.

D'un point de vue méthodologique, il faut préciser que la classification UIC est donnée à des tronçons et non à des lignes. Ces dernières peuvent ainsi être découpées en plusieurs tronçons. Par conséquent, il est possible qu'une ligne soit UIC 7 à 9 sur une partie de son itinéraire et UIC 2 à 6 sur une autre partie. Il est donc plus correct de parler de tronçons secondaires.

Dans le but d'illustrer l'articulation du réseau en fonction des catégories UIC, la cartographie ci-dessous représente, les différents tronçons ferroviaires de la région Centre Val de Loire, classés selon leur catégorie UIC et leur aptitude à supporter la grande vitesse.

¹ Etude intitulée : « Qu'est-ce qu'une petite ligne ferroviaire ? » présentée en Juin 2018 à Lyon

² Tj : tonnage journalier

³ Rapport intitulé : L'entretien du réseau Ferré National

⁴ Rapport intitulé : Audit sur l'état du réseau Ferré national français

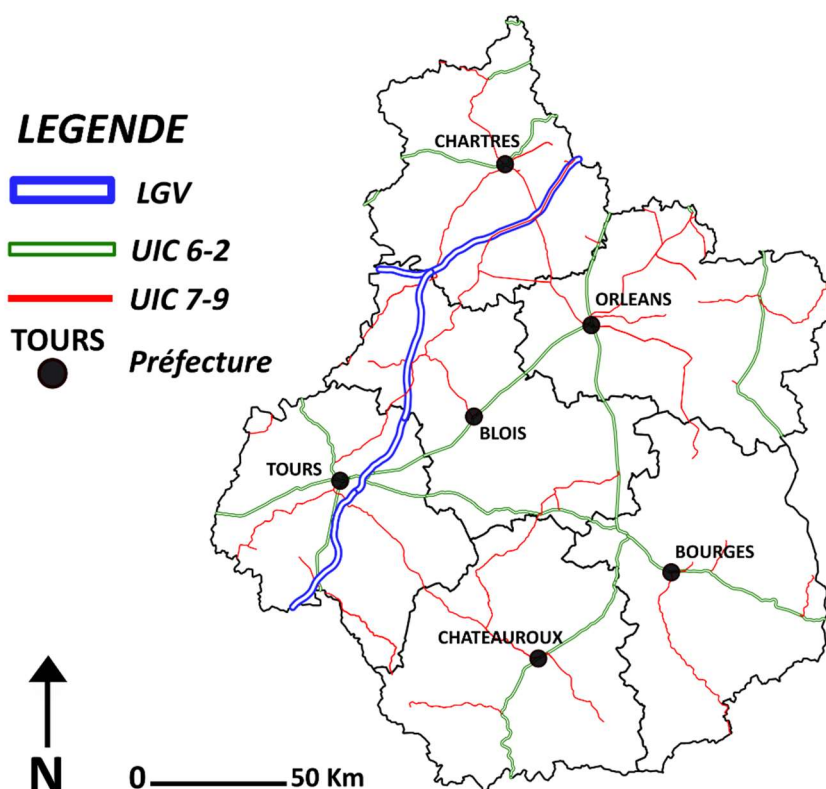


Figure 1 : Cartographie des tronçons de chemin de fer de la région Centre selon leur catégorie UIC, Réalisation : Noé Limbach

Il est intéressant de noter que, si cette hiérarchisation est la plus couramment utilisée sur le réseau, elle n'est pas exempte de certaines incohérences. Par exemple, l'importance de la masse dans le calcul du trafic a tendance à améliorer la note des lignes empruntées par les trains de marchandises, alors même que ces trains, payent des droits d'accès minorés pour emprunter le réseau.

La catégorisation tarifaire de SNCF Réseau

SNCF Réseau hiérarchise le R.F.N.⁵ en catégories tarifaires, représentatives des droits d'accès que le gestionnaire fait payer aux exploitants. Ce classement est également établi en fonction du trafic. Les tronçons sont classés de A pour les plus empruntés à E pour ceux qui possèdent le plus faible trafic. Même si les catégories ne sont pas strictement les mêmes que celles de l'UIC, les similitudes entre les deux hiérarchisations sont très fortes.

Le tableau⁶ ci-dessous détaille les kilomètres de lignes française en fonction de leurs catégories UIC en France (colonnes) et tarifaires (lignes).

km	1-2	3-4	5-6	7-9	Σ
A	89	194	7		290
B	103	996	106	28	1 233
C	622	5 150	1 362	23	7 157
D		125	4 637	1 325	6 087
E		23	793	11 521	12 337
LGV	320	1 068	104		1 492
Σ	1 134	7 556	7 009	12 897	28 596

⁵ R.F.N. : Réseau ferré national

⁶ Tableau provenant du rapport sur la tarification du réseau ferré de l'Inspection Générale des Finances et du Conseil général des ponts et Chaussées.

Tableau 1 : Kilomètres de lignes en fonction de leur catégorie tarifaire et UIC.

Selon ce tableau, il existe une forte corrélation des catégories UIC et tarifaires. En effet, environ 90% des tronçons 7 à 9 font partie de la catégorie tarifaire E et inversement. En raison de la difficulté et du temps nécessaires pour réunir certaines données concernant la classification UIC, certaines études du projet se permettent d'utiliser les tronçons de catégorie E comme définissant le réseau secondaire.

L'importance du réseau secondaire

Quel que soit la hiérarchisation, le réseau secondaire retenu par le projet représente presque la moitié du réseau ferré national. Son avenir est donc un enjeu majeur pour l'avenir du train en France, d'autant plus qu'il est aujourd'hui la source de vifs débats.

Identification des enjeux du réseau secondaire

Afin de mieux appréhender son avenir, il est primordial d'identifier la source principale des débats autour du réseau secondaire. La lecture d'articles de presse permet de mettre en lumière que cette source est d'ordre financier. En effet, comme le souligne le rapport Spinetta, l'entretien de ce réseau demande une ressource financière importante, alors même que son manque de fréquentation, implique de faibles entrées d'argent. Ces dépenses questionnent les acteurs sur la pertinence de l'existence même de ces lignes face à une desserte routière moins coûteuse.⁷.

Le projet traite uniquement d'une potentielle hausse de la fréquentation et des causes pouvant l'amener. En effet, une baisse marquée des coûts d'entretien du ferroviaire n'est pas envisageable sans innovation technique majeure. Il est donc nécessaire de comprendre pourquoi cette fréquentation est si faible. Pour ceci, il est primordial d'identifier l'offre proposée sur le réseau secondaire ainsi que les attentes de la demande qui y correspond.

L'offre sur les petites lignes est identifiable en comparant la *carte des tronçons ferrés français en fonction de leur catégorie tarifaire*⁸ et celle des *dessertes grande ligne*⁹. En effet, l'offre longue distance semble se concentrer sur le réseau structurant. De ce fait, elle néglige le réseau secondaire, qui est donc principalement parcouru par des trains régionaux. L'hypothèse est faite que, par conséquent, la majorité des attentes de la demande sont également orientées vers la mobilité régionale. Ceci n'est pas totalement juste en réalité. En effet, certains trains régionaux sont utilisés en rabattement pour des trajets longue distance.

L'évolution de l'utilisation du réseau secondaire correspond à celle de l'offre qui y est proposée, en l'occurrence, l'offre ferroviaire régionale. D'après les hypothèses posées précédemment, l'évolution de cette offre dépend de la fréquentation. Or, cette dernière dépend des réponses apportées aux attentes de la demande. Donc, l'évolution de l'utilisation du réseau secondaire dépend des réponses apportées aux attentes de la population en termes de mobilité régionale ferroviaire. De ce fait, pour pouvoir comprendre le futur de ce réseau, il est nécessaire d'analyser ces attentes et l'offre ferroviaire régionale actuelle.

⁷ Conclusion du Rapport du CEREMA de 2014 intitulé : Premiers éléments de réflexion sur la pertinence des modes fer et route pour des dessertes régionales.

⁸ Annexe 1

⁹ Annexe 2

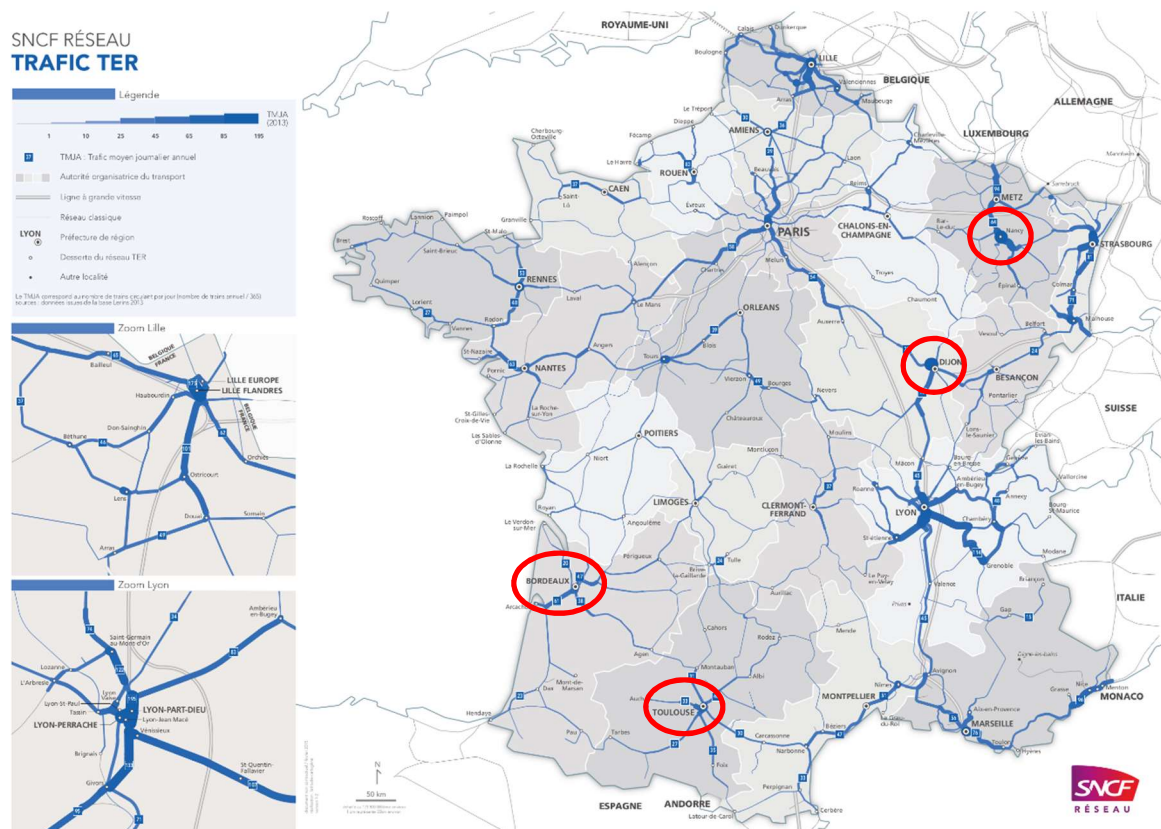
PHASE D'ANALYSE

Analyse de l'offre ferroviaire régionale française

Caractéristiques macroscopiques

Si l'offre sur le réseau secondaire est, par essence, jugée faible, il est intéressant d'observer le trafic ferroviaire régional dans son ensemble, afin d'en comprendre les enjeux et les disparités. Bien que les trains TGV et Intercités permettent quelques dessertes infrarégionales, la grande majorité de l'offre en question est basée sur le TER, ou Transport Express Régional. Il est important de préciser, qu'en France, ce sont les régions qui sont les autorités organisatrices du transport ferroviaire à cette échelle. Elles décident donc, en partenariat avec la SNCF, des caractéristiques de l'offre proposée sur leur territoire. Ce découpage administratif et politique vient s'ajouter à la structure intrinsèque du réseau comme facteur de disparité de l'offre.

La carte ci-dessous éditée par SNCF Réseau permet d'identifier ces disparités, elle représente le trafic TER en France en nombre moyen de trains par jour.



Il apparaît sur cette carte que le trafic TER est orienté majoritairement vers les plus grandes agglomérations régionales. Cependant, il est intéressant de noter que les plus grandes métropoles françaises ne sont pas forcément celles possédant les plus forts trafics TER. Par exemple, l'agglomération de Bordeaux (773 000 hab.) ou celle de Toulouse (756 000 hab.) possèdent des trafics moindres que Dijon (251 000 hab.) ou Nancy (257 000 hab.).

Caractéristiques régionales

Les lignes possédant les plus forts trafics régionaux bénéficient d'une offre dense, souvent cadencée et d'une attention particulière des autorités organisatrices et de l'exploitant. Par exemple, un TER relie Nancy à Metz toutes les trente minutes en semaine. Ces axes sont le plus souvent ceux qui structurent la région. Ils sont peu nombreux (en général 1 ou 2 par ancienne région). S'ils possèdent une desserte pouvant être jugée performante, la carte illustre également le fort contraste existant avec le réseau secondaire.

La carte ci-dessous illustre le détail de l'offre ferroviaire régionale sur la région Centre-Val de Loire en 2012 et permet une comparaison avec celle présentée précédemment du classement UIC des tronçons sur ce territoire.

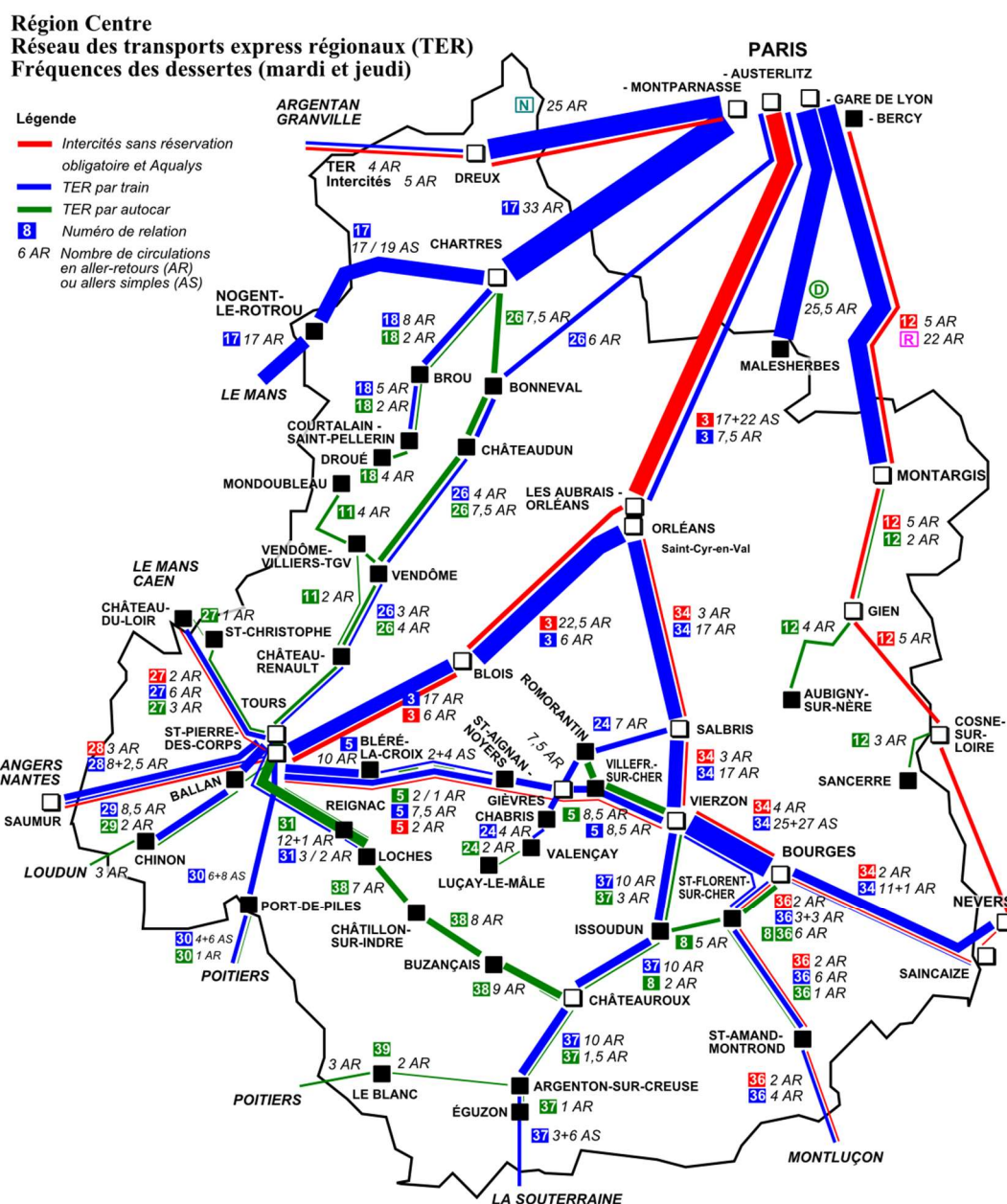


Figure 3 : Carte du trafic TER en région Centre Val de Loire

Cette comparaison permet de vérifier la très faible utilisation des lignes UIC 7 à 9 par les TER. En effet, ces lignes bénéficient en majorité, de 5 allers-retours maximum par jour.

Principaux aspects de l'offre ferroviaire régionale française

L'offre TER se caractérise donc par des disparités à plusieurs échelles : au niveau national entre les différentes régions, et au niveau régional avec des axes structurant fortement desservis et un réseau secondaire en retard.

Analyse des attentes en termes de mobilités régionales ferroviaires

Une analyse des attentes de la demande est un exercice complexe, d'autant plus à l'échelle nationale, du fait du nombre et de la variété des personnes concernées. Seules des enquêtes de masse permettent de s'en approcher. Or ces enquêtes ont un coût important et sont par conséquent assez rares. La plus pertinente avec ce projet est très ancienne. En effet, elle a été menée entre 1993 et 1994 par la SNCF et SOFRES sur un échantillon de 20 000 personnes. Elle est représentative des 38 500 000 français vivants hors d'Ile de France et ayant au moins 11 ans. Un ouvrage publié en 1998 par le CERTU et la SNCF permet de rendre compte de ses résultats.

Enseignement de l'enquête menée par SNCF et SOFRES

Le premier enseignement est la faible part modale du train face à la voiture, en particulier dans les déplacements régionaux. En effet, sur les 37 % des français qui disent avoir utilisé le train dans les 12 mois précédant l'enquête, seuls 32% l'ont utilisé pour ce type de déplacement (moins de 100 km).

L'enquête permet une identification des principaux obstacles au train dans les déplacements régionaux qui est particulièrement pertinente avec la problématique du projet. En effet, l'obtention de ces obstacles permet, dans un second temps, celle des principaux leviers influant sur la demande. Le premier obstacle mis en lumière est la distance entre le domicile et la gare. En effet, 63 % des français ayant utilisé le train dans l'année précédant l'enquête vivaient à moins de 5 km d'une gare.

Elle permet également l'identification des principaux motifs de déplacement régionaux. En effet, elle donne l'importance des obstacles selon 3 motifs : domicile-travail décrivant les actifs, domicile-études les collégiens, lycéens et étudiants et le motif privé regroupant les déplacements non réguliers (hors travail) comme les loisirs, les achats, etc. Si cette liste n'est pas exhaustive, elle couvre la majorité des trajets régionaux. De plus, le nombre de trajets par motif est précisé et permet de rendre compte de leur importance respective. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des déplacements régionaux selon ces 3 motifs.

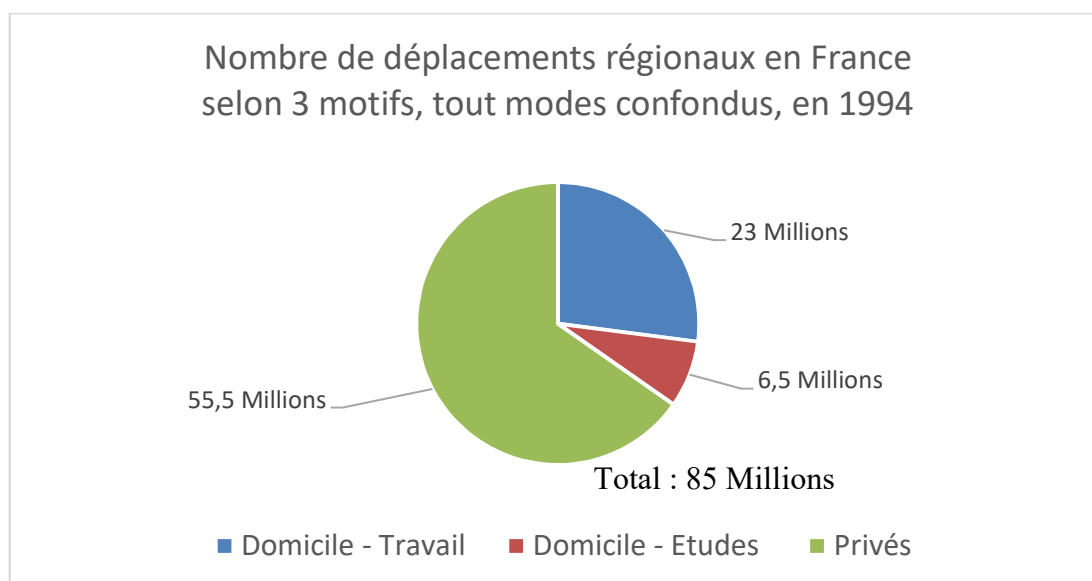


Figure 4 : Graphique du nombre de déplacements régionaux par motifs

La supériorité des déplacements « privés » est nettement identifiable. Cependant, ce motif doit être manipulé avec prudence en raison de la très grande diversité des trajets qu'il recouvre.

Au sein de l'enquête, les obstacles sont classés en 8 catégories :

- **L'offre**, qui est relative à l'adaptation des horaires aux besoins des personnes ainsi qu'à leur fréquence.
- **Le temps de parcours**, qui prend en compte la vitesse des trains, mais aussi les ruptures de charges nécessaires aux personnes pour effectuer leur trajet.
- **La connexion urbaine**, qui se réfère à la connexion en transport en commun urbain de la gare d'origine ou de destination.
- **Le goût de la voiture**, qui englobe les personnes qui préfèrent la voiture par plaisir de conduire ou par confort.
- **La nécessité**, reflétant les personnes pour qui le déplacement en voiture est indispensable, par exemple certaines personnes à mobilité réduite ou certains professionnels ...
- **La concurrence avec d'autres transports en commun**, comme les transports urbains ou les cars départementaux¹⁰.
- **Le prix**, relatif au coût financier du billet de train.

Le tableau ci-dessous détaille, le pourcentage d'importance des obstacles à la mobilité régionale ferroviaire selon les motifs de déplacement.

Obstacles	Domicile - Travail	Domicile – Étude	Privés
Offre	35 %	20 %	15 %
Temps de parcours	25 %	17 %	18 %
<i>Dont trop grand nombre de ruptures de charges</i>	18 %	11 %	14 %
<i>Dont longueur du trajet</i>	7 %	6 %	5 %
Connexion Urbaine	23 %	19 %	16 %
Goût de la voiture	9 %	13 %	26 %
Nécessité	6 %	1 %	10 %
Concurrence d'autres TC	1 %	16 %	0 %
Prix	3 %	4 %	12 %
Autres	8 %	10 %	14 %

Tableau 2 : Importance des obstacles à la mobilité ferroviaire régionale selon le motif de déplacement

Etant donné l'âge de l'enquête (25 ans), il est intéressant de discuter de ses résultats et de les remettre dans un contexte plus actuel. Il est possible de dire que depuis 1994, il n'y a pas eu d'évolution significative de l'offre proposée, du temps de parcours ainsi que du nombre de trajets où la voiture est une réelle nécessité. Par contre, les politiques récentes sur les mobilités entraînent, au moins de manière théorique, les autorités organisatrices du transport urbain à mieux prendre en compte les gares comme objet d'intermodalité, faisant ainsi baisser l'importance de l'obstacle « connexion urbaine ». La vision de la voiture comme objet de plaisir s'est légèrement estompée, notamment du fait des contraintes environnementales qu'elle pose. La loi NOTRe, a nommé en 2017, les régions autorité organisatrice du transport interurbain par bus, permettant une meilleure articulation avec les TER et une réduction de la concurrence entre ces deux modes de transport. Enfin, la crise financière de 2008, le climat économique assez morose et l'inflation¹¹ des prix des billets de trains ont pu augmenter l'importance de l'obstacle « Prix ».

¹⁰ Depuis 2017 la région est autorité organisatrice du transport interurbain par bus

¹¹ Selon une étude de l'IFRAP : <http://www.ifrap.org/ter-grandes-lignes-transilien-pourquoi-les-tarifs-sncf-augmentent>

En analysant ces obstacles, il apparaît qu'ils sont en majorité rationnels, c'est-à-dire qu'ils se réfèrent à certains défauts que possède réellement le train et qu'ils pourraient être résolus en améliorant la qualité de service de ce dernier. Les plus importants (offre, temps de parcours, connexion urbaine) se réfèrent à la durée du trajet en train jugée trop élevée. Le coût financier du trajet possède également une importance non négligeable (prix). La nécessité de prendre la voiture ne peut, sauf exception, être résolue en améliorant la qualité de service du ferroviaire. Cependant, elle est assez simple à appréhender et représente un nombre assez faible de trajets. L'obstacle « goût de la voiture » apparaît plus complexe à appréhender et peut être jugé comme irrationnel. Malgré sa nette variation selon les motifs, cet obstacle est spécifique à chaque individu, à sa nature et à son vécu.

Consolidation des enseignements

Malgré son ancienneté, des études plus récentes permettent de renforcer les enseignements de l'enquête. L'image ci-dessous, publiée en 2005 dans le rapport de recherche : « *Conception de services régionaux et optimisation de l'offre* » du PREDIT, permet par exemple, d'identifier la part modale du train selon les réponses apportées aux attentes de ses usagers.

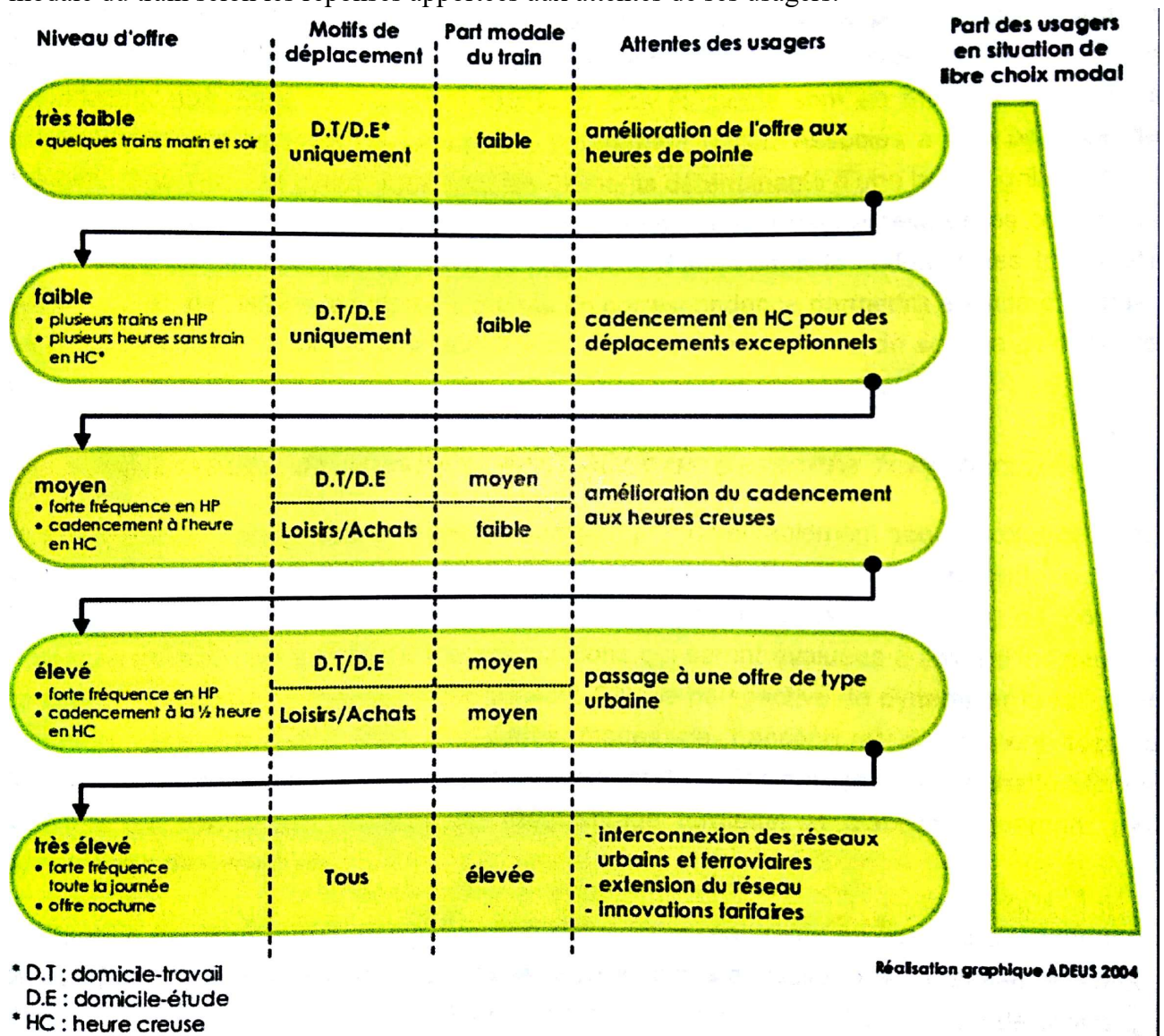


Figure 5 : Les attentes des usagers face à l'usage du train, Source : PREDIT

Si ce document n'est pas dédié à la mobilité régionale, les motifs traités sont exactement ceux qui rentrent dans son champ de pertinence. Les attentes des usagers permettent d'avoir une vision complémentaire à celle des obstacles, en identifiant ce que veulent les passagers déjà séduits par ce mode de transport. L'analyse permet d'observer une grande similarité avec les obstacles. En effet, la plupart des attentes se concentrent ici vers une amélioration de **l'offre**, de **l'interconnexion** et donc, de la **durée du trajet**. Le coût du trajet possède également une certaine importance (innovation tarifaire).

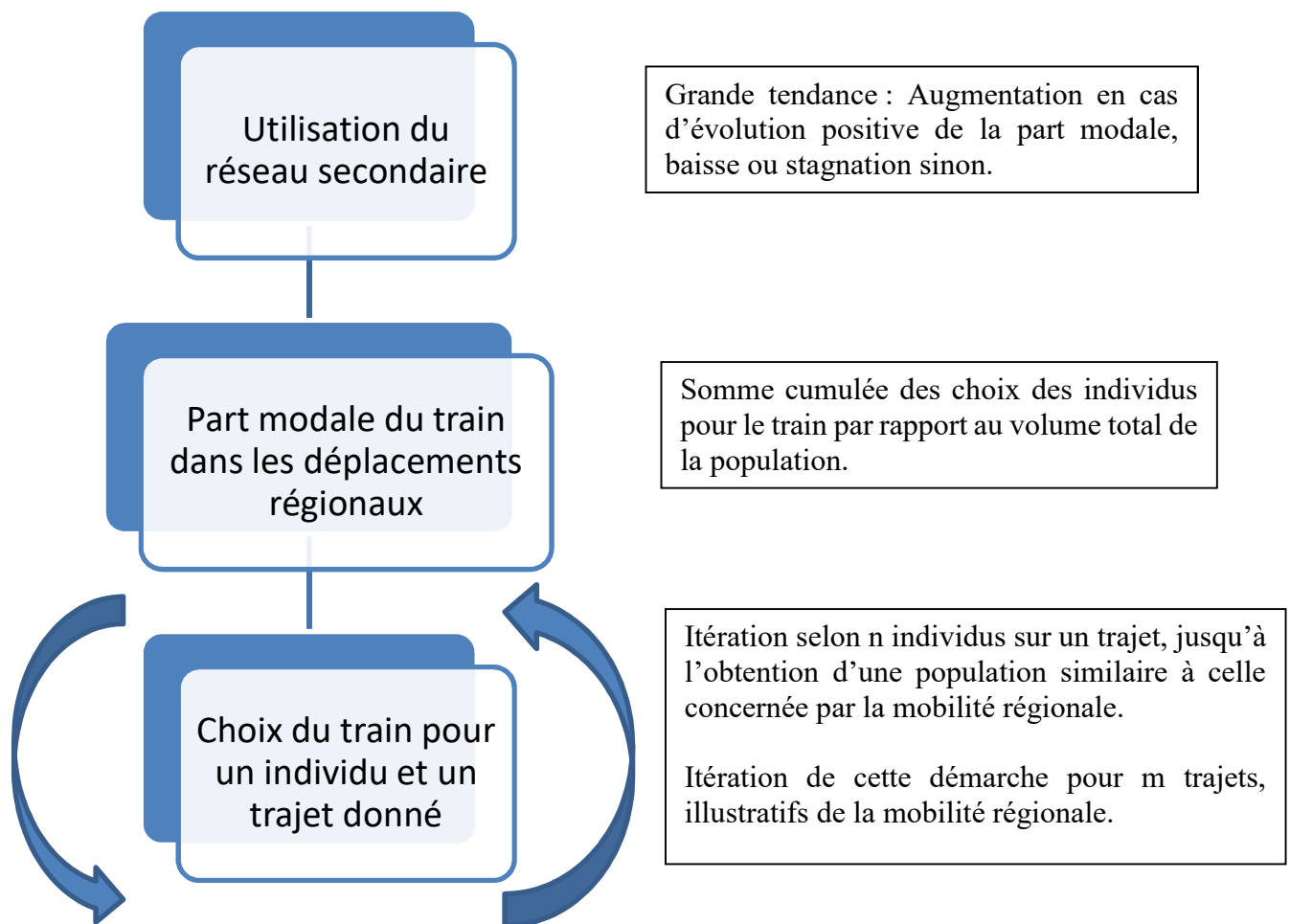
Principaux enjeux des attentes de la demande française en termes de mobilité régionale ferroviaire

La demande française en termes de transport régional ferroviaire se positionne donc sur quelques enjeux principaux. Ces enjeux sont : la durée du trajet, son coût financier, l'aspect nécessaire d'un mode de transport (par exemple un artisan étant obligé de prendre la voiture pour déplacer son matériel professionnel) et enfin la préférence subjective pour un mode de transport.

PHASE DE MODELISATION

Principe de modélisation

Dans le but d'approcher l'avenir de l'utilisation du réseau secondaire, une phase modélisation est proposée. L'objectif est d'exploiter le lien trouvé entre l'évolution de la part modale du train dans les déplacements régionaux et celle de l'utilisation du réseau secondaire. Le principe est de simuler le choix du train par un individu sur un trajet régional donné grâce à l'analyse de l'offre. Ceci, pour ensuite modéliser plusieurs individus et plusieurs trajets, afin d'obtenir une part modale. Le schéma de principe ci-dessous illustre cette modélisation.



Afin de pouvoir mettre en œuvre cette modélisation, il est nécessaire de faire l'hypothèse que le choix d'un mode de transport dépend uniquement des caractéristiques propres à l'individu qui le fait. C'est-à-dire que l'environnement extérieur (famille, amis ...) est occulté dans le processus de prise de décision.

Pour certaines phases de la modélisation, le motif de déplacement des individus permet de donner des précisions sur leur choix. Par conséquent, le projet fait l'hypothèse que les individus ne peuvent pas avoir plusieurs motifs de déplacement.

Méthode de modélisation du choix : l'analyse multicritère

La méthode utilisée afin de simuler le choix de l'utilisateur est une analyse multicritère. Elle le modélise comme l'agrégation de critères possédant chacun un poids respectif sur la prise de décision. Sur le site du ministère de l'action et des compte publics, elle est définie sous ces termes : « *L'analyse "multicritère" désigne généralement un ensemble de méthodes permettant d'agréger plusieurs critères avec l'objectif de sélectionner une ou plusieurs actions (par exemple : choix d'un site d'aménagement ou d'un moyen de transport, décision d'investissement, choix de l'utilisation d'une technologie, etc.), d'aider au diagnostic et, plus généralement, de faciliter la prise de décision stratégique ou opérationnelle.* ». Cette méthode est, par conséquent, pertinente avec la modélisation proposée d'un choix entre plusieurs modes de transport. Afin de construire cette analyse, le projet suit une méthodologie en 5 étapes proposée par Nadia Lehoux et Pascale Vallée, (chercheuses à l'école Polytechnique de Montréal) dans une présentation disponible sur le site du ministère précédemment cité.

Analyse multicritère : étapes préliminaires

Dans un premier temps, il est nécessaire de définir l'objectif de la démarche et le type de décision. Ici, l'objectif explicité précédemment est de modéliser le choix d'un individu entre le train et d'autres modes de transport pour un trajet régional donné.

Dans un second temps, il faut dresser la liste des « actions ». Ce sont les solutions envisageables pour le choix. D'après l'objectif, une des actions est donc le train. Une seule autre solution est proposée : la voiture personnelle. En effet, ce mode de transport représente 66,9%¹² des déplacements régionaux, selon le ministère de la transition écologique et solidaire. C'est aussi le mode qui concurrence le plus le train (mêmes échelles de distance, vitesses de déplacement comparables...). Une des limites de la modélisation est, par conséquent, la non-prise en compte des cars de ramassage scolaire qui possèdent une part modale importante du motif Domicile-Étude.

Définition des critères

Il est ensuite nécessaire de dresser la liste des critères à prendre en compte. Pour ceci, il faut comprendre ce qui influe sur le choix d'un mode de transport régional pour un individu. La réponse à cette question est basée sur l'analyse des attentes de la demande. En effet, il en ressort que la durée d'un trajet, son coût financier pour l'individu, la nécessité d'utiliser un mode de transport et la préférence pour un mode, sont les principaux enjeux auxquels la demande est sensible. De ce fait, il est logique de les utiliser comme critères. Cependant, ils possèdent des caractéristiques de modélisation différentes. Si, pour un trajet, un motif et un mode donné, il est assez simple de simuler le coût financier et la durée, il est par exemple plus complexe de simuler la préférence subjective. De plus, la nécessité d'utiliser le train ou la voiture doit être pensée différemment des autres critères. En effet, si un trajet nécessite par exemple la voiture, le train aura beau être moins cher, plus rapide et préféré par l'individu, c'est l'automobile qui sera choisie.

La nécessité est un critère exclusif et ne peut, par conséquent, pas être pris en compte dans l'analyse multicritère. Elle est cependant, non négligeable dans le choix d'un mode de transport, c'est pourquoi, elle est incluse dans le processus de décision, en aval de cette analyse. La nécessité de prendre la voiture est identifiable dans le *tableau de répartition des obstacles à la mobilité ferroviaire* de l'enquête de 1994. Les chiffres de ce tableau sont donc utilisés pour définir la population qu'elle concerne. Elle touche : 6% des individus ayant pour motif domicile-travail, 1 % domicile-étude et 10 % effectuant des trajets de motif privé. La nécessité de prendre le train s'applique, au contraire, aux individus ne possédant pas de voiture. Il est possible d'obtenir leur pourcentage assez

¹² En 2010, en métropole, hors Ile de France.

simplement. En effet, selon l'INSEE, 84,3 % des ménages français¹³ sont motorisés. Par conséquent 15,7 % des ménages ne possèdent pas de voitures. Le projet fait l'hypothèse que le train est la seule alternative à la voiture et que seules les personnes appartenant à un ménage motorisé, ne sont pas dans la nécessité d'emprunter le ferroviaire. Par conséquent, cette nécessité s'applique à 15,7 % des individus.

Les autres critères peuvent être considérés non-exclusifs, et sont donc retenus pour l'analyse multicritère. Le logigramme ci-dessous illustre l'organisation de l'analyse multicritère proposée.

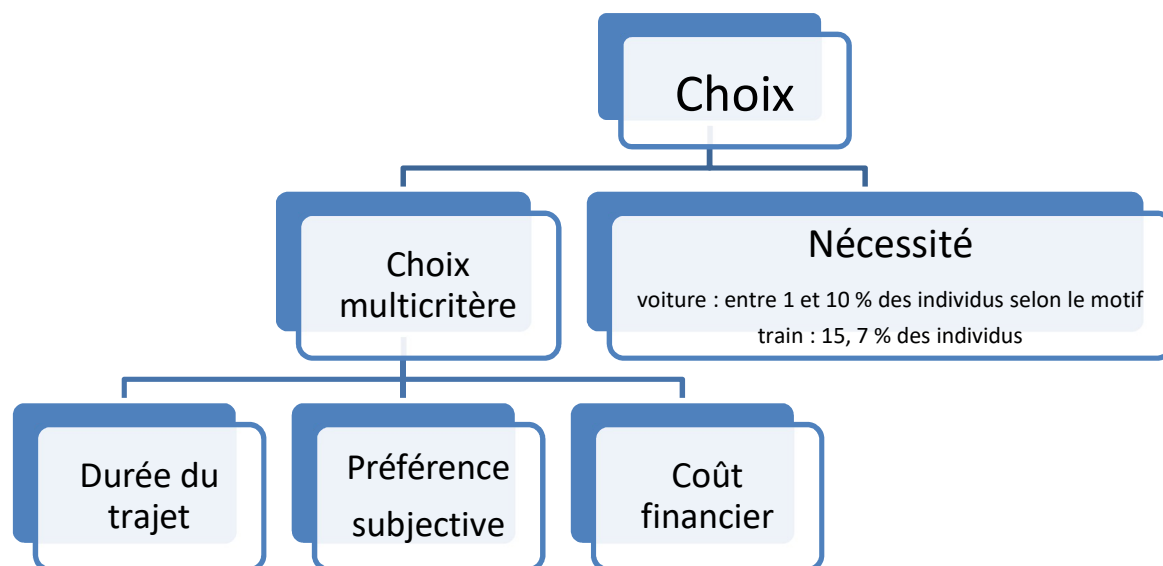


Figure 6 : Logigramme d'organisation de l'analyse multicritère

Il est important de préciser que le coût financier correspond au coût que pense payer l'individu pour son trajet, il ne tient donc pas compte du coût environnemental ou social du trajet.

Evaluation des critères

Afin de pouvoir obtenir le choix, il est primordial de réaliser préalablement l'évaluation des actions selon les critères. Une évaluation est la valeur d'une action pour un critère. Par exemple pour un trajet domicile-travail entre les gares d'Orléans et de Tours, avant le départ d'un TER, l'évaluation de l'action train selon le critère durée, sera d'une heure, celle de la voiture d'une heure dix (par l'autoroute A10).

Afin de rendre les critères comparables entre eux et de faciliter l'étape d'agrégation, il est proposé une évaluation binaire. C'est-à-dire l'attribution, pour un critère donné, de la note de 1 à la « meilleure » action et de 0 à la « pire ». Pour ceci, la « meilleure » action est définie comme étant : la durée la plus courte et le coût le moins cher. Dans l'exemple présenté ci-dessus, la durée du trajet en train est objectivement plus courte que celle de la voiture, par conséquent, il obtiendrait 1 et la voiture 0.

Cette binarité est, en fait, un choix préliminaire simulé, il est donc nécessaire de faire l'hypothèse qu'un individu fait implicitement le choix de la « meilleure » action.

Pour le critère de préférence, il n'y a pas de jugement de valeur possible, du fait de sa nature subjective. Il est tout de même possible de lui allouer une note binaire. Pour ceci, il est proposé d'attribuer aléatoirement cette note à 1 ou à 0. Cette attribution permet, en plus de l'évaluation du critère, l'ajout d'un facteur aléatoire à l'ensemble de la modélisation. Cela peut servir à l'expression, même minime, de critères oubliés dans l'analyse. Il est possible d'effectuer une répartition plus juste

¹³ 2015 : Equipement automobile des ménages, hors DOM-TOM et Ile de France.

de ces notes en connaissant préalablement la préférence d'une population représentative pour tel ou tel mode de transport, grâce à une enquête.

La méthode d'évaluation des critères retenue comporte inévitablement une part de subjectivité et certaines autres sont envisageables. Il est intéressant de notifier les méthodes d'évaluations économiques telles que celles du prix hédoniques ou de l'évaluation contingente. En effet, elles sont couramment utilisées dans le monde du transport et peuvent permettre d'affecter une valeur monétaire à chaque critère. Si cela paraît trivial pour le coût financier du trajet, il en va autrement pour les autres critères. La notion de valeur du temps est particulièrement intéressante. En effet, elle varie selon l'individu et la période étudiée. Elle sera, par exemple, plus importante pour un homme d'affaires que pour un étudiant¹⁴. De plus, pour le même individu, le temps de travail vaut par exemple plus que le temps de loisir¹⁴. Dans le monde du transport, elle s'approche grâce à des formules mathématiques comme celle-ci : $Vt = h * T$ avec Vt : Valeur monétaire du temps, h : facteur de ressenti du temps par l'individu, T : temps de trajet¹⁴.

Il est intéressant de noter dans cette formule l'introduction du subjectif par la variable h .

Définition des poids des critères

Avant de pouvoir agréger les critères, il est nécessaire de définir leurs poids respectifs. Ces derniers sont des coefficients multiplicateurs permettant d'appuyer ou de minimiser l'importance des critères. Pour cette modélisation, les poids sont définis comme des réels variant entre 0 et 1 et dont la somme est égale à 1. Cela permet à ces coefficients d'illustrer le pourcentage d'importance de chaque critère. Un exemple parmi d'autres de répartition des poids peut donc être : pour la durée : 0,45 ; pour le coût 0,35 et pour la préférence subjective: 0,2.

Le poids d'un critère est propre à chaque individu. En effet, selon ses caractéristiques, ce dernier aura tendance à privilégier la durée, le coût, ou la subjectivité. Il est par exemple possible de faire l'hypothèse qu'un cadre aura tendance à privilégier la durée alors qu'un étudiant, le coût.

L'analyse de la demande permet de connaître, certes grossièrement, l'importance des critères pour la population. En effet, la distribution des obstacles dans l'enquête de 1994, illustre leurs importances aux yeux de la population. Or, la majorité de ces obstacles entrent dans les champs de pertinence des critères. De plus ceux qui n'y entrent pas sont, soit traités en aval (nécessité), soit écartés par les hypothèses de modélisation (concurrence d'autres TC). Ces derniers sont donc abandonnés. Un ajustement est réalisé à la distribution des obstacles afin d'y laisser seulement ceux vérifiant une éligibilité aux critères. Le tableau suivant présente le pourcentage d'importance des critères et les obstacles qu'ils renferment.

Obstacles	Domicile - Travail	Domicile – Etude	Privés
Durée (Offre, temps de parcours, connexion urbaine)	87 %	77 %	56 %
Préférence subjective (Goût de la voiture)	9 %	18 %	30 %
Coût financier (Prix)	3 %	5 %	14 %

Tableau 3 : Pourcentage d'importance des critères

La seule prise en compte des obstacles de l'enquête de 1994 pour la répartition des poids comporte plusieurs limites. Pour commencer, l'enquête est âgée et certains de ces résultats ne sont plus d'actualité. Ensuite, les obstacles ne correspondent qu'à la population ayant fait le choix de ne pas utiliser le train (ce qui représente cependant la majorité des français). Il est ici pris le parti d'en limiter l'impact. Pour ceci, il faut s'intéresser à la suite de l'analyse de la demande. En effet, certains ajustements permettent de replacer les résultats dans un contexte plus actuel. Par exemple la préférence subjective pour la voiture a baissé depuis 1994. De plus, le rapport du PREDIT, permet

¹⁴ Source : Yves Crozet, le temps et les transports de voyageurs

de montrer que les attentes des usagers du ferroviaire et les obstacles à son utilisation, convergent vers les même thématiques et donc les même critères.

Au final, les poids des critères sont affectés aléatoirement au sein d'intervalles de confiance autour des pourcentages de l'enquête de 1994. Dans un premier temps, ces intervalles sont définis arbitrairement à 20% autour des pourcentages. Ensuite, les bornes supérieures ou inférieures sont abaissées ou élevées selon les enseignements apportés par l'actualisation des résultats et le rapport du PREDIT.

Le tableau ci-dessous détaille ces intervalles de confiance

Critères et intervalles de confiance	Domicile Travail	Domicile Etude	Privés
Durée (Offre, temps de parcours, connexion urbaine) Actualisation : importance similaire à 1994 Intervalle de confiance : - 10 % ; + 10%	87 %	77 %	56 %
Préférence subjective (Goût de la voiture) Actualisation : moins d'importance qu'en 1994 Intervalle de confiance : - 9% ; + 5%	9 %	18 %	30 %
Coût financier (Prix) Actualisation : un peu plus important qu'en 1994 Intervalle de confiance : - 3% ; + 12,5%	3 %	5 %	14 %

Tableau 4 : Zones de tolérance des poids

Exemple de matrice des jugements

L'identification des critères, de leur poids et la mise en place des évaluations permettent de réaliser la matrice des jugements. Elle résume les paramètres de l'analyse multicritère. Le tableau suivant illustre cette matrice sur l'exemple cité précédemment d'un trajet Domicile-Travail, gare d'Orléans – gare de Tours (le coût du billet de train est affiché plein tarif). Dans cette matrice, les actions sont notées a_i , les critères c_j , les poids p_j et les évaluations $e_{i,j}$.

c_j Critères	c_1 Temps de trajet Poids p_1 : 80%	c_2 Coût financier Poids p_2 : 10 %	c_3 Préférence subjective (note attribuée aléatoirement) Poids p_3 : 10 %
a_i Actions			
a_1 Train	$e_{1,1}$ 1 (1h)	$e_{1,2}$ 1 (19 € 60) ¹⁵	$e_{1,3}$ 0

¹⁵ Source : Oui.sncf

a ₂	e _{2,1}	e _{2,2}	e _{2,3}
Voiture	0 (1h 10)	0 (21 € 65) ¹⁶	1

Tableau 5 : Matrice des choix pour le trajet Orléans - Tours

Choix de la méthode d'agrégation

La dernière étape de la construction de l'analyse multicritère consiste au choix d'une méthode d'agrégation. Il en existe, en effet, une grande variété. Ces méthodes se classent dans 3 catégories, suivant le degré d'agrégation retenu :

- L'agrégation complète permettant de réunir tous les critères en un seul.
- L'agrégation partielle qui permet la comparaison de critères hétérogènes grâce à des relations de surclassement.
- L'agrégation locale, permettant, par recherche itérative, de trouver le meilleur résultat pour un choix.

La méthode choisie pour le projet s'inscrit dans l'agrégation complète. En effet, les 3 critères retenus sont comparables et le but est de les réunir en un seul. Plus précisément, le projet utilise la méthode dite de la « somme des notes ».

Elle consiste à affecter la valeur de 1 à l'action dont la somme des critères pondérés par leurs poids est maximale. Les autres actions se voient attribuer la valeur de 0. L'action avec la valeur de 1 sera donc celle « choisie » par l'individu. Algorithmiquement et mathématiquement, la méthode choisie s'écrit de cette manière pour m actions et n critères :

```

S ← ∑j=1n e1,j * pj
A ← 0
Pour i dans {2 ; m}
    Si ∑j=1n ei,j * pj > S Alors
        C[i] ← 1
        S ← ∑j=1n ei,j * pj
        A ← A+1
        Pour k dans {2 ; i}
            C[k] ← 0
    Sinon C[i] ← 0
Si A = 0 Alors C [1] ← 1

```

C : Variable de choix (matrice de m lignes et 1 colonne)
e_{ij} : évaluation de l'action i selon le critère j;
p_j : poids du critère j.
A : une variable quelconque

Figure 7 : Algorithme d'agrégation des critères

L'analyse proposée dans le projet est relativement simple. En effet, seuls 3 critères (Durée, Coût financier, Préférence subjective) et 2 actions (Train, Voiture) sont proposés. En reprenant l'exemple du trajet Orléans Tours, il est facile d'observer que le choix de l'individu est pour le train. En effet, (1* 0,8 + 1*0,1+ 0) > (0 + 0 + 1*0,1).

¹⁶ Source : viamichelin, tient compte du carburant et des péages

Détail des critères durée et coût

Le projet propose de détailler la méthode de calcul des critères coût financier et durée. Cette analyse n'est pas nécessaire pour la préférence subjective. En effet, la méthode utilisée pour son calcul est simplement une fonction aléatoire, renvoyant 0 ou 1, selon l'individu.

De par la nature de l'analyse, le coût et la durée, sont calculés pour un trajet donné. Il est intéressant de préciser à quoi cela correspond. Ici, le trajet est, arbitrairement, le chemin optimal d'un point de vue temporel, entre une origine et une destination. Cette hypothèse est complètement pertinente avec le train, qui ne propose en général, qu'un itinéraire entre deux points. Pour la voiture, cette pertinence est moins évidente. En effet, ce mode peut offrir plusieurs itinéraires et le trajet le plus rapide, n'est pas forcément le moins cher. Par exemple, entre Orléans et Tours, prendre l'autoroute est la solution la plus rapide, mais aussi la plus chère. Compte tenu de la prédominance de la durée par rapport, aux autres critères, l'hypothèse est cependant admissible.

Afin de pouvoir détailler le coût et la durée, il est nécessaire de préciser que le mode train, tel que défini par le projet, est jugé « multimodal ». En effet, si la voiture peut être qualifiée de mode de transport porte à porte, ce n'est pas le cas du ferroviaire. Ce dernier nécessite un temps non négligeable pour rejoindre les gares, appelé temps de pré/post-acheminement. En réalité la voiture comporte également ce type de temporalités, mais elles sont ressenties moins fortement (par exemple le temps de marche entre une place de parking et le lieu de travail). La modélisation prend donc en compte ces temps, mais aussi l'argent que peut coûter le trajet vers les gares, grâce à une méthodologie détaillée ultérieurement.

La nature des critères coût et durée est précisée antérieurement. Ce sont, des matrices de 2 lignes et une colonne, renseignées par des 1 ou des 0 selon la « meilleure action ». Par exemple, pour le trajet Orléans Tours vu précédemment, le critère coût, peut s'illustrer de cette manière (avec l'ajout d'entêtes) :

Action	Note binaire du critère coût
Train	1
Voiture	0

Tableau 6 : exemple du critère coût sur le trajet Orléans – Tours

Ces critères n'illustrent donc pas en réalité, le coût et la durée, mais, le choix du « meilleur » coût et de la « meilleure » durée. Afin qu'ils obtiennent cette forme, il est nécessaire de réaliser en amont une comparaison. La modélisation propose de réaliser cette comparaison grâce à une décomposition des critères selon les modes de déplacement. Par exemple, le critère durée sera issu de la comparaison entre les temps de trajet en train et en voiture.

Détail du critère coût financier

Outre le trajet défini, le coût financier est également calculé pour un motif donné. En effet, la modélisation fait l'hypothèse que les individus ayant le même motif, payent un prix identique. Par exemple, pour le train, un individu voyageant pour le motif domicile-travail, voyagera avec un tarif préférentiel (abonnement TER). Par conséquent, le coût du trajet lui sera beaucoup moins élevé que s'il se déplaçait pour un motif privé et qu'il payait un billet plein tarif. Le projet fait également, l'hypothèse que le coût du trajet en voiture est lui indépendant, de l'individu et de son motif.

Comme précisé précédemment, le coût du trajet est issu de la comparaison entre ceux du train et de la voiture. Le logigramme ci-dessous détail la décomposition de ce critère.

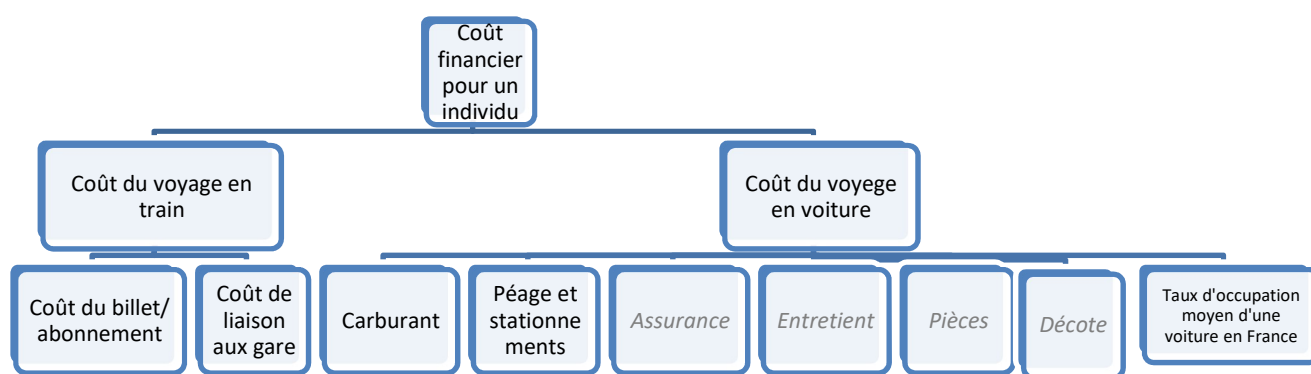


Figure 8 : Logigramme du Coût financier du trajet pour un individu.

Le coût du voyage en train

Le coût du voyage en train est le résultat de l'addition de celui du billet et de celui des liaisons aux gares. Le coût du billet est calculé en fonction des tarifs actuels des trains à disposition sur le site Oui.sncf. De plus, si le motif de déplacement est régulier (domicile-travail, domicile étude), la modélisation fait l'hypothèse que l'individu aura systématiquement un abonnement. Les tarifs de certains de ces abonnements sont disponibles sur les sites internet des TER des différentes régions.

Le coût de liaison aux gares correspond au pré/post acheminement. Il varie selon la distance entre l'origine, la destination et les gares. En dessous d'un kilomètre, la modélisation fait l'hypothèse que ce coût est nul, car l'individu choisi la marche à pied pour rejoindre la gare. Au-dessus, le problème se complique. En effet, il est difficile d'identifier le mode utilisé pour joindre la gare d'arrivée ou de destination. Or ce mode influe sur le coût, par exemple, l'utilisation de la voiture sera plus chère que celle du vélo. Par conséquent, la modélisation affecte aléatoirement le coût de liaison entre 0 et 4 euros. En effet le projet fait l'hypothèse arbitraire, qu'étant donné la couverture du territoire par le réseau ferré, ces coûts sont limités à 4 euros maximum par trajet.

Le coût du voyage en voiture

La méthode de calcul du coût de voyage en voiture est différente. Elle est le résultat de la multiplication de la distance de trajet avec différentes dépenses kilométriques impliquées par l'automobile et de la division du tout par son taux d'occupation moyen. La décomposition, et l'estimation de ces dépenses provient d'un article¹⁷ de 2012 du bureau d'étude ADETEC. Elles ont été calculées à partir de données de l'INSEE et du ministère des transports. ADETEC estime le coût kilométrique d'une voiture à 34 centimes d'euro en 2012. Le graphique suivant illustre la répartition de ces dépenses.

¹⁷ Article intitulé : le coût réel de la voiture, ADETEC, 2012

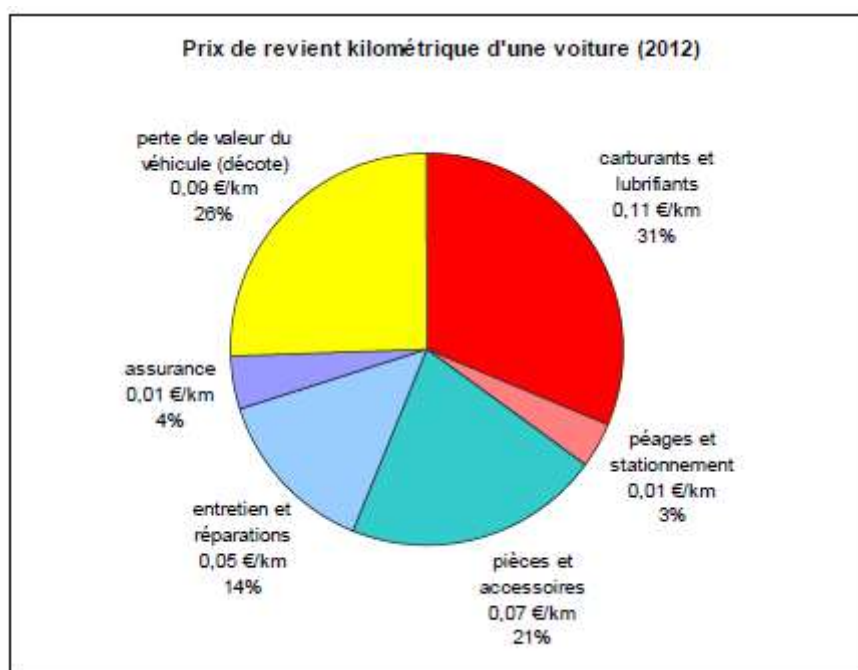


Figure 9 : Graphique des dépenses kilométriques impliquées par l'automobile

L'utilisation de ces résultats pour la simulation d'un coût lors d'un choix peut questionner. En effet, cette répartition correspond au coût réel de la voiture, or, en réalité, un individu a tendance à ne pas se rendre compte de la totalité des dépenses impliquées par l'automobile. La plupart du temps, sa réflexion n'inclue que l'essence, les péages et le stationnement. Cela ne pose pas de difficultés pour la modélisation. En effet, il suffit de ne pas tenir compte des autres coûts (grisés sur le logigramme). Pour ceci, il est néanmoins nécessaire de faire l'hypothèse que seuls l'essence, le coût de stationnement et les péages sont représentatifs du coût de l'automobile pour un individu. Selon le ministère de l'environnement et du développement durable, le taux d'occupation moyen d'une voiture en France est de 1,58 personne par véhicule¹⁸.

¹⁸ En 2014, selon l'étude intitulée : Vingt-cinq années de transport intérieur de voyageurs.

Détail du critère : durée de trajet

La modélisation de la durée du trajet est, comme celle du coût, basée sur une comparaison. Le projet propose son calcul suivant la décomposition illustrée par le logigramme ci-dessous.

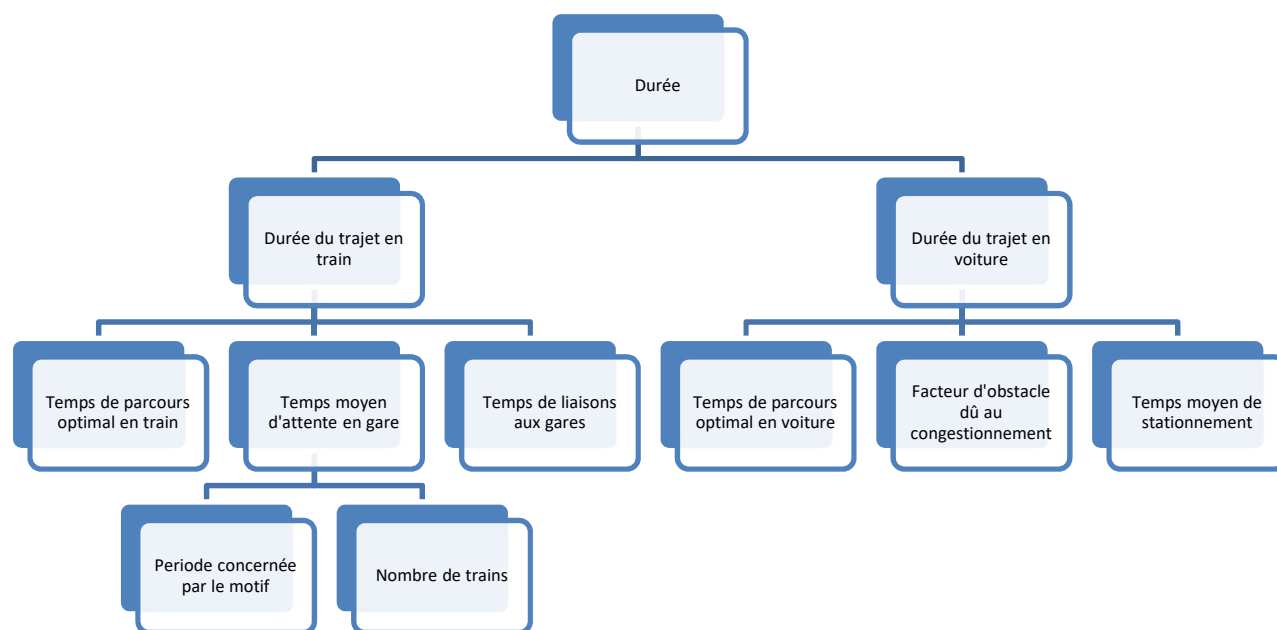


Figure 10 : Logigramme de la durée d'un trajet

Les durées de trajet en train et en voiture sont basées sur le calcul d'un temps de parcours optimal. Pour le ferroviaire, il correspond au temps de parcours du train le plus rapide entre les gares d'origine et de destination. Pour la voiture, il correspond à l'itinéraire possédant le temps de parcours le plus faible en respectant les vitesses maximales autorisées. Ces temps sont calculables grâce à la modélisation des réseaux ferrés et routiers sur des systèmes d'informations géographiques.

Durée du voyage en train

La formule proposée pour le calcul de la durée d'un trajet en train, est l'addition du temps optimal, du temps moyen d'attente en gare et du temps de liaisons aux gares.

Le temps de liaison aux gares est fixé arbitrairement à 30 minutes maximum. Cette hypothèse est en accord avec le rapport du PREDIT cité précédemment. Ce temps est par conséquent, calculé aléatoirement entre 0 et 30 minutes.

Le temps d'attente moyen permet de modéliser l'attente d'un individu en gare. Selon leur motif, ces derniers prennent le train à différentes périodes. Les motifs réguliers, (Domicile - Travail, Domicile-Etude) se concentrent sur les heures de pointes. Avec l'aide du rapport du PREDIT, le projet définit la période concernée par ces motifs comme durant 5 h : entre 7h et 9h le matin et entre 16 h et 19h l'après-midi. Les trajets « privés » sont beaucoup plus divers, donc plus éparpillés sur la journée. Par conséquent leur période est définie comme durant 14 h : entre 6 h et 20 h.

Pour obtenir l'attente moyenne, il faut dans un premier temps, diviser ces périodes par le nombre de trains qui y sont disponibles. Pour cela, il est nécessaire de faire l'hypothèse que les trains sont répartis équitablement au cours de ces périodes. Le temps alors obtenu, est l'écart moyen entre les trains, il correspond à l'attente maximum moyenne. La division de ce temps par deux permet d'obtenir le temps moyen d'attente en gare.

La formule suivante résume le calcul : $Tmg = \frac{(Pc / Nt)}{2}$ avec Tmg : temps d'attente moyen en gare, Pc : période concernée par le motif de déplacement et Nt : nombre de trains.

Durée du voyage en voiture

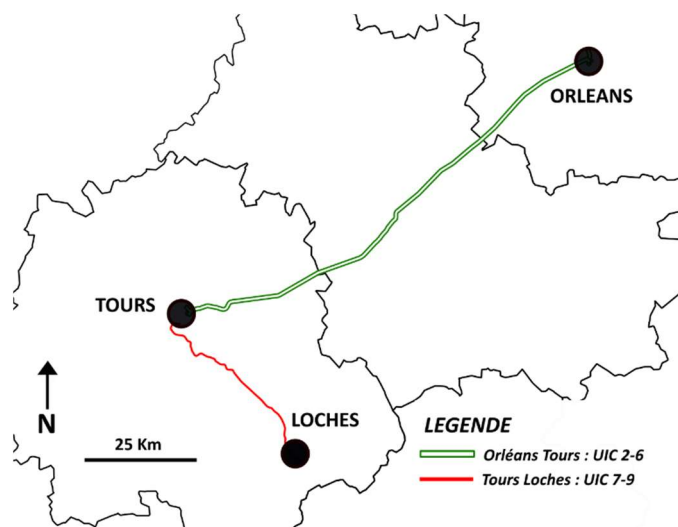
Le calcul du temps de trajet en voiture, est légèrement différent. Il se résume par cette formule : $Dv = (Tov * Fc) + Ts$ Avec Dv : durée du trajet en voiture, Tov : temps optimal du trajet, Fc : facteur de congestion et Ts : temps moyen de stationnement.

Dans un rapport de recherche¹⁹, la société SARECO définit le temps de stationnement moyen dans plusieurs métropoles françaises. La valeur maximum est de 11,8 minutes à Lyon sur la presqu'île. Or le projet se concentre principalement sur des zones d'étude moins denses et urbaines. De ce fait, la modélisation fait l'hypothèse d'attribuer le temps de stationnement entre 0 et 11,8 minutes proportionnellement à la densité d'habitant de l'IRIS de destination (avec 0 pour un IRIS peu dense et 11.8 pour une IRIS aussi dense que la presqu'île de Lyon).

Le facteur de congestion varie entre 1 et 2 et influe sur le temps de parcours. Il dépend grandement de la période concernée par le déplacement. Ainsi, les heures de pointes (7h-9h et 16h-19h) seront beaucoup plus congestionnées que les heures creuses. Le projet fait l'hypothèse que les individus se déplaçant pour des trajets « privés », ont la possibilité d'éviter ces périodes. Par conséquent, ce facteur est appliqué seulement aux individus ayant un motif régulier. Si elle est courante en milieu urbain, la congestion routière est peu fréquente dans le monde rural. De plus il est rare qu'elle aille jusqu'à doubler le temps d'un trajet. Sa probabilité d'affectation varie donc entre 1 et 2 en fonction de l'heure de départ de l'individu mais, aussi de la densité d'habitant des zones qu'il traverse durant son trajet.

Exemples de choix sur deux trajets régionaux en région Centre

Dans le but d'illustrer l'analyse multicritère, 2 exemples sont proposés sur la région Centre Val de Loire. Ils concernent des lignes ferroviaires très différentes. Tout d'abord, l'axe structurant Orléans Tours, qui relie les deux plus grandes agglomérations de la région. Ensuite la ligne Tours Loches, classée dans la catégorie UIC 7 à 9. Cet axe permet la liaison de Loches (6300 habitants) à la capitale régionale la plus proche et possède une vocation plus locale. La carte ci-dessous permet d'illustrer les situations géographiques de ces axes.



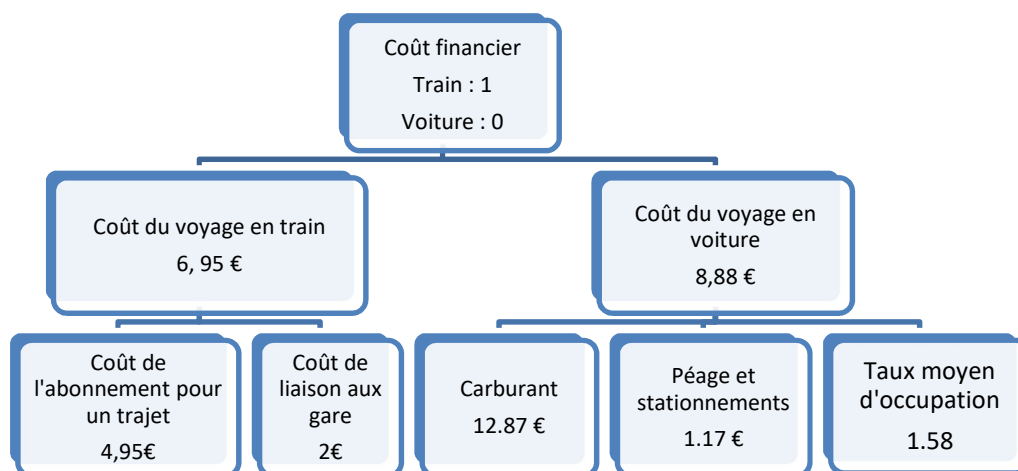
Afin d'illustrer l'importance des motifs sur la modélisation, ces derniers seront différents selon l'exemple proposé. Par conséquent, le trajet Orléans Tours aura pour motif : Domicile – Travail et le

¹⁹ Rapport intitulé : Le temps de recherche d'une place de stationnement

trajet Tours Loches sera privé. Les trajets sont simulés de centre-ville à centre-ville, dans un rayon de moins de 3 kilomètres des gares. Dans un premier temps, le calcul du coût est détaillé, ensuite celui de la durée et pour finir, les exemples sont intégrés à l'analyse multicritère.

Exemple de calcul du coût

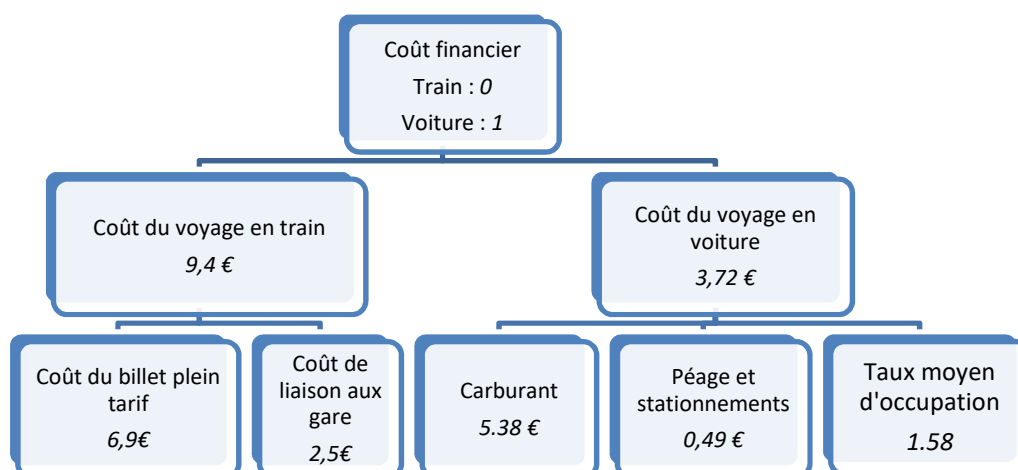
Le logigramme suivant illustre le calcul du coût pour le trajet Domicile-Travail, Orléans centre, Tours centre.



De par le motif choisi, le coût du train est basé sur celui d'un abonnement mensuel, rapporté sur un trajet. Le site TER Centre permet de voir que cet abonnement est de 207,6 €. Il faut donc diviser ce chiffre par le nombre de trajets que réalise l'individu en un mois. Pour ceci, l'exemple fait l'hypothèse que la personne effectue un aller-retour chaque jour ouvré. Or le nombre moyen de jours ouvrés en un mois est de 21, l'individu effectue donc 21 Aller-Retour, soit 42 trajets par mois. Il faut préciser que l'exemple ne prend pas en compte la « prime transport » qui oblige l'employeur à payer la moitié de l'abonnement d'un salarié.

Le trajet en voiture le plus rapide est long de 117 km, par conséquent, le coût de l'essence est de $0,11 \times 117 = 12,87$ € et celui des péages et stationnements de $0,01 \times 117 = 1,17$ €.

Sur ce trajet, régulier et assez long pour un déplacement régional, c'est donc le train qui possède le meilleur coût. Il est intéressant de le comparer avec le calcul du coût Tours Loches que détaille le logigramme ci-dessous.



Le motif étant privé, l'individu ne dispose pas d'abonnement et paye donc le tarif plein, soit 6,9 € selon Oui.sncf. Le trajet en voiture est long de 48,9 kilomètres. Le calcul montre que sur ce trajet, la voiture prend le dessus financièrement sur le train.

Le calcul du coût sur ces deux exemples permet de mettre en lumière, que la prise d'un abonnement fait considérablement baisser le coût du trajet en train.

Exemple de calcul de la durée

Le logigramme suivant détaille le calcul du coût sur l'exemple du trajet Orléans – Tours.

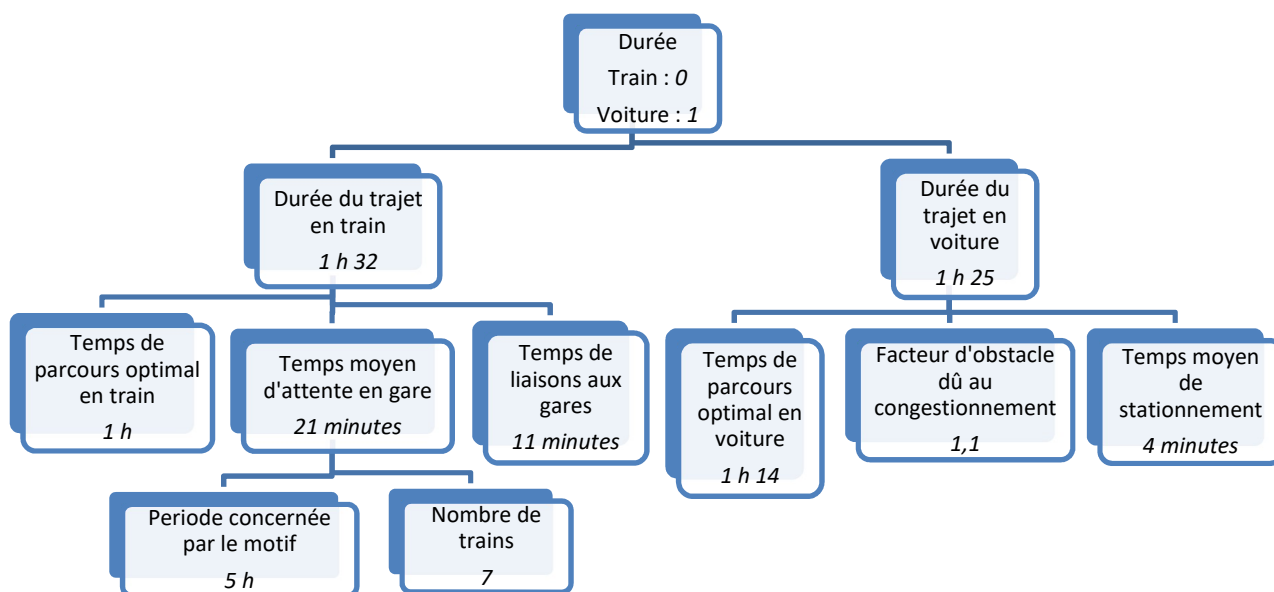


Figure 14 : Organigramme de la durée Orléans - Tours

Le nombre de trains est basé sur l'offre ferroviaire du vendredi 14 décembre 2018, trouvable sur Oui.SNCF. La liaison Orléans-Tours est assez particulière car elle est également desservie par des trains intercity. Cependant, il n'est pas possible d'emprunter ces trains avec un billet ou un abonnement TER, de ce fait, ils ne sont pas comptabilisés dans le calcul. L'offre étudiée est donc constituée de 3 trains pour la période matinale et de 4 pour la période d'après-midi. En considérant uniquement les TER, le temps d'attente est donc estimé à une vingtaine de minutes. Il faut noter qu'en considérant les intercity, ce temps tombe à moins d'un quart d'heure.

Pour le calcul du temps en voiture, le coefficient de congestion est défini à 1,1 ; ce qui est crédible pour une liaison entre ces deux agglomérations. En effet, l'origine et la destination sont denses mais la majorité des zones traversées ne le sont que très peu.

Au final, la voiture est un peu plus rapide. Cependant, en prenant en compte les intercity, le train devient le mode de transport le moins chronophage. Par conséquent, il est possible de dire qu'une harmonisation des titres de transport entre les TER et les intercity permettrait de rendre l'offre ferroviaire plus performante.

Cette dernière, assez forte entre Tours et Orléans contraste avec celle de la ligne Tours Loches, le calcul de la durée sur cette ligne est détaillé dans le logigramme ci-dessous.

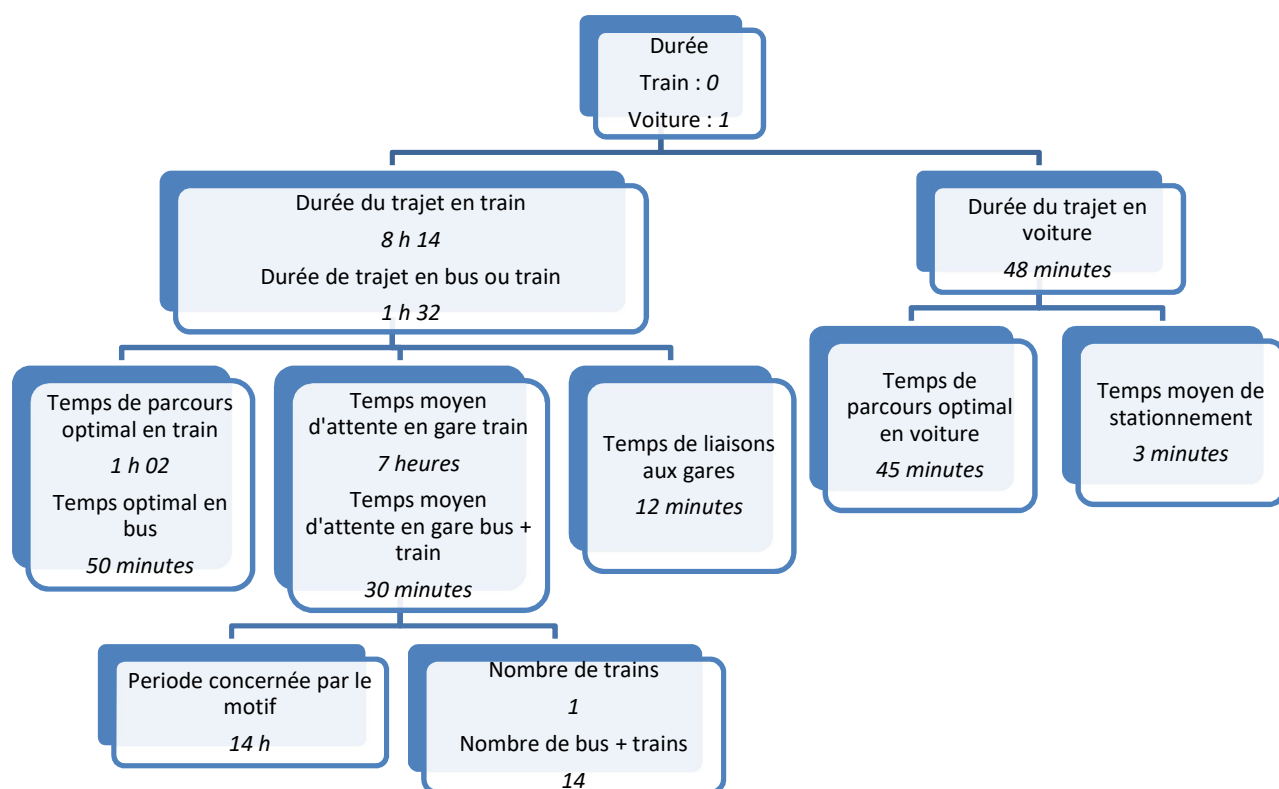


Figure 15 : Organigramme de la durée Tours - Loches

Le motif de déplacement est privé, par conséquent, la durée concernée est importante : 14 h. Comme pour l'exemple précédant, l'offre ferroviaire est celle du vendredi 14 décembre et provient du site Oui.sncf. Cette offre est extrêmement faible. En effet, seul un train TER est proposé sur cet axe. Cependant, une desserte par bus est proposée, elle est non négligeable et possède le même système de tarification que les trains TER.

La voiture est, de loin la plus rapide sur cet axe. La faiblesse extrême de l'offre ferroviaire est atténuée par la mise en place des bus. Cet exemple permet par conséquent d'illustrer une ligne secondaire en grand péril.

Analyse multicritère sur les exemples.

Les matrices des jugements ci-dessous permettent d'illustrer l'analyse multicritère des deux exemples.

	Orléans – Tours			Tours – Loches		
Critères	Temps de trajet	Coût financier	Préférence subjective	Temps de trajet	Coût financier	Préférence subjective
Actions	Poids : 80%	Poids : 10 %	Poids: 10 %	Poids : 58%	Poids : 25 %	Poids: 17 %
Train	0	1	1	0	0	0
Voiture	1	0	0	1	1	1

Tableau 7 : matrice des jugements des exemples

Après agrégation c'est donc la voiture qui est choisie dans les deux exemples. Si les deux individus étudiés ne sont pas captifs du train (il possède une voiture), alors c'est la voiture qui sera choisie au final. Par conséquent, si cette population et ces trajets étaient représentatifs de la mobilité régionale, l'utilisation du réseau secondaire serait en baisse.

Limites de la modélisation

Le comportement humain est très complexe, si ce n'est impossible à simuler. La modélisation proposée n'essaye pas de l'approcher, mais d'illustrer les choix d'une population vis-à-vis d'un mode de transport. Elle comprend de nombreuses limites, et les exemples permettent d'en esquisser certaines.

La limite la plus importante est posée par les calculs actuels des poids et de l'agrégation. Ils rendent inutile l'analyse multicritère. En effet, dans la quasi-totalité des cas, le poids du critère durée est supérieur à 50%. Par conséquent, avec la méthode d'agrégation choisie, il devient le seul critère pris en compte dans le choix. Une autre limite apparaît concernant le poids. Son calcul actuel, en lien avec les notes binaires crée des effets de seuils assez importants. En effet, la modélisation tient compte uniquement du « meilleur » mode et non de l'écart entre deux modes. Par exemple, si les durées sont très proches, l'individu fait le choix implicite du plus rapide et le critère durée aura toujours un poids important. Or, en réalité, pour 2 temps de parcours proches, l'individu aura tendance à donner plus d'importance au coût financier. Par conséquent, le poids de la durée devrait baisser et celui du coût augmenter.

De plus, la méthode proposée n'a pas été testée informatiquement. Or, une mise en situation réelle grâce à des logiciels de modélisation est l'unique manière de vérifier la crédibilité et le réalisme des résultats finaux.

CONCLUSION

L'avenir du réseau secondaire français est une question vaste et importante, de par les enjeux qui s'y réfèrent. Si le projet n'a pas la prétention d'y répondre, il permet néanmoins d'œuvrer, à son échelle, à une meilleure compréhension des facteurs l'influençant.

Le réseau secondaire tel que majoritairement défini aujourd'hui, est dédié à la mobilité régionale, il est très peu fréquenté et possède une offre minimale. La relation entre la fréquentation et l'offre est complexe à appréhender. En effet, si l'offre est calquée sur la fréquentation, elle demeure un des facteurs majeurs dans le choix d'un individu entre le train et un autre mode de transport. A première vue, le réseau secondaire semble donc immobilisé dans une situation périlleuse.

Cependant, en analysant la demande plus finement, il est possible de se rendre compte d'une certaine inadéquation, entre une offre performante pour peu de personnes et une demande hétérogène. Il est alors intéressant de se pencher sur les attentes de cette demande. En effet, une adaptation de l'offre à ces attentes maximise les chances d'augmenter la fréquentation.

La phase de modélisation aide cette adaptation. En effet, elle permet d'identifier les éléments et les changements qui influencent le choix modal d'une population. La méthode d'analyse multicritère proposée est discutable, mais elle est adaptée à ce type de problématique. En effet, malgré d'évidentes limites, la dernière phase du projet permet de caractériser des facteurs influençant le choix des individus. De plus, l'ajout d'exemples permet d'en mettre en lumière certains assez méconnus, comme l'homogénéisation de la tarification.

Une application réelle de la modélisation est nécessaire pour pouvoir appréhender la sensibilité du choix à l'évolution de ces facteurs. Elle n'est pas proposée dans le projet, mais ce dernier tente de donner les éléments indispensables à sa mise œuvre. Cette application aurait également des effets positifs sur la simulation. En effet, seule une analyse des résultats finaux permet de réaliser les ajustements nécessaires à l'approche crédible de l'avenir du réseau ferré secondaire.

Cependant, sans l'aide de la modélisation, il est possible de conjecturer l'avenir de ce réseau. En effet, une stagnation à son état actuel paraît peu crédible étant donné les problèmes qu'il pose aux différents acteurs. L'utilisation de ce réseau sera donc croissante ou décroissante selon les réponses apportées dans l'avenir. Ces réponses sont la source d'un débat entre deux visions. Avec d'un côté une approche économique à court et moyen termes prônant une fermeture partielle ou totale du réseau et de l'autre une approche à long terme misant sur le ferroviaire pour palier au déclin des énergies fossiles.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages imprimés

- BAPTISTE Hervé, CHAPELON Laurent, COQUIO Julien, JOUVAUD Benoit, L'HOSTIS Alain, MENDE Cornélius, RAMORA Sébastien. Conception de services régionaux de transport public et optimisation de l'offre. Montpellier : PREDIT, 2005. 213 p.
- CERTU, SNCF. La mobilité régionale : le train et les autres modes de transport. Paris : CERTU, 1998. 251p. (Transport publics).

Ouvrages électroniques

- ADETEC. Le coût réel de la voiture. Clermont Ferrand, 2012. http://www.adetec-deplacements.com/cout_utilisation_voiture_8p.pdf
- CEREMA. Transport régional : Premiers éléments de réflexion sur la pertinence des modes fer et route pour des dessertes régionales. Paris : CEREMA, 2014. <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/transport-regional>
- CEREMA. Quelles modalités d'organisation pour les petites lignes ferroviaires ? : Étude de cas en Régions Centre Val de Loire, Limousin et Bretagne. Paris : CEREMA, 2016. <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/quelles-modalites-organisation-petites-lignes-ferroviaires>
- CHAPULUT Jean-Noël, DEHORNOY Julien, SAINT PULGENT Noël de. Rapport sur la tarification du réseau ferré. Paris : Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer. <https://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/174000141/index.shtml>
- Cour des comptes. L'entretien du réseau ferroviaire national. Paris : Cour des Comptes, 2012. <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/lentretien-du-reseau-ferroviaire-national>
- CROZET Yves. Time and passenger transport, 2005, Paris, France. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00194583>
- LEHOUX Nadia, VALLEE Pascale. Analyse multicritère. Paris, 2004. <https://www.performance-publique.budget.gouv.fr/performance-gestion-publiques/controle-gestion/approfondir/centre-ressources-interministeriel-controle-gestion-cri-cg/qualite-controle-gestion/analyse-multicriteres#.XBLgHWhKjIU>
- RIVIER Robert, PUTALLAZ Yves. Audit sur l'état du réseau ferré national français. Paris : Ministère des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer, 2005. <https://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/054000595/index.shtml>

- SPINETTA Jean-Cyril. L'avenir du transport ferroviaire. Paris : Ministère de la transition écologique et solidaire, 2018. <https://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/184000093/index.shtml>
- SARECO. Le temps de recherche d'une place de stationnement. Paris, 2005. http://www.sareco.fr/images/sareco/pdf/Rapport_Temps_de_recherche.pdf
- SNCF Réseau. Document de Référence du réseau ferré national : Horaire de service 2019. Saint Denis : SNCF Réseau, 2019. <https://www.sncf-reseau.fr/fr/document-de-reference-du-reseau>.

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1 : Cartographie des tronçons de chemin de fer de la région Centre selon leur catégorie UIC, Réalisation : Noé Limbach	10
Figure 2 : Carte du trafic TER en France, source : SNCF Réseau	12
Figure 3 : Carte du trafic TER en région Centre Val de Loire	13
Figure 4 : Graphique du nombre de déplacements régionaux par motifs	14
Figure 5 : Les attentes des usagers face à l'usage du train, Source : PREDIT	16
Figure 6 : Logigramme d'organisation de l'analyse multicritère	20
Figure 7 : Algorithme d'agrégation des critères	23
Figure 8 : Logigramme du Coût financier du trajet pour un individu	25
Figure 9 : Graphique des dépenses kilométriques impliquées par l'automobile	26
Figure 10 : Logigramme de la durée d'un trajet	27
Figure 11 : Localisation des exemples	28
Figure 12 : Organigramme du coût Orléans - Tours	29
Figure 13 : Organigramme du coût Tours - Loches	29
Figure 14 : Organigramme de la durée Orléans - Tours	30
Figure 15 : Organigramme de la durée Tours - Loches	31

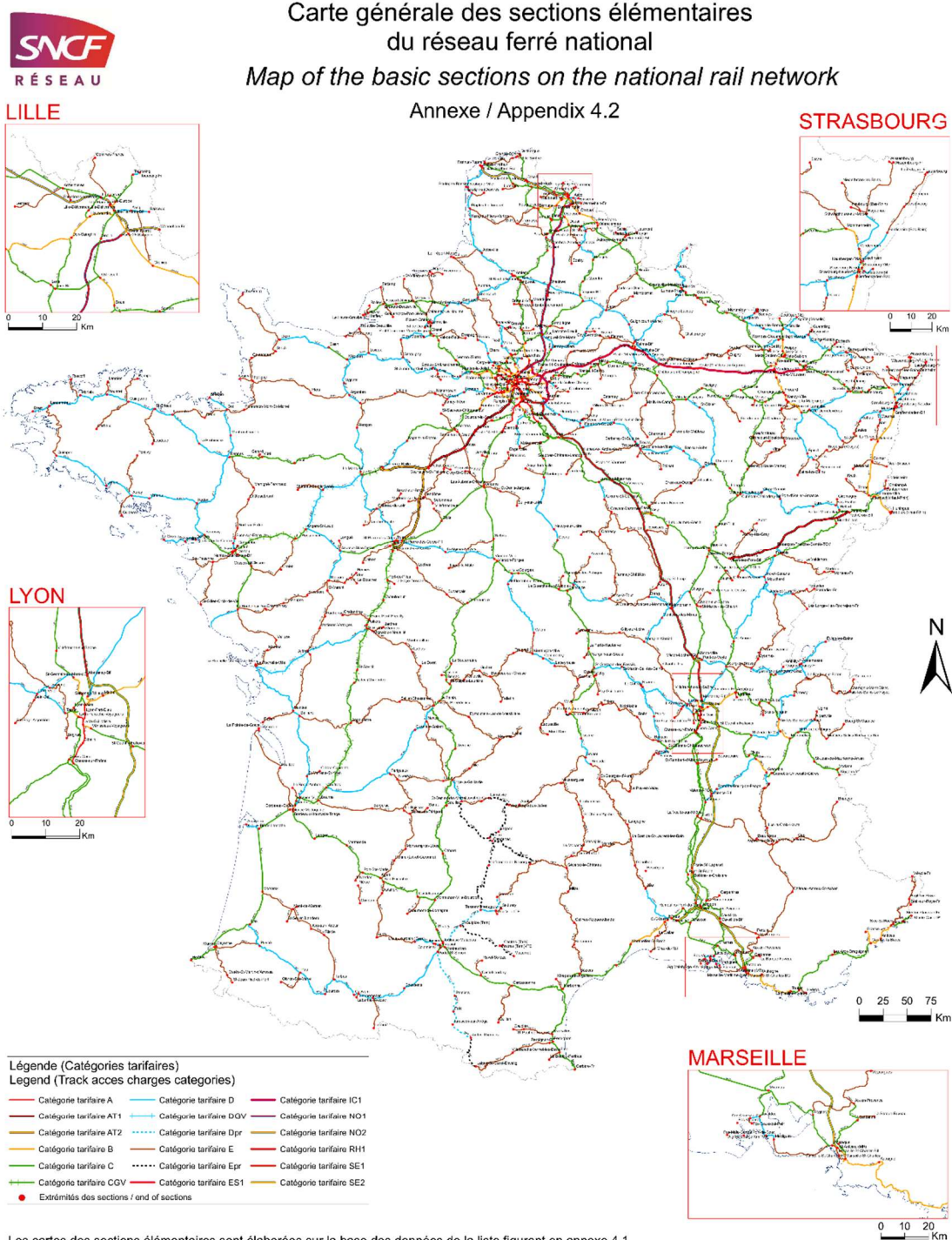
Tableaux

Tableau 1 : Kilomètres de lignes en fonction de leur catégorie tarifaire et UIC	11
Tableau 2 : Importance des obstacles à la mobilité ferroviaire régionale selon le motif de déplacement	15
Tableau 3 : Pourcentage d'importance des critères	21
Tableau 4 : Zones de tolérance des poids	22
Tableau 5 : Matrice des choix pour le trajet Orléans - Tours	23
Tableau 6 : exemple du critère coût sur le trajet Orléans – Tours	24
Tableau 7 : matrice des jugements des exemples	31

LEXIQUE

- ARAFER : Autorité de régulation des activités ferroviaires et routières
- CEREMA (anciennement CERTU): Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.
- CERTU : Centre d'études sur les réseaux de transports, l'urbanisme et les constructions publiques.
- EPFL : Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne.
- Intercité : Offre ferroviaire longue distance classique en France.
- JOB : Jour ouvrable de Base : concept permettant de simuler un jour de semaine « standard » en termes de mobilité.
- LGV : Ligne ou la grande vitesse ferroviaire (< 250 km/h) est autorisée.
- Loi NOTre : loi portant sur la nouvelle organisation territoriale de la République.
- PREDIT : Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres.
- RFN : Réseau Ferré National : ensemble des lignes ferroviaire française.
- SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer français : exploitant ferroviaire historique en France.
- SNCF Réseau (Anciennement RFF) : Gestionnaire du Réseau Ferré National.
- TER : Transport Express Régional : Offre ferroviaire régionale en France.
- TGV : Train Grande Vitesse : Offre ferroviaire longue distance grande vitesse en France.
- UIC : Union International des chemins de fer : association des principales entreprises mondiale du ferroviaire.

Annexe 1 : Cartes des tronçons du réseau ferré national selon leur catégorie tarifaire



Les cartes des sections élémentaires sont élaborées sur la base des données de la liste figurant en annexe 4.1. Certaines modifications apportées à cette liste ne sont pas visibles sur les cartes, l'ensemble des caractéristiques techniques utiles pouvant ne pas être connues à la date de publication du présent DRR. Elles seront mises à jour lors d'une version ultérieure. Seules les données des sections élémentaires figurant en annexe 4.1 font foi.

The maps of the basic sections are issued on the basis of data displayed in Appendix 4.1. Some modifications made to this list are not visible on the maps, all relevant technical characteristics may be not known at the publication date of the present NS. They will be updated in the next version. Only basic sections data as displayed in Appendix 4.1 is deemed valid.

Sources : RÉSEAU - RGI 2015 / BD Carto © IGN Paris - 2001

Données applicables pour l'horaire de service 2016
Data application to the 2016 Timetable : 13 décembre 2015

Légende (Catégories tarifaires)
Legend (Track Access charges categories)

- Catégorie tarifaire A
- Catégorie tarifaire AT1
- Catégorie tarifaire AT2
- Catégorie tarifaire B
- Catégorie tarifaire C
- Catégorie tarifaire CGV
- Catégorie tarifaire D
- Catégorie tarifaire DGV
- Catégorie tarifaire Dpr
- Catégorie tarifaire E
- Catégorie tarifaire Epr
- Catégorie tarifaire ES1
- Catégorie tarifaire IC1
- Catégorie tarifaire NO1
- Catégorie tarifaire NO2
- Catégorie tarifaire RH1
- Catégorie tarifaire SE1
- Catégorie tarifaire SE2
- Extrémités des sections
End of sections



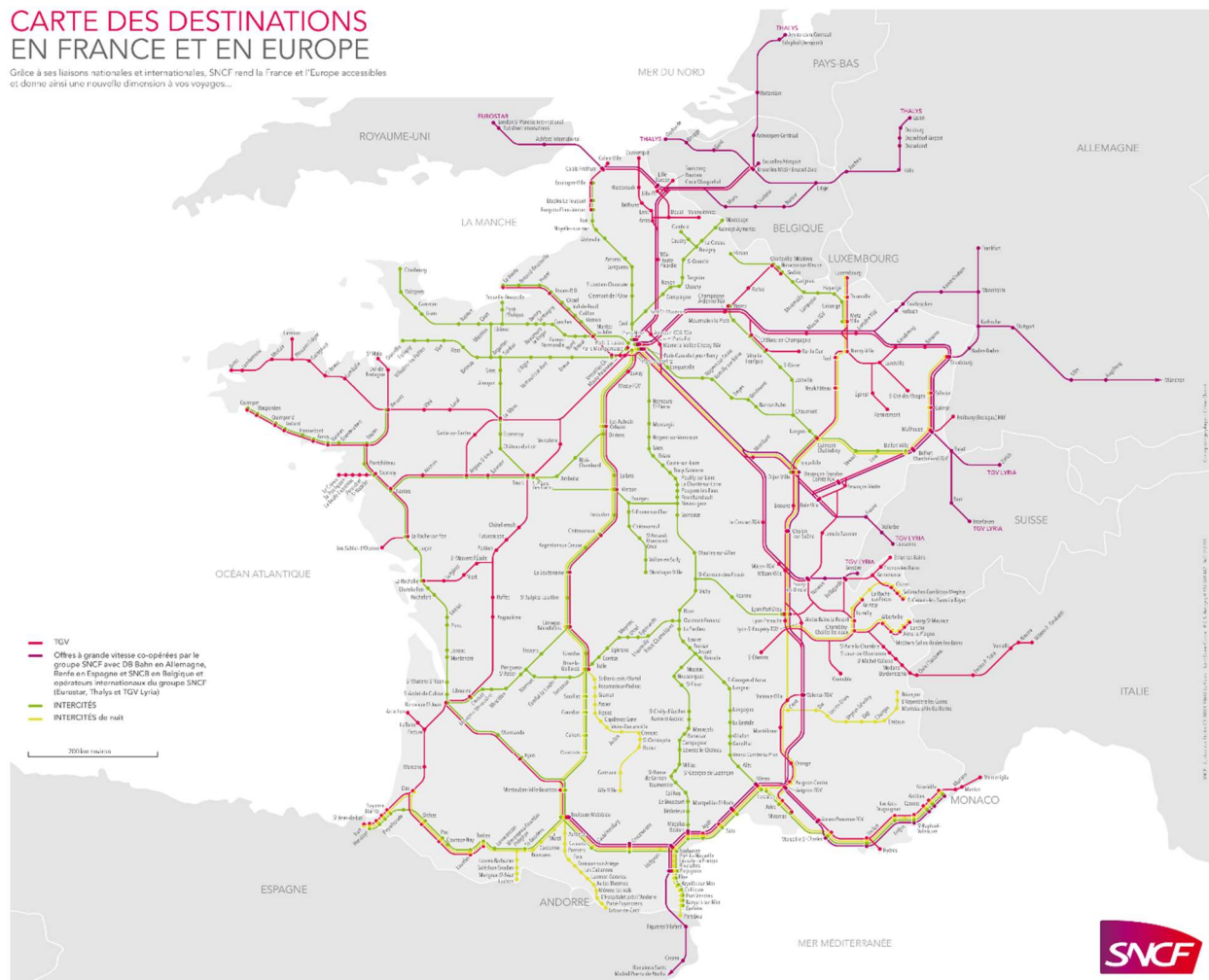
Les cartes des sections élémentaires sont élaborées sur la base des données de la liste figurant en annexe 4.1. Certaines modifications apportées à cette liste ne sont pas visibles sur les cartes, l'ensemble des caractéristiques techniques utiles pouvant ne pas être connues à la date de publication du présent DRR. Elles seront mises à jour lors d'une version ultérieure. Seules les données des sections élémentaires figurant en annexe 4.1 font foi.
The maps of the basic sections are issued on the basis of data displayed in Appendix 4.1. Some modifications made to this list are not visible on the maps, all relevant technical characteristics may be not known at the publication date of the present NS. They will be updated in the next version. Only basic sections data as displayed in Appendix 4.1 is deemed valid.

Données applicables pour l'horaire de service 2016
Data application to the 2016 Timetable : 13 décembre 2015
Sources / Sources / Quelle : RÉSEAU - RGI 2015/ BD Cartho © IGN Paris - 2001

Annexe 2 : Carte des dessertes grandes lignes de la SNCF

CARTE DES DESTINATIONS EN FRANCE ET EN EUROPE

Grâce à ses liaisons nationales et internationales, SNCF rend la France et l'Europe accessibles et donne ainsi une nouvelle dimension à vos voyages...



Directeur de recherche :

Hervé Baptiste
2018-2019

Noé Limbach
PFE/DAE5
UIT RESEAU

Etude, analyse et modélisation des caractéristiques de l'offre et de la demande associées au réseau ferré secondaire français

Résumé : Fort de 30 000 kilomètres de lignes et véritable fer de lance de la grande vitesse européenne, le réseau ferré français est également très disparate. En effet, sa moitié la moins fréquentée est en déclin. Ces lignes composent le réseau secondaire. Elles posent de nombreux problèmes aux différents acteurs, du fait de leur faible rentabilité. La question de leur avenir est une des problématiques majeures du monde ferroviaire.

Le projet tente d'apporter des éléments de précision sur cet avenir et sur les facteurs qui auront tendance à l'influencer. Pour ceci, il propose, dans un premier temps, de comprendre la nature de l'utilisation du réseau secondaire. Cette dernière correspond à la mobilité régionale. L'analyse de cette mobilité est ensuite proposée, afin d'établir ses caractéristiques. Elle permet de mettre en lumière l'inadéquation qui existe entre une demande hétérogène et une offre rigide, mais également d'illustrer les principales attentes de la demande.

Ces attentes sont la base d'une modélisation d'un choix modal sur un trajet régional. La méthode proposée pour cette simulation est une « analyse multicritère », permettant l'agrégation de plusieurs critères influençant la décision. Ces derniers sont ensuite décomposés plus finement pour obtenir des facteurs précis.

Pour illustrer la modélisation, des exemples sur la Région Centre Val de Loire sont proposés. Le projet s'arrête à ses exemples et ne met pas en œuvre numériquement la modélisation. Cependant, il donne les éléments nécessaires pour la mener à bien.

Mots Clés : Réseau secondaire, lignes de dessertes fines, UIC 7 à 9, lignes secondaires, avenir