

« LA MODELISATION DE L'INTERET
ECONOMIQUE ET FINANCIER DES
PROJETS D'INFRASTRUCTURE »

Rapport de stage

REALISE PAR :

LARABASS MAALAININE

ETUDIANT MACS3

ENCADRE PAR :

LUDOVIC SALVI, DIRECTEUR D'ETUDES ECONOMIQUES -ECP

ALAN HOCHBERG, CHARGE D'ETUDES-ECP

MOHAMED BEN ALAYA, MAITRE DE CONFERENCE, LAGA

DATE D'INDICE : 08/11/2010

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	5
1/ INTRODUCTION	6
2/ RESUME	7
3/ PRESENTATION D'INEXIA	8
3.1. HISTORIQUE	8
3.1.1. CHIFFRES CLES 2010	8
3.1.2. LES PRINCIPAUX CLIENTS	9
3.2. ORGANISATION ET IMPLANTATION	9
3.2.1. ORGANIGRAMME	10
3.2.2. DEPARTEMENT ECONOMIE ET PROSPECT	10
4/ LA MODELISATION DU TRAFIC	12
4.1. INTRODUCTION	12
4.2. LES MODELES A QUATRE ETAPES	12
4.2.1. LA GENERATION	12
4.2.2. LA DISTRIBUTION	13
4.2.3. LE CHOIX MODAL	14
4.2.4. L'AFFECTATION	16
4.3. LA CONSTRUCTION DES MODELES :	16
4.4. CONCLUSION	16
5/ EVALUATION SOCIO-ECONOMIQUE DES PROJETS	17
5.1. INTRODUCTION	17
5.2. LES CRITERES D'EVALUATION	17
5.2.1. LA VALEUR DU TEMPS	17
5.2.2. LA SECURITE	19
5.2.3. LA POLLUTION	21
5.2.4. EFFET DE SERRE	22
5.2.5. LE BRUIT	22
5.3. L'HARMONISATION DES HYPOTHESES	24
5.3.1. LE CADRAGE MACRO-ECONOMIQUE	24
5.3.2. LES INDICATEURS DE RENTABILITE ET D'ACTUALISATION	24
5.4. CONCLUSION	27
6/ LES CAS DE LA PRATIQUE	28
6.1. TER METROLOR 2016-2025 (REGION LORRAINE)	28
6.1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE	28
6.1.2. DESCRIPTION DU RESEAU FERRE	29
6.1.3. ANALYSE DU TRAFIC	30

6.2. LE MODELE NATIONAL DU PROJET LNPN (LIGNE NOUVELLE PARIS-NORMANDIE)	35
6.2.1. OBJECTIF	35
6.2.2. LA STRUCTURE DE LA DEMANDE ET DE L'OFFRE DU MODELE LNPN	35
6.2.3. LE PERIMETRE DU MODELE	37
6.2.4. LE CADRE DU MODELE :	37
6.3. LA LIGNE CHARTRES-TOURS	46
6.3.1. L'OBJECTIF	46
6.3.2. LE PERIMETRE ET L'HORIZON DE L'ETUDE	46
6.3.3. LA PREVISION DU TRAFIC	46
6.3.4. BILAN SOCIO-ECONOMIQUE	49
6.4. LA LIAISON TOULOUSE NARBONNE (LTN)	50
6.4.1. OBJECTIF	50
6.4.2. LE MODELE DE PREVISION DU TRAFIC	50
<u>7/ CONCLUSION</u>	<u>52</u>
<u>8/ REFERENCE</u>	<u>53</u>
BIBLIOGRAPHIE :	53
WEB: 53	
<u>9/ ANNEXES</u>	<u>54</u>
9.1. ANNEXE DU PROJET METROLOR (2016-2025)	54
9.1.1. LE SERVICE ROUTIER	54
9.1.2. LE SERVICE FERROVIAIRE	56
9.2. ANNEXE DU PROJET LNPN	59
9.3. ANNEXE DU PROJET CHARTRES-TOURS :	62
9.3.1. LE MODE ROUTIER	62
9.3.2. LE MODE FERROVIAIRE	64
La fréquence :	64
Le temps moyen :	65
9.3.3. LES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES	66
9.4. ANNEXE DU PROJET TOULOUSE-NARBONNE:	70
9.4.1. OPTIRAIL:	70
<u>10/ LEXIQUE</u>	<u>72</u>
<u>11/ TABLE DES ILLUSTRATIONS</u>	<u>73</u>

Remerciements

Cette page est pour tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de l'ensemble des travaux de ce stage exposé ici.

Mes remerciements vont en premier lieu à toute l'équipe Economie et Prospective ECP (Hubert, Ludovic, Alain, Arnaud, Cécile, Carmen, Caroline, Philippe...) pour leur accueil chaleureux, pour leurs conseils avisés, et pour leurs disponibilités.

Je pense aussi à tous les autres membres de la famille DPX (Direction des Projets Amonts et Expertise) que j'ai côtoyés durant ces huit mois. En premier lieu l'équipe Projets amont (PAM) avec qui j'ai partagé des bons moments.

Surtout, je tiens ici particulièrement à remercier l'ensemble de ma famille pour son soutien durant tout mon cursus scientifique. Je pense à mes parents qui ont su sans cesse m'encourager malgré la distance de 3000 km qui nous sépare, à leur fierté de me voir réussir. Je leurs dois en grande partie mon parcours.

1/ Introduction

Au cours des dernières années, l'évaluation socio-économique de l'intérêt des projets de l'infrastructure a connu une évolution sans précédent. En outre cette évaluation englobe désormais une large variété des éléments qui auparavant n'était pas considéré.

Face aux besoins grandissants qui nécessitent la réalisation des projets d'infrastructure, une palette d'outils s'est développée pour assister le gestionnaire dans les démarches de l'analyse, de l'évaluation et de la prise de la décision. En effet, la complexité du processus de l'évaluation à long terme d'un projet entraîne la nécessité d'avoir accès à un outillage de haut niveau afin de choisir le meilleur projet qui répond aux différents critères économiques, sociaux, techniques et environnementaux.

Le but de ce document est d'étudier des différents projets d'infrastructure, en mettant en œuvre les techniques de la modélisation du trafic qui permettent de projeter aux divers horizons de l'étude, et à l'aide des résultats de la modélisation, on réalise les bilans socio-économiques qui ont pour objectif de fournir une évaluation monétarisée des impacts quantifiables du projet.

2/ Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un stage de fin d'étude, réalisé au sein du département ECP (Economie et prospective) à l'entreprise INEXIA. Le sujet de mon stage est intitulé « La modélisation de l'intérêt économique et financier des projets d'infrastructure ».

La première partie est consacrée à la présentation de l'entreprise d'accueil INEXIA. La seconde partie de ce travail met l'accent sur la partie théorique utilisée, telle qu'on a fait un rappel sur le processus à quatre étapes avec notamment les différents modèles traités dans chaque étape pour modéliser le trafic. La troisième section définit la partie socio-économique des projets et les différents critères pris en compte lors de l'évaluation de chaque projet d'infrastructure. La quatrième partie présente les travaux effectués sur des différents projets. Le premier projet (Ter Métrolor 2016-2025) sera l'occasion de mettre en œuvre de ce qu'on a étudié dans la partie théorique du trafic. Cependant ma participation dans le second projet (la ligne nouvelle Paris Normandie LNPN) porte sur l'établissement du modèle national en prenant en considération le rapport entre la partie trafic et les données socio-économiques. Le troisième projet s'intéresse à l'étude du trafic et l'établissement du bilan socio-économique de la ligne Chartres-Tours, cette étude ressemble dans les démarches de la partie modélisation du trafic à celle du premier projet (Ter Métrolor) mais avec beaucoup moins des Origines-Destination. Enfin le quatrième projet porte sur l'évaluation économique de la liaison Toulouse-Narbonne en utilisant Optirail.

La cinquième partie illustre quelques résultats numériques calculés lors de l'étude des projets. Ces résultats sont donnés à titre indicatif pour des raisons de confidentialité.

3/ Présentation d'INEXIA

3.1. HISTORIQUE

INEXIA est une filiale à 100 % de la SNCF, elle est née en Septembre 2006 pour répondre aux besoins croissants en ingénierie des lignes ferroviaires, de tramways, de trams-trains ou de métros. Elle dispose d'une expertise technique lui permettant d'y développer son activité.

- Une ingénierie de la mobilité durable : un souci constant de trouver des solutions préservant les espaces naturels, réduisant les nuisances, économes au plan énergétique, dans un esprit de concertation avec les populations.
- Un domaine d'excellence : la maîtrise des systèmes de transports les plus durables, comme le train, le tramway ou le métro.
- Une implication à tous les stades des projets : réflexion stratégique en amont, conception détaillée, travaux, essais préalables aux mise en service, ingénierie de maintenance et d'exploitation.

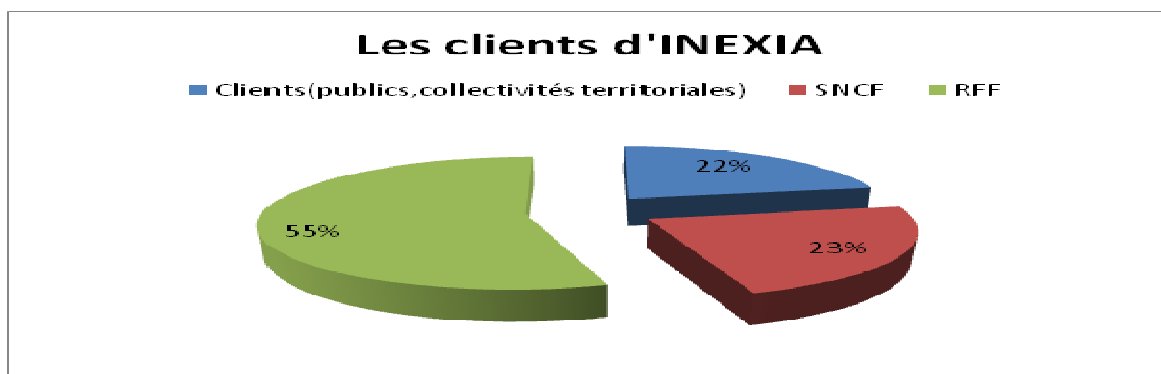
3.1.1. CHIFFRES CLES 2010

- 103 millions d'euros de chiffre d'affaires.
- Une progression de 37 % du chiffre d'affaires entre 2009 et 2010.
- Plus de 124 millions d'euros de contrats signés sur l'année 2009.
- 770 personnes à la fin de 2010.

Données en millions d'euros	2008	2009	2010	Variation 2009/2010	Variation 2008/2010
Chiffre d'affaires CA	60	75	103	37%	71%
Résultat opérationnel	3,5	4,5	7,8	72%	151%
Résultat net après impôts	2,1	3,3	5,4	67%	157%

CHIFFRES CLES

3.1.2. LES PRINCIPAUX CLIENTS



LES PARTS DES CLIENTS D'INEXIA

3.2. ORGANISATION ET IMPLANTATION

L'organisation d'INEXIA est structurée autour de cinq directions, regroupant des ressources pluridisciplinaires pour conduire tous types de projets et des forces de production intégrés.

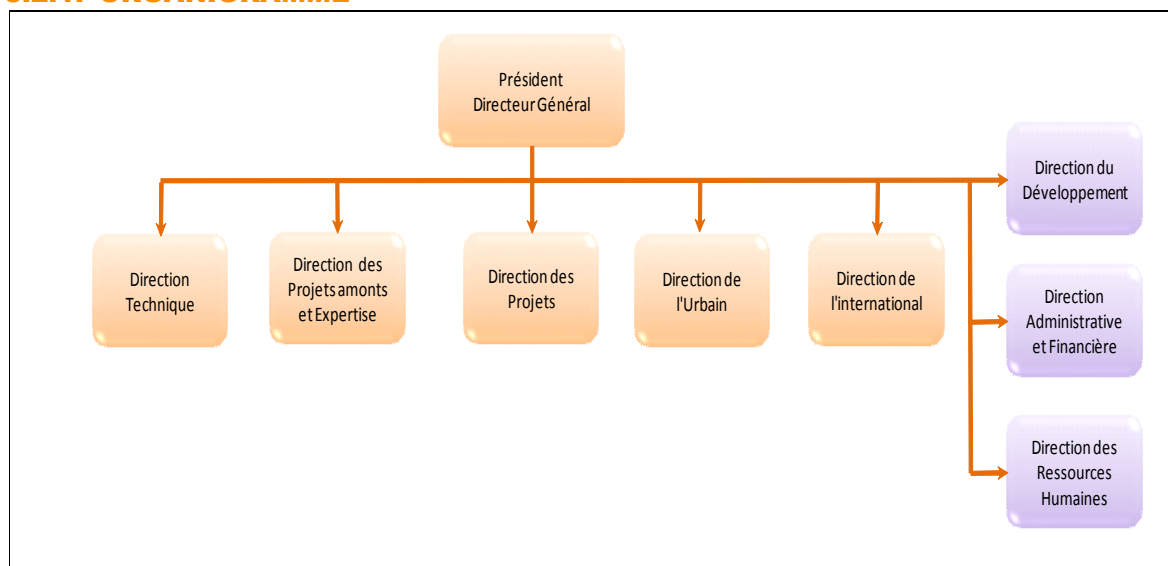
Pour être plus proche des préoccupations des clients, INEXIA a mis en place une politique d'implantation régionale : ainsi elle dispose actuellement des agences à Lille, Lyon, Marseille, Metz et Bordeaux.

INEXIA a décidé de mettre dorénavant ses compétences au service des grands projets internationaux : le ferroviaire classique, la grande vitesse mais aussi les projets urbains tels que les tramways, les tram-trains et les métros automatiques.

Dans cette perspective, INEXIA crée en 2010 une Direction de l'international dotée de profils spécifiques qui s'appuieront sur les différents bureaux d'études d'INEXIA pour conduire ces projets.



3.2.1. ORGANIGRAMME

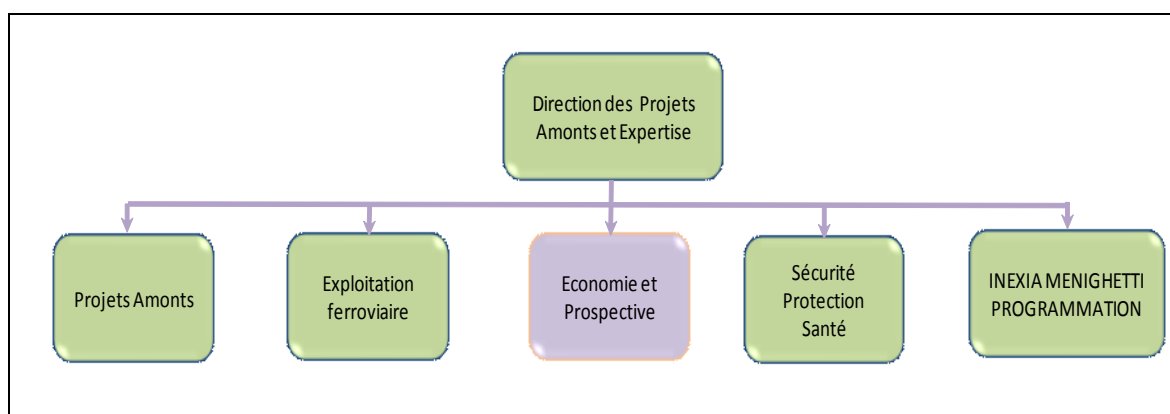


ORGANIGRAMME D'INEXIA

3.2.2. DEPARTEMENT ECONOMIE ET PROSPECT

INEXIA a créé un département Prospectives et études économiques composé d'économistes et d'ingénieurs de transport. Cette équipe dispose des compétences en :

- Analyse territoriale (identification des pôles structurés)
- analyse de déplacement (analyses statistiques, études de trafic, entretiens auprès d'acteurs clés pour le transport de marchandise).
- Analyse de la concurrence et de la compétence des différents modes de transport.
- Etablissement des bilans économiques (socio-économiques pour l'ensemble de la collectivité, financiers pour les opérateurs de transport et gestionnaires d'infrastructure).
- Etablissement des indicateurs économiques qui permettent de retenir la meilleure solution.



ORGANIGRAMME DE LA DIRECTION DPX

4/ La modélisation du trafic

4.1. INTRODUCTION

Comme dans tous les domaines, L'usage des techniques et des méthodes du calcul économique exige une représentation fiable et précise du comportement des usagers, d'une part pour leur choix pour se déplacer ; d'autre part des arbitrages qui influencent ce choix.

Cette modélisation du comportement est nécessaire pour prévoir l'évolution de la demande voir la prévision des effets d'une amélioration de l'offre ou l'installation d'une nouvelle infrastructure.

Pour mettre en œuvre un modèle de demande, il faudra une description détaillée de l'offre et plus précisément l'intégralité des modes et des services de transport affectés par le projet étudié.

L'objectif de cette partie étant de porter l'accent sur les méthodes revêtant un caractère réellement opérationnel comme les modèles à quatre étapes qui sont présentés ici.

4.2. LES MODELES A QUATRE ETAPES

Pour modéliser le comportement de l'utilisateur, on utilise généralement une procédure classique à quatre étapes qui repose sur l'idée que chaque déplacement fait l'objet de quatre questions que se pose l'individu, ces questions sont formalisées au travers des quatre étapes appliquées de façon séquentielle :

- 1) Génération \mapsto Faut-il se déplacer ?
- 2) Distribution \mapsto Où se rendre ?
- 3) Choix modal \mapsto Comment y aller ?
- 4) Affectation \mapsto Par quel itinéraire ?

On définit dans cette partie les quatre étapes qui répondent à ces questions :

4.2.1. LA GENERATION

Cette étape concerne le nombre de déplacement émis et attirés par une zone. Elle a donc pour objectif de répondre à la question suivante : est ce que j'effectue un déplacement ou non ? Et pour faire en sorte que cette phase soit la plus proche de la réalité, on différencie entre les déplacements de l'individu selon leurs motifs et selon un horaire particulier.

Les motifs sont généralement réduits à ces catégories de déplacements :

- Domicile-Travail (DT)/Domicile-Ecole (DE)
- Professionnel

- Personnel
- Autres

Les horaires, quant à eux, sont généralement découpés en intervalles, les périodes les plus étudiées étant les périodes de pointe.

Cela nous facilite le calcul du nombre de déplacements en attractions ou en émissions suivant les propriétés socio-économiques (population, emploi, revenu moyen...) de la zone.

Il y a deux méthodes pour calculer les émissions E et les attractions A par zone, la première est la régression linéaire, la deuxième est le taux de mobilité obtenu par enquêtes-ménages.

4.2.2. LA DISTRIBUTION

Cette étape consiste à déterminer la relation entre les émissions et les attractions c'est-à-dire de définir comment les déplacements émis par une zone sont distribués dans les autres zones selon un motif donné.

D'où on définit le nombre de déplacement T entre une zone i et une zone j par :

$$T_{ij} = \frac{O_i D_j}{d_{ij}^2}$$

- T_{ij} : Le déplacement entre la zone i et les zones j.
- O_i : Les émissions de la zone origine.
- D_j : Les attractions vers la zone de destination.
- d_{ij} : La distance entre la zone i et les zones j.

Cette relation qui représente un résultat du modèle gravitaire (défini ci-après) produit une matrice Origine-Destination (OD) de déplacement tous modes.

DEFINITIONS

UNE MATRICE ORIGINE DESTINATION(OD)

La matrice OD est une matrice dont les lignes comme les colonnes sont indexées par les zones du découpage et dont chaque coefficient représente le flux depuis une zone origine vers une zone destination.

Selon cette théorie de l'utilité, on suppose que les individus choisissent des modes de transport avec l'utilité maximale.

Puisque le modèle classique d'utilité du consommateur n'arrive pas à expliquer les choix des usagers confrontés aux mêmes alternatives, on propose d'introduire un facteur d'incertitude dans le choix de chaque voyageur, ce facteur sera lié soit à un aléa intrinsèque soit à l'insuffisance des données sur les caractéristiques des agents. Donc un agent k qui fait face à un ensemble d'alternatives $F = \{1..n\}$ gagne une satisfaction (U) du choix de l' i ème alternative :

$$U_{ik} = V_{ik} + \epsilon_{ik}$$

- V_{ik} : est une variable déterministe qui présente des caractéristiques de l'individu k et de l'offre du mode i .
- ϵ_{ik} : Une variable aléatoire liée à l'incertitude des mesures.

A l'instar de la formule additive précédente, deux approches peuvent être adoptées pour la spécification des variables aléatoires ϵ_{ik} . Dans la première dite « Modèle Logit » les ϵ_{ik} sont supposées indépendantes et identiquement distribuées selon une loi de Weibull. Dans la seconde approche dite « Modèle Probit » les ϵ_{ik} sont distribuées suivant des lois normales non nécessairement indépendantes.

On définit ces deux modèles :

LE MODELE LOGIT :

Vu le caractère aléatoire de la fonction d'utilité, ce modèle représente la probabilité de choisir un mode de transport i par un individu k .

En considérant l'hypothèse que chaque individu choisit le mode du transport qui lui semble le meilleur, ensuite on définit la probabilité suivante :

$$P_k(i) = P(U_{ik} > U_{jk} \forall i \neq j)$$

On remplace la fonction d'utilité par l'expression précédente, on obtient :

$$P_k(i) = P(V_{ik} - V_{jk} > \epsilon_{jk} - \epsilon_{ik} \forall i \neq j)$$

En rappelant que le modèle Logit se focalise sur une hypothèse sur la distribution de la composante aléatoire.

Rappel:

La fonction de distribution d'une loi de Weibull s'écrit sous la forme:

$$F(\epsilon) = \epsilon^{-e^{-\epsilon}}$$

Dans notre cas d'étude on utilise un Logit multimodal qui prend la forme suivante :

$$P_m(i) = \frac{e^{U_{im}}}{\sum_k e^{U_{ik}}}$$

Avec:

- U_{im} : la fonction d'utilité pour chaque mode i .
- U_{ik} : les fonctions d'utilité de tous les modes de transport.

LE MODELE PROBIT :

Le modèle Probit permet de tenir compte de la dispersion des préférences de l'individu et de ne pas imposer a priori l'indépendance de la composante stochastique du modèle.

Supposant que le choix modal est entre deux modes de transport, alors on définit le modèle Probit sous la forme :

$$P_k(i) = \Psi\left(\frac{V_{ik} - V_{jk}}{\sigma}\right)$$

Avec :

- Ψ : est la distribution normale cumulative.
- σ : est la variance du terme d'erreur.

Remarque :

- On applique généralement le modèle Logit pour déterminer le choix modal des usagers.

4.2.4. L'AFFECTION

Une fois les flux sont déterminés sur les réseaux, les déplacements sont systématiquement affectés au chemin présentant le plus faible coût généralisé. Concernant les méthodes appliquées ce sont celle de la recherche opérationnelle comme l'optimisation et l'algorithme du plus court chemin. A l'issue de cette étape on obtient des réseaux chargés avec le volume du véhicule ou de voyageurs, du temps de parcours et de la vitesse.

4.3. LA CONSTRUCTION DES MODELES :

Pour étudier et évaluer les projets ferroviaires, il est impossible de dissocier la demande de l'offre (Niveaux de service : NVS) et par suite les bases de données sont constituées d'une part de l'offre et d'autre part des déplacements données par les matrices OD. Donc il faut connaître correctement ces données.

4.4. CONCLUSION

L'étape de la modélisation du trafic n'est qu'un moyen de l'étude de l'intérêt d'un projet mais elle n'est pas suffisante pour le décideur, pour cette raison on réalise un calcul socio-économique qui sera détaillé dans la partie suivante et qui exploite d'une part, les résultats de la partie précédente et d'autre part, il intègre des différents éléments économiques, sociales et environnementales de la zone d'étude.

5/Evaluation socio-économique des projets

5.1. INTRODUCTION

L'objectif de cette partie est de déterminer les critères qui seront pris en compte lors de l'évaluation socio-économique des projets ferroviaires étudiés dans la section suivante et de préciser les hypothèses de cadrage économique qui aident à évaluer les projets dans le futur (50 ans).

5.2. LES CRITERES D'EVALUATION

L'étude socio-économique d'un projet d'infrastructure consiste à comparer la situation de référence avec la situation de la réalisation de ce projet selon plusieurs critères quantifiables ou non et qui représentent l'intérêt économique et social des projets.

La méthodologie d'évaluation se base sur la théorie micro-économique du consommateur, et sur l'évaluation des externalités qui étudie des critères tels que les effets sur l'environnement (la pollution, l'effet de serre, le bruit) et la sécurité.

5.2.1. LA VALEUR DU TEMPS

En pratique, la valeur du temps permet de calculer un coût généralisé, c'est-à-dire une combinaison linéaire du temps de déplacement, de la distance, et de pénalités ponctuelles. Les coefficients appliqués à chacun de ces paramètres dépendent du mode de déplacement, du motif, et des données socio-économiques.

Pour calculer la valeur du temps, on distingue entre une valeur du temps stable par heures pour les marchandises et une valeur du temps pour les voyageurs qui croît dans le temps, comme, par exemple, la consommation finale des ménages par tête, de 1.9% avec une élasticité de 0.7.

Ces valeurs du temps peuvent être différentes de celles appliquées dans les modèles de trafic pour réaliser les prévisions du déplacement du projet étudié.

Voyages interurbains	Distance <50km(rout	a * distance + b		Distance >400km
		a	b	
Route	11,4	0,0	10,3	18,5
Fer 2ème classe	14,4	0,0	13,1	16,6
Fer 1ère classe	36,8	0,0	32,7	43,4
Aérien		61,4	0,0	61,4

VALEUR 2009 EN EUROS 2009 POUR LES VOYAGEURS INTERURBAINS

On retient le principe d'un ajustement de la valeur du temps à l'aide de malus pour prendre en compte la qualité d'un mode interurbain.

On note que ces valeurs du temps évoluent d'une année à l'autre en fonction de la dépense de consommation des ménages par tête, en euros constant, avec une élasticité de 0,7.

La fonction utilisée pour évaluer la valeur du temps sur les années futures est :

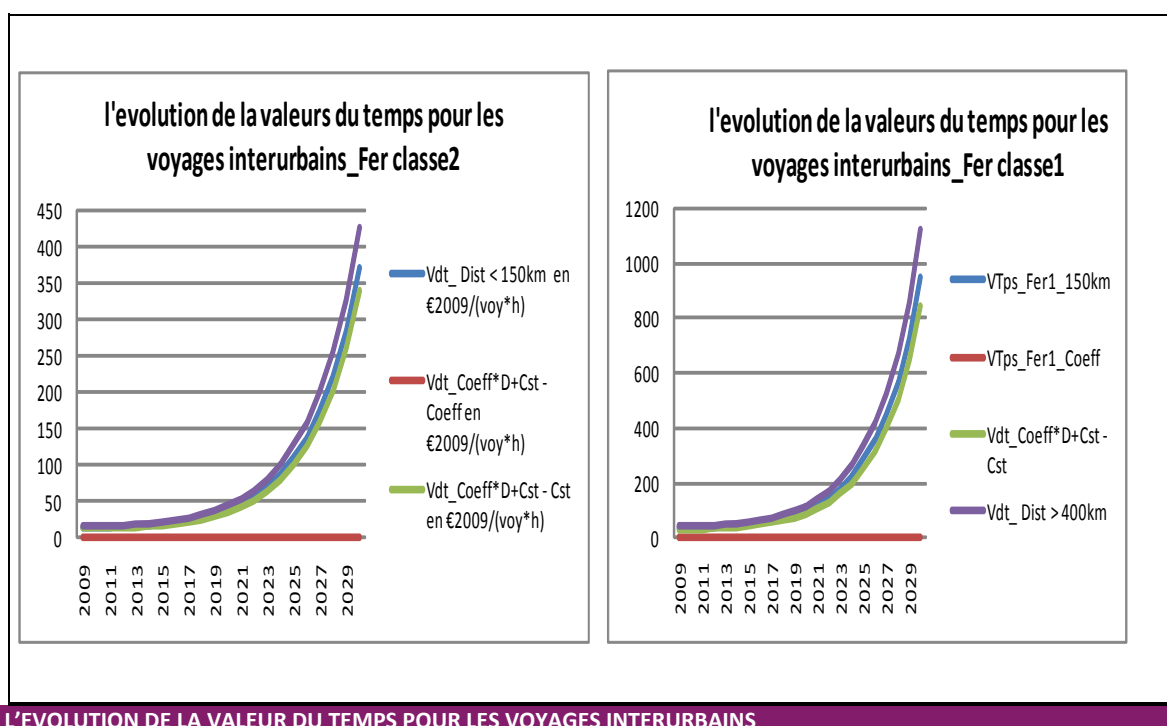
$$Vdt(t_n) = (1 + I) \times Vdt(t_{n-1})$$

Avec :

- t_n : représente l'année
- I : représente l'inflateur qui se calcule en fonction de l'élasticité et de la consommation des ménages par tête

On représente ici l'évolution de la valeur du temps à partir de la valeur 2009 jusqu'à l'horizon de l'étude :

POUR LE MODE FERROVIAIRE :



L'EVOLUTION DE LA VALEUR DU TEMPS POUR LES VOYAGES INTERURBAINS

La valeur du temps est croissante en fonction du temps avec la durée et l'élasticité ($0.7\% < 1\%$) à la CFM.

<i>Voyages urbains</i>	<i>France entière</i>	<i>hors Ile-de-France (euro/h)</i>
Déplacement professionnel	14,1	17,4
Déplacement domicile-travail	12,7	15,5
Autres déplacements (achat, loisir, tourisme, ...)	7	8,5
Valeur moyenne	9,7	11,8

VALEUR 2009 EN EUROS 2009 POUR LES VOYAGEURS URBAINS

Ces valeurs du temps évoluent d'un an à l'autre comme les valeurs du temps des voyageurs interurbain.

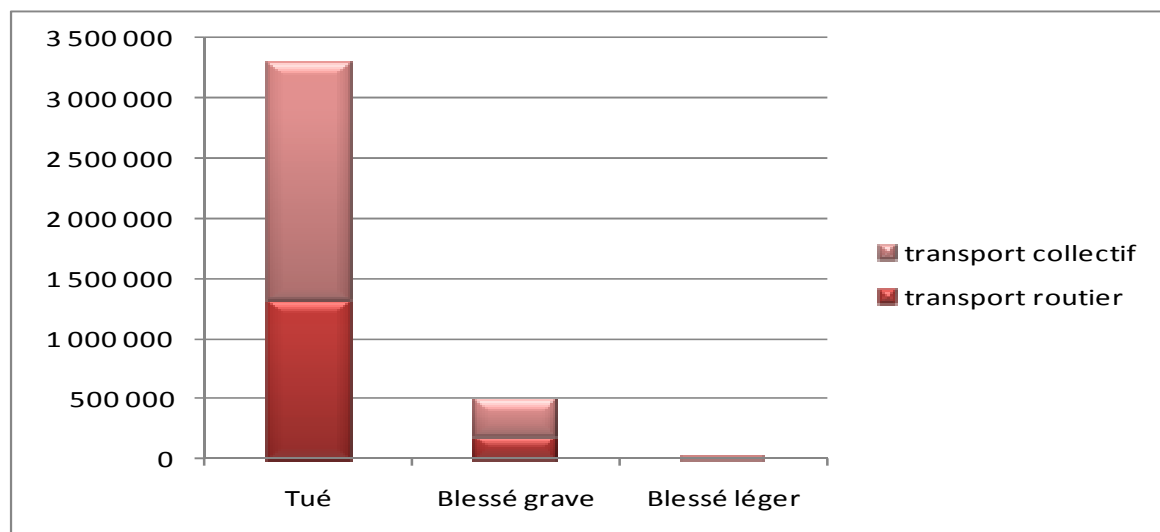
<i>Transport de marchandises</i>		<i>cout d'exploitation des transporteurs en euro/h</i>	<i>valeur du temps marchandises pour le chargeur (euro/h/tonne)</i>
Route (PL)		36,6	0,6
Fer	transport combiné et frigorifique, messager	466,8	0,6
	autres trafics ferroviaires		0,2
Maritime / Fluvial	conteneurs maritimes et trafic roulier		0,6
	autres trafics maritimes et fluviaux		0,2
Vrac faible valeur	type granulats		0,0

VALEUR 2009 EN EUROS 2009 POUR LE TRANSPORT DES MARCHANDISES

5.2.2. LA SECURITE

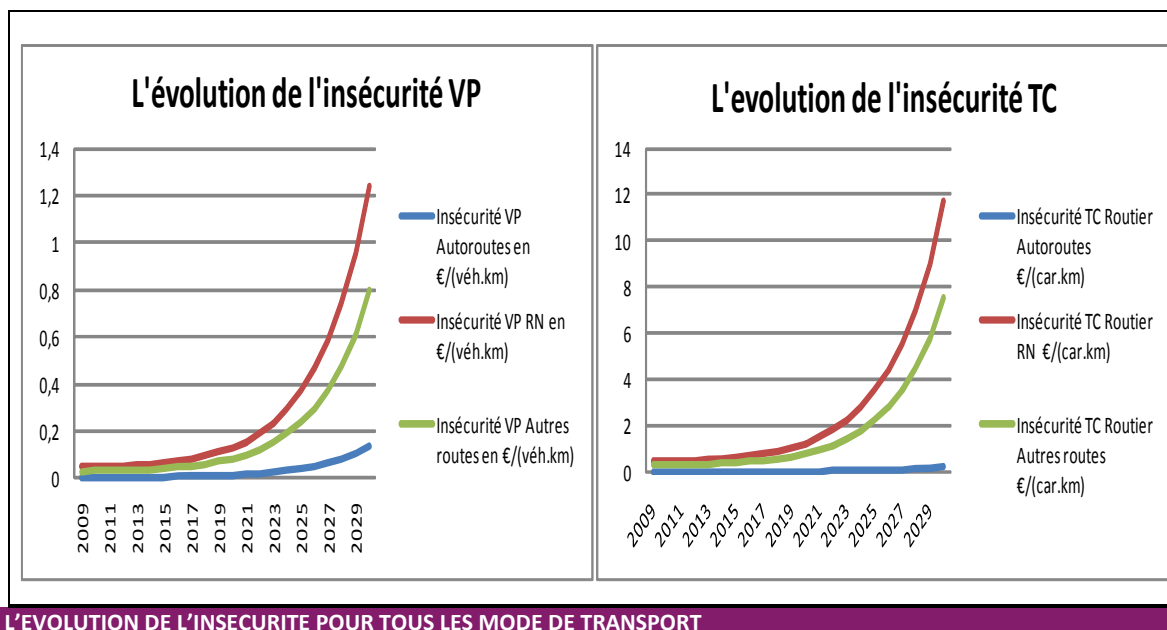
On considère un coût d'insécurité routière par type de route et par km, ce coût croît au même rythme que la dépense des consommations finales des ménages par tête.

Vous trouvez dans le graphe suivant la valeur de la vie humaine en euros 2009 :



VALEUR DE LA VIE HUMAINE EN 2009

On a évolué l'insécurité pour chaque type de transport jusqu'à 2030 afin de l'utiliser dans les projets d'études :



L'EVOLUTION DE L'INSECURITE POUR TOUS LES MODE DE TRANSPORT

OBSERVATION :

- L'insécurité TC est plus élevée dans les routes nationales et sa croissance est presque stable sur les autoroutes.
- La croissance de l'insécurité VP est plus élevée dans les routes nationales.

5.2.3. LA POLLUTION

On voit bien les effets de la pollution sur la santé dans les zones polluées ou il y a une grande densité de la population. Pour cette raison on retient des différents types de valeurs selon des différents milieux : urbain dense, urbain diffus et en rase campagne, vous trouvez au dessous un tableau qui regroupe ces caractéristiques et les hypothèses accompagnés :

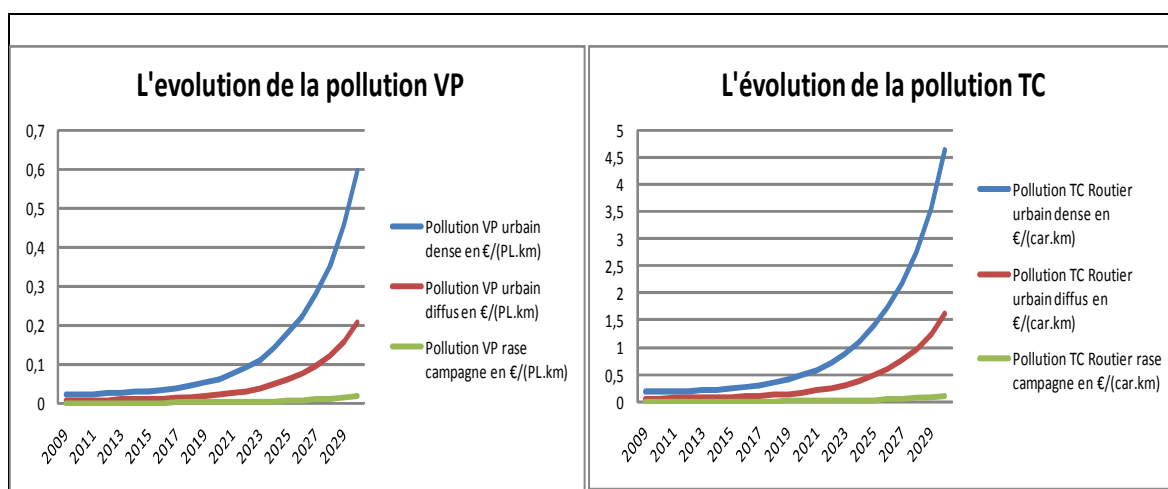
Valeur 2009 en euros 2009	Urbain dense	Urbain diffus	Rase campagne	Moyenne €2009/(xxx.km)
Pollution VP en euros/(VP*km)	0,02	0,01	0,00	0,01
Pollution PL en euros/(PL*km)	0,20	0,07	0,00	0,04
Pollution TC routier interurbain en euros/(car*km)	0,18	0,06	0,00	0,04
Pollution Train voyageurs DIESEL en euros/(trains*km)	1,18	0,41	0,03	0,26
Pollution Train Fret DIESEL en euros/(trains*km)	3,30	1,16	0,08	0,72

LA VALEUR DE LA POLLUTION EN EURO 2009

REMARQUE :

- Il est considéré que les trains électriques ne polluent pas.
- Ces valeurs sont calculées à partir des valeurs de l'année 2000 en euros 2000, puis ils sont convertis à des valeurs 2009 en euros 2009, avec bien sur la prise en considération du coefficient de l'inflation et des indexations proportionnelles à l'évolution des émissions polluantes.

On évolue les valeurs 2009 jusqu'à 2030 pour chaque type de trafic :



L'ÉVOLUTION DE LA POLLUTION POUR TOUS LES MODES

OBSERVATIONS :

- La croissance de la pollution TC est très remarquable sur les routiers urbains denses.
- La croissance de la pollution Fer est très remarquable dans le domaine urbain dense.

5.2.4. EFFET DE SERRE

On retient une valeur pour le carbone qui se base sur une relation coût-efficacité qui représente le niveau de taxation du carbone contenu dans les émissions des gaz à effet de serre qui satisfait les engagements du protocole Kyoto.

Le prix est considéré comme le coût monétarisé de la tonne de carbone émise dans l'atmosphère. On détermine les tonnes de carbone soit à partir de la consommation des produits pétroliers par les véhicules, soit à partir de leur consommation d'énergie électrique.

On donne au dessous l'évolution de la pollution pour chaque moyen de transport:

		geqC/(xxx.km)	c€2009/(xxx.km)	€2009/(xxx.km)
VP moyenne	/(VL.km)	68,0	0,786	0,0079
Autocar interurbain	/(voy.km)	11,0	0,127	0,0013
TGV	/(voy.km)	0,7	0,008	0,0001
Corail électrique	/(voy.km)	0,8	0,009	0,0001
Corail diesel	/(voy.km)	24,6	0,284	0,0028
TER électrique	/(voy.km)	1,4	0,016	0,0002
TER diesel	/(voy.km)	25,9	0,299	0,0030
Transilien moyen	/(voy.km)	1,5	0,017	0,0002
Tramway, métro, RER, train de voyageurs moyen	/(voy.km)	2,6	0,030	0,0003
Avion court courrier moyen	/(voy.km)	90,0	1,040	0,0104
Poids-Lourds	/(PL.km)	260,0	3,004	0,0300
Train fret moyen	/(tonne.km)	2,0	0,023	0,0002

L'EFFET DE SERRE POUR CHAQUE MOYEN DE TRANSPORT

Sans oublier que la valeur 2009 de la tonne de carbone en euro 2009 est 115.5 et qui sera évoluée de 3% par an à partir de 2010.

5.2.5. LE BRUIT

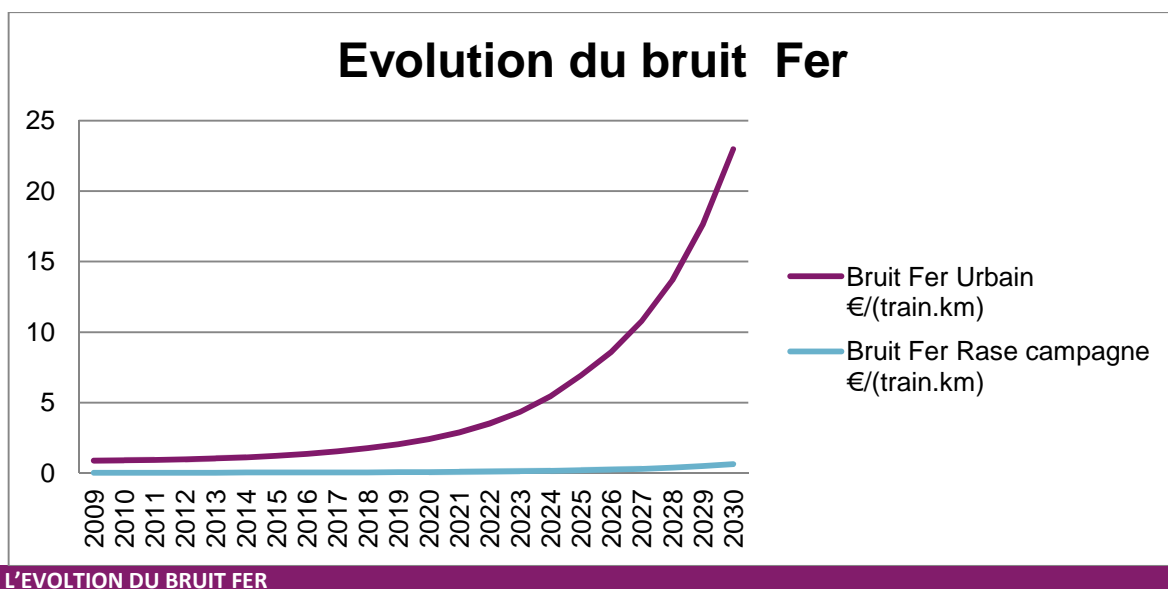
Le projet d'infrastructure produit généralement des impacts sonores soit aux bords de son tracé, soit sur d'autres infrastructures dont le trafic est modifié par la mise en œuvre de ce projet.

Donc l'évaluation socio-économique des impacts sonores du projet se focalise sur l'étude des variations du trafic sur le réseau préexistant et sur la modification des nuisances subies par les populations.

On représente dans le tableau suivant les valeurs retenues en euros 2009 du bruit produit pour chaque moyen de transport :

Valeurs 2009 en euros 2009	Moyenne €2009/(train.km)	Urbain dense	Urbain diffus	Rase campagne
Bruit Train voyageurs - €2009/(train*km)	0,285	0,891	0,891	0,025
Bruit Train fret - €2009/(train*km)	0,718	2,246	2,246	0,063

LE BRUIT PRODUIT POUR CHAQUE MOYEN DE TRANSPORT



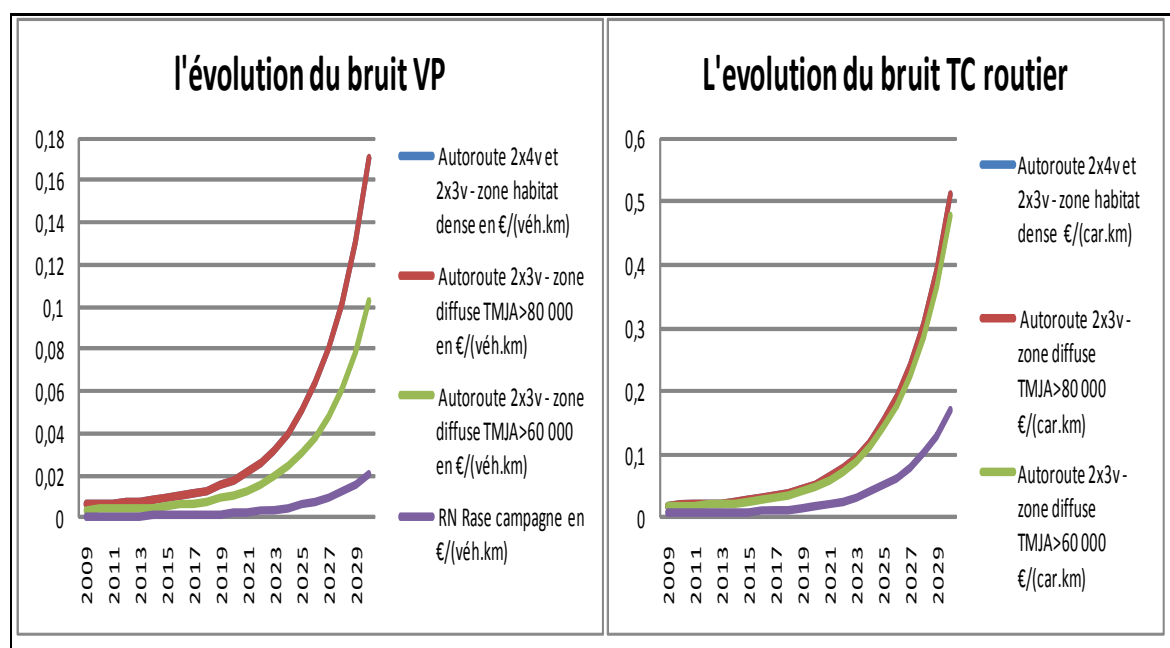
L'ÉVOLUTION DU BRUIT FER

- L'évolution du bruit Fer est plus élevée dans l'urbain diffus et l'urbain dense (qui sont identiques), par contre son évolution en rase campagne reste stable avec le temps.

	Moyenne €2009/(véh.km)	Autoroute 2x4v et 2x3v zone dense	Autoroute 2x3v zone diffuse TMJA>80000	Autoroute 2x3v zone diffuse TMJA>60000	RN rase campagne	Zone sensible, Vallée de montagne, Parcours accidenté
Bruit VP - €2009/(VP*km)	0,0042	0,0066	0,0066	0,0040	0,0008	0,0040
Bruit TC interurbain - €2009/(bus*km)	0,0155	0,0198	0,0198	0,0185	0,0066	0,0119
Bruit PL - €2009/(PL*km)	0,0449	0,0687	0,0687	0,0449	0,0079	0,0396

L'ÉVOLUTION DU BRUIT TC ET VP

- On note que ces valeurs sont obtenues à partir des valeurs 2000 en utilisant l'indice de passage entre l'année 2000 et 2009.



L'ÉVOLUTION DU BRUIT ROUTIER (VP ET TC) JUSQU'A 2030

- On remarque que l'évolution du bruit pour le mode TC croît avec le temps et cette croissance est plus élevée pour l'autoroute 2x3V-zone diffuse TMJA>80000.
- On constate aussi que l'évolution du bruit de l'autoroute 2x4v et de l'autoroute 2x3v zone diffuse TMJA>80000 sont identiques

5.3. L'HARMONISATION DES HYPOTHESES

5.3.1. LE CADRAGE MACRO-ECONOMIQUE

On retient un cadrage macro économique conformé à celui retenu au plan national par les scénarios d'évolution de la politique générale du transport.

Ce cadrage contient des données relatives à la croissance du PIB, de la consommation des ménages, de la production industrielle et des taux d'intérêts à long terme.

5.3.2. LES INDICATEURS DE RENTABILITE ET D'ACTUALISATION

5.3.2.1. Le taux d'actualisation

Le taux d'actualisation sert à déterminer la rentabilité des investissements publics ou plus précisément l'intérêt de cet investissement pour la collectivité à la vision des bénéfices futurs que l'on peut en retirer.

5.3.2.2. La valeur actualisée nette (VAN)

La valeur actualisée nette d'un projet est la somme actualisée des coûts et des avantages monétarisés du projet, sur une période de 50 ans, cet indicateur permet d'apprécier l'intérêt du projet au niveau du calcul économique. Elle est calculée par la formule suivante :

$$VAN = -\left(C_I^f - C_{I_{\text{étudié}}}^f\right) + \sum_{t \leq T_f} \frac{\Delta EBE_t}{(1+r)^{t-t_0}} - \sum_{t \leq T_f} \frac{\Delta C_{It}^f}{(1+r)^{t-t_0}} + \frac{R^f}{(1+r)^{T_f}}$$

Avec :

- C_I^f : le coût total de l'investissement à la charge de l'opérateur.
- $C_{I_{\text{étudié}}}^f$: la valeur actualisée des investissements étudiés pour l'opérateur.
- EBE : l'excédent brut d'exploitation.
- r : le taux d'actualisation de référence
- ΔC_{It}^f : la variation d'investissement de gros entretiens éventuels dans l'année.
- R^f : la valeur résiduelle de l'investissement pour l'opérateur en fin de période de l'étude
- T_f : la durée d'exploitation pertinente.

5.3.2.3. Le taux de rentabilité interne (TRI)

Le taux de rentabilité interne (TRI) d'un projet indique le niveau de rentabilité de ce projet, il est considéré comme un placement qui lui procurerait annuellement une rémunération nette. Si le taux de rentabilité interne est supérieur au taux d'actualisation de référence dans ce cas, l'investissement présente une rentabilité socio-économique. Par contre, ce taux de rentabilité ne permet pas de choisir entre deux projets mutuellement exclusifs.

5.3.2.4. La valeur résiduelle (VR) :

Représente la valeur de la revente probable de l'investissement, à la fin de la période d'utilisation. Elle constitue une recette pour la dernière année. Cette valeur est calculée par la formule suivante :

$$VR = I \frac{(1+r)^i - (1+r)^j}{(1+r)^i - 1}$$

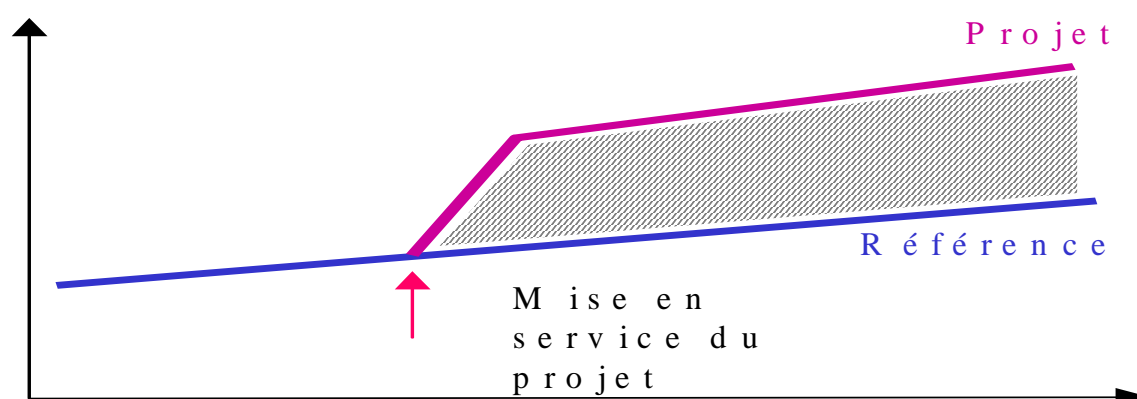
- I : La valeur du bien.
- r : Le taux d'actualisation.
- i : la durée de l'investissement.
- j : La durée d'utilisation.

Après avoir définir les différents indicateurs internes et externes qui sont indispensable pour réaliser les bilans socio-économiques, on présentera ci-après un tableau qui résume les acteurs de calcul :

Décomposition par acteur	
Investissements	XXXX
Usagers du mode ferroviaire	XXXX
Existants	
Temps de parcours	
VP	
Temps de parcours	
Prix VP HTT	XXXX
TIPP	XXXX
TVA	XXXX
Prix Fer	XXXX
Induits	XXX
Tiers	XXXX
<i>Effet de serre</i>	XXXX
<i>Pollution</i>	XXXX
<i>Sécurité</i>	XXXX
<i>Congestion</i>	XXXX
<i>Bruit</i>	XXXX
Gestionnaires Routes/Autoroutes	XXXX
<i>Coûts d'exploitation et maintenance</i>	XXXX
Variation EBE RFF	XXXX
<i>Redevances</i>	XXXX
<i>Coûts d'exploitation et maintenance</i>	XXXX
Variation EBE Opérateur ferroviaire	XXXX
<i>Recettes</i>	XXXX
<i>Charges de circulation</i>	XXXX
<i>Péages activités TER</i>	XXXX
<i>Subvention d'équilibre</i>	XXXX
Conseil Régional	XXXX
<i>Subvention d'équilibre</i>	XXXX
<i>COFP sur la subvention</i>	XXXX
Etat	XXXX
<i>TIPP VP</i>	XXXX
<i>TVA VP</i>	XXXX
<i>TVA TER</i>	XXXX
Valeur résiduelle	XXXX
LE RECAPITULATIF	

On rappelle que la méthodologie suivie pour l'élaboration des bilans socio-économique se repose sur l'introduction de deux situations :

- La situation de référence : c'est celle qui aurait prévalu si le projet n'avait pas été réalisé ; elle intègre les évolutions programmées des différentes offres de transport (les « coups partis ») et sert de base pour la comparaison des scénarios.
- La situation de projet : elle ne diffère de la situation de référence que par la réalisation du projet.
- La comparaison de ces deux situations permet de mesurer les seuls effets du projet et ainsi d'évaluer son intérêt pour la Collectivité. Il s'agit par conséquent d'une approche différentielle.



LA COMPARAISON DE LA SITUATION PROJET ET LA SITUATION REFERENCE

On précise que les bilans socio-économiques sont faits de la même manière pour tous les projets étudiés sauf qu'il y a des différences au niveau de type de matériel, de l'horizon de l'étude et les valeurs des indicateurs utilisés pour chaque zone.

En outre, on réalise des tests de sensibilité dans quelques étapes pour contrôler la validité de notre modèle.

5.4. CONCLUSION

A l'issue du calcul de ces indicateurs surtout la VAN et le TRI qui représentent la sortie du bilan socio-économique du projet et selon leur valeurs, on pourra savoir à quel degré le projet est rentable ou non, par exemple, dans le cas où la VAN est toujours négatif et le TRI assez faible, on considère que le projet n'est pas rentable. Dans la partie suivante, on introduit les projets d'applications.

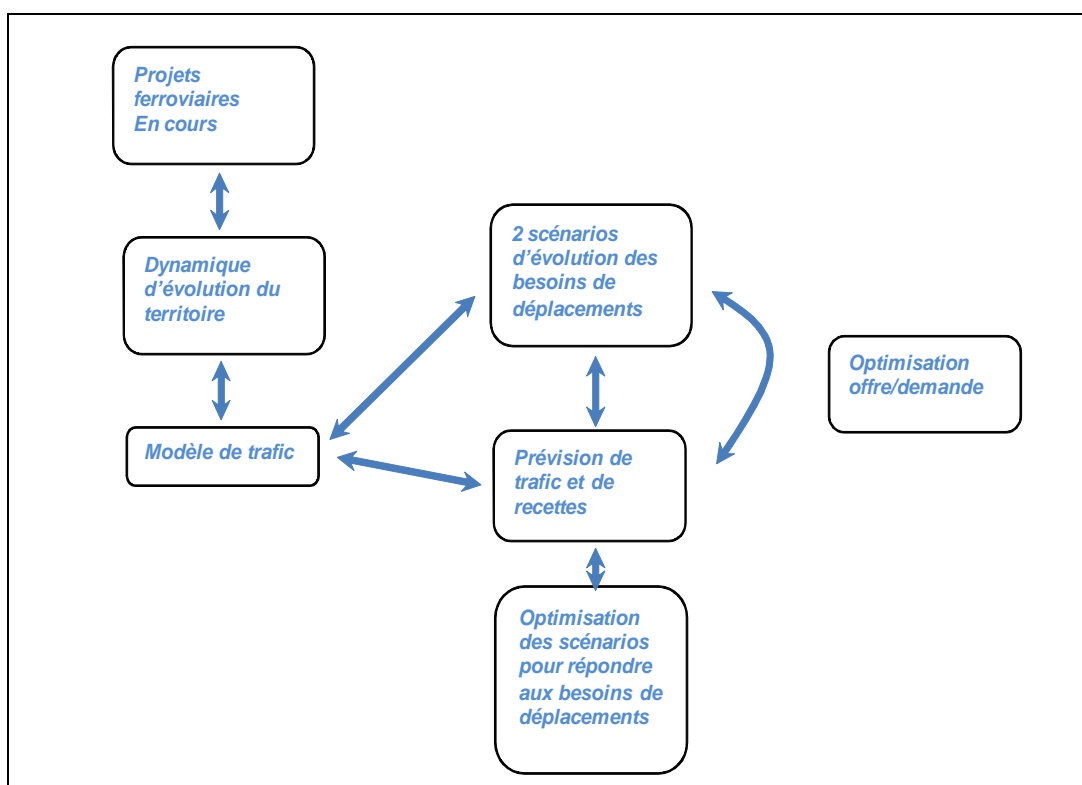
6/ Les cas de la pratique

6.1. TER METROLOR 2016-2025 (REGION LORRAINE)

6.1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE

Cette étude a pour objectif de rendre le mode de transport TER un mode très attractif à l'usage de la voiture particulière pour les liaisons internes à l'espace régional, pour ces liaisons transfrontalières vers Luxembourg et la Sarre et interrégionales vers la région Alsace, Champagne-Ardenne et Franche comté. Donc il s'agit de proposer :

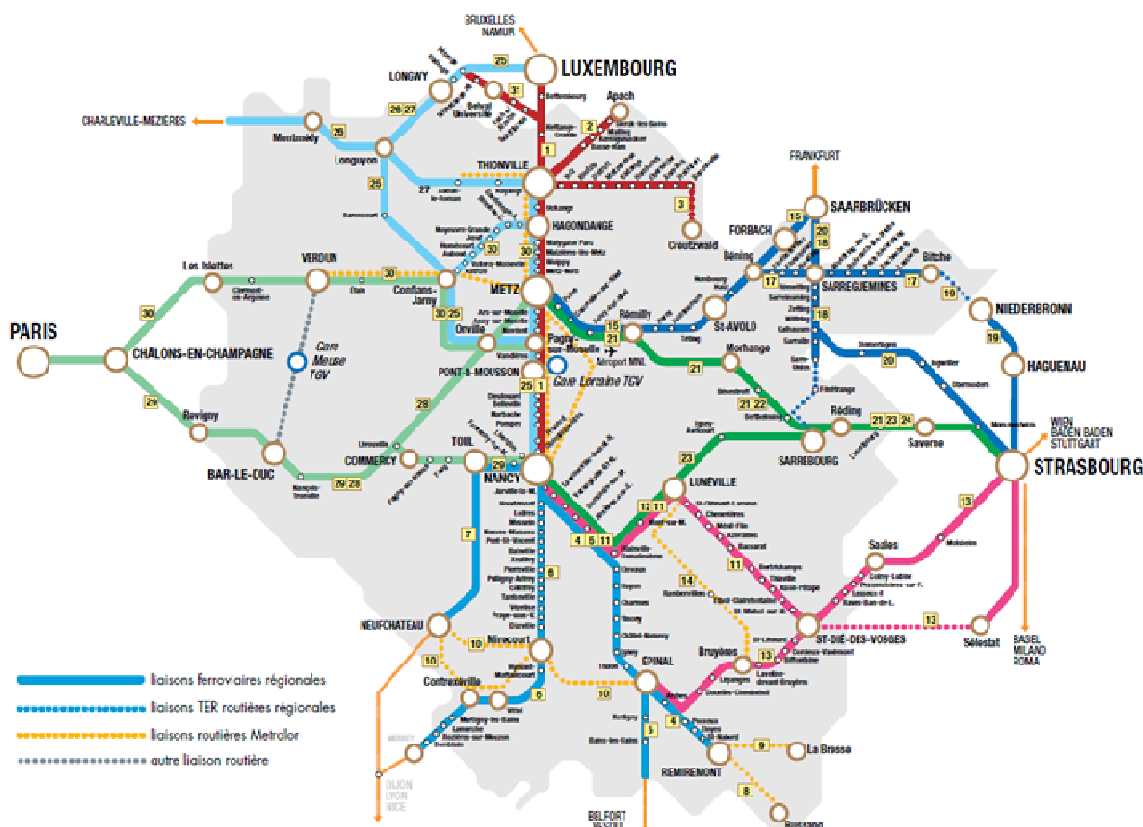
- Deux scénarios d'évolution de l'offre TER METROLOR et d'en estimer la fréquentation.
- Des politiques de circulation et de points d'arrêt pour un ou deux scénarios sur l'intégralité du réseau.
- Une estimation des coûts et des recettes pour ces deux scénarios.
- Pour cela on représente l'organigramme de la méthodologie de l'étude :



LA METHODOLOGIE DE L'ETUDE

6.1.2. DESCRIPTION DU RESEAU FERRE

Le réseau ferroviaire de la région Lorraine est constitué de 1 850 km de voie ferrée, soit 5,8% du réseau national, ce qui en fait la deuxième région de France. Le réseau TER Métrolor est composé de 41 lignes, dont 24 sont assurées par le rail, et compte actuellement 169 gares et haltes. La carte suivante présente la couverture du réseau existant sur la zone d'étude :

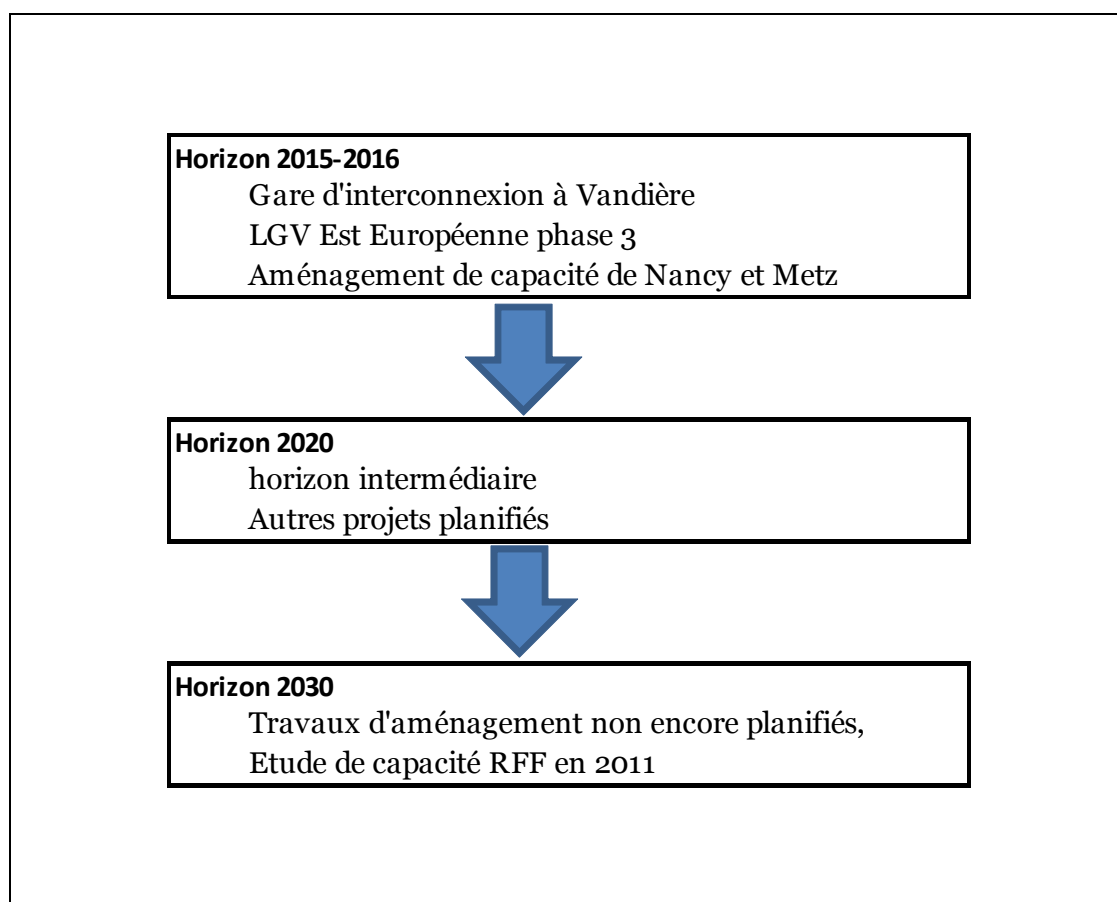


LE RESEAU TER DE LA REGION LORRAINE (SOURCE TER METROLOR)

Le maillage du réseau est fortement dense dans le Nord lorrain, qui se trouve historiquement lié à l'histoire industrielle de la région. De plus, il est important de souligner les nombreuses relations avec les réseaux du Luxembourg et de la Sarre.

Comme c'est indiqué au dessus le périmètre de cette étude est représenté par l'ensemble du réseau TER METROLOR et les relations transfrontalières vers Luxembourg et la Sarre et les lignes interrégionales vers régions Alsace, Champagne -Ardenne et Franche -Comité.

On définit les trois horizons de cette étude :



LES HORIZONS DE L'ETUDE

6.1.3. ANALYSE DU TRAFIC

Pour établir le modèle de trafic multimodal de cette région qui sera nécessaire pour estimer les reports du mode routier vers le mode ferroviaire et bien entendu l'induction de trafic d'une amélioration de l'offre, on va, dans un premier temps, étudier ces deux modes de transport : routier et ferroviaire, puis les quatre motifs de déplacement :

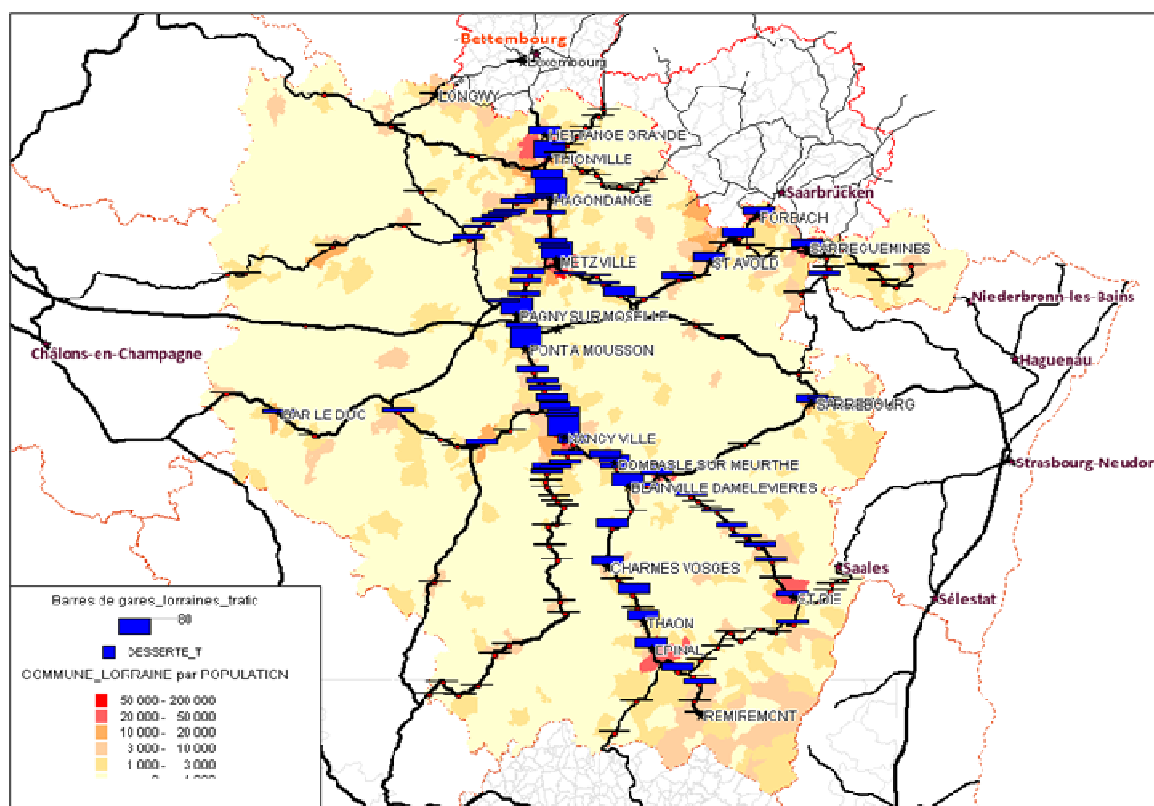
- DT/DE : Domicile-Travail / Domicile-Etude
- Pro : Motif professionnel
- Perso : Motif personnel ou autres motifs

En prenant en considération les périodes : Job, période de la journée, Vendredi et week-end.

En effet, pour construire les matrices de déplacement par mode de transport, on découpe la région Lorraine par axe.

L'offre se focalise principalement sur l'axe central Nord – Sud d'Epinal à Luxembourg Ville. Elle augmente de manière conséquente de Nancy vers le Luxembourg. On observe également une offre importante sur l'axe Metz – Saarbrücken, Hagondange – Verdun et sur l'axe Nancy –

Saint Die. En revanche, l'offre ferroviaire est faible sur les axes est ouest : Nancy - Bar le Duc, Metz – Sarrebourg ; et l'axe Nancy – Merrey (voir la carte du trafic ferroviaire ci-après)



TRAFIC FERROVIAIRE DE LA REGION LORRAINE (SOURCE INEXIA)

On définit les axes concernés par cette étude :

- Nancy –Bar le Duc
- Luxembourg-Nancy
- Metz - Sarrebruck
- Metz - Strasbourg
- Nancy - Remiremont
- Nancy – Saint Die
- Nancy – Strasbourg
- Metz – Sarreguemines
- Epinal – Saint Die.

On rappelle que l'étude de la prévision du trafic qu'on va effectuer à pour objectif de confirmer ou non les réflexions proposées sur l'offre.

6.1.3.1.L'offre routière

On a déterminé pour le mode routier, le temps de parcours total, les coûts de péages et les distances pour les mêmes OD et pendant les mêmes périodes à partir de la base de données

routières Michelin, en utilisant un robot de consultation automatisés développé par Inexia qui permet d'extraire ces données du site internet viamichelin.

6.1.3.2.L'offre ferroviaire

On a utilisé l'analyse des indicateurs horaires de la SNCF pour obtenir pour chaque Origine-Destination (OD) le temps de parcours, le nombre de correspondance, la fréquence de desserte, le coût kilométrique moyen du trajet.

Ensuite on a estimé les temps d'accès moyens aux gares de départ et les temps d'arrivée à chaque destination.

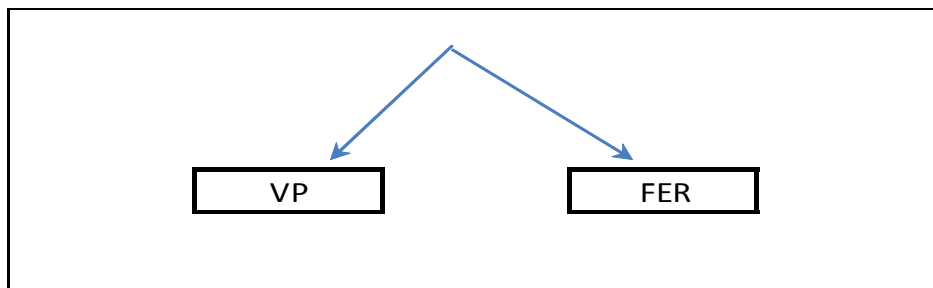
Pour récupérer les données nécessaires pour le calcul des coûts généralisés on a utilisé le logiciel RIHO mais d'une manière automatisé pour chaque axe de la région.

RIHO est une base des données de la SNCF, qui nous permet de récupérer les horaires des trains, les dessertes possibles et le nombre de correspondance actuel.

Des tableaux de calcul comparatifs entre les modes : routier et fer (TER) seront donnés à titre d'exemples dans les annexes.

6.1.3.3.Le Modèle de partage modal

Le modèle utilisé pour cette étude est un Logit qui sera calibré et implémenté sous Excel pour son application :



Ce modèle introduit un coût généralisé du déplacement pour chaque mode (VP et Fer), ce coût C_g prend en compte des variables de temps, de prix, de fréquence et de nombre de correspondance, pour cela on définit les fonctions des coûts généralisés pour chaque mode de transport :

■ Le mode routier :

$$C_R = \text{prix} + VdT_R \cdot T + L$$

Avec :

- prix : concerne le péage éventuels+prix d'usage+prix de stationnement
- T : Temps de parcours.
- VdT_R : Valeur du temps de la route.
- L : fonction de la longueur parcourue.

- Le mode ferroviaire :

$$C_F = \text{prix} + VdT_F \cdot (T + t_{\text{accès}} + 0,5 * EF + 0,5 * (\frac{r}{f})^2)$$

Avec :

- prix : Coût train+couts d'accès et diffusion éventuels.
- T : Temps de parcours dans le train.
- $t_{\text{accès}}$: Temps d'accès et de diffusion aux gares OD.
- VdT_F : Valeur du temps ferroviaire.
- EF : effet fréquence.
- f : La fréquence.
- r : Le nombre de correspondance.

Ensuite on calcule les fonctions d'utilités pour chaque mode de transport qui seront données par les formules suivantes :

- Le mode routier :

$$U_R = \beta \cdot C_R$$

- Le mode ferroviaire :

$$U_F = a \cdot C_F + b$$

Les paramètres β , a et b à calibrer pour calculer les parts modales qui seront données par les fonctions suivantes :

6.1.3.3.1. Les parts modales

- Pour le mode ferroviaire :

$$Pm_F = \frac{e^{U_F}}{e^{U_F} + e^{U_R}}$$

- Pour le mode routier :

$$Pm_R = \frac{e^{U_R}}{e^{U_F} + e^{U_R}}$$

Les calculs numériques seront donnés à titre indicatif dans les annexes.

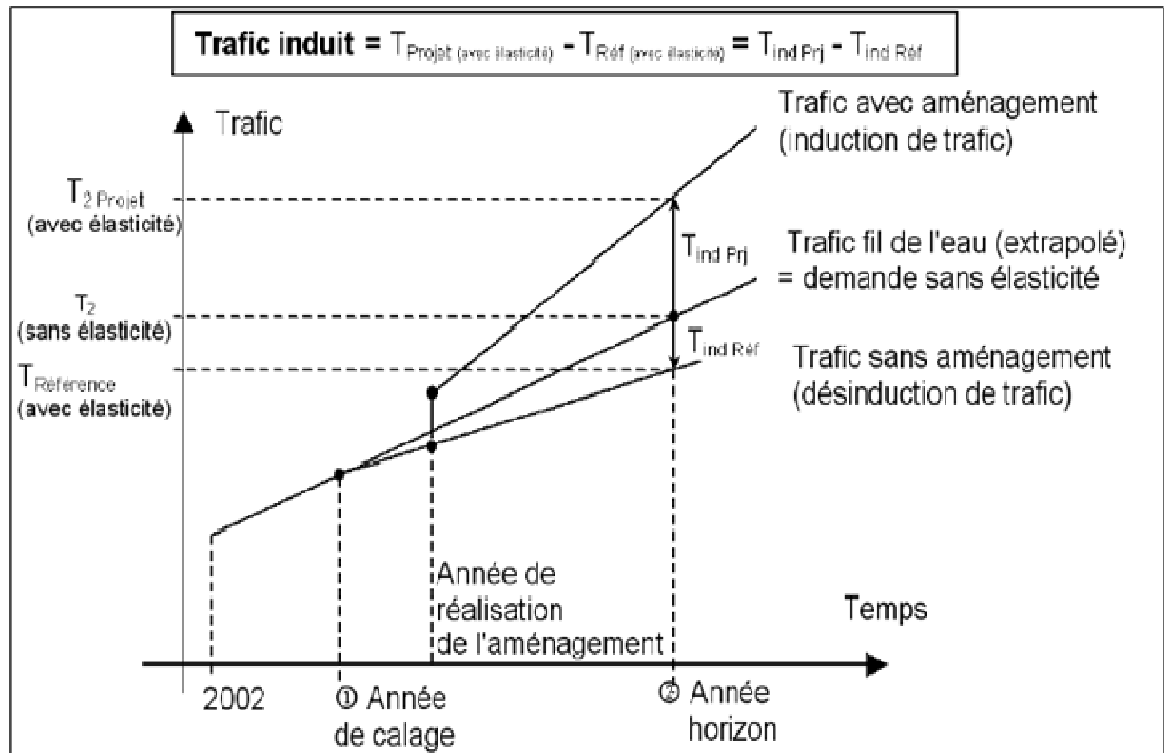
6.1.3.3.2. Le trafic induit

Le trafic induit est défini comme la nouvelle demande du trafic consécutive aux modifications sur le réseau et aux évolutions des coûts généralisés sur les différents itinéraires.

On note que dans le cas d'une augmentation des trafics à réseau constant, la dégradation des conditions de la circulation implique l'augmentation des coûts généralisés, et par suite une baisse de la demande du trafic, dans ce cas on parle d'un trafic désinduit.

Pour englober à la fois le trafic induit et le trafic désinduit on introduit le trafic avec demande élastique.

On estime le trafic induit par projet pour chaque OD :



L'induction du trafic est très variable en fonction des motifs de déplacements, dans notre cas d'étude cette induction I sera donnée par la formule suivante :

$$I = \left(\frac{C_{\text{Favant}}}{C_{\text{Faprès}}} \right)^{\beta}$$

Avec :

- C_{Favant} : le coût généralisé du mode ferroviaire avant aménagement.
- $C_{\text{Faprès}}$: le coût généralisé du mode ferroviaire après aménagement.

6.2. LE MODELE NATIONAL DU PROJET LNP (LIGNE NOUVELLE PARIS-NORMANDIE)

6.2.1. OBJECTIF

Le but de cette étude est de tester les différents scénarios de mise en service de la nouvelle ligne Paris-Normandie, en cherchant à mesurer l'influence de cette ligne sur les différents flux et sur les principaux pôles franciliens.

Pour cela on va établir un modèle qui prend en compte tous les modes de transport (VP, FER, AIR) avec les différents types de déplacements : Jonction, Radial, Transit, Echange.

- Jonction : le déplacement entre les provinces.
- Radial: le déplacement vers l'île de France (IDF).
- Transit : le déplacement vers l'étranger via la France.
- Echange : le déplacement entre la France et l'étranger.

6.2.2. LA STRUCTURE DE LA DEMANDE ET DE L'OFFRE DU MODELE LNP

On présente au dessous le schéma général de la demande à des différentes échelles, mais on rappelle que la partie étudiée est celle à l'échelle nationale.

A l'échelle nationale on étudie les déplacements entre Haute et basse Normandie et le reste France (hors Ile France) et l'international.



DEMANDE_OFFRE HAUTE ET BASSE NORMANDIE

6.2.3. LE PERIMETRE DU MODELE

On a effectué un zonage unique qui permet de gérer l'affectation ferroviaire, en se basant sur l'analyse des régions Normandes et de l'Ile de France.

Concernant le reste du périmètre, on regroupe certaines régions selon des différentes LGV en prenant en compte les effets des projets de référence.



LE ZONAGE AFFINE DE LA REGION HBN ET IDF

6.2.4. LE CADRE DU MODELE :

6.2.4.1. Les matrices de base

Pour cette étude on génère des matrices de l'offre de 2008 de la RFF sur le zonage retenu. Ces matrices prennent en compte les trois types de trafic : Routier VP (voiture particulière), Ferroviaire (train classe 1 et train classe 2) et Aérien.

A propos des motifs du déplacement utilisés dans la construction de ces matrices, on garde les 5 motifs du modèle national :

- DT/DE : Domicile-Travail / Domicile-Etude
- Pro : Motif professionnel
- WK : Week-end
- VAC : Vacances
- Per : Motif personnel ou autres motifs

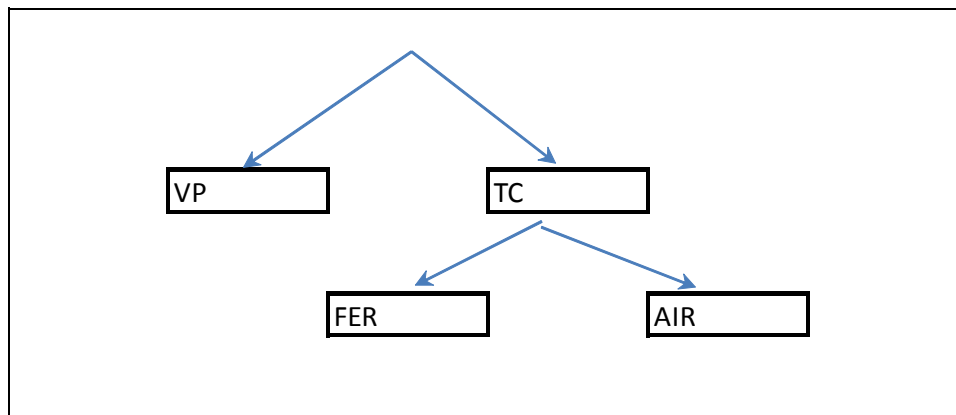
Pour les OD de courte distance, certains motifs peuvent être agrégés surtout pour les déplacements internes et d'échange entre les 3 régions (Ile de France, Haute Normandie et basse Normandie).

Les périodes retenues sont :

- JOB : un jour de base ouvrable, généralement soit un Jeudi ou Mardi.
- HP : Heure de pointe entre (7h-9h)
- Semaine types
- Années

6.2.4.2. Le modèle de partage modal :

On utilise un modèle de type Logit :



6.2.4.3. Les fonctions d'utilités :

On définit pour ce modèle trois types de fonctions d'utilités :

- Utilité routière :

$$U_R = a.C_R + b.T_R$$

Avec :

- C_R : Le coût prendra en compte le coût kilométrique, les péages et le coût de stationnement éventuel.
- T_R : Le temps de parcours
- Utilité ferroviaire :

Pour la fonction d'utilité ferroviaire, un terme reprenant le coût, un terme reprenant le temps, un terme fréquence, un terme correspondance et une constante :

$$U_F = c.C_F + d.T_F + e.Freq + f.NC + g$$

Avec :

- C_F : Le coût prendra en compte le coût du billet, le coût de rabattement/diffusion, le coût de stationnement éventuel.
- T_F : Le temps prendra en compte le temps de parcours global, le temps de correspondance, le temps de rabattement/diffusion et le temps d'attente et de précaution.
- NC : Le nombre de correspondance
- $Freq$: Le terme fréquence sera explicité ultérieurement.

■ Utilité aérienne :

Pour l'avion, un terme reprenant le coût, un terme reprenant le temps, et une constante :

$$U_A = h.C_A + i.T_A + j.Freq_A + k$$

Avec :

- C_A : Le coût prendra en compte le coût du billet, le coût de rabattement/diffusion, le coût de stationnement éventuel.
- T_A : Le temps prendra en compte le temps de parcours global, le temps de rabattement/diffusion et le temps d'attente et de précaution.
- $Freq_A$: Le terme fréquence sera explicité ultérieurement et pourra être supprimé lors de la phase calage.

Remarque :

- Pour le calcul numérique, on a utilisé des données qui prennent en compte des différentes constantes modales selon le mode du trafic et selon le type de la liaison OD.

Ensuite on a calculé les différentes répartitions modales pour chaque situation :

La situation base :

Pour cette situation on utilise les bases de données RFF 2008 pour coder les fonctions d'utilités en partant bien des formules exprimées au dessus. Une fois on a les résultats on procède à l'étape suivante, le calcul des parts modales pour chaque mode :

Route :

$$P_{R_base} = \frac{e^{U_R}}{e^{U_R} + e^{U_{F1}} + e^{U_{F2}} + e^{U_A}}$$

Train de la classe 1 :

$$P_{F1_base} = \frac{e^{U_{F1}}}{e^{U_R} + e^{U_{F1}} + e^{U_{F2}} + e^{U_A}}$$

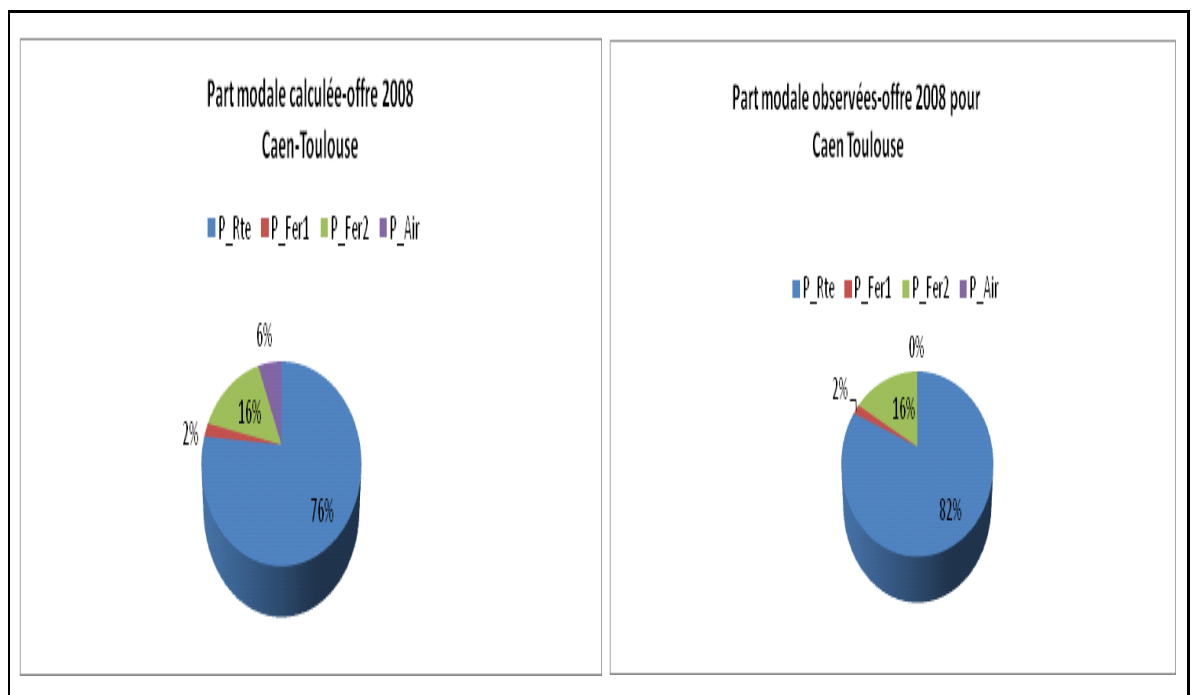
Train de la classe 2 :

$$P_{F2_base} = \frac{e^{U_{F2}}}{e^{U_R} + e^{U_{F1}} + e^{U_{F2}} + e^{U_A}}$$

Air :

$$P_{A_base} = \frac{e^{U_A}}{e^{U_R} + e^{U_{F1}} + e^{U_{F2}} + e^{U_A}}$$

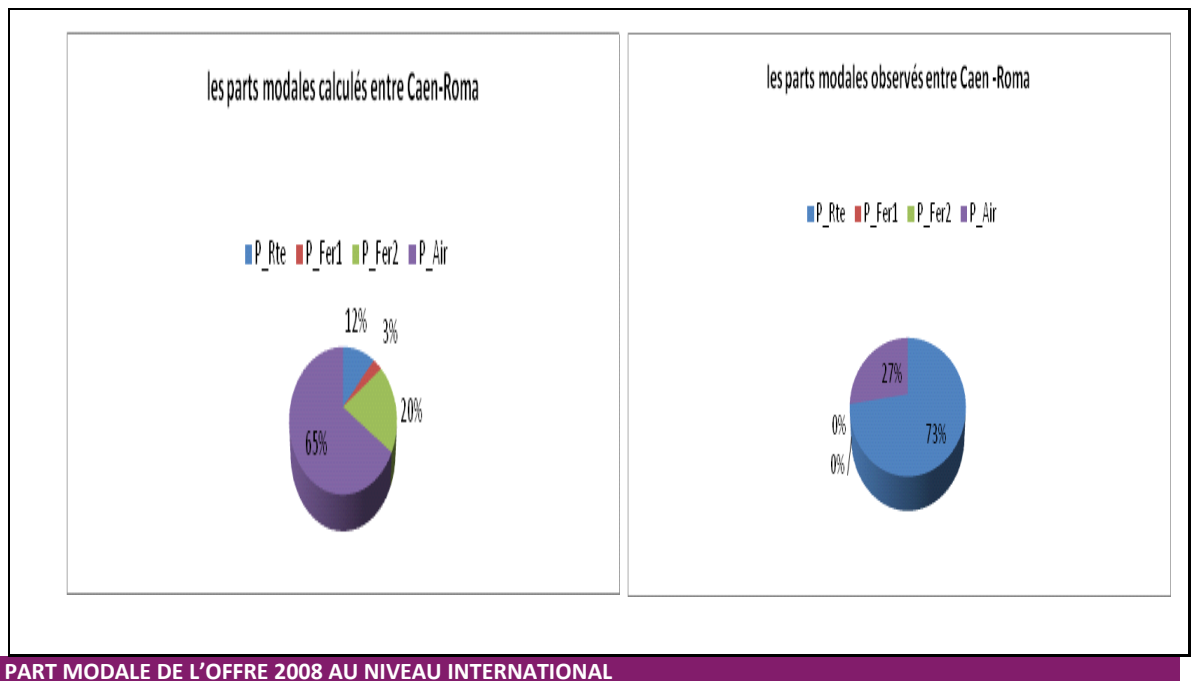
- Exemple au niveau national : Sur l'OD Caen-Toulouse on a obtenu les résultats suivants pour le motif personnel :



PART MODALE DE L'OFFRE 2008 AU NIVEAU NATIONAL

Entre Caen et Toulouse par exemple, on observe qu'il n'y a pas de grande différence entre la part modale calculée et celle observée avec une domination de la part modale du mode routier.

- Exemple au niveau international : Sur l'OD Caen-Rome on trouve les résultats suivants pour le motif personnel :



- On constate qu'au niveau international (Caen-Rome par exemple) la part modale calculée du mode air domine les autres modes avec un pourcentage important pour le mode ferroviaire.
- On observe qu'il y a que deux modes de transport utilisés (Air et Routier) et l'absence du mode ferroviaire entre (Caen et Rome) pour la part modale observée.

La situation fil de l'eau :

Dans cette situation, on effectue les calculs sans prendre en compte les autres projets existants et on calcule les parts modales mais cette fois en intégrant dans les formules d'avant les fonctions des utilités du fil de l'eau à la place des utilités de la base 2008 pour chaque i dans (route, air, fer1, fer2) :

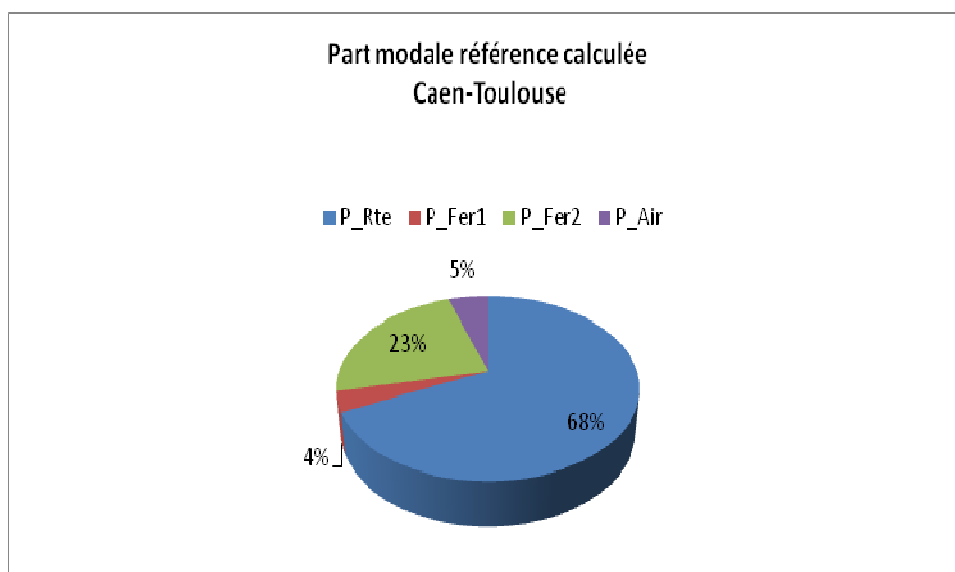
$$P_{M_{fe}} = \frac{e^{U_{M_{fe}}}}{\sum_i^4 e^{U_{M_{i_{fe}}}}}$$

La situation de référence 2025 :

Dans cette partie on prend en compte tous les projets mis en place puis on applique une méthode de pivot additif pour calculer les parts modales retenue pour chaque mode M_i ∈ (route, air, fer1, fer2)

$$P_{M_{ref_cal}} = \frac{e^{U_{M_{ref}}}}{\sum_i^4 e^{U_{M_{i_{ref}}}}}$$

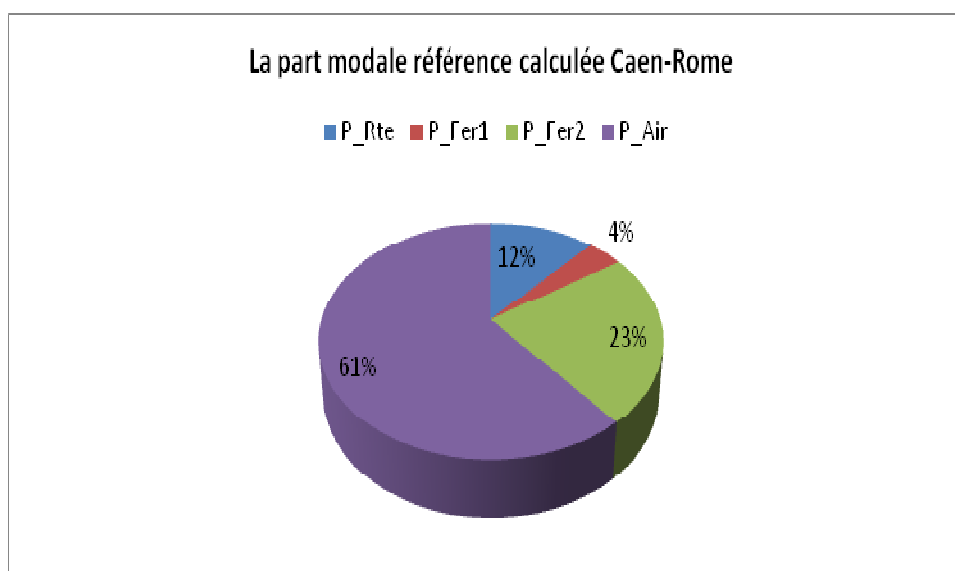
- Exemple au niveau national : Sur l'OD Caen-Toulouse on a obtenu les résultats suivants pour le motif personnel :



PART MODALE DE LA REFERENCE CALCULE AU NIVEAU INTERNATIONAL

En comparant avec le graph des parts modales de l'offre 2008, on observe la croissance du pourcentage du mode ferroviaire et la décroissance du celui du mode routier (au niveau national).

- Exemple au niveau international : Sur l'OD Caen-Rome on trouve les résultats suivants pour le motif personnel :



PART MODALE DE LA REFERENCE CALCULE AU NIVEAU INTERNATIONAL

En comparant avec le graph des parts modales de l'offre 2008, on observe la croissance du pourcentage du mode ferroviaire et la décroissance du celui du mode Air (au niveau international).

Dans le cas de notre modèle, on trouve que les résultats obtenus sont largement différentes de celles observées et du coup pour ajuster notre modèle de trafic on utilise une méthode dite : la méthode de Pivot (additif ou multiplicatif).

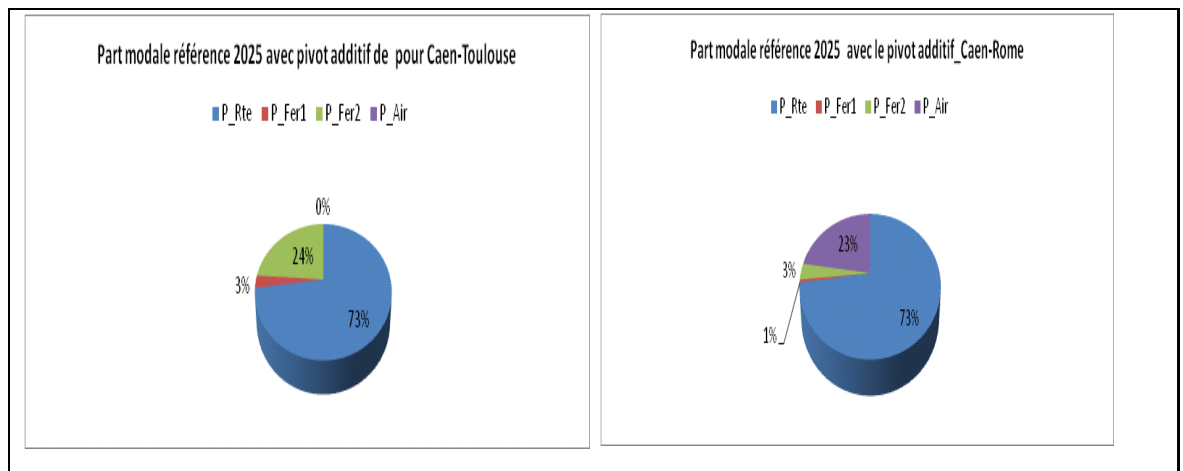
Le pivot additif

$$P_{M_ref0} = P_{M_base} + P_{M_ref_cal} - P_{M_Fl}$$

Après on normalise à 100% les parts modales de la référence pour chaque mode de transport $M_i \in (\text{route, air, fer1, fer2})$:

$$P_{M_ref} = \frac{P_{M_ref0}}{\sum_i P_{M_i_ref0}}$$

- Exemple au niveau national et international : Sur les OD Caen-Toulouse et Caen Rome on a obtenu les résultats suivants pour le motif personnel :

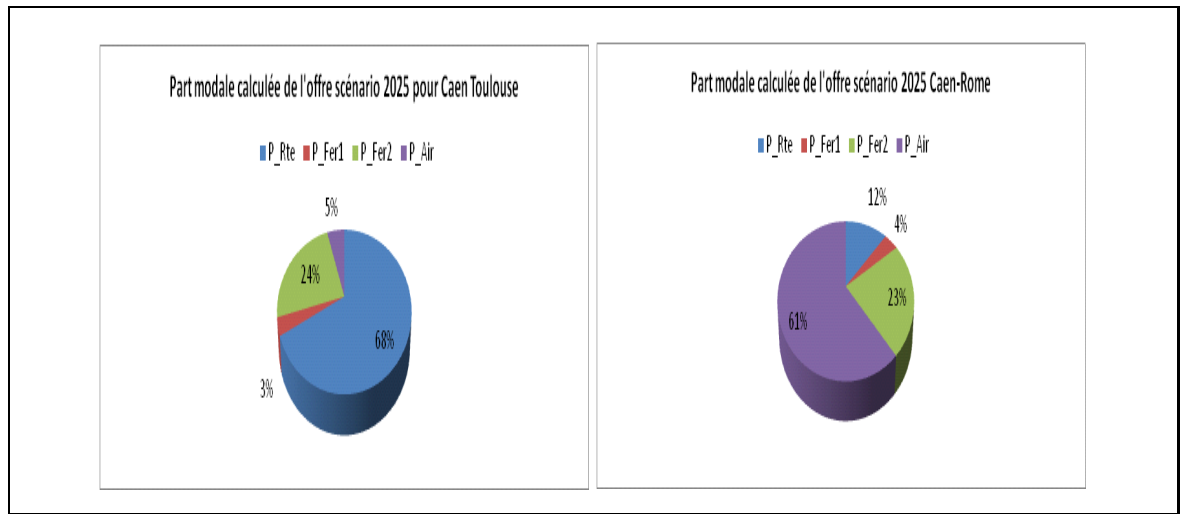


PART MODALE DE LA REFERENCE 2025 AVEC PIVOT ADDITIF

La situation de projet :

Pour cette situation on refait le même calcul que la situation référence sans oublier que cette situation est indépendante de celle de la référence.

- Exemple au niveau national et international : Sur les OD Caen-Toulouse et Caen Rome on a obtenu les résultats suivants pour le motif personnel :



PART MODALE CALCULEE DE SCENARIO 2025

Remarque :

- Tous ces calculs sont faits pour tous les OD du projet et pour les 5 motifs d'étude.

6.2.4.4. L'induction du trafic:

On prend en compte l'induction dans le modèle, telle qu'on utilise une induction uniquement sur le trafic tous modes, qui s'appliquent avant le partage modal, à partir d'une élasticité à l'évolution du logsum des utilités déterminées par le partage modal.

$$\tau = \exp(-\gamma \Delta \log \text{sum})$$

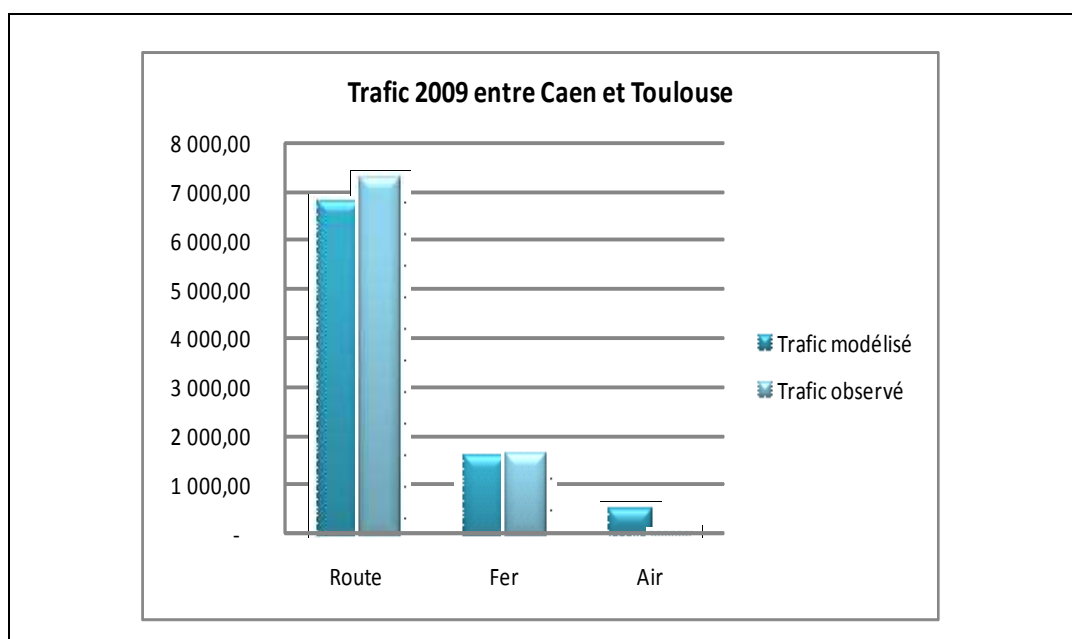
L'induction totale est calculée à partir de la variation d'accessibilité telle que :

$$\text{Induction}_{\text{totale}} = \left(\left(\frac{\sum e^{U_{\text{ref}}}}{\sum e^{U_{\text{fe}}}} \right)^{\beta} - 1 \right) \times \text{Trafic total}$$

Et par suite cette induction sera répartie entre les différents modes M_i suivant la relation :

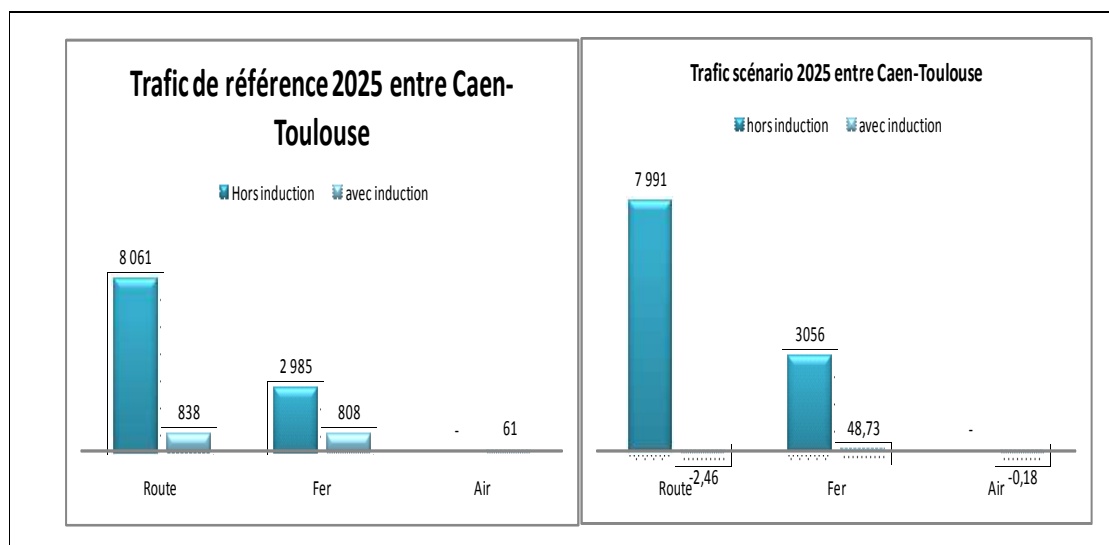
$$\text{Induction}_{M_i_{\text{ref}}} = \text{induction}_{\text{totale}} \times \frac{e^{U_{M_i_{\text{ref}}}} - e^{U_{M_i_{\text{fe}}}}}{\sum e^{U_{\text{ref}}} - \sum e^{U_{\text{fe}}}}$$

La situation de base 2009 :



TRAFIC 2009 ENTRE CAEN ET TOULOUSE

Pour la situation de la base on remarque que le trafic modélisé est plus proche au trafic observé pour les modes routier et ferroviaire.



TRAFIC REFERENCE ET SCENARIO 2025

On voit que le trafic hors induction est plus important par rapport au trafic avec induction pour les modes routier et ferroviaire.

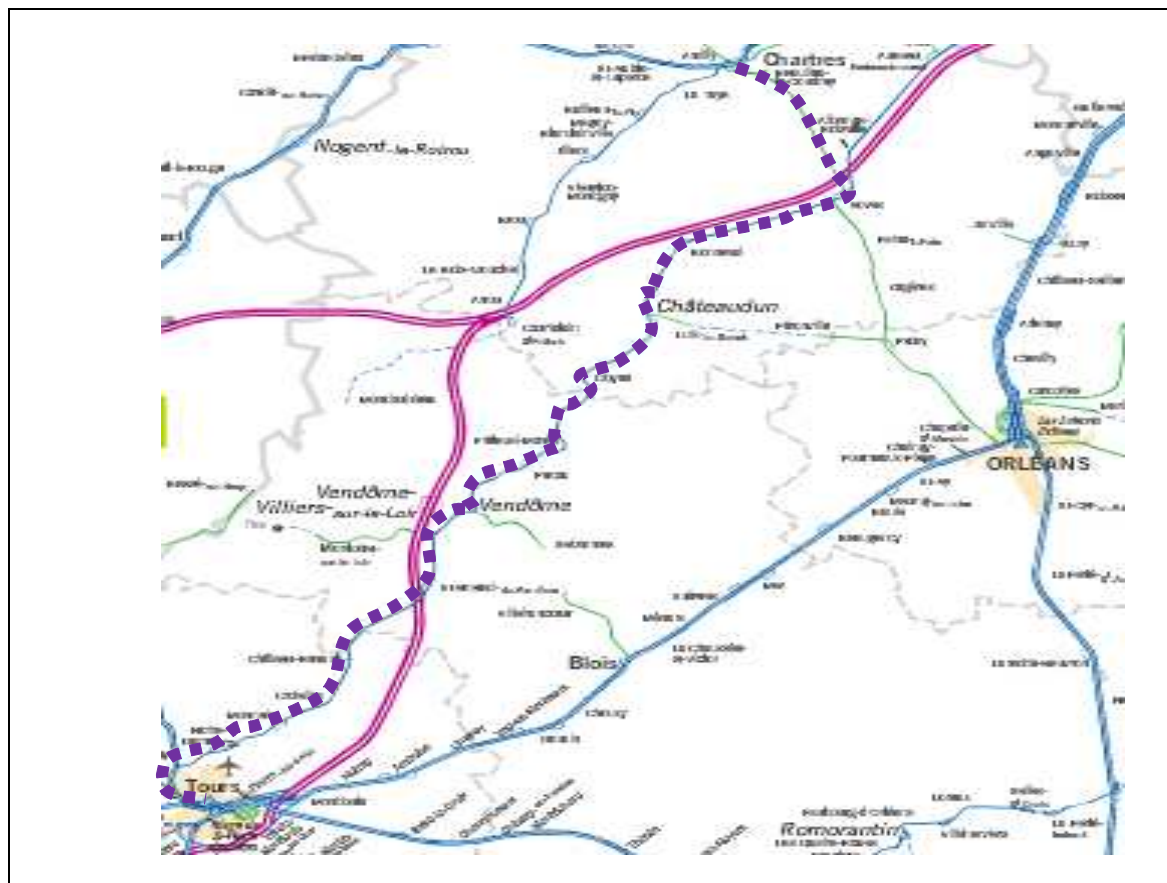
6.3. LA LIGNE CHARTRES-TOURS

6.3.1. L'OBJECTIF

Cette étude a pour objectif de réévaluer les trafics du mode ferroviaire (TER) aux différents horizons de l'étude ensuite de faire une estimation de l'intérêt socio-économique du projet pour la collectivité dans son ensemble.

6.3.2. LE PERIMETRE ET L'HORIZON DE L'ETUDE

Notons que cette étude porte sur la ligne Chartres-Voves-Tours. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un périmètre élargi afin de mettre l'accent sur l'ensemble des déplacements possibles entre Chartres et Tours en prenant en compte les différents motifs et mode de transport (VP, Car, Ter) sur chaque Origine-Destination (OD) aux horizons : 2009, 2016, 2018 et 2020.



LA LIGNE CHARTRES VOVES TOURS

6.3.3. LA PREVISION DU TRAFIC

Comme on a indiqué au dessus l'étude porte sur la ligne chartres-Tours, qui est formée par six OD :

- Chartres- Voves
- Voves-Bonneval
- Bonneval-Châteaudun

- Châteaudun-Cloyes sur le Loir
- Cloyes sur le loir-Vendôme
- Vendôme-Tours

6.3.3.1. Les niveaux de service VP et TC

Cette partie de l'étude de trafic est effectuée de la même manière que celle du projet METROLOR, telle que on a récupéré les données comme la distance, le temps de parcours, le coût du carburant et la vitesse pour chaque origine destination, ensuite on a calculé les coûts généralisés routier et ferroviaire qui seront par la suite utilisés dans le calage du modèle.

6.3.3.2. Le calage du modèle

Le mode routier

Pour caler le modèle du trafic sur l'axe de l'étude, on utilise d'une part le modèle gravitaire et d'autre part les résultats du comptage effectué sur cet axe :

Le modèle gravitaire MG utilisé dans cette étude sera représenté par :

$$MG_{ij} = \frac{a * (P_i + E_i) * (P_j + E_j)}{Cg}$$

Avec :

- P_i : La population de l'origine (P_j pour la destination).
- E_i : L'emploi de l'origine (E_j pour la destination).
- a : un coefficient à définir par l'entreprise selon quelques critères.
- Cg : Le coût généralisé.

Ensuite on fait appel à des indicateurs statistiques pour tester le calage de notre modèle, tel que la régression linéaire R^2 qui nous permet de calculer la dispersion entre les observations et les résultats du calage du modèle, après on utilise un indicateur statistique t_{student} qui nous permet de vérifier si les coefficients estimés par la régression linéaire sont significativement différents de 0 ou non. Pour cela on dispose d'un intervalle de confiance de 95% et ces coefficients seront significativement différents de 0 s'ils sont supérieurs à 2.

Dans le cadre de notre étude on applique ces indicateurs sur les liaisons entre la ville de Tours et quelques communes de la région :

nb	O	D	Tps VP 2010(en heures)	Tps VP CONG 2010(en h)	Distance totale km	CG VP BASE en € 2009	POP_O	POP_D
3	Tours	vouvray	0,23	0,4	11	5,63 €	136,9	3,1
4	Tours	Montlouis-sur	0,35	0,52	16	8,33 €	136,9	10,3
10	Tours	Nazelles-Né	0,45	0,62	26	12,20 €	136,9	3,6
7	Tours	semblancay	0,35	0,52	17	8,65 €	136,9	2
17	Tours	Crotelles	0,37	0,53	23	11,19 €	136,9	0,6
13	Tours	nouzilly	0,38	0,55	24	11,65 €	136,9	1,2

On représente ici quelques résultats obtenus pour les OD de cet exemple :

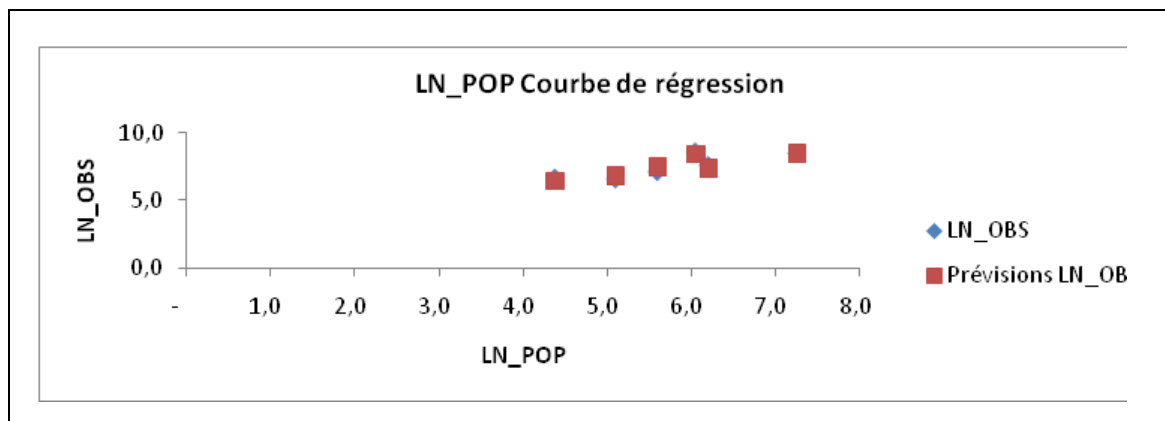
Statistiques de la régression	
Coefficient de détermination multiple	0,95370079
Coefficient de détermination R^2	0,90954519
Coefficient de détermination R^2	0,84924198
Erreur-type	0,34243767
Observations	6

Remarque : Notons que lorsque le coefficient de la régression est proche de 1, la régression est considérée la meilleure.

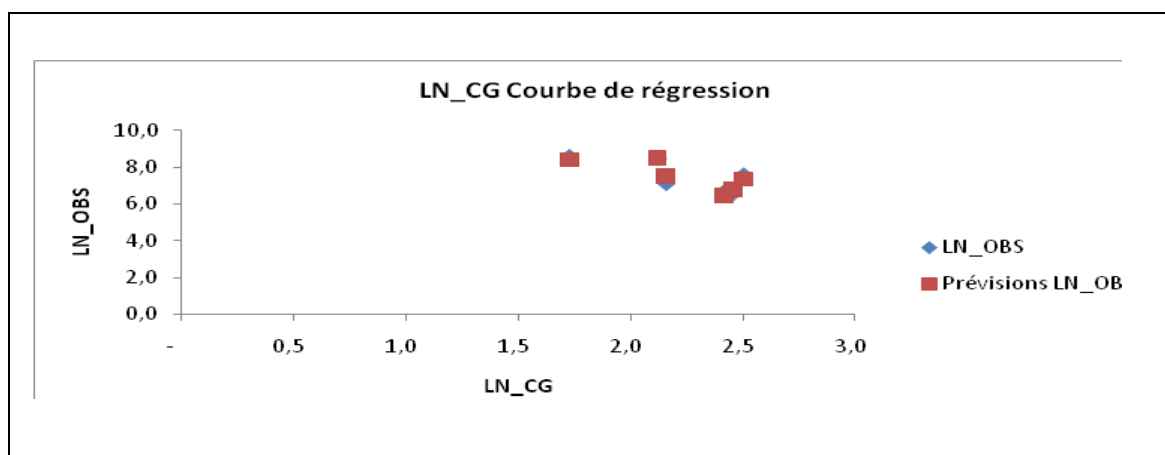
ANALYSE DE VARIANCE					
	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Valeur critique de F
Régression	2	3,537341	1,76867	15,083	0,0272
Résidus	3	0,351791	0,117264		
Total	5	3,889132			

	Coefficients	Erreur- type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95,0%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95,0%
Constante	7,5216298	1,897493	3,963983	0,0287	1,48296	13,5603	1,48296	13,5603
LN_POP	0,57363589	0,169766	3,378987	0,0431	0,03337	1,113906	0,033366	1,113906
LN_CG	1,48806719	0,571247	-2,60494	0,08	-3,306	0,329897	3,306031	0,329897

On affiche au dessous les graphs obtenus de la régression :



LA COURBE DE LA REGRESSION POUR LA POPULATION



LA COURBE DE LA REGRESSION DU COUT GENERALISE

La matrice de déplacements :

A partir du modèle gravitaire on reconstitue la matrice de déplacements de l'année de base 2009 tel qu'on applique le ratio de l'évolution $0.9 \cdot \text{PIB}$:

OD	Voves	Bonneval	Châteaudun	Cloyes-sur-le-L	Vendôme	TOURS
CHARTRES	338 000	416 000	572 000	50 180	52 076	164 450
Voves	-	78 180	62 285	30 350	29 916	49 251
Bonneval	-	-	364 000	74 294	51 408	87 244
Châteaudun	-	-	-	286 000	113 234	175 352
Cloyes-sur-le-Loir	-	-	-	-	110 387	110 663
Vendôme	-	-	-	-	-	352 0

DEPLACEMENTS ANNUELS (VP 2009 TOUS MOTIFS)

6.3.4. BILAN SOCIO-ECONOMIQUE

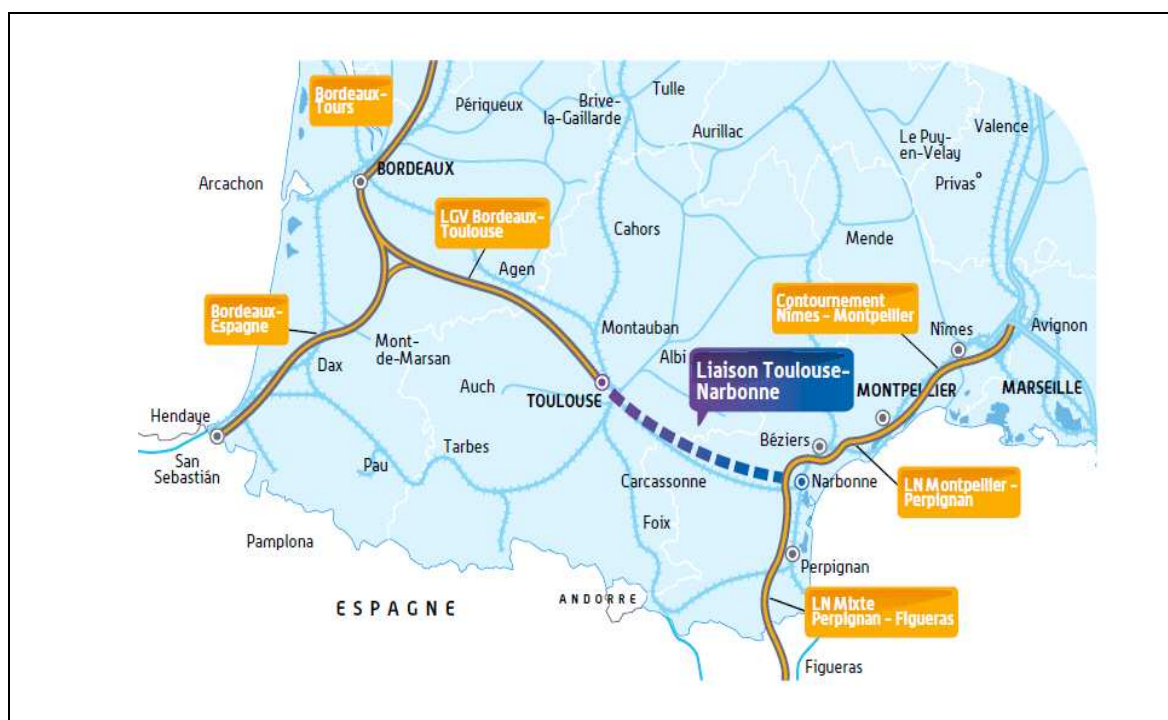
A la fin de l'étude de trafic entre Chartre-Voves-Tours, on a réalisé un bilan socio économique de cette zone, tel que on a pris en considération tous instructions et les méthodes définies

dans la section précédente (l'évaluation socio-économique d'un projet), les travaux effectués de cette partie seront présentés dans les annexes.

6.4. LA LIAISON TOULOUSE NARBONNE (LTN)

6.4.1. OBJECTIF

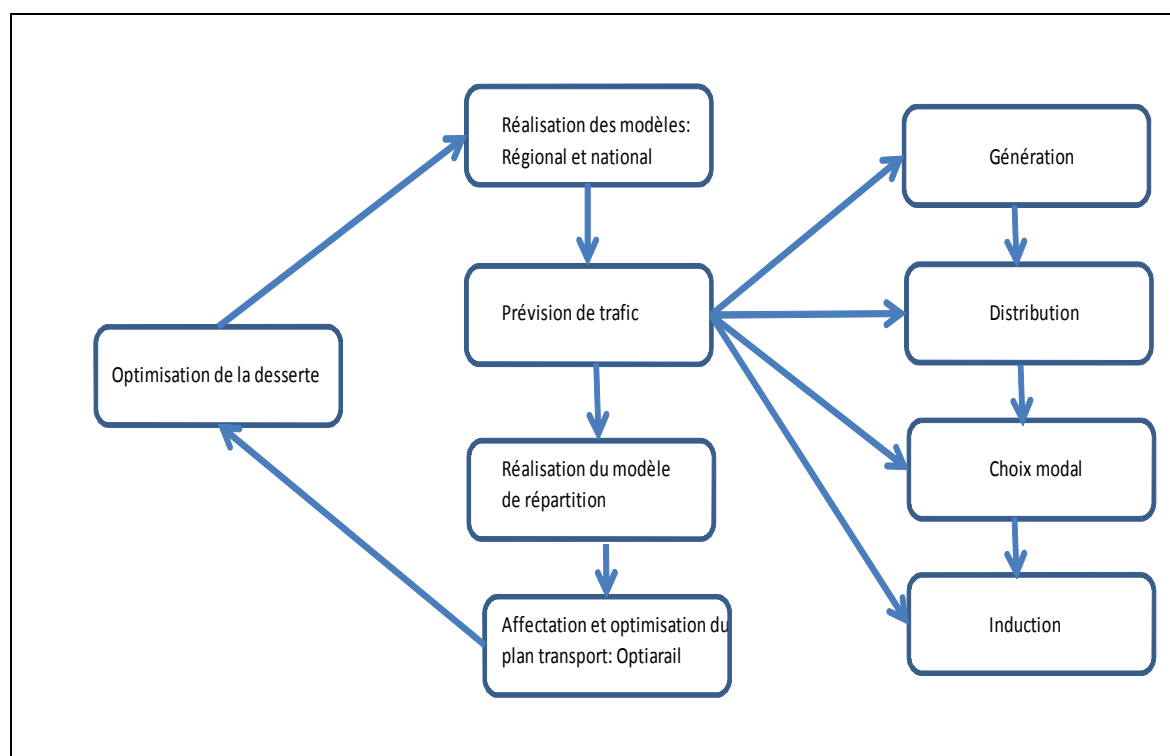
Le but de ce projet est d'améliorer la liaison Toulouse Narbonne qui représente un maillon important dans le réseau ferroviaire du Grand sud car cette ligne permet de développer les échanges internationaux notamment avec la Catalogne et au même temps d'améliorer le service TER du sud au niveau national.



LA LIGNE TOULOUSE NARBONNE (SOURCE RFF)

6.4.2. LE MODELE DE PREVISION DU TRAFIC

Ce modèle se ressemble dans les étapes de calcul avec les modèles effectués dans les études des projets précédents pour cette raison on représente ici seulement l'architecture générale du modèle utilisé sans entrer dans les détails de la réalisation :



ARCHITECTURE GENERALE DU MODELE DE PREVISIONS DE TRAFIC

6.4.2.1. La situation de la référence 2025

Pour obtenir la prévision du trafic en situation de la référence 2025, on a utilisé le logiciel Optirail (présenté dans les annexes), puis on a étudié les scénarios possibles en comparant les sorties d'Optirail pour les quatre familles prises en considération :

- **F1** : Grand Sud –Grande Vitesse.
- **F2** : Aménagement ligne classique
- **F3a** : Composées ligne nouvelle Toulouse Carcassonne
- **F3b** : Composées ligne nouvelle Carcassonne Narbonne

On rappelle qu'on ne pourrait pas présenter les résultats de cette prévision de trafic pour des raisons de confidentialité.

7/ Conclusion

Durant ces huit mois de stage au sein du département ECP j'ai eu l'occasion de découvrir le monde du transport ferroviaire notamment en ce qui concerne la modélisation du trafic et les études socio économique, en outre, j'ai eu la chance de travailler sur plusieurs futurs projets d'infrastructures qui font l'actualité de transport ferroviaire et qui changeront sans doute l'aspect général de la carte ferroviaire en France et en Europe.

Par ailleurs, ce stage m'a permis de manipuler une variété de logiciel d'étude de trafic et d'avoir une vision d'analyse, de critique et de prévision.

Enfin, c'est une expérience très riche en matière relationnel et technique car elle m'a permis de côtoyer des experts et des ingénieurs dans le domaine du transport ferroviaire.

8/ Référence

BIBLIOGRAPHIE :

- De Palma A. et Thisse J.F (1987), Les modèles de choix discrets, in Annales d'Economie et Statistique.
- Didier M. et Prud'homme R., Infrastructures de transport, mobilité et croissance.
- PREDIT (2004), la modélisation des trafics, un outil au service de la planification et de la prospective.
- Brunel J. (2007), Prévoir la demande de transport de marchandises à long terme.
- Gély L. (2011), Modélisation et Optimisation de la gestion opérationnelle du trafic ferroviaire en cas d'aléas, Thèse, Ecole doctorale de mathématiques et informatique.
- Raux C., Souche S. et Mercier A. (2006), De la modélisation des comportements au calcul économique : l'équité des politiques de transport.

WEB:

- www.insee.fr
- www.viamichelin.fr
- www.sncf.fr
- www.setra.equipement.gouv.fr
- www.rff.fr

9/ Annexes

9.1. ANNEXE DU PROJET METROLOR (2016-2025)

9.1.1. LE SERVICE ROUTIER

On donne quelques résultats numériques à titre indicatif et seulement pour l'un des axes du zonage. On étudie par exemple l'axe : Luxembourg-Nancy

La distance

OD	Luxembourg	Bettembourg	HETTANGE GRANDE	THIONVILLE	UCKANGE	HAGONDANGE	MAIZIERES LES METZ	WOIPPY	METZ1
Luxembourg		12	25	36	43	49	52	61	65
Bettembourg	12		17	28	35	41	45	53	57
HETTANGE GRANDE	25	17		6,5	26	32	36	44	48
THIONVILLE	36	28	6,5		9,5	15	19	27	31
UCKANGE	44	36	27	9,5		9	13	21	25
HAGONDANGE	49	41	32	15	8,5		6	12	20
MAIZIERES LES METZ	53	45	36	18	12	6		7	16
WOIPPY	62	54	45	28	22	12	7		10
METZ1	64	56	47	30	24	20	16		

LA DISTANCE CALCULE ENTRE LES OD DE VIAMICHELIN

On représente ici une partie des résultats de l'axe Luxembourg-Nancy :

Le temps

OD	Luxembourg	Bettembourg	HETTANGE GRANDE	THIONVILLE	UCKANGE	HAGONDANGE	MAIZIERES LES METZ	WOIPPY	METZ1
Luxembourg		00h12	00h24	00h30	00h34	00h39	00h40	00h46	00h48
Bettembourg	00h13		00h15	00h22	00h26	00h31	00h32	00h38	00h40
HETTANGE GRANDE	00h24	00h15		00h10	00h20	00h25	00h26	00h32	00h34
THIONVILLE	00h30	00h22	00h10		00h09	00h15	00h15	00h22	00h23
UCKANGE	00h35	00h26	00h20	00h09		00h11	00h11	00h18	00h19
HAGONDANGE	00h40	00h32	00h26	00h15	00h11		00h09	00h15	00h20
MAIZIERES LES METZ	00h40	00h32	00h26	00h15	00h11	00h09		00h09	00h15
WOIPPY	00h48	00h39	00h33	00h22	00h18	00h15	00h10		00h13
METZ1	00h47	00h39	00h32	00h22	00h18	00h18	00h14	00h12	

LE TEMPS VIAMICHELIN ENTRE LES OD

Le cout du carburant

OD	Luxembourg	Bettembourg	HETTANGE GRANDE	THIONVILLE	UCKANGE	HAGONDANGE	MAIZIERES LES METZ	WOIPPY	METZ
Luxembourg		1,66	4,02	5,47	6,41	7,15	7,69	8,91	9,4
Bettembourg	1,76		2,92	4,36	5,31	6,05	6,58	7,8	8,3
HETTANGE GRANDE	4	2,84		1,04	3,55	4,29	4,83	6,04	6,54
THIONVILLE	5,54	4,37	1,04		1,37	2,11	2,65	3,86	4,36
UCKANGE	6,58	5,41	3,68	1,35		1,34	1,87	3,09	3,59
HAGONDANGE	7,33	6,16	4,43	2,11	1,33		0,96	1,6	3,07
MAIZIERES LES METZ	7,78	6,61	4,88	2,55	1,77	0,97		1,04	2,35
WOIPPY	9,08	7,91	6,18	3,86	3,08	1,62	1,06		1,58
METZ	9,33	8,17	6,43	4,11	3,33	2,9	2,27	1,42	

LE COUT DU CARBURANT VIAMICHELIN ENTRE LES OD

La vitesse moyenne

OD	Luxembourg	Bettembourg	HETTANGE GRANDE	THIONVILLE	UCKANGE	HAGONDANGE	MAIZIERES LES METZ	WOIPPY	METZ
Luxembourg		60,0	62,5	72,0	75,9	75,4	78,0	79,6	81,3
Bettembourg	55,4		63,8	76,4	80,8	79,4	84,4	83,7	85,5
HETTANGE GRANDE	62,5	68,0		68,0	78,0	76,8	83,1	82,5	84,7
THIONVILLE	72,0	76,4	76,4		76,4	60,0	76,0	73,6	80,9
UCKANGE	75,4	83,1	81,0	81,0		49,1	70,9	70,0	78,9
HAGONDANGE	73,5	76,9	73,8	60,0	60,0		40,0	48,0	60,0
MAIZIERES LES METZ	79,5	84,4	83,1	72,0	65,5	40,0		46,7	64,0
WOIPPY	77,5	83,1	81,8	76,4	73,3	48,0	42,0		46,2
METZ	81,7	86,2	88,1	81,8	80,0	66,7	68,6	45,0	

LA VITESSE MOYENNE VIAMICHELIN ENTRE LES OD

Le cout généralisé VP

Origine	Destination	CG VP BASE en 2009	CG VP REF 2015 (I2009)	CG VP 2020 (I2009)	CG VP 2025 (I2009)
Luxembourg	Luxembourg				
Luxembourg	Bettembourg	0,00	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	HETTANGE GRANDE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	THIONVILLE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	UCKANGE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	HAGONDANGE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	MAIZIERES LES METZ	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	WOIPPY	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	METZ1	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	METZ2	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	ARS SUR MOSELLE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	ANCY SUR MOSELLE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	Novéant-sur-Moselle	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	FAGNY SUR MOSELLE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	VANDIERES	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	PONT A MOUSSON	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	DIEULOUARD	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	BELLEVILLE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	MARBACHE	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	POMPEY	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	FROUARD	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	CHAMPIGNEULLES	2,88	2,88	2,88	2,93
Luxembourg	Nancy	2,88	2,88	2,88	2,93

LE COUT GENERALISE VP CALCULE AUX HORIZONS DE L'ETUDE

9.1.2. LE SERVICE FERROVIAIRE

La fréquence

Étiquettes de lignes	ANCY SUR MOSELLE	ARS SUR MOSELLE	BELLEVILLE MEURTHE ET M	BETTEMBOURG	CHAMPIGNEULLES	DIEULOUARD	FROUARD
ANCY SUR MOSELLE		14	9	2	8	13	11
ARS SUR MOSELLE	13		12	3	11	16	14
BELLEVILLE MEURTHE ET M	7	12		1	10	12	12
BETTEMBOURG							
CHAMPIGNEULLES	7	13	12	1		13	12
DIEULOUARD	14	21	12	3	11		14
FROUARD	10	16	11	1	11	16	
HAGONDANGE	2	2	2	17	2	2	2
HETTANGE GRANDE	2	2	2	14	2	2	2
LUXEMBOURG	2	2	2	13	2	2	2
MAIZIERES LES METZ	2	2	2	8	2	2	2
MARBACHE	7	12	12	1	10	12	12
METZ	13	16	12	17	11	16	14

LA FREQUENCE FERROVIAIRE (SOURCE BASE RIHO 2009)

Le temps moyen

Étiquettes de lignes	ANCY SUR MOSELLE	ARS SUR MOSELLE	BELLEVILLE MEURTHE ET M	BETTEMBOURG	CHAMPIGNEULLES	DIEULOUARD
ANCY SUR MOSELLE		0,04	0,47	0,38	0,73	0,39
ARS SUR MOSELLE	0,04		0,50	0,30	0,76	0,43
BELLEVILLE MEURTHE ET M	0,46	0,47		1,35	0,24	0,05
BETTEMBOURG						
CHAMPIGNEULLES	0,72	0,73	0,24	1,60		0,32
DIEULOUARD	0,40	0,42	0,06	1,36	0,31	
FROUARD	0,63	0,65	0,18	1,53	0,05	0,22
HAGONDANGE	0,62	0,57	1,12	0,46	1,37	1,04
HETTANGE GRANDE	0,93	0,88	1,43	0,15	1,68	1,35
LUXEMBOURG	1,22	1,17	1,71	0,16	1,96	1,63
MAIZIERES LES METZ	0,55	0,50	1,04	0,56	1,29	0,97
MARBACHE	0,52	0,54	0,05	1,42	0,18	0,13
METZ	0,17	0,12	0,64	0,72	0,90	0,56

LE TEMPS MOYEN FERROVIAIRE (SOURCE BASE RIHO 2009)

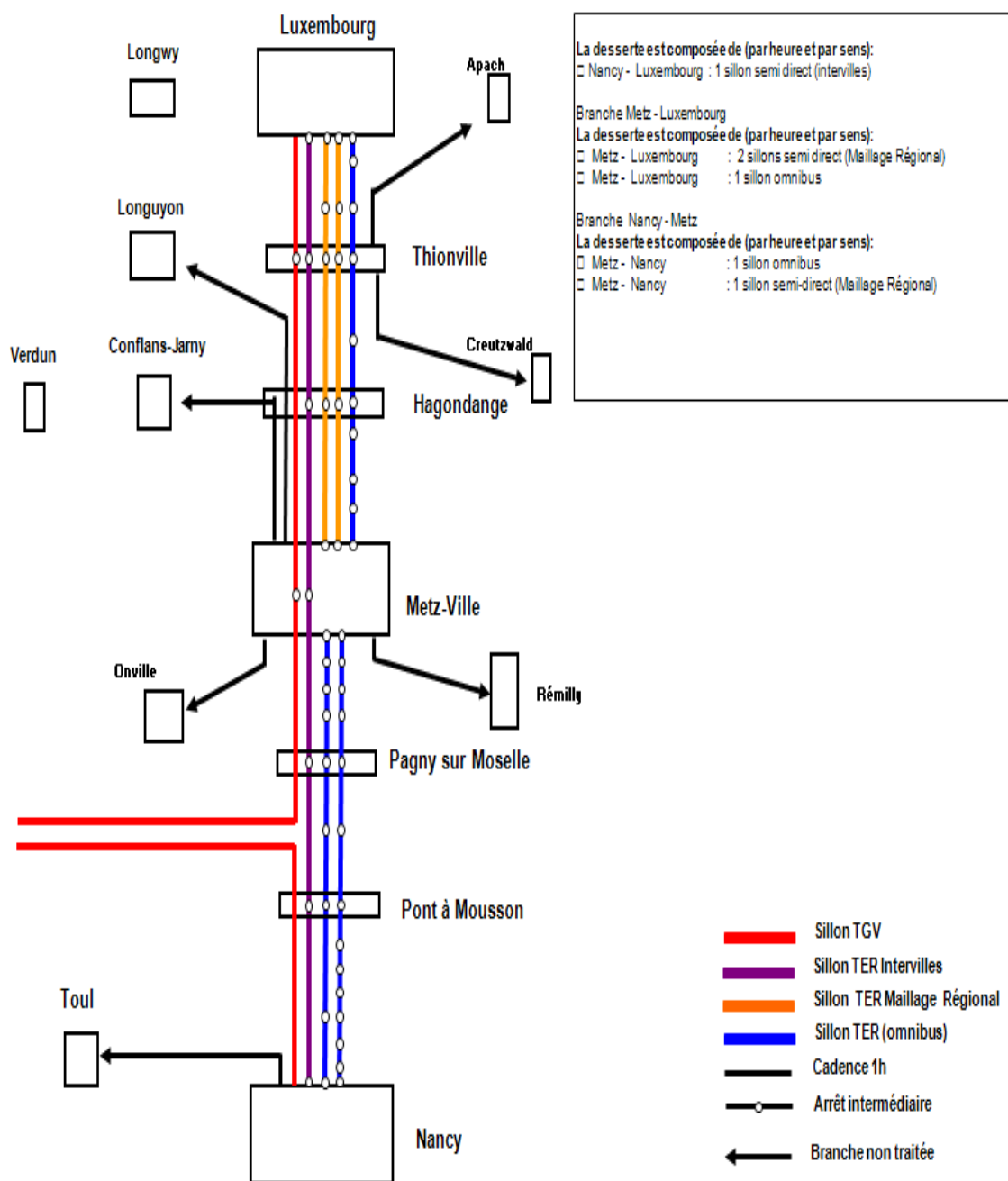
Le cout généralisé Fer

Origine	Destination	CG Fer DT/DE	CG Fer Autres	CG Fer BASE
Luxembourg	Luxembourg			
Luxembourg	BETTEMBOURG	1,70	1,70	1,70
Luxembourg	HETTANGE GRANDE	2,61	2,61	2,61
Luxembourg	THIONVILLE	3,32	3,32	3,32
Luxembourg	UCKANGE	3,93	3,93	3,93
Luxembourg	HAGONDANGE	4,54	4,54	4,54
Luxembourg	MAIZIERES LES METZ	4,95	4,95	4,95
Luxembourg	VOIPPY	5,65	5,65	5,65
Luxembourg	METZ NORD	5,85	5,85	5,85
Luxembourg	METZ	0,00	0,00	0,00
Luxembourg	ARS SUR MOSELLE	7,27	7,27	7,27
Luxembourg	ANCY SUR MOSELLE	7,48	7,48	7,48
Luxembourg	NOVEANT	7,78	7,78	7,78
Luxembourg	PAGNY SUR MOSELLE	8,41	8,41	8,41
Luxembourg	VANDIERES	0,00	0,00	0,00
Luxembourg	PONT A MOUSSON	9,32	9,32	9,32
Luxembourg	DIEULOUARD	0,00	0,00	0,00
Luxembourg	ELLEVILLE MEURTHE ET	0,00	0,00	0,00
Luxembourg	MARBACHE	0,00	0,00	0,00
Luxembourg	POMPEY	0,00	0,00	0,00
Luxembourg	FROUARD	11,33	11,33	11,33
Luxembourg	CHAMPIGNEULLES	0,00	0,00	0,00
Luxembourg	NANCY VILLE	12,13	12,13	12,13

LE COUT GENERALISE FERROVIAIRE AUX HORIZONS DE L'ETUDE

Axe ferroviaire Luxembourg - Nancy

Heure de pointe 1h



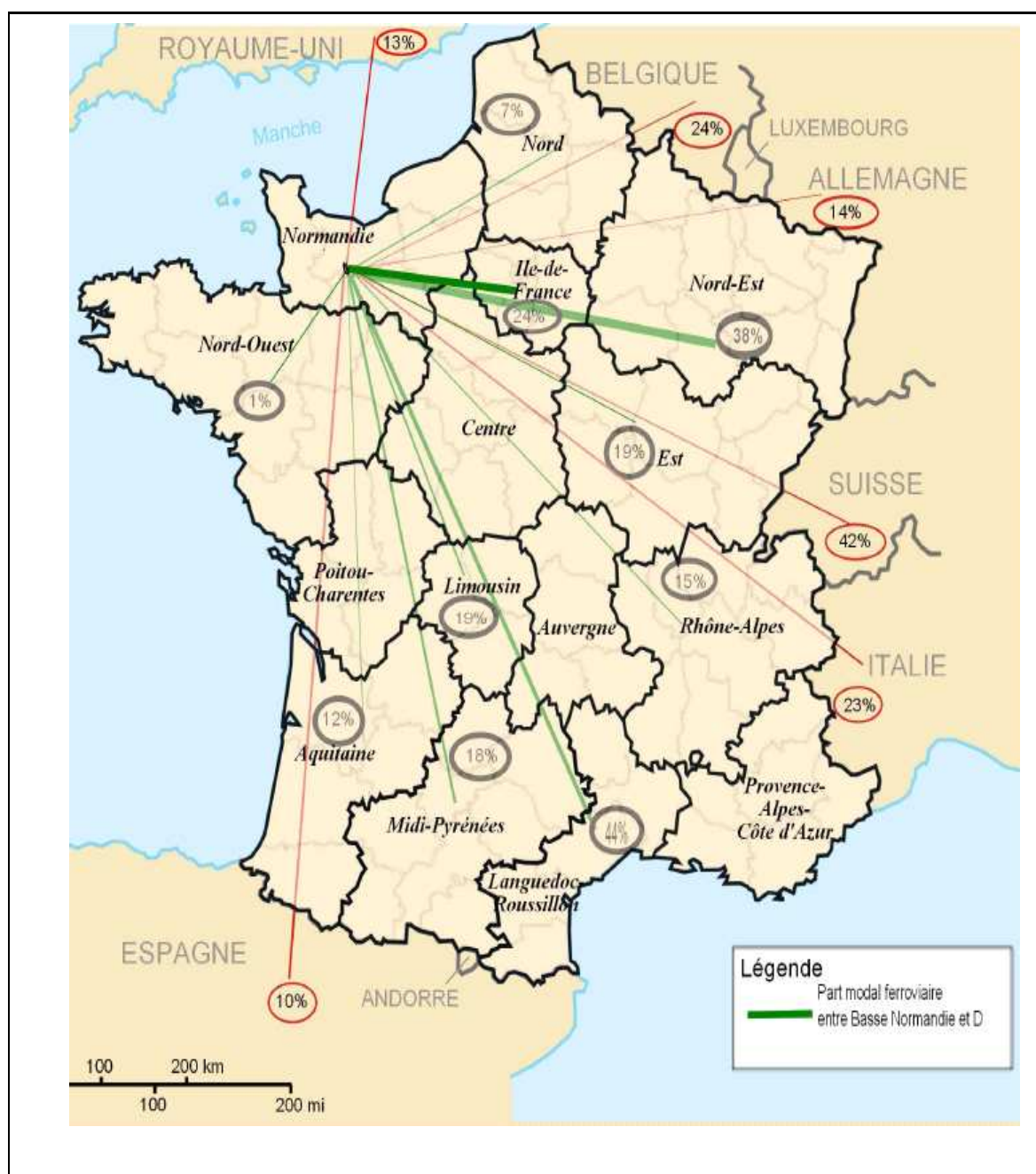
LE SCHEMA DE DESSERTE DE L'AXE 1 LUXEMBOURG- NANCY

On a réalisé la même étude pour les autres axes d'étude ce qui nous a permis de réaliser un schéma de desserte Général de la région Lorraine (envoyé au client).

9.2. ANNEXE DU PROJET LNPN

Voici un petit exemple des résultats obtenus lors du calcul des parts modales pour type de transport Fer et pour le motif personnel et pour chaque situation, (on rappelle que le calcul est fait pour 160 OD et pour chaque mode de transport et avec les cinq motifs, donc il sera impossible d'afficher tous les résultats numériques) :

- L'offre 2008 (Exemple (1) Basse Normandie): on prend Caen comme origine puis on calcule les parts modales fer (classe 1+ classe 2) :



LES PARTS MODALES ENTRE BASSE NORMANDIE ET LES AUTRES REGIONS POUR LE MOTIF PERSO (OFFRE 2008)

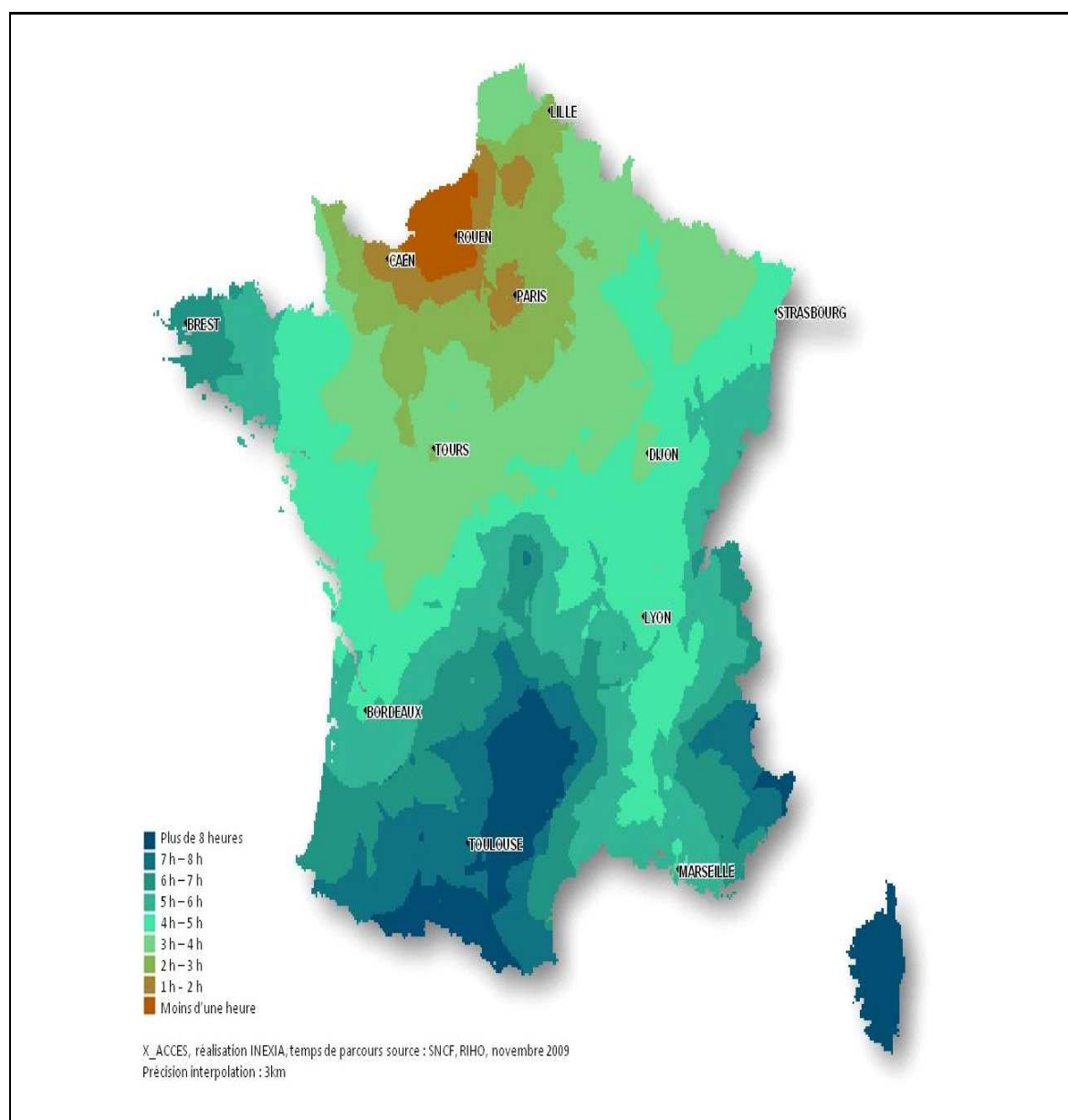
- L'offre de scénario 2025 (Basse Normandie avec Caen comme origine)
Pour motif perso et pour mode Fer (classe 1 et 2)



- L'offre de scénario 2025 (Basse Normandie avec Caen comme origine)
Pour motif perso et pour mode Fer (classe 1 et 2)



LES PARTS MODALES ENTRE BASSE NORMANDIE ET LES AUTRES REGIONS POUR LE MOTIF PERSO (SCENARIO 2025)



LA CARTE DES TEMPS DE PARCOURS ENTRE HBN ET LES AUTRES REGIONS

9.3. ANNEXE DU PROJET CHARTRES-TOURS :

9.3.1. LE MODE ROUTIER

Ces résultats sont obtenus du site viamichelin 2010 et seront utilisés dans le calcul des coûts généralisés :

Le temps de parcours

	Chartres	Voves	Bonneval	Châteaudun	Cloyes-sur-l.	Vendôme	Tours
Chartres		00h30	00h30	00h44	00h54	01h15	02h03
Voves	00h30		00h30	00h42	00h52	01h13	01h38
Bonneval	00h30	00h30		00h17	00h27	00h48	01h35
Châteaudun	00h44	00h42	00h17		00h13	00h34	01h21
Cloyes-sur-l.	00h54	00h52	00h27	00h13		00h25	01h12
Vendôme	01h15	01h13	00h48	00h34	00h25		00h48
Tours	02h03	01h38	01h35	01h21	01h12	00h48	

La distance

	Chartres	Voves	Bonneval	Châteaudun	Cloyes-sur-l.	Vendôme	Tours
Chartres		29	31	45	56	85	140
Voves	29		23	39	50	79	169
Bonneval	31	23		15	26	56	110
Châteaudun	45	39	15		12	41	96
Cloyes-sur-l.	56	50	26	12		30	85
Vendôme	85	79	56	41	30		55
Tours	140	169	110	96	85	55	

Le coût du carburant

	Chartres	Voves	Bonneval	Châteaudun	Cloyes-sur-l.	Vendôme	Tours
Chartres		2,67	2,64	3,9	4,83	7,44	12,14
Voves	2,67		2,38	3,73	4,67	7,28	15,07
Bonneval	2,64	2,38		1,43	2,36	4,97	9,66
Châteaudun	3,9	3,73	1,43		1,15	3,76	8,46
Cloyes-sur-l.	4,83	4,67	2,36	1,15		2,86	7,55
Vendôme	7,44	7,28	4,97	3,76	2,86		4,74
Tours	12,14	15,07	9,66	8,46	7,55	4,74	

La vitesse moyenne

OD	Chartres	Voves	Bonneval	Châteaudun	Cloyes-sur-l.	Vendôme	Tours
Chartres		58	62	61,3636364	62,2222222	68	68,2926829
Voves	58		46	55,7142857	57,6923077	64,9315068	103,469388
Bonneval	62	46		52,9411765	57,7777778	70	69,4736842
Châteaudun	61,3636364	55,7142857	52,9411765		55,3846154	72,3529412	71,1111111
Cloyes-sur-l.	62,2222222	57,6923077	57,7777778	55,3846154		72	70,8333333
Vendôme	68	64,9315068	70	72,3529412	72		68,75
Tours	68,2926829	103,469388	69,4736842	71,1111111	70,8333333	68,75	

9.3.2. LE MODE FERROVIAIRE

La distance ferroviaire :

Origine_Destination	Distance fer en 2004_rapport Boiteux(en km)
CHARTRES -VOVES	25
CHARTRES -BONNEVAL	32
CHARTRES -CHATEAUDUN	60
CHARTRES -CLOYES	73
CHARTRES -VENDOME	100
CHARTRES -TOURS	160
VOVES -BONNEVAL	7
VOVES -CHATEAUDUN	35
VOVES -CLOYES	48
VOVES -VENDOME	75
VOVES -TOURS	135
BONNEVAL -CHATEAUDUN	28
BONNEVAL -CLOYES	41
BONNEVAL -VENDOME	68
BONNEVAL -TOURS	128
CHATEAUDUN -CLOYES	13
CHATEAUDUN -VENDOME	40
CHATEAUDUN -TOURS	100
CLOYES -VENDOME	27
CLOYES -TOURS	87
VENDOME -TOURS	60
VENDOME -TOURS	60

La fréquence :

	BONNEVAL	CHARTRES	CHATEAUDUN	CLOYES	TOURS	VENDOME	VOVES
BONNEVAL		7	13	9	13	9	6
CHARTRES	8		8	7	31	7	9
CHATEAUDUN	11	7		11	10	11	6
CLOYES	10	7	11		10	11	6
TOURS	14	30	12	10		11	12
VENDOME	10	10	11	11	8		7
VOVES	7	7	7	6	13	6	

Le temps moyen :

	BONNEVAL	CHARTRES	CHATEAUDU	CLOYES	TOURS	VENDOME	VOVES
BONNEVAL		0,9047619	0,22307692	0,51851852	3,44487179	1	0,25277778
CHARTRES	1,125		1,20625	1,37619048	2,97473118	1,81190476	2,48888889
CHATEAUDU	0,24545455	1,19285714		0,25606061	4,045	0,76818182	0,46111111
CLOYES	0,55	1,50952381	0,22424242		4,01166667	0,50606061	0,78055556
TOURS	4,675	3,10333333	4,16944444	4,04666667		2,68030303	5,38472222
VENDOME	1,10333333	4,16166667	0,78787879	0,55757576	1,07916667		1,80238095
VOVES	0,25238095	1,83809524	0,45238095	0,79722222	3,94615385	1,30277778	

Le cout généralisé routier de la base 2009

Gare_O	Gare_D	CG VP BASE en € 2009
Chartres	Voves	15,55 €
Chartres	Bonneval	16,10 €
Chartres	Châteaudun	22,60 €
Chartres	Cloyes-sur-le-Loir	27,56 €
Chartres	Vendôme	39,35 €
Chartres	Tours	67,07 €
Voves	Bonneval	12,38 €
Voves	Châteaudun	19,05 €
Voves	Cloyes-sur-le-Loir	23,90 €
Voves	Vendôme	35,55 €
Voves	Tours	76,24 €
Bonneval	Châteaudun	7,72 €
Bonneval	Cloyes-sur-le-loir	12,64 €
Bonneval	Vendôme	24,90 €
Bonneval	Tours	52,12 €
Châteaudun	Cloyes-sur-le-loir	6,14 €
Châteaudun	Vendôme	17,08 €
Châteaudun	Tours	44,43 €
Cloyes-sur-le-loir	Vendôme	12,35 €
Cloyes-sur-le-loir	Tours	39,27 €
Vendôme	Tours	26,62 €

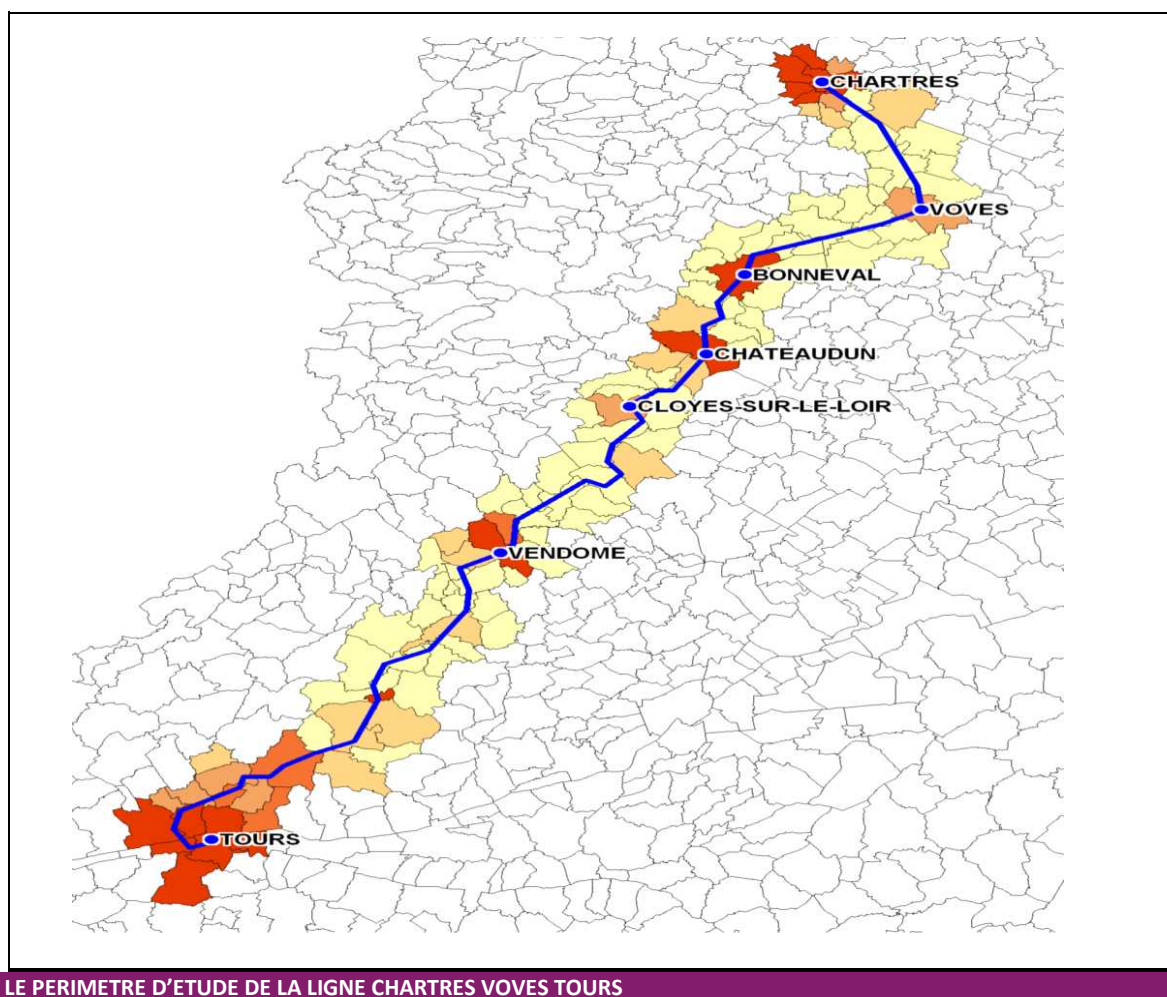
9.3.3. LES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES

La population

LIBGEO	P06_POP	P06_EMPLT
Bonneval	4 161	2 760
Chartres	40 022	29 785
Châteaudun	13 955	9 110
Cloyes-sur-le-Loir	2 640	1 033
Voves	2 910	1 085
Tours	136 942	79 768
Vendôme	17 029	11 435

(Source Insee)

On représente au dessous tous les communes qui se situent à 5 km aux alentours du la ligne Chartres-Voves- Tours : Périmètre d'étude et répartition de la population au sein du corridor



Les paramètres et les hypothèses du calcul

L'évolution de la mobilité :

Régions	PIB	
	2009-2025	2026-2060
Ile-de-France	1,69%	1,99%
Centre	1,00%	1,30%

(Source Insee)

Le projet

On rappelle que dans ce projet on a testé 2 scénarios aux trois horizons 2016, 2018 et 2020 :

- Scénario 1 : réouverture de la ligne entre Chartres et Voves avec 3 AR entre Chartres et Tours et maintien des cars TER
- Scénario 2 : réouverture de la ligne entre Chartres et Voves avec 3 AR entre Chartres Tours et la suppression des cars TER
- On donne un tableau qui regroupe les hypothèses de chaque scénario :

Sections	Distance Fer	Distance VP	Scénario 1	Scénario 2	Train.km additionnels	Car.km supprimés
Chartres-Voves	25	140	3 AR train / jour	3 AR car	45 000	252 000
Voves-Tours	135		-	supprimés / jour	-	

Le taux d'actualisation

Le taux d'actualisation pris en compte est celui prévu dans le projet d'instruction ferroviaire, à savoir :

- Constant et égal à 4 % de 2005 à 2034 inclus ;
- Constant et égal à 3,5 % de 2035 à 2054 inclus ;
- Constant et égal à 3 % au-delà de 2054.

Les résultats des bilans socio-économiques

On récapitule les différents bilans par acteur et on présente les résultats de la valeur résiduelle, du bénéfice actualisé (VAN), du bénéfice pour la Collectivité par € public investi et du Taux de Rentabilité Interne (TRI) pour le scénario 1 (maintien des cars TER) et le scénario 2 (suppression des cars TER).

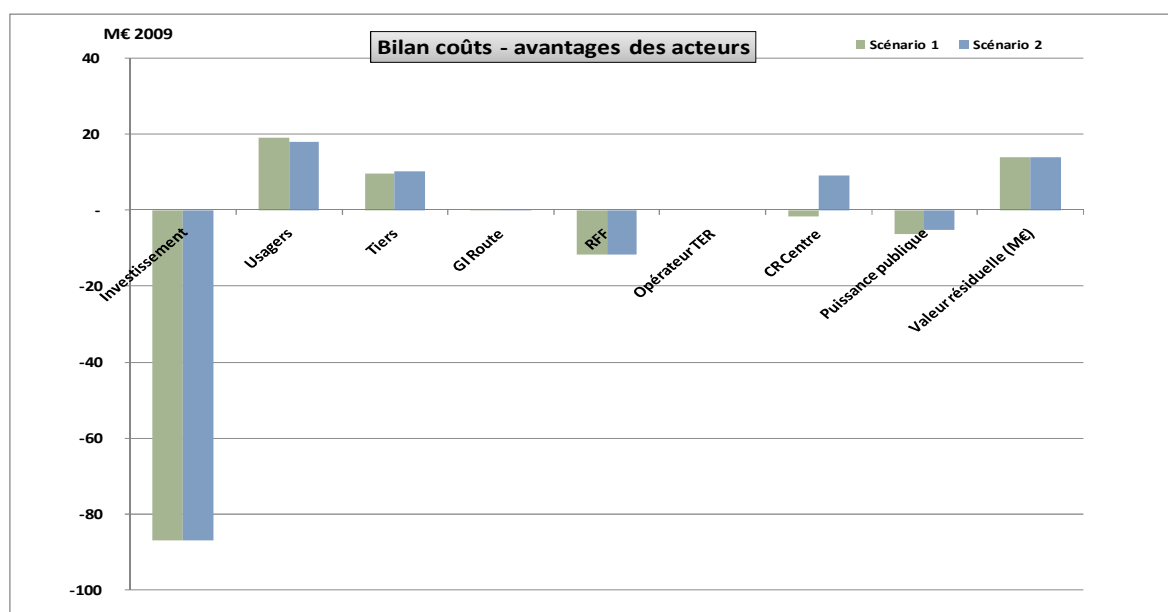
Le scénario 1 :

Bilan par acteur (en M€2009) - avec transferts financiers	
Acteur	Total
Investissement	- 86,93
Usagers	5,81
Tiers	6,11
GI Route	0,26
RFF	- 11,53
Opérateur TER	-
CR Centre	- 1,75
Puissance publique	- 6,13
Valeur résiduelle (M€)	XXXX
VAN (M€)	XXXX
VAN/€ investi	XXXX
TRI Socio-économique	XXXX

Le scénario 2

Bilan par acteur (en M€2009) - avec transferts financiers	
Acteur	Total
Investissement	- 86,93
Usagers	10,24
Tiers	6,76
GI Route	0,35
RFF	- 11,53
Opérateur TER	-
CR Centre	- 4,79
Puissance publique	- 5,13
Valeur résiduelle (M€)	XXXX
VAN (M€)	XXXX
VAN/€ investi	XXXX
TRI Socio-économique	XXXX

On illustre les résultats des bilans graphiquement :



On constate que les pertes dues à l'investissement, celles de RFF, celles du Conseil Régional et celles de l'Etat avec la perte des recettes des taxes liées à la suppression de véhicules ne sont pas compensés par Les avantages des usagers, des tiers et des gestionnaires routiers.

Au même temps on a réalisé des tests de sensibilité pour les différents paramètres, on affiche au dessous quelques résultats indicatifs :

Marge du coût d'investissement

Le test suivant permet de visualiser l'impact d'un investissement augmenté dans un premier temps de +10% et dans un second temps de +20% :

Marge de l'investissement (en M€2009): +10%			
Acteur	Scénario 1		Scénario 2
Investissement	-	86,93	- 86,93
Usagers		6,23	10,59
Tiers		10,17	10,89
GI Route		0,26	- 11,53
RFF	-	11,53	0,35
Opérateur TER		0,00	-
CR Centre	-	1,75	- 4,79
Puissance publique	-	6,20	- 5,19
Valeur résiduelle (M€)		XXXX	XXXX
VAN (M€)		XXXX	XXXX
VAN/€ investi		XXXX	XXXX
TRI Socio-économique		XXXX	XXXX

TEST DE SENSIBILITE – MARGE DES MONTANTS D'INVESTISSEMENT A +10%

Remarque générale :

En comparant les résultats obtenus lors du test de sensibilité, on constate qu'on augmente la marge d'investissement le TRI baisse, la VAN et la valeur résiduelle augmentent.

9.4. ANNEXE DU PROJET TOULOUSE-NARBONNE:

9.4.1. OPTIRAIL:

Pour évaluer le projet économiquement, on a utilisé le logiciel OPTIRAIL qui est un modèle de trafic et d'économie.

OPTIRAIL aide à réaliser les bilans économiques de l'exploitant ferroviaire en fonction des prix des billets, mais aussi des grilles de coûts et de prix unitaires fournis par l'utilisateur. En plus, il calcule le montant et le détail des redevances d'infrastructure versées respectivement à RFF et au concessionnaire.

Pour lancer OPTIRAIL, on prépare quatre fichiers d'entrée :

- Manchettes.xls
- Trains.xls
- Matrice_OD.xls
- Parametres.xls

Hypothèse à entrer par l'utilisateur	Fichier OPTIRAIL
Plan de transport détaillé	Manchettes.xls et Trains.xls
Niveaux de trafic voyageurs par OD	Matrice_OD.xls
Prix des billets par OD	
Elasticités prix par OD	
Courbe de répartition horaire de la demande	Parametres.xls
Elasticités PIB	
Elasticités fréquence	
Hypothèses de coûts unitaires	

On peut modifier les fichiers Manchettes.xls ou Trains.xls selon 5 leviers :

- Ajout d'un train
- Suppression d'un train
- Modification des gares desservies par un train

- Modification de l'heure de départ d'un train
- Passage en unité double (UM) d'un train en unité simple (US)

En sortie, on obtient un fichier de synthèse qui récapitule les résultats de la situation :

Situation		
Référence 2016		
Pour l'ensemble du parcours des trains du périmètre	Voyageurs-km réels (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Voyageurs-km tarifaires (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Trains-km (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Redevances (<i>Millions €2009</i>)	XXXX
	Recettes d'exploitation (<i>Millions €2009</i>)	XXXX
	Coûts (<i>Millions €2009</i>)	XXXX
	Résultat courant (<i>Millions €2009</i>)	XXXX
	Taux de marge	XXXX
	Taux de remplissage moyen	XXXX
Dont : SEA et ses raccordements	Voyageurs-km réels (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Voyageurs-km tarifaires (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Trains-km (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Redevances (<i>Millions €2009</i>)	XXXX
Dont : Parties amont/aval de SEA et sur la LC //	Voyageurs-km réels (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Voyageurs-km tarifaires (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Trains-km (<i>Millions annuel 2 sens</i>)	XXXX
	Redevances (<i>Millions €2009</i>)	XXXX
* Coûts = charges d'exploitation + charges d'amortissement + frais financiers et taxe professionnelle		

10/ Lexique

OD :	Origine Destination
NVS :	Niveaux de service
VP :	Voiture particulière
PL :	Poids lourds
CFM :	La consommation finale des ménages
TC :	Transport commun
PLU :	Plan Local d'Urbanisme
PMR :	Personne à Mobilité Réduite
RFF :	Réseau Ferré de France
TER :	Transport Express Régional
TGV :	Train à Grande Vitesse
UM :	Unité Multiple
US :	Unité Simple
TMJA :	Trafic moyen journalier annuel
COFP :	Coût d'opportunité des fonds publics
PIB :	Produit intérieur brut
GI :	Gestionnaire d'infrastructure
VAN :	Valeur actuelle nette
TRI :	Taux de rentabilité interne
JOB :	Jour ouvrable de base
CG :	Conseil général
X^{fe} :	Dans la situation fil de l'eau
X^{ref} :	Dans la situation référence

11/ Table des illustrations

CHIFFRES CLES	8
LES PARTS DES CLIENTS D'INEXIA	9
ORGANIGRAMME INTERNE D'INEXIA	10
ORGANIGRAMME DE LA DIRECTION DPX	11
VALEUR 2009 EN EUROS 2009 POUR LES VOYAGEURS INTERURBAINS	
L'EVOLUTION DE LA VALEUR DU TEMPS POUR LES VOYAGES INTERURBAINS	18
VALEUR 2009 EN EUROS 2009 POUR LES VOYAGEURS URBAINS	19
VALEUR 2009 EN EUROS 2009 POUR LE TRANSPORT DES MARCHANDISES	19
VALEUR DE LA VIE HUMAINE EN 2009	20
L'EVOLUTION DE L'INSECURITE POUR TOUS LES MODE DE TRANSPORT	
LA VALEUR DE LA POLLUTION EN EURO 2009	21
L'EVOLUTION DE LA POLLUTION POUR TOUS LES MODES	21
L'EFFET DE SERRE POUR CHAQUE MOYEN DE TRANSPORT	22
LE BRUIT PRODUIT POUR CHAQUE MOYEN DE TRANSPORT	23
L'EVOLUTION DU BRUIT FER	23
L'EVOLUTION DU BRUIT TC ET VP	23
L'EVOLUTION DU BRUIT ROUTIER (VP ET TC) JUSQU'A 2030	24
LE RECAPITULATIF	26
LA COMPARAISON DE LA SITUATION PROJET ET LA SITUATION REFERENCE	27

LA METHODOLOGIE DE L'ETUDE	28
LE RESEAU TER DE LA REGION LORRAINE (SOURCE TER METROLOR)	
LES HORIZONS DE L'ETUDE	30
TRAFIC FERROVIAIRE DE LA REGION LORRAINE (SOURCE INEXIA)	31
TRAFIC INDUIT	34
DEMANDE OFFRE HAUTE ET BASSE NORMANDIE	36
LE ZONAGE AFFINE DE LA REGION HBN ET IDF	37
PART MODALE DE L'OFFRE 2008 AU NIVEAU NATIONAL	40
PART MODALE DE L'OFFRE 2008 AU NIVEAU INTERNATIONAL	41
PART MODALE DE LA REFERENCE CALCULE AU NIVEAU INTERNATIONAL	42
PART MODALE DE LA REFERENCE CALCULE AU NIVEAU INTERNATIONAL	42
PART MODALE DE LA REFERENCE 2025 AVEC PIVOT ADDITIF	43
PART MODALE CALCULEE DE SCENARIO 2025	44
TRAFIC 2009 ENTRE CAEN ET TOULOUSE	45
TRAFIC REFERENCE ET SCENARIO 2025	45
LA LIGNE CHARTRES VOVES TOURS	46
LA COURBE DE LA REGRESSION POUR LA POPULATION	49
LA COURBE DE LA REGRESSION DU COUT GENERALISE	49
DEPLACEMENTS ANNUELS (VP 2009 TOUS MOTIFS)	49
LA LIGNE TOULOUSE NARBONNE (SOURCE RFF)	50
ARCHITECTURE GENERALE DU MODELE DE PREVISIONS DE TRAFIC	
LA DISTANCE CALCULE ENTRE LES OD DE VIAMICHELIN	54
LE TEMPS VIAMICHELIN ENTRE LES OD	54

<u>LE COUT DU CARBURANT VIAMICHELIN ENTRE LES OD</u>	<u>55</u>
<u>LA VITESSE MOYENNE VIAMICHELIN ENTRE LES OD</u>	<u>55</u>
<u>LE COUT GENERALISE VP CALCULE AUX HORIZONS DE L'ETUDE</u>	<u>56</u>
<u>LA FREQUENCE FERROVIAIRE (SOURCE BASE RIHO 2009)</u>	<u>56</u>
<u>LE TEMPS MOYEN FERROVIAIRE (SOURCE BASE RIHO 2009)</u>	<u>56</u>
<u>LE COUT GENERALISE FERROVIAIRE AUX HORIZONS DE L'ETUDE</u>	<u>57</u>
<u>LE SCHEMA DE DESSERTE DE L'AXE 1 LUXEMBOURG- NANCY</u>	<u>58</u>
<u>LES PARTS MODALES ENTRE BASSE NORMANDIE ET LES AUTRES REGIONS POUR LE MOTIF PERSO (OFFRE 2008)</u>	<u>59</u>
<u>LES PARTS MODALES ENTRE BASSE NORMANDIE ET LES AUTRES REGIONS POUR LE MOTIF PERSO (SCENARIO 2025)</u>	<u>60</u>
<u>LES PARTS MODALES ENTRE BASSE NORMANDIE ET LES AUTRES REGIONS POUR LE MOTIF PERSO (SCENARIO 2025)</u>	<u>61</u>
<u>LA CARTE DES TEMPS DE PARCOURS ENTRE HBN ET LES AUTRES REGIONS</u>	<u>62</u>
<u>LE PERIMETRE D'ETUDE DE LA LIGNE CHARTRES VOVES TOURS</u>	<u>66</u>
<u>TEST DE SENSIBILITE – MARGE DES MONTANTS D'INVESTISSEMENT A +10%</u>	<u>69</u>

FICHE D'IDENTIFICATION

Titre	La modélisation de l'intérêt économique et financier des projets d'infrastructure
Référence	Rapport de stage de fin d'étude
Emetteur	INEXIA/IMP/Cpmt
Code INEXIA	DX10...../ DT10...../ DP10.....
Confidentialité	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/>

APPROBATION

	Nom	Fonction
Établi par	Larabass MAALAININE	Stagiaire
Vérifié par	Alan HOCHBERG	Chargé d'études
Approuvé par	Ludovic SALVI	Directeur des études économiques