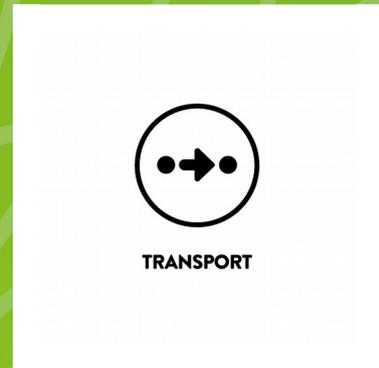


T

H



Analyse

É



M

A

Commissariat général au développement durable

Le potentiel de développement des autoroutes ferroviaires Étude exploratoire

JUILLET 2017

sommaire

Le potentiel de développement des autoroutes ferroviaires Étude exploratoire

5 – Démarche de l'étude et hypothèses générales

Cette partie présente la démarche générale de l'étude et les principales hypothèses prises pour la projection des trafics à l'horizon 2030.

17 – Optimisation prix/fréquences des lignes considérées de manière isolée

Dans cette partie sont comparés trois modèles de choix des autoroutes ferroviaires élaborés à partir des données de l'enquête CAFT/transit 2010. Pour chacun de ces modèles, les résultats d'une optimisation prix/fréquences des lignes étudiées sont présentés en considérant chaque liaison de manière isolée.

27 – Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Cette partie vise à évaluer le potentiel d'un ensemble de liaisons en tenant compte des interférences possibles entre deux lignes d'autoroutes ferroviaires. Les simulations portent sur un ensemble de neuf nouvelles lignes, s'ajoutant aux cinq lignes dont l'exploitation est acquise à moyen terme.

43 – Annexes

Les annexes comprennent les paramètres des modèles de choix des autoroutes ferroviaires, les hypothèses générales utilisées pour le calcul des bilans socio-économiques ainsi que les résultats des tests de sensibilité sur le niveau du PIB et le prix du pétrole.

Document édité par :

Le Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

Remerciements : L'auteur de l'étude tient à accorder ses plus vifs remerciements à la Mission Intermodalité Fret et tout particulièrement à **Vincent Ferstler** pour sa collaboration au présent ouvrage ainsi que pour son travail de relecture. Nous remercions également le **bureau d'études Systra** pour sa contribution utile à la modélisation des trafics sur autoroutes ferroviaires.

contributeurs



avant-propos



Les autoroutes ferroviaires permettent de transporter des poids lourds par rail dans un objectif de report modal depuis la route en réduisant au maximum les contraintes associées à la rupture de charge.

Ce concept est appliqué depuis les années 1960 en Europe, notamment pour la traversée des Alpes en Suisse et en Autriche. Des services comparables pour le transport de longue distance en plaine commencent à être développés en France avec les lignes Perpignan – Bettembourg, Perpignan – Calais et un projet d'autoroute ferroviaire atlantique. Au-delà des services existants et programmés, ce document livre un panorama de ce que pourrait être un réseau renforcé d'autoroutes ferroviaires à l'horizon 2030 en France.

Laurence Monnoyer-Smith
COMMISSAIRE GENERALE AU DEVELOPPEMENT DURABLE

Partie 1

Démarche de l'étude et hypothèses générales

Les simulations réalisées dans cette étude sont issues d'un modèle de trafic affectant une partie des trafics routiers sur les autoroutes ferroviaires. Les simulations sont effectuées à l'horizon 2030 en considérant différents paramétrages possibles pour implémenter le choix des autoroutes ferroviaires. L'étude porte dans un premier temps sur l'optimisation prix/fréquences de plusieurs liaisons considérées de manière isolée, avant d'évaluer dans un deuxième temps le potentiel de trafics pour un ensemble de liaisons.



Les autoroutes ferroviaires sont des services ferroviaires permettant le transport de poids lourds sur de longues distances ou à travers un massif montagneux à des fins d'efficacité économique et d'efficacité environnementale. Quatre liaisons existent aujourd'hui en France : le tunnel sous la Manche depuis 1994, la ligne Aiton – Orbassano depuis 2003, la ligne Perpignan – Bettembourg depuis 2007 et la ligne Perpignan – Calais depuis 2016. L'objectif de ce document est de présenter les résultats de simulation de trafics sur une série de nouvelles liaisons possibles afin d'examiner l'opportunité de nouvelles autoroutes ferroviaires ainsi que les lignes optimales.

1. PRÉSENTATION DU CONCEPT D'AUTOROUTES FERROVIAIRES

Les autoroutes ferroviaires sont des services de fret ferroviaire acheminant, sur les lignes existantes du réseau ferré, des ensembles routiers ou des semi-remorques en utilisant des wagons spécialisés. Ils constituent un segment du transport combiné rail-route complémentaire du transport des conteneurs maritimes et des caisses mobiles. Ce mode de transport de marchandises est également appelé « ferroutage ». Une autoroute ferroviaire peut fonctionner selon deux modes :

- en mode **non accompagné**, lorsque seule la semi-remorque est transportée par le rail,
- en mode **accompagné**, lorsque la semi-remorque et le tracteur routier sont transportés ensemble par le rail.

Les autres modes de transport combiné rail-route de fret sont le transport de conteneurs, de caisses mobiles ou de semi-remorques préhensibles (i.e. pouvant être manipulées par une grue). Par rapport à ces autres modes, les autoroutes ferroviaires ont l'avantage d'être compatibles avec la plupart des poids lourds aujourd'hui en circulation, alors que seule une minorité d'entre eux disposent d'une semi-remorque préhensible ou adaptée pour le transbordement de conteneurs ou de caisses mobiles.

Les principales contraintes s'imposant aux autoroutes ferroviaires sont le respect du gabarit ferroviaire en vigueur, du fait de la hauteur des semi-remorques plus importante que pour un conteneur, et le chargement des poids lourds qui doit être le plus simple possible afin de limiter le coût de la rupture de charge. Plusieurs techniques existent pour le chargement des poids lourds sur les rails :

- le système de la **route roulante** (ou RoLa), utilisé depuis les années 1960, consiste à charger les poids lourds à partir d'une rampe située à l'extrémité de la rame. Les wagons sont reliés entre eux de manière à permettre la circulation d'un poids lourd sur l'ensemble de la rame. Ils disposent par ailleurs de bogies à petites routes afin que la hauteur du chargement puisse respecter le gabarit ferroviaire. Ce système est très utilisé en Europe mais a été écarté par la SNCF à cause de son rapport charge sur tare peu favorable et parce qu'il exige des gabarits très généreux sur les lignes concernées.
- le système de **wagon-poche Kangourou**, qui comporte un système de pont-levis à deux positions. La position haute permet le chargement des poids lourds et la circulation de ceux-ci le long de la rame, la position basse permet la circulation du train en respectant le gabarit ferroviaire. Le chargement des poids lourds peut se faire selon les cas à l'aide d'une rampe ou

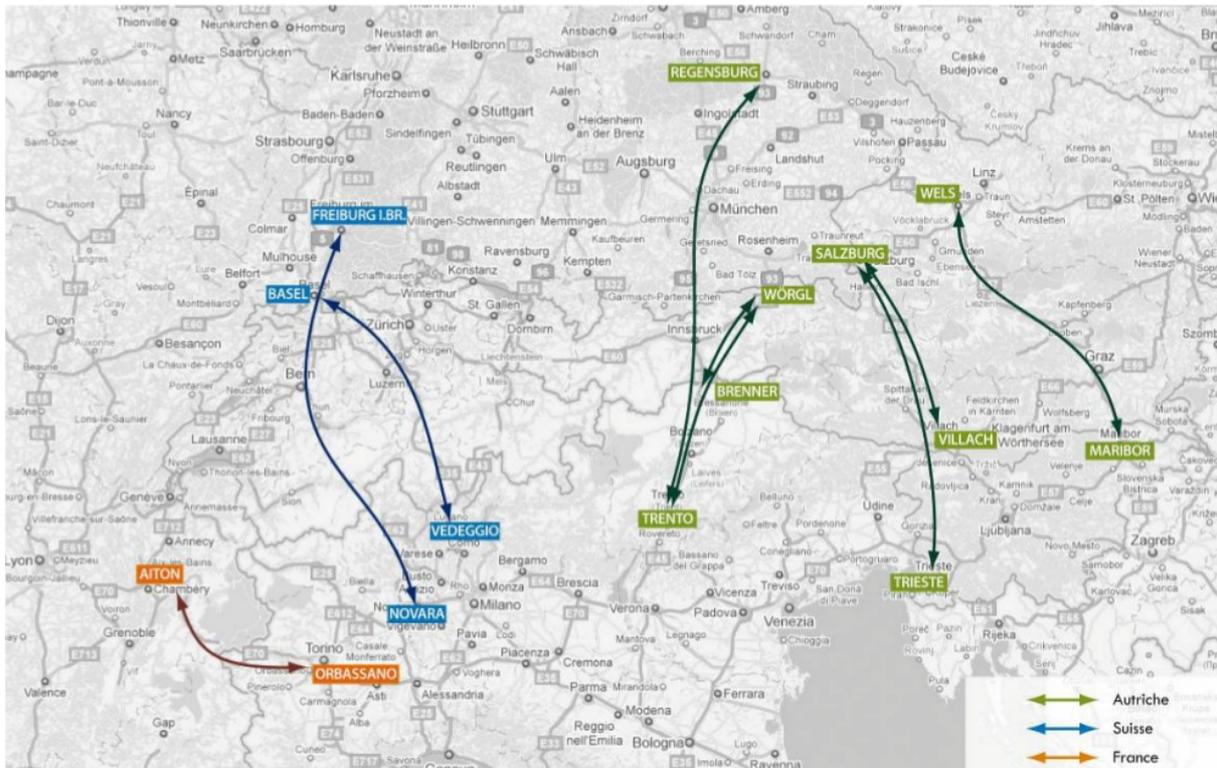
Partie 1 - Démarche de l'étude et hypothèses générales

d'une grue. Ce mode de chargement a tendance à décliner au profit des systèmes CargoBeamer et Modalohr.

- le système **CargoBeamer**, présenté en 2010 par la société allemande éponyme, permet le chargement des poids lourds sur un quai parallèle à la voie et aux wagons. Le poids lourd s'arrête sur un chariot à vérin intégré au quai qui assure la translation du chargement sur les wagons.

- le système **Modalohr**, utilisé notamment sur les lignes Aiton – Orbasanno et Perpignan - Bettembourg, est commercialisé par la société française Lohr Industrie. Les wagons disposent d'un plancher surbaissé et amovible qui pivote de 30 degrés afin de permettre le chargement à niveau des poids lourds depuis le quai.

Figure 1 - Les autoroutes ferroviaires à travers les Alpes



Source : Alpifret, Observatoire des trafics marchandises transalpins, rapport annuel 2011.

Bien qu'en service depuis les années 1960, les autoroutes ferroviaires connaissent un fort regain d'intérêt dans les années 1990, notamment en Suisse et en Autriche qui les utilisent pour diminuer les impacts d'un important trafic de transit poids lourds. En Suisse, les services Fribourg-en-Brigau – Novare et Bâle – Lugano empruntent respectivement les tunnels ferroviaires du Lötschberg et du Simplon d'une part et du Saint-Gothard (remplacé par un tunnel

Partie 1 - Démarche de l'étude et hypothèses générales

de base en 2016) d'autre part. En Autriche, les autoroutes ferroviaires longent les principaux points de passage du transit routier, à savoir le col du Brenner, le tunnel de la *Tauernautobahn* et le *Wald am Schoberpass*. Une des autoroutes ferroviaires relie directement Salzburg au port de Trieste.

En France, la première autoroute ferroviaire mise en service fut le service du tunnel sous la Manche en 1994. L'autoroute ferroviaire alpine (AFA) relie depuis 2003 la plate-forme de chargement d'Aiton à Orbassano, près de Turin, sur 175 kilomètres à travers le tunnel du Mont Cenis. Le service est proposé en mode accompagné et en mode non accompagné à raison de trois allers et retours par jour. La liaison Perpignan – Bettembourg, lancée en 2007 et reliant la plate-forme du Boulou au Grand-Duché de Luxembourg, permet le transport des poids lourds sur plus de 1 000 kilomètres à raison de quatre services par jour en mode non accompagné uniquement, et pour un prix d'environ 650 euros. La ligne Perpignan – Calais a été inaugurée le 29 mars 2016 mais a été suspendue peu de temps après en raison de problèmes relatifs au terminal de Calais. Elle vient d'être réactivée. La liaison Tarnos – Dourges, qui devait voir le jour début 2016, a été abandonnée le 30 avril 2015 par décision ministérielle. L'idée d'une autoroute ferroviaire atlantique a été par la suite reprise en considérant un terminal sud situé plutôt en Espagne à Vitoria. L'emplacement du terminal nord n'a pas encore été arrêté, il sera situé par hypothèse à Dourges dans cette étude.

D'autres créations de lignes d'autoroutes ferroviaires ont également été annoncées : la ligne Calais – Turin devrait voir le jour en 2017, tandis que la ligne Lyon – Turin devrait traverser les Alpes en 2029 en empruntant le tunnel de base du Mont-Cenis, dont les travaux préparatoires ont commencé. Aux dernières nouvelles, la création d'une ligne entre Calais et Leipzig a récemment bénéficié d'un soutien financier de la Région Hauts-de-France. Une liaison Barcelone – Paris est par ailleurs envisagée.

Tableau 1 - Autoroutes ferroviaires actuellement en service (hors tunnel sous la Manche), trafics et prix observés en 2011 (prix moyens du service terminal à terminal)

Autoroute ferroviaire	Mode	Distance (km)	Fréquence (AR/jour)	Trafic (PL/an)	Prix par PL (€)
Aiton - Orbassano	Accompagné Non accompagné	175	4	25 923	291
Perpignan - Bettembourg	Non accompagné	1 046	4	36 792	650
Fribourg - Novare	Accompagné	414	10	93 534	610
Bâle - Lugano	Accompagné	263	1	10 699	410
Salzburg - Trieste	Accompagné	382	4	29 840	380
Ratisbonne - Trente	Accompagné	530	3	27 492	474
Wörgl - Trente	Accompagné	233	7	58 499	324
Wörgl - Brennero	Accompagné	94	15	133 579	152
Wels - Maribor	Accompagné	260	4	36 464	365

La plupart des autoroutes ferroviaires alpines fonctionnent en mode accompagné. Les camions tracteurs sont alors transportés en même temps que leurs remorques et les chauffeurs disposent d'une voiture réservée. La durée du transport ferroviaire est comptée comme un temps de repos pour les conducteurs. Par rapport à cette solution, le mode non accompagné présente l'avantage de ne pas immobiliser le tracteur pendant un temps long mais nécessite une organisation spécifique des transporteurs qui doivent être en mesure de récupérer la remorque au lieu de destination. Il est donc plus adapté pour de longues distances.

2. DÉMARCHE ET PRINCIPES DE MODÉLISATION

L'objectif de la présente étude est de caractériser le potentiel de développement des autoroutes ferroviaires en France à l'horizon 2030. L'étude vise à évaluer l'impact d'un réseau d'autoroutes ferroviaires à l'échelle nationale pour capter les principaux flux de transit et diminuer la part modale de la route dans le transport de marchandises. Dans une première phase, différents modèles de choix des autoroutes ferroviaires sont testés en évaluant chaque autoroute ferroviaire de manière isolée. Cette phase permettra ensuite de sélectionner les lignes qui seront les plus prometteuses tout en illustrant les incertitudes liées au choix de modélisation. Dans un deuxième temps, différentes modalités de fixation des prix et des fréquences sont considérées pour l'ensemble des lignes sélectionnées et donnent lieu à l'analyse des coûts et des bénéfices pour chacun des acteurs, ainsi qu'une évaluation globale de l'impact d'un réseau de nouvelles autoroutes ferroviaires en France.

Modélisation des trafics

Les simulations de trafics ont été réalisées à partir de MODEV, le modèle de trafic du CGDD (voir encadré). Ce modèle intègre à la fois les flux de voyageurs et de marchandises et prend en compte quatre modes pour le transport de fret : la route, le fer conventionnel, le transport combiné ferroviaire et le mode fluvial. Afin d'estimer les trafics potentiels sur les autoroutes ferroviaires envisagées, différents modules de choix des autoroutes ferroviaires ont été développés et intégrés dans MODEV. Ces modules répartissent les trafics routiers entre ceux qui arrivent directement à destination et ceux qui empruntent une autoroute ferroviaire pour effectuer leur trajet. Les modèles de choix des autoroutes ferroviaires utilisés et les trafics obtenus pour les lignes étudiées sont détaillés plus loin.

Modev, le modèle de trafic du CGDD

Les simulations ont été réalisées en s'appuyant sur Modev, le modèle de transport du CGDD. Développé depuis 1999, Modev est utilisé par le CGDD pour tester les politiques de transport (infrastructures, tarification, coûts et prix des transports, ou encore évolutions technologiques) et leurs impacts environnementaux. Il est structuré pour pouvoir à la fois estimer la demande de transport à moyen et à long terme et analyser finement la répartition modale, la congestion des réseaux et l'optimisation de l'usage des infrastructures. .../...

.../...

Modev suit une architecture classique à quatre étapes adaptée pour accueillir au sein d'un même outil les trafics voyageurs et marchandises. La partie voyageurs de Modev comprend trois modes : la route, le fer et le transport aérien. La partie marchandises de Modev comprend quatre modes : la route, le fer conventionnel, le transport combiné ferroviaire et le transport fluvial. Les quatre étapes de la modélisation, qui sont partagées par la plupart des modèles de trafics actuels, sont :

- **la génération** : projections des flux ayant pour origine ou destination une zone donnée. Cette étape vise à répondre à la question « Pourquoi se déplacer ? » Cette étape fait appel aux hypothèses macroéconomiques, notamment la démographie, le salaire moyen par tête et le PIB, qui sont des entrées des modèles économétriques implémentés dans cette étape de génération ;

- **la distribution** : répartition des flux par couple origine-destination. Cette étape vise à répondre à la question « Où se déplacer ? » Pour une origine donnée, les flux sont distribués entre les différentes destinations possibles en fonction des coûts de transport pour chaque destination. Les zones les plus proches et les plus accessibles sont ainsi plus souvent visitées que les zones les plus lointaines et les moins accessibles. Mais cette étape doit également respecter les totaux des flux arrivant dans chaque zone calculés lors de l'étape précédente, afin de bien prendre en compte l'attractivité (touristique, économique, etc.) de chaque zone ;

- **le choix modal** : choix du mode de transport pour réaliser le déplacement. C'est-à-dire la réponse à la question « Par quel mode ? » Le choix de mode dépend d'un arbitrage entre prix, temps de transport et qualité de service. La prise en compte de ces facteurs s'effectue en calculant une fonction d'utilité, et la répartition par mode découle alors de l'application d'un modèle de type Logit à partir de ces fonctions d'utilité ;

- **l'affectation** : choix de l'itinéraire, c'est-à-dire la réponse à la question « Par quel chemin ? » Pour un même mode de transport, plusieurs itinéraires sont souvent envisageables. Par exemple, un déplacement routier peut emprunter l'autoroute, plus rapide mais plus onéreuse, ou la route nationale la plus proche. La modélisation implique un algorithme de plus court chemin prenant en compte le coût du temps à l'aide d'un paramètre appelé valeur du temps. Dans Modev, dix valeurs du temps ont été définies pour les voyageurs et pour les marchandises, selon une loi log-normale, afin de permettre des affectations différenciées pour un même trajet. L'étape d'affectation permet également de prendre en compte la congestion, c'est-à-dire la diminution des vitesses sur les réseaux découlant des trafics ainsi modélisés. Un bouclage est réalisé pour recalculer les étapes de distribution et de choix modal à partir des temps de parcours obtenus après l'étape d'affectation. Le modèle tourne ainsi sur plusieurs itérations jusqu'à obtenir une convergence des résultats.

Services potentiels d'autoroutes ferroviaires

L'opportunité de création d'un service d'autoroute ferroviaire dépend principalement de sa capacité à capter un trafic important afin d'être performant économiquement et efficace en termes de report modal. Pour ce faire, la nouvelle ligne d'autoroute ferroviaire doit tout d'abord s'insérer sur un axe pour lequel les flux de marchandises sont conséquents. La nouvelle ligne doit également être en mesure de récupérer une part de marché significative du trafic routier concerné. Afin d'offrir un prix compétitif par rapport à la route, la nouvelle ligne d'autoroute ferroviaire doit avoir une longueur suffisante permettant d'amortir les coûts fixes induits par la rupture de charge au niveau des terminaux.

Dans le cas où la ligne envisagée franchit un massif montagneux, les péages importants appliqués au niveau des tunnels routiers permettent à l'autoroute ferroviaire d'être plus attractive pour des courtes distances. C'est le cas pour l'autoroute ferroviaire alpine et les autoroutes ferroviaires suisses et autrichiennes. En plaine, les coûts d'une autoroute ferroviaire de courte portée seraient rédhibitoires et les transporteurs routiers ne seraient pas incités à l'emprunter. La création d'une autoroute ferroviaire est enfin largement facilitée lorsque les terminaux sont disponibles, c'est pourquoi la présente étude prend en compte les terminaux actuellement exploités ou envisagés à moyen terme.

Afin d'identifier les services potentiels d'autoroutes ferroviaires qu'il serait intéressant d'étudier, dix terminaux d'autoroutes ferroviaires, existants ou à construire, ont été envisagés. Ces terminaux ont été choisis de manière à reprendre les terminaux et chantiers de transport combiné existants, tout en veillant à ce qu'ils soient bien répartis sur le territoire. Les terminaux choisis sont Vitoria, Perpignan, Fos, Lyon, Turin, Fribourg, Bettembourg, Paris, Dourges et Calais (tableau 2). Le terminal de Paris a été placé plus exactement au sud de l'Île-de-France. Toutes les combinaisons entre ces dix terminaux sont a priori envisageables, ce qui donne en premier lieu 45 liaisons potentielles.

Tableau 2 - Liste des terminaux des autoroutes ferroviaires étudiées

Terminaux	Pays/ Département	État	Terminaux	Pays/ Département	État
Vitoria	Espagne	En projet	Fribourg-en-Brisgau	Allemagne	Existant
Perpignan	Pyrénées-Orientales	Existant	Bettembourg	Luxembourg	Existant
Fos	Bouches-du-Rhône	Transport combiné	Paris	Essonne	Transport combiné
Lyon	Rhône	Transport combiné	Dourges	Pas-de-Calais	En projet
Turin	Italie	Existant	Calais	Pas-de-Calais	Existant

Partie 1 - Démarche de l'étude et hypothèses générales

Afin de limiter le nombre de lignes à étudier et d'éliminer rapidement les liaisons non susceptibles de capter une part de marché significative du trafic routier, seules les lignes d'une longueur excédant 600 kilomètres seront retenues, à moins qu'elles ne permettent le franchissement d'un massif montagneux difficile. Ce critère permet de limiter le nombre de lignes envisageables à 27. Les liaisons Bettembourg – Turin, Fribourg – Turin et Bettembourg – Fribourg sortent du cadre de cette étude, car elles auraient surtout pour effet de concurrencer les autoroutes ferroviaires suisses existantes et n'auraient que très peu d'impact sur les trafics routiers circulant en France. La liaison Vitoria – Perpignan a également été exclue de l'étude du fait de sa longueur proche de la limite de 600 kilomètres et parce qu'elle était située quasi-intégralement en Espagne. Les services potentiels d'autoroutes ferroviaires finalement retenus sont indiqués dans le tableau 3. Dans cette étude, il est supposé que la liaison Lyon – Turin remplace l'actuel service Aiton – Orbassano. **Cette hypothèse a été prise afin d'éviter les difficultés de modélisation relatives à l'existence de deux lignes parallèles et ne préjuge en rien de la politique future qui sera mise en place** quant aux services traversant le Mont Cenis après l'ouverture du tunnel de base.

Tableau 3 - Services potentiels d'autoroutes ferroviaires

Terminal de départ	Terminal d'arrivée	Longueur (km)	Remarques
Perpignan	Bettembourg	1 046	En service
Perpignan	Calais	1 450	Ré-ouverture prochaine
Calais	Turin	1 080	Ouverture prochaine
Vitoria	Dourges	1 215	En projet
Lyon	Turin	257	En construction
Vitoria	Fos	919	
Vitoria	Lyon	1 090	
Vitoria	Turin	1 347	Franchissement alpin
Vitoria	Fribourg	1 478	
Vitoria	Bettembourg	1 356	
Vitoria	Paris	964	
Vitoria	Calais	1 292	
Perpignan	Turin	714	Franchissement alpin
Perpignan	Fribourg	894	
Perpignan	Paris	855	
Perpignan	Dourges	1 098	
Fos	Turin	538	Franchissement alpin

Partie 1 - Démarche de l'étude et hypothèses générales

Terminal de départ	Terminal d'arrivée	Longueur (km)	Remarques
Fos	Fribourg	718	
Fos	Bettembourg	802	
Fos	Paris	760	
Fos	Dourges	1 003	
Fos	Calais	1 088	
Lyon	Dourges	718	
Lyon	Calais	804	
Turin	Paris	752	Franchissement alpin
Turin	Dourges	995	Franchissement alpin
Fribourg	Calais	664	

Parmi les 27 services potentiels d'autoroutes ferroviaires, cinq sont actuellement en exploitation ou le seront à très court terme, tandis que 22 constituent des services qui pourraient être développés.

Hypothèses de modélisation

Les simulations pour le calcul des trafics potentiels ont été réalisées dans une situation projetée à l'horizon 2030, afin de tenir compte des délais de mise en service. Les hypothèses de projection reprennent celles de l'exercice récemment réalisé par le CGDD¹. Le cadrage macro-économique retenu suppose une croissance du PIB français de 1,9 % par an sur la période 2012-2030 et un prix du pétrole de 93 €₂₀₁₂ par baril en 2030. Le prix du transport routier par tonne-kilomètre baisse de 10 % du fait de l'augmentation du taux de remplissage des poids lourds et des progrès d'efficacité énergétique des véhicules, tandis que les prix ferroviaires diminuent dans des proportions voisines (-7 % pour le transport combiné, -14 % pour les trains de lotissement) à l'exception des trains entiers (+1 %). Au niveau national, le trafic routier augmente de 2,1 % par an en tonnes-kilomètres et de 1,4 % par an en poids lourds-kilomètres sur la période 2012-2030.

Les trafics des autoroutes ferroviaires sont limités par la capacité offerte par chaque service. Pour des raisons d'organisation et afin de tenir compte de la saisonnalité des trafics, il a été supposé que le trafic ne pouvait excéder 85 % de la capacité maximale théorique. La capacité d'un train est de 30 semi-remorques par convoi. Les services d'autoroutes ferroviaires fonctionnent 260 jours par an en moyenne. Un service d'un aller-retour par jour a donc une capacité théorique de 15 600 poids lourds par an, et peut transporter en pratique un maximum de 13 260 poids lourds par an. Ces conditions d'exploitation se rapprochent de ce qui est observé sur les lignes d'autoroutes ferroviaires actuellement en service.

¹ R. Pochez, N. Wagner, I. Cabanne, *Projections de la demande de transport sur le long terme*, CGDD, Théma Analyse, juillet 2016.

Les trafics concernés par les autoroutes ferroviaires considérées dans cette étude sont constitués pour une large part de trafics d'échange et de transit. La part des pavillons étrangers sur ces trafics est souvent prépondérante. Parmi les pavillons étrangers des pays voisins, le pavillon espagnol se distingue par des coûts significativement moindres que ceux du pavillon français. Afin de modéliser correctement le choix des services d'autoroutes ferroviaires, les coûts routiers ont donc été ajustés en supposant que le pavillon espagnol était plus représentatif pour l'ensemble des flux ayant pour origine ou pour destination la péninsule ibérique. Le pavillon espagnol se caractérise par des salaires moins élevés pour les chauffeurs routiers ainsi que par une utilisation plus intensive des véhicules, ce qui explique les coûts moins élevés. Cet écart de coûts sera partiellement compensé par la hausse prévisible des salaires espagnols, tandis que la concurrence croissante avec les pavillons étrangers limitera probablement l'augmentation des salaires des conducteurs français. Le tableau 4 compare les coûts des pavillons français et espagnol en 2012 et à l'horizon 2030 sur des services pour lesquels l'approvisionnement en carburant est effectué en France.

Tableau 4 - Modélisation des coûts du transport routier pour les pavillons français et espagnol

En euros 2012

	Pavillon français		Pavillon espagnol	
	2012	2030	2012	2030
Coût kilométrique carburant	0,373	0,418	0,373	0,418
Coût kilométrique hors carburant hors péages	0,099	0,098	0,061	0,061
Coût horaire	22,1	22,1	15,4	18,2
Coût journalier	157	137	139	116
Kilomètres par heure de service	53	53	53	53
Heures de service par jour d'exploitation	11	11	12	12
Coût total par PL.km (hors péages)	1,22	1,23	0,99	1,05

Pour l'évaluation de la rentabilité économique des services d'autoroutes ferroviaires, les trafics et recettes obtenues seront comparés aux coûts d'exploitation de chacun de ces services. Les éléments utilisés pour le calcul de ces coûts d'exploitation sont issus du modèle de coûts de SNCF Réseau. La suppression progressive de la compensation fret, annoncée par le Gouvernement, donne lieu à un rattrapage des péages fret de 4,6 % par an en plus de l'inflation ferroviaire sur la période 2017-2027, sous condition d'amélioration de la qualité du service. Le montant des péages fret versés au gestionnaire d'infrastructure s'élève en 2030 à 2,74 €₂₀₁₂ par train-kilomètre. Le montant des frais administratifs est fixé à 50 €₂₀₁₂ pour chaque place offerte.

Les coûts d'exploitation des terminaux, comprenant l'amortissement des investissements pour leur création, sont estimés à 2,9 M€₂₀₁₂ par an. À ces coûts s'ajoutent une part variable de

10 €₂₀₁₂ par poids lourd pris en charge. Il est enfin supposé que **les coûts d'investissement pour la mise au gabarit des lignes ferroviaires sont supportés par l'État et ne sont pas répercutés dans le prix des péages versés au gestionnaire d'infrastructure**. Ce financement est conforme à ce qui s'était passé pour l'ouverture des lignes existantes, l'État ayant également participé aux investissements pour la construction des terminaux.

Démarche de l'étude

La présente étude est structurée de manière à évaluer le potentiel et l'impact d'un réseau d'autoroutes ferroviaires à l'horizon 2030. Dans la partie 2 sont comparés différents modèles de choix des autoroutes ferroviaires. Chacun de ces modèles est appliqué aux lignes étudiées afin de réaliser une optimisation en prix et en fréquences pour maximiser les gains des opérateurs ferroviaires. Pour ce faire, chaque liaison est dans un premier temps prise isolément, c'est-à-dire dans la situation hypothétique où elle existerait seule, sans concurrence avec d'autres liaisons. Cette étape permettra la sélection des services les plus pertinents pour la modélisation d'un réseau d'autoroutes ferroviaires dans la partie 3.

La partie 3 est consacrée à la modélisation d'un réseau d'autoroutes ferroviaires. Quatorze liaisons ont été retenues pour cette partie, dont cinq sont en service ou annoncées à une échéance prochaine (Perpignan – Bettembourg, Perpignan – Calais, Calais – Turin, Vitoria – Nord de la France (Dourges) et Lyon – Turin) et neuf sont des liaisons nouvelles (Paris – Turin, Lyon – Dourges, Fos – Dourges, Fos – Bettembourg, Perpignan – Paris, Vitoria – Bettembourg, Fribourg – Calais, Perpignan – Fribourg, Vitoria – Turin).

Dans la section 2 de la partie 3, le potentiel de ces quatorze lignes d'autoroutes ferroviaires est évalué du point de vue d'un opérateur unique. Cet opérateur, qui détient le monopole du transport par autoroute ferroviaire, ajuste les prix et les fréquences de ses services de manière à maximiser son gain économique.

Dans la section 3 de la partie 3, les prix et les fréquences proposés pour les services d'autoroutes ferroviaires sont évalués dans le cas où chaque ligne est exploitée par un opérateur concurrent. Les autoroutes ferroviaires constituent alors un marché oligopolistique, du fait du nombre limité d'opérateurs. La situation est évaluée dans le schéma oligopolistique de Cournot : chaque opérateur ajuste sa fréquence et son prix en supposant que les opérateurs concurrents sont susceptibles d'adapter leurs prix mais pas leurs fréquences.

La section 4 de la partie 3 ajuste les prix et les fréquences de manière à maximiser la somme des bénéfices des opérateurs et des transporteurs. Ce scénario correspondrait au cas d'un marché fortement régulé.

Dans chacune de ces sections est dressé un bilan pour la collectivité de l'ensemble des autoroutes ferroviaires, par rapport à la situation où seules sont présentes les autoroutes ferroviaires actuellement en service ou annoncées (Perpignan – Bettembourg, Perpignan – Calais, Calais – Turin, Vitoria – Dourges et Lyon – Turin). Il s'agit d'un bilan socio-économique, tenant compte des gains et des pertes de l'ensemble des acteurs, y compris des tiers.

Partie 1 - Démarche de l'étude et hypothèses générales

Partie 2

Optimisation prix/fréquences des lignes considérées de manière isolées

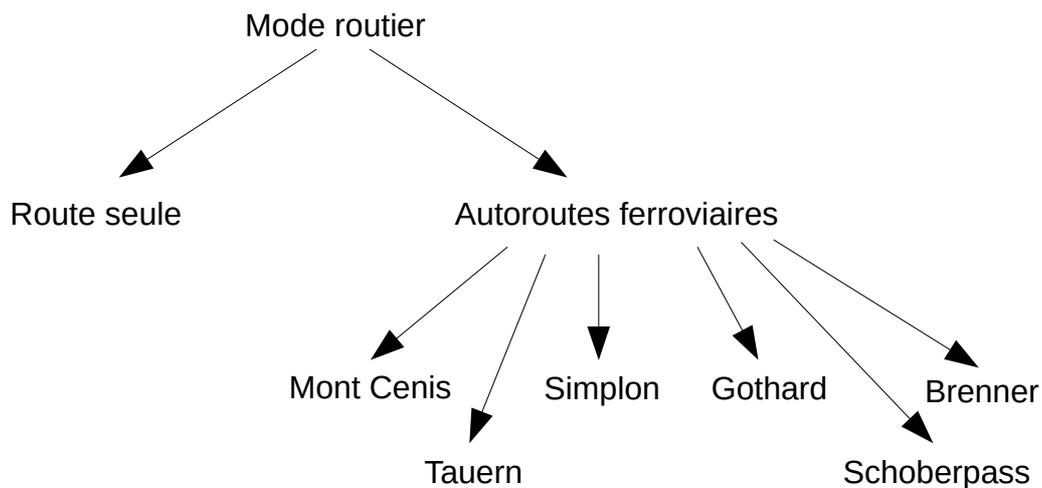
Dans cette partie sont comparés trois modèles de choix des autoroutes ferroviaires, tous trois calés à partir des données de l'enquête CAFT/transit 2010. Pour chacun de ces modèles, les résultats d'une optimisation prix/fréquences des lignes étudiées sont présentés en considérant chaque liaison de manière isolée, c'est-à-dire en se plaçant dans la situation hypothétique où elles existeraient seules, sans concurrence avec un autre service.



1. LES MODÈLES DE CHOIX DES AUTOROUTES FERROVIAIRES

Les modèles de choix des autoroutes ferroviaires utilisés pour cette étude ont été calés à partir des résultats de l'enquête CAFT/transit de 2010. Cette enquête, réalisée conjointement par la France, la Suisse et l'Autriche, donne un aperçu des trafics traversant l'arc alpin pour l'ensemble des modes avec les origines et destinations de chaque flux. Au total, 73 400 observations concernant le mode routier et les autoroutes ferroviaires ont pu être utilisées. Ces observations ont permis de constituer des modèles de choix de mode hiérarchiques, avec un premier niveau représentant le choix d'emprunter une autoroute ferroviaire ou non, et un deuxième niveau représentant le service utilisé parmi les lignes possibles (figure 2).

Figure 2 : Structure du modèle Logit hiérarchique utilisé pour la modélisation du choix des autoroutes ferroviaires



Après calage sur l'arc alpin, les lois comportementales obtenues sont appliquées sur les autoroutes ferroviaires françaises moyennant un ajustement de la constante modale. Il s'agit là d'une hypothèse forte motivée par l'absence d'observations sur les origines et destinations des flux empruntant les autoroutes ferroviaires Perpignan – Bettembourg et Perpignan – Calais. Cette méthode de calage, la seule possible compte tenu des données actuellement disponibles, comporte le défaut de reposer sur l'hypothèse selon laquelle les déterminants des trafics non accompagnés des autoroutes ferroviaires françaises sont les mêmes que pour les trafics accompagnés des autoroutes ferroviaires alpines.

Afin de représenter en première approche la différence entre les autoroutes ferroviaires françaises sur longues distances et les services traversant les Alpes (principalement entre la Suisse et l'Autriche), les cales spécifiques à chacun des services considérés dans cette publication seront identiques et dimensionnées de manière à reproduire les trafics observés en 2012 sur Perpignan – Bettembourg.

Par construction, tous les flux modélisés sur les autoroutes ferroviaires sont originaires du mode routier. La concurrence avec les autres modes, et notamment le transport combiné, n'est pas modélisée. Intuitivement, cette concurrence est modérée à court terme, car le transport combiné nécessite un équipement adapté des semi-remorques. En revanche se pose la question de la concurrence entre autoroutes ferroviaires et transport combiné à moyen et à long terme. Le caractère encore émergent des autoroutes ferroviaires et la faiblesse des trafics relativement au transport combiné rend difficile une estimation fiable de l'intensité de cette concurrence.

Les fonctions d'utilité retenues pour le calage des modèles de choix des autoroutes ferroviaires s'écrivent :

$$U_{AFi} = \alpha_{AF} \frac{Péage_{AF}}{1000} + \alpha_{ACH} \frac{Coût_{ACH}}{1000} + \gamma_{AF} + \beta_i$$

$$U_{RS} = \alpha_{RS} \frac{Coût_{RS}}{1000}$$

respectivement pour les autoroutes ferroviaires et pour la route. α_{AF} , α_{ACH} et α_{RS} représentent les paramètres associés respectivement au prix du service ferroviaire, au coût de l'acheminement routier vers et depuis les terminaux ferroviaires, et au coût du trajet routier direct.

γ_{AF} est la constante modale associée aux autoroutes ferroviaires, tandis que β_i est une constante supplémentaire différenciant chaque service.

Trois modèles de choix modal ont été considérés, selon la manière d'envisager le choix entre route seule et autoroute ferroviaire sur la base de ces fonctions d'utilité :

- **modèle 1** : modèle PROBIT,

- **modèle 2** : modèle LOGIT,

- **modèle 3** : modèle DOGIT.

Du fait de son emboîtement avec le choix d'un service d'autoroute ferroviaire en deuxième niveau (voir figure 2), le deuxième modèle est un modèle Logit hiérarchique (*Nested Logit*). Le premier modèle est équivalent au deuxième mais suppose une distribution différente des utilités individuelles pour le choix entre route seule et autoroute ferroviaire. Le troisième modèle reprend la même formulation que le deuxième modèle, si ce n'est qu'il est cette fois supposé que seule une partie des poids lourds est susceptible d'emprunter une autoroute ferroviaire. Les autres poids lourds resteront sur la route quelles que soient les conditions offertes par les services alternatifs d'autoroutes ferroviaires, et ce en raison de l'organisation spécifique que ces services alternatifs requièrent. La part de marché des autoroutes ferroviaires serait ainsi limitée à 11,9 % des poids lourds en circulation (voir explications en annexe A).

2. OPTIMISATION DES SERVICES POTENTIELS PRIS ISOLÉMENT

Dans un premier temps, les 27 services potentiels sont évalués de manière isolée, c'est-à-dire dans la situation hypothétique où les autres liaisons n'existeraient pas. Il n'y a donc pas de concurrence entre les services d'autoroutes ferroviaires. Pour un niveau de prix et pour une fréquence fixée a priori, les modèles ci-dessus permettent d'évaluer les trafics potentiels sur un service donné. Des simulations ont été réalisées pour l'ensemble des 27 services potentiels et en considérant une gamme large de prix et de fréquence afin de déterminer les hypothèses permettant de maximiser les gains pour les opérateurs de chacune des lignes.

Du fait de l'élasticité généralement supérieure à 1 des trafics aux prix des autoroutes ferroviaires, le niveau de prix optimal pour un niveau de fréquence donné est celui qui permet de remplir au maximum les services. C'est pourquoi dans les conditions permettant de maximiser le résultat d'exploitation, le taux de remplissage estimé est proche du taux de remplissage maximal, qui a été fixé à 85 % de manière à tenir compte de la saisonnalité des trafics et des annulations de dernière minute.

La figure 3 présente une comparaison des résultats obtenus avec les trois modèles pour une sélection de services d'autoroutes ferroviaires. Pour chaque niveau de fréquence envisagé, le prix permettant le niveau de remplissage optimal du service est représenté en abscisse tandis que le gain économique obtenu est reporté sur l'axe des ordonnées. La forme de chaque point permet de différencier les niveaux de fréquence, tandis que la couleur est fonction du modèle considéré.

Dans certains cas, le gain pour les opérateurs ferroviaires est négatif quelles que soient les niveaux de prix et de fréquence. Le chiffre d'affaires généré par le service ne suffit alors pas pour couvrir les coûts d'amortissement des deux terminaux, évalués à 5,7 M€₂₀₁₂ par an.

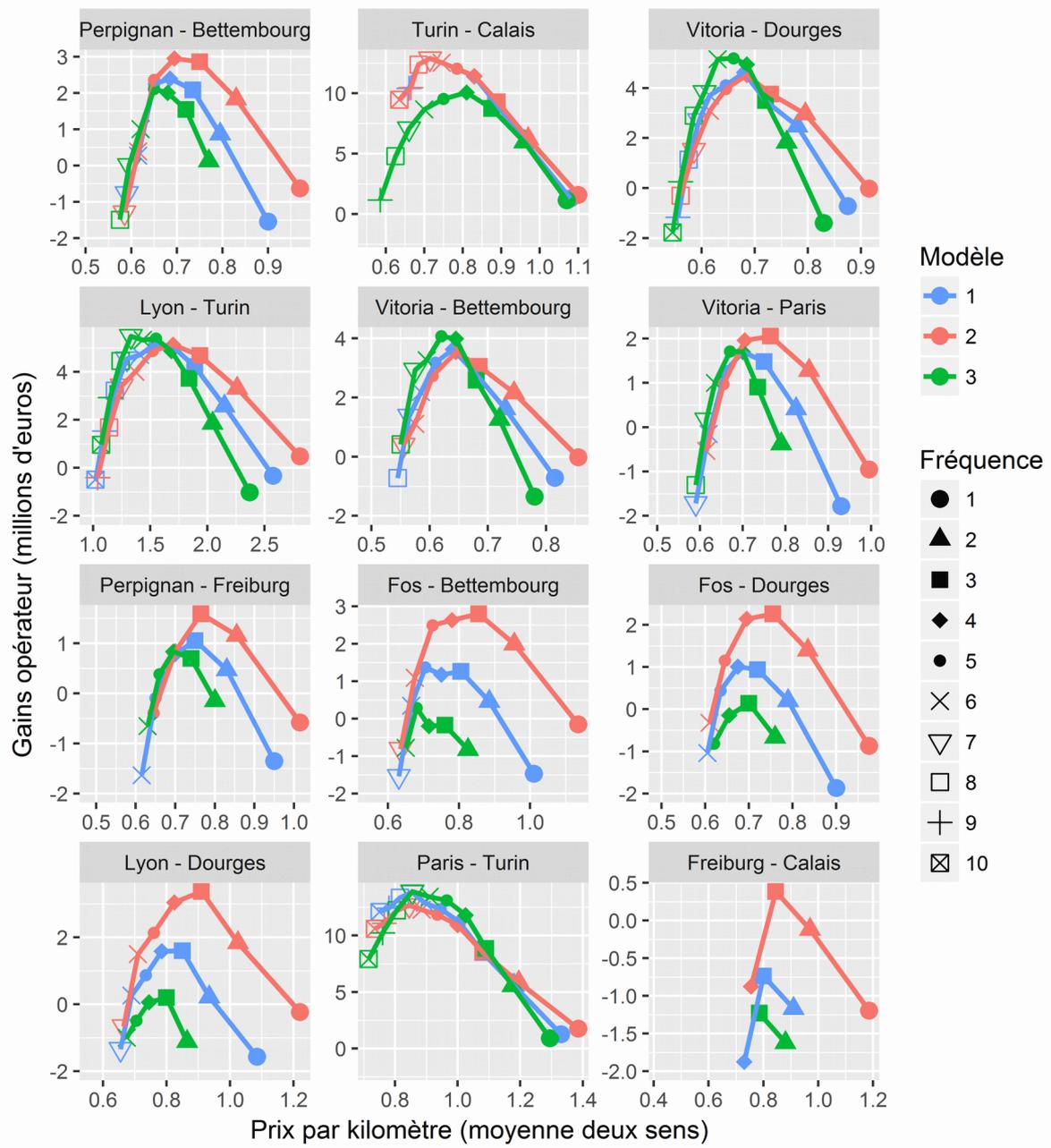
Les prix obtenus sont différents selon le sens du trajet. Les flux routiers sont en effet dissymétriques et le transport de poids lourds vides par autoroute ferroviaire est marginal, car il ne permet pas aux transporteurs de réaliser un chiffre d'affaires sur une partie du trajet. Les opérateurs d'autoroutes ferroviaires ont ainsi intérêt à différencier leur prix selon le sens du trajet afin d'assurer le meilleur remplissage de leurs services dans les deux sens.

Les tableaux 5 à 7 présentent les niveaux de fréquence et de trafic permettant aux opérateurs ferroviaires de maximiser leurs gains économiques. Les gains calculés correspondent à la différence entre le chiffre d'affaires et les coûts d'exploitation modélisés, **à l'exclusion des coûts de mise au gabarit des voies ferroviaires**, ces derniers étant supposés supportés par la puissance publique.

Ces résultats sont très théoriques puisque, d'une part, ils dépendent fortement des niveaux de trafics et des prix relatifs rail/route projetés à l'horizon 2030, d'autre part, ils ont été obtenus en ne considérant aucune interférence avec les autres liaisons. De plus, ces calculs reposent sur un modèle de coûts d'exploitation pour estimer le coût marginal d'un aller-retour supplémentaire, le coût réel étant difficile à observer.

Partie 2 - Optimisation prix/fréquences des lignes considérées de manière isolées

Figure 3 - Prix permettant le remplissage optimal des autoroutes ferroviaires et gains économiques correspondant en fonction du modèle et de la fréquence des services



Partie 2 - Optimisation prix/fréquences des lignes considérées de manière isolées

Tableau 5 - Niveaux de prix et de fréquence permettant la maximisation des gains des opérateurs ferroviaires en l'absence de concurrence entre services, modèle 1

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)	Gain opérateur (M€)
Perpignan - Bettembourg	4	753	680	53 040	2,4
Perpignan - Calais	1	986	914	13 260	-3,2
Calais - Turin	7	724	821	92 820	12,9
Vitoria - Dourges	4	863	790	53 040	4,6
Lyon - Turin	5	373	416	66 300	5,1
Vitoria - Fos	1	652	607	13 260	-4,4
Vitoria - Lyon	1	752	687	13 260	-4,7
Vitoria - Turin	2	849	808	26 520	-2,6
Vitoria - Freiburg	2	961	902	26 520	-1,0
Vitoria - Bettembourg	4	909	827	53 040	3,6
Vitoria - Paris	4	713	636	53 040	1,7
Vitoria - Calais	3	904	814	39 780	1,8
Perpignan - Turin	2	564	536	26 520	-3,0
Perpignan - Freiburg	3	715	626	39 780	1,1
Perpignan - Paris	3	658	590	39 780	-0,4
Perpignan - Dourges	3	813	736	39 780	1,8
Fos - Turin	1	516	516	13 260	-4,2
Fos - Freiburg	3	553	488	39 780	-1,9
Fos - Bettembourg	5	585	545	66 300	1,4
Fos - Paris	4	570	555	53 040	0,8
Fos - Dourges	4	692	662	53 040	1,0
Fos - Calais	3	762	718	39 780	0,3
Lyon - Dourges	3	617	603	39 780	1,6
Lyon - Calais	3	627	603	39 780	0,0
Turin - Paris	7	684	602	92 820	13,8
Turin - Dourges	7	786	716	92 820	14,3
Freiburg - Calais	3	564	498	39 780	-0,7

Les prix sont donnés aux conditions économiques de 2012.

Partie 2 - Optimisation prix/fréquences des lignes considérées de manière isolées

Tableau 6 - Niveaux de prix et de fréquence permettant la maximisation des gains des opérateurs ferroviaires en l'absence de concurrence entre services, modèle 2

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)	Gain opérateur (M€)
Perpignan - Bettembourg	4	774	680	53 040	3,0
Perpignan - Calais	1	1 059	957	13 260	-2,4
Calais - Turin	7	724	821	92 820	12,9
Vitoria - Dourges	4	875	790	53 040	4,5
Lyon - Turin	4	414	460	53 040	5,1
Vitoria - Fos	1	708	643	13 260	-3,8
Vitoria - Lyon	1	818	741	13 260	-3,9
Vitoria - Turin	1	997	956	13 260	-2,4
Vitoria - Freiburg	2	990	902	26 520	-0,6
Vitoria - Bettembourg	4	922	827	53 040	3,5
Vitoria - Paris	3	781	694	39 780	2,1
Vitoria - Calais	3	917	814	39 780	1,9
Perpignan - Turin	1	721	685	13 260	-2,5
Perpignan - Freiburg	3	733	635	39 780	1,6
Perpignan - Paris	3	693	616	39 780	0,9
Perpignan - Dourges	3	834	758	39 780	2,6
Fos - Turin	1	570	570	13 260	-3,5
Fos - Freiburg	3	582	517	39 780	-0,8
Fos - Bettembourg	3	706	666	39 780	2,8
Fos - Paris	4	593	570	53 040	1,8
Fos - Dourges	3	772	742	39 780	2,3
Fos - Calais	3	783	740	39 780	1,2
Lyon - Dourges	3	661	646	39 780	3,4
Lyon - Calais	3	659	635	39 780	1,3
Turin - Paris	7	677	594	92 820	12,7
Turin - Dourges	7	786	716	92 820	13,9
Freiburg - Calais	3	591	531	39 780	0,4

Les prix sont donnés aux conditions économiques de 2012.

Partie 2 - Optimisation prix/fréquences des lignes considérées de manière isolées

Tableau 7 - Niveaux de prix et de fréquence permettant la maximisation des gains des opérateurs ferroviaires en l'absence de concurrence entre services, modèle 3

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)	Gain opérateur (M€)
Perpignan - Bettembourg	5	722	638	66 300	2,1
Perpignan - Calais	1	943	870	13 260	-3,8
Calais - Turin	4	821	929	53 040	10,1
Vitoria - Dourges	5	838	765	66 300	5,2
Lyon - Turin	7	316	368	92 820	5,5
Vitoria - Fos	1	607	570	13 260	-4,9
Vitoria - Lyon	1	687	643	13 260	-5,4
Vitoria - Turin	2	862	822	26 520	-2,3
Vitoria - Freiburg	2	946	902	26 520	-1,2
Vitoria - Bettembourg	5	881	800	66 300	4,1
Vitoria - Paris	5	675	617	66 300	1,7
Vitoria - Calais	4	853	775	53 040	1,9
Perpignan - Turin	2	543	521	26 520	-3,4
Perpignan - Freiburg	4	662	581	53 040	0,8
Perpignan - Paris	3	624	564	39 780	-1,5
Perpignan - Dourges	3	791	725	39 780	1,1
Fos - Turin	1	452	463	13 260	-5,0
Fos - Freiburg	3	524	467	39 780	-3,0
Fos - Bettembourg	5	561	529	66 300	0,3
Fos - Paris	4	555	540	53 040	-0,1
Fos - Dourges	3	712	692	39 780	0,1
Fos - Calais	3	740	685	39 780	-0,5
Lyon - Dourges	3	574	574	39 780	0,2
Lyon - Calais	3	603	571	39 780	-1,1
Turin - Paris	7	699	587	92 820	13,9
Turin - Dourges	6	816	736	79 560	13,2
Freiburg - Calais	3	564	478	39 780	-1,2

Les prix sont donnés aux conditions économiques de 2012.

3. BILAN DES MODÈLES DE CHOIX DES AUTOROUTES FERROVIAIRES

Les résultats obtenus peuvent diverger de manière significative pour une autoroute ferroviaire donnée en fonction du modèle considéré. Les modèles de choix modal utilisés, calés à partir de préférences révélées sur l'arc alpin, permettent d'appuyer les calculs sur des fondements micro-économiques solides, mais génèrent des incertitudes quant à la reproductibilité des résultats pour le marché du transport en France. Ces incertitudes se manifestent par des projections sensiblement différentes selon le modèle pour certains services dont les caractéristiques sont éloignées de celles des services alpins. Il conviendra donc *a minima* de revisiter l'étude après quelques années de fonctionnement des autoroutes ferroviaires actuellement envisagées, et de revoir la méthode de répartition modale en fonction des éléments de trafics qui seront alors disponibles et qui devraient permettre un calage plus fiable des comportements des transporteurs. À défaut, il est également envisageable de compléter l'approche effectuée ici par des enquêtes de préférences déclarées lorsqu'elles sont disponibles et suffisamment récentes pour intégrer l'image que les transporteurs ont actuellement des autoroutes ferroviaires.

Dans la suite de l'étude, les simulations seront réalisées en utilisant le modèle 2, qui n'impose pas par construction une borne haute à la part des poids lourds susceptibles d'emprunter les autoroutes ferroviaires, contrairement au modèle 3, et dont la formulation selon un modèle Logit est plus simple que pour le modèle 1 qui utilise un modèle de type Probit.

Partie 2 - Optimisation prix/fréquences des lignes considérées de manière isolées

Partie 3

Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Cette partie vise à évaluer le potentiel d'un ensemble de liaisons en tenant compte des interférences possibles entre deux lignes d'autoroutes ferroviaires. Dans un premier temps, neuf lignes d'autoroutes ferroviaires sont sélectionnées et s'ajoutent aux cinq lignes dont l'exploitation est supposée acquise à moyen terme. Ces nouvelles liaisons sont ensuite évaluées selon différentes modalités économiques, selon qu'elles sont exploitées par un opérateur unique, par des opérateurs concurrents ou encore que le mode d'exploitation cherche à maximiser les gains des transporteurs. En fonction de l'option retenue, le report modal ainsi généré est situé entre 110 et 352 millions de poids lourds-kilomètres par an.



1. CHOIX D'UN RÉSEAU D'AUTOROUTES FERROVIAIRES À ÉTUDIER CONJOINTEMENT

Pour la suite de l'étude, le modèle de choix des autoroutes ferroviaires qui a été retenu est le modèle 2, car il n'impose pas de limite sur la part modale des services ferroviaires et a une formulation de type Logit plus simple que celle du modèle 1. C'est donc en utilisant le modèle 2 que sera évalué un réseau d'autoroutes ferroviaires, les simulations réalisées jusqu'ici ne portant que sur des lignes considérées isolément les unes des autres.

Tableau 8 - Autoroutes ferroviaires potentielles prises en compte dans la suite de l'étude

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Longueur (km)	Fréquence optimale sans concurrence	Gains opérateur sans concurrence (M€)
Perpignan - Bettembourg	1 046	4	3,0
Perpignan - Calais	1 450	1	-2,4
Calais - Turin	1 080	7	12,9
Vitoria - Dourges	1 215	4	4,5
Lyon - Turin	257	4	5,1
Paris - Turin	752	7	12,7
Vitoria - Bettembourg	1 356	4	3,5
Lyon - Dourges	718	3	3,4
Fos - Bettembourg	802	3	2,8
Fos - Dourges	1 003	3	2,3
Vitoria - Paris	964	3	2,1
Perpignan - Fribourg	894	3	1,6
Fribourg - Calais	664	3	0,4
Perpignan - Turin	714	1	-2,5

La fréquence optimale correspond à la situation de 2030, le résultat d'exploitation est donné aux conditions économiques de 2012.

À partir de l'estimation des trafics en l'absence de concurrence, le choix des services d'autoroutes ferroviaires à conserver dans la suite de l'étude s'est effectué selon quatre critères :

- conservation des services d'autoroutes ferroviaires existants ou à venir (Perpignan – Bettembourg, Perpignan – Calais, Calais – Turin, Vitoria – Dourges et Lyon – Turin),
- priorité aux liaisons les plus rentables (c'est-à-dire aux liaisons présentant les résultats d'exploitation les plus élevés),

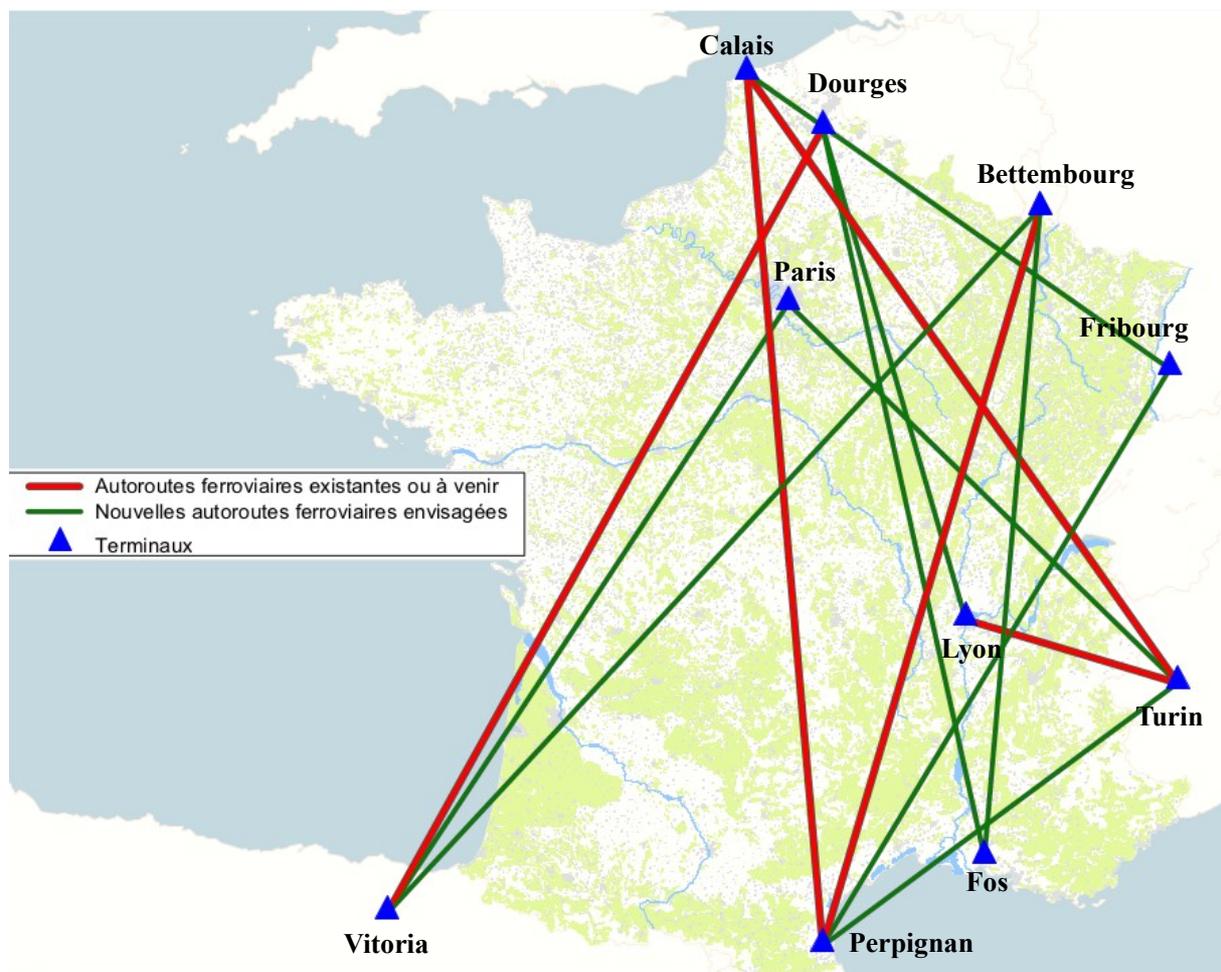
Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

- limitation à deux nouvelles liaisons par terminal, ceux-ci afin d'étudier un réseau d'autoroutes ferroviaires bien réparti sur l'ensemble du territoire et d'éviter de multiplier le nombre de lignes directement en concurrence,

- du fait de leur relative proximité, il n'est pas intéressant de considérer que Dourges et Calais soient desservis depuis un même terminal.

L'application de ces critères conduit à retenir neuf nouvelles liaisons d'autoroutes ferroviaires : Paris – Turin, Vitoria – Bettembourg, Lyon – Dourges, Fos – Bettembourg, Fos – Dourges, Vitoria – Paris, Perpignan – Fribourg, Fribourg – Calais et Perpignan – Turin.

Figure 4 - Autoroutes ferroviaires potentielles prises en compte dans la suite de l'étude



2. TRAFICS POTENTIELS EN SITUATION DE MONOPOLE

Dans cette section, les quatorze services d'autoroutes ferroviaires potentiels sont exploités par un opérateur unique. Cet opérateur dispose du monopole sur les autoroutes ferroviaires françaises et fixe les prix et la fréquence de chacune des lignes de manière à maximiser son gain économique. Il peut notamment décider de fermer une ligne lorsque celle-ci n'est pas rentable pour lui. **L'opérateur ne finance pas la mise au gabarit des voies ferroviaires, dont les coûts ont été supposés pris en charge par la puissance publique.**

Comme cela a déjà été mentionné, du fait de la forte élasticité des trafics aux prix, l'opérateur a intérêt à fixer ses prix de manière à assurer le remplissage de l'ensemble de ses services (le taux de remplissage maximal étant fixé à 85 % pour tenir compte des effets de saisonnalité et des annulations de dernière minute). Pour un niveau de fréquence supposé, les prix sont donc calculés de la manière suivante :

- 1) Simulation des trafics à partir des prix fixés *a priori*,
- 2) Simulation des trafics obtenus pour une diminution des prix pour les services pour lesquels le taux de remplissage est inférieur à 85 %, ou une augmentation des prix pour les services affichant un taux de remplissage maximal.

L'étape 2) est répétée jusqu'à ce que les taux de remplissage de l'ensemble des lignes soient à la valeur cible de 85 %. Les niveaux de prix obtenus permettent alors à la fois le remplissage optimal de l'ensemble des services et la maximisation du chiffre d'affaires (et du gain économique) de l'opérateur ferroviaire.

Pour chaque niveau de fréquence, il est donc possible de déterminer les prix des péages et le gain économique pour l'ensemble des services. La recherche de la situation optimale pour le monopole consiste dès lors à ajuster les fréquences des services pris un par un dans l'ordre dans lequel ils sont présentés dans le tableau 8, jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible d'améliorer le gain économique en changeant la fréquence de l'un des services (l'algorithme donne alors au minimum un optimum local, mais qui a de fortes chances d'être un optimum global du fait de la concurrence limitée entre les services).

La situation optimale pour le monopole et les niveaux de trafics résultants sont reportés dans le tableau 9 pour la situation de référence et le tableau 10 pour la situation de scénario avec mise en service de nouvelles autoroutes ferroviaires. Les trafics affichés correspondent à ceux obtenus dans un cas particulier qui maximise les gains de l'opérateur ferroviaire. Ils ne préjugent donc en rien des trafics potentiels dans une situation où cet opérateur serait contraint d'assurer un niveau de fréquence minimal, par exemple en échange des investissements consentis par la puissance publique pour la mise au gabarit des voies ferroviaires. Les trafics obtenus dépendent également des conditions d'exploitation des services voisins, et ne peuvent donc pas être interprétés comme des trafics potentiels pour un projet d'autoroute ferroviaire donné.

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Tableau 9 - Niveaux de prix, de trafics et de fréquence en 2030, cas d'un opérateur monopolistique, situation de référence

avec cinq autoroutes ferroviaires en service

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)
Perpignan - Bettembourg	2	823	734	26 520
Perpignan - Calais	1	910	815	13 260
Calais - Turin	4	752	850	53 040
Vitoria - Dourges	4	836	755	53 040
Lyon - Turin	3	364	401	39 780
Total	14	-	-	185 640

Tableau 10 - Niveaux de prix, de trafics et de fréquence en 2030, cas d'un opérateur monopolistique, situation de scénario

avec quatorze autoroutes ferroviaires potentiellement en service

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)
Perpignan - Bettembourg	2	782	696	26 520
Perpignan - Calais	0	-	-	0
Calais - Turin	4	726	836	53 040
Vitoria - Dourges	2	884	803	26 520
Lyon - Turin	2	384	417	26 520
Paris - Turin	4	567	654	53 040
Vitoria - Bettembourg	2	936	844	26 520
Lyon - Dourges	1	685	706	13 260
Fos - Bettembourg	1	676	643	13 260
Fos - Dourges	1	750	742	13 260
Vitoria - Paris	2	726	645	26 520
Perpignan - Fribourg	1	789	689	13 260
Fribourg - Calais	1	636	597	13 260
Perpignan - Turin	1	630	591	13 260
Total	24	-	-	318 240

Les prix sont donnés aux conditions économiques de 2012.

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Les niveaux de prix et de fréquence sont inférieurs à ceux obtenus en l'absence de concurrence, ce qui illustre la compétition entre les autoroutes ferroviaires considérées. En particulier, l'ajout des neuf services supplémentaires d'autoroutes ferroviaires conduit à arrêter l'exploitation de la ligne Perpignan – Calais, sans que cela ne se traduise par une perte nette sur investissements puisque les terminaux correspondants ainsi que les voies ferroviaires mises au gabarit continuent à être utilisés.

Le trafic total sur les autoroutes ferroviaires dans le cas d'un monopole augmente de 110 millions de poids lourds-kilomètres entre la situation de référence et la situation de scénario, ce qui représente environ 132 600 poids lourds supplémentaires par an. Ce chiffre est à comparer avec l'ensemble du trafic international qui représentera 10 milliards de poids lourds-kilomètres par an en 2030.

Le bilan socio-économique de l'ensemble des nouvelles lignes d'autoroutes ferroviaires est renseigné dans le tableau 11. Outre une hausse des gains de l'opérateur monopolistique, ce bilan montre une augmentation des bénéfices pour les transporteurs et chargeurs, une baisse des recettes pour les sociétés concessionnaires d'autoroutes et pour l'État avec la TICPE, et une amélioration du bilan des tiers, c'est-à-dire une baisse des externalités générées par le transport routier.

Tableau 11 - Bilan socio-économique des lignes supplémentaires d'autoroutes ferroviaires pour l'année 2030*, cas d'un monopole

En millions d'euros 2012 par an

Acteur	Bilan	Scénario d'un monopole
Opérateurs ferroviaires	Nouvelles AF	31,6
	Amortissement terminaux	-5,7
	AF existantes	-14,6
	Total	11,3
Transporteurs	Total	28,7
Sociétés concessionnaires d'autoroutes	Recettes	-18,0
	Entretien	1,8
	Total	-16,1
État	TICPE	-15,2
	Entretien routes	3,4
	Total	-11,8
	COFP**	-2,9
Tiers	Accidentologie	2,1
	Congestion	5,3
	Bruit	~0
	Pollution	8,7
	CO ₂	6,0
	Total	22,1
Total		31,2

* Hors coûts d'investissement de mise au gabarit des lignes.

** Coefficient d'opportunité des fonds publics, égal à 25 % du bilan État en intégrant un prix fictif de rareté des fonds publics. Ce coefficient est conforme aux préconisations du rapport Quinet sur l'évaluation socio-économique des investissements publics et traduit les distorsions induites par les prélèvements obligatoires sur l'économie.

3. TRAFICS POTENTIELS POUR UN OLIGOPOLE DE COURNOT

Dans cette section, les quatorze autoroutes ferroviaires potentielles sont exploitées par quatorze opérateurs en situation de concurrence. Chaque opérateur fixe ses prix et organise ses services dans son intérêt propre. Les autoroutes ferroviaires constituent alors un marché oligopolistique.

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Le schéma d'oligopole de Cournot a été retenu pour modéliser la concurrence qui est ainsi créée entre les quatorze opérateurs : chaque opérateur ajuste ses prix et la fréquence de son service en supposant que sa décision impactera les prix de ses concurrents mais ne changera pas la fréquence des autres services.

Du fait de la forte élasticité des trafics aux prix, chaque opérateur a intérêt à fixer ses prix de manière à assurer le remplissage de ses services (le taux de remplissage maximal étant fixé à 85 % pour tenir compte des effets de saisonnalité et des annulations de dernière minute). Pour un niveau de fréquence supposé, les prix pour l'ensemble des services sont donc calculés de la manière suivante :

- 1) Simulation des trafics à partir des prix fixés *a priori*,
- 2) Simulation des trafics obtenus pour une diminution des prix pour les services pour lesquels le taux de remplissage est inférieur à 85 %, ou une augmentation des prix pour les services affichant un taux de remplissage maximal.

L'étape 2) est répétée jusqu'à ce que les taux de remplissage de l'ensemble des lignes soient à la valeur cible de 85 %. Les niveaux de prix obtenus correspondent alors à l'équilibre concurrentiel pour un niveau de fréquence fixé. Ils assurent à la fois le remplissage optimal de l'ensemble des services et la maximisation du chiffre d'affaires (et donc du gain économique) de chaque opérateur ferroviaire.

Pour un niveau de fréquence donné, il est donc possible de déterminer les prix pratiqués par l'ensemble des opérateurs et les gains économiques de chacun d'entre eux. Le marché suit le schéma oligopolistique de Cournot, ce qui signifie que chaque opérateur anticipe l'équilibre concurrentiel des prix en supposant constant le nombre de fréquences sur les autres lignes. Chaque opérateur peut donc identifier la fréquence de son service qui permettrait, si les fréquences des autres lignes étaient inchangées, de maximiser leurs gains.

La recherche de la situation d'équilibre consiste alors à calculer, pour un opérateur donné et pour chaque niveau de fréquence, les prix des péages et le gain économique de l'opérateur, afin de fixer le niveau de fréquence que cet opérateur va proposer. Cette opération est réalisée pour l'ensemble des opérateurs et plusieurs fois, jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible d'améliorer le gain économique pour une ligne en modifiant sa fréquence et en gardant inchangées les fréquences offertes par les services concurrents.

La situation d'équilibre et les niveaux de trafics obtenus sont reportés dans le tableau 12 pour la situation de référence et le tableau 13 pour la situation de scénario. Les coûts d'exploitation retenus pour le calcul de la situation d'équilibre n'intègrent pas les coûts d'amortissement des terminaux. Autrement dit, les coûts des terminaux ne sont pas pris en compte par les opérateurs dans leur décision de créer ou non un service. Cela correspond par exemple à une situation où les coûts d'investissements sont répartis entre utilisateurs d'un même terminal en fonction de l'usage de chacun. Par ailleurs, il a été supposé que les opérateurs **ne finançaient pas la mise au gabarit des voies ferroviaires, qui est prise en charge par la puissance publique.**

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Ces trafics obtenus correspondent à un cas bien particulier qui ne préjuge pas des trafics potentiels dans une situation qui serait plus favorable aux transporteurs, par exemple si la puissance publique imposait un niveau de fréquence minimal en échange des investissements consentis pour la mise au gabarit, ou encore si le nombre de lignes en service était plus limité.

Tableau 12 - Niveaux de prix, de trafics et de fréquence en 2030, cas d'opérateurs concurrents (oligopole de Cournot), situation de référence

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)
Perpignan - Bettembourg	3	758	668	39 780
Perpignan - Calais	1	899	801	13 260
Calais - Turin	4	752	849	53 040
Vitoria - Dourges	4	828	748	53 040
Lyon - Turin	3	364	401	39 780
Total	15	-	-	198 900

Tableau 13 - Niveaux de prix, de trafics et de fréquence en 2030, cas d'opérateurs concurrents (oligopole de Cournot), situation de scénario

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)
Perpignan - Bettembourg	2	746	656	26 520
Perpignan - Calais	1	843	747	13 260
Calais - Turin	4	725	834	53 040
Vitoria - Dourges	2	851	772	26 520
Lyon - Turin	2	381	413	26 520
Paris - Turin	4	566	653	53 040
Vitoria - Bettembourg	4	824	729	53 040
Lyon - Dourges	2	553	575	26 520
Fos - Bettembourg	1	640	602	13 260
Fos - Dourges	2	633	622	26 520
Vitoria - Paris	2	695	616	26 520
Perpignan - Fribourg	2	677	574	26 520
Fribourg - Calais	1	631	591	13 260
Perpignan - Turin	1	627	587	13 260

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)
Total	30	-	-	397 800

Les prix sont donnés aux conditions économiques de 2012.

En situation de scénario, six allers-retours ont été ajoutés par rapport au cas d'un monopole. Cela concerne les lignes Perpignan – Calais, Vitoria – Bettembourg, Lyon – Dourges, Fos – Dourges et Perpignan - Freiburg. Les prix des autoroutes ferroviaires ont systématiquement diminué par rapport au cas de l'opérateur monopolistique.

L'ajout des huit nouvelles lignes d'autoroutes ferroviaires permet une augmentation du trafic de 186 millions de poids lourds-kilomètres par an, ce qui est bien supérieur au cas de l'opérateur monopolistique. Le report modal est alors bien plus important car les opérateurs sont incités à augmenter la fréquence de leurs services lorsqu'ils sont en concurrence.

Le bilan socio-économique complet des nouvelles autoroutes ferroviaires est présenté dans le tableau 14. Ce bilan aboutit aux mêmes observations que dans le cas d'un monopole mais les bénéfices des transporteurs/chargeurs sont bien plus importants du fait des réductions de prix et de l'augmentation de l'offre et le bilan global est plus favorable.

Tableau 14 - Bilan socio-économique des lignes supplémentaires d'autoroutes ferroviaires pour l'année 2030*, situations de monopole et d'oligopole

En millions d'euros 2012 par an

Acteur	Bilan	Scénario d'un monopole	Scénario d'un oligopole
Opérateurs ferroviaires	Nouvelles AF	31,6	30,0
	Amortissement terminaux	-5,7	-5,7
	AF existantes	-14,6	-17,1
	Total	11,3	7,2
Transporteurs	Total	28,7	43,0
Sociétés concessionnaires d'autoroutes	Recettes	-18,0	-25,1
	Entretien	1,8	3,1
	Total	-16,1	-22,0
État	TICPE	-15,2	-24,5
	Entretien routes	3,4	5,3
	Total	-11,8	-19,2
	COFP**	-2,9	-4,8
Tiers	Accidentologie	2,1	3,4
	Congestion	5,3	9,1
	Bruit	~0	~0
	Pollution	8,7	15,9
	CO ₂	6,0	9,7
	Total	22,1	38,0
Total		31,2	42,1

* Hors coûts d'investissement de mise au gabarit des lignes.

** Coefficient d'opportunité des fonds publics, égal à 25 % du bilan État en intégrant un prix fictif de rareté des fonds publics. Ce coefficient est conforme aux préconisations du rapport Quinet sur l'évaluation socio-économique des investissements publics et traduit les distorsions induites par les prélèvements obligatoires sur l'économie.

4. OPTIMISATION DU POINT DE VUE DES TRANSPORTEURS

Dans cette partie, l'exploitation des autoroutes ferroviaires est supposée être réglementée. Le régulateur se donne pour objectif de maximiser les bénéfices des autoroutes ferroviaires pour les transporteurs, en supposant que ceux-ci en supportent également les coûts. En d'autres termes,

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

les prix et les fréquences des services sont fixés de manière à maximiser la somme des gains des opérateurs et des transporteurs/chargeurs. Le processus d'optimisation est similaire à celui décrit au début de la section 2.

Cette approche permet de donner une première idée des niveaux de prix et de fréquences qui seraient optimales pour l'ensemble de la collectivité. Elle ne prend toutefois pas en compte les impacts des nouveaux services sur les sociétés concessionnaires d'autoroutes, les finances publiques ainsi que les tiers.

L'application de cette approche aboutit à des niveaux de fréquences beaucoup plus élevés et à des prix plus faibles que pour les situations de monopole et d'oligopole décrites dans les parties précédentes. Les résultats obtenus sont répertoriés dans les tableaux 15 et 16.

Tableau 15 - Niveaux de prix, de trafics et de fréquence en 2030, cas d'une optimisation des services au bénéfice des transporteurs, situation de référence

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)
Perpignan - Bettembourg	7	588	493	92 820
Perpignan - Calais	2	747	643	26 520
Calais - Turin	10	560	666	132 600
Vitoria - Dourges	8	678	595	106 080
Lyon - Turin	8	178	221	106 080
Total	35	-	-	464 100

Tableau 16 - Niveaux de prix, de trafics et de fréquence en 2030, cas d'une optimisation des services au bénéfice des transporteurs, situation de scénario

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)
Perpignan - Bettembourg	5	572	479	66 300
Perpignan - Calais	1	771	674	13 260
Calais - Turin	10	508	624	132 600
Vitoria - Dourges	6	663	578	79 560
Lyon - Turin	7	144	185	92 820
Paris - Turin	10	363	458	132 600
Vitoria - Bettembourg	4	761	665	53 040
Lyon - Dourges	4	408	427	53 040
Fos - Bettembourg	3	454	410	39 780

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Prix aller (€/PL)	Prix retour (€/PL)	Trafic (PL par an)
Fos - Dourges	3	514	500	39 780
Vitoria - Paris	4	552	467	53 040
Perpignan - Fribourg	4	530	425	53 040
Fribourg - Calais	3	411	367	39 780
Perpignan - Turin	3	401	362	39 780
Total	67	-	-	888 420

Les prix sont donnés aux conditions économiques de 2012.

En situation de scénario, la fréquence de l'ensemble des services est de 67 allers-retours par jour contre 30 dans la situation d'un oligopole et 24 dans la situation d'un monopole. Les nouvelles autoroutes ferroviaires permettent alors un report modal de 352 millions de poids lourds-kilomètres, soit bien plus que dans les autres situations. En revanche, le chiffre d'affaires des opérateurs d'autoroutes ferroviaires ne suffit pas à couvrir leurs coûts et ceux-ci doivent faire face à un déficit d'exploitation. Une telle situation suppose nécessairement que le régulateur s'engage à subventionner les lignes déficitaires (le coefficient d'opportunité des fonds publics correspondant à cette subvention n'a pas été intégré dans le bilan socio-économique).

Le bilan des nouvelles lignes dans la situation d'optimisation du point de vue des transporteurs est représenté dans le tableau 17. Par rapport aux autres situations, le bilan des transporteurs/chargeurs est plus favorable mais le bilan des opérateurs ferroviaires est fortement diminué. Le bilan global pour la collectivité est moins favorable que dans la situation d'un oligopole de Cournot, car les pertes de recettes pour les sociétés concessionnaires d'autoroutes ainsi que pour les finances publiques l'emportent plus largement sur les gains en matière de coûts externes.

Ces bilans ont été établis sur une seule année et ignorent les coûts de mise au gabarit des voies ferroviaires, non pris en compte dans cette étude. En actualisant ces bilans sur une période de 30 ans avec un taux de 4,5 %, la somme actualisée des gains pour la collectivité est de 531 M€₂₀₁₂ dans la situation d'un monopole, de 717 M€₂₀₁₂ dans la situation d'un oligopole et de 501 M€₂₀₁₂ après optimisation du point de vue des transporteurs. Ces montants sont à comparer aux coûts de la mise au gabarit de 1 800 kilomètres de nouvelles voies, sur lesquelles ne circule aucune autoroute ferroviaire en situation de référence. Le coût de mise au gabarit d'une voie ferroviaire est très variable selon le nombre et les gabarits des ouvrages d'art existants, et il n'a pu être évalué ici. Dans le dossier d'enquête publique pour le projet d'autoroute ferroviaire Tarnos – Dourges, ces coûts avaient été évalués à 162 M€₂₀₁₂ pour une longueur de 1 050 kilomètres, mais ce montant pourrait facilement être démultiplié dans une configuration moins favorable.

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Tableau 17 - Bilan socio-économique des lignes supplémentaires d'autoroutes ferroviaires pour l'année 2030*, comparaison des trois situations

En millions d'euros 2012 par an

Acteur	Bilan	Scénario d'un monopole	Scénario d'un oligopole	Optimisation transporteurs
Opérateurs ferroviaires	Nouvelles AF	31,6	30,0	-10,0
	Amortissement terminaux	-5,7	-5,7	-5,7
	AF existantes	-14,6	-17,1	-22,4
	Total	11,3	7,2	-38,1
Transporteurs	Total	28,7	43,0	96,9
Sociétés concessionnaires d'autoroutes	Recettes	-18,0	-25,1	-59,0
	Entretien	1,8	3,1	5,9
	Total	-16,1	-22,0	-53,1
État	TICPE	-15,2	-24,5	-46,1
	Entretien routes	3,4	5,3	10,1
	Total	-11,8	-19,2	-36,0
	COFP**	-2,9	-4,8	-9,0
Tiers	Accidentologie	2,1	3,4	6,4
	Congestion	5,3	9,1	15,8
	Bruit	~0	~0	~0
	Pollution	8,7	15,9	28,3
	CO ₂	6,0	9,7	18,2
	Total	22,1	38,0	68,7
Total		31,2	42,1	29,4

* Hors coûts d'investissement de mise au gabarit des lignes.

** Coefficient d'opportunité des fonds publics, égal à 25 % du bilan État en intégrant un prix fictif de rareté des fonds publics. Ce coefficient est conforme aux préconisations du rapport Quinet sur l'évaluation socio-économique des investissements publics et traduit les distorsions induites par les prélèvements obligatoires sur l'économie.

5. BILAN POUR LES ACTEURS FRANÇAIS

Les simulations qui ont été réalisées montrent que les nouvelles liaisons d'autoroutes ferroviaires considérées dans ce document sont viables dès lors que la puissance publique prend en charge les investissements de mise au gabarit, et ont un potentiel de trafic suffisant pour remplir les services à un prix raisonnable. En revanche, les trafics totaux restent limités dans les trois situations considérées et ne permettent pas aux autoroutes ferroviaires de changer radicalement l'équilibre de la compétition rail-route. Le report modal permis grâce aux nouvelles lignes est situé entre 110 et 352 millions de poids lourds-kilomètres selon les cas. Ce report s'ajoute à l'effet des liaisons déjà décidées et qui génèrent un report modal compris entre 179 et 435 millions de poids lourds-kilomètres. À titre de comparaison, le trafic international est évalué à 10 milliards de poids lourds kilomètre à l'horizon 2030. Les autoroutes ferroviaires représentent ainsi 8 % du trafic international de poids lourds dans le meilleur des cas.

Dans les trois situations qui ont été évaluées, et qui diffèrent en fonction du niveau de concurrence entre les autoroutes ferroviaires, le bilan pour la collectivité de la création de neuf nouvelles lignes est largement positif, hors coûts de mises au gabarit des voies qui sont difficiles à évaluer avec précision. Il s'élève à 31,2 M€₂₀₁₂ pour l'année 2030 dans le cas d'un marché monopolistique, à 42,1 M€₂₀₁₂ dans le cas d'un marché oligopolistique et à 29,4 M€₂₀₁₂ dans le cas le plus favorable aux transporteurs/chargeurs.

Mais une autre approche possible consisterait à considérer le bilan socio-économique restreint aux acteurs français. Les transporteurs, qui récupèrent une part importante des bénéfices liés aux nouvelles autoroutes ferroviaires, sont nombreux à être rattachés à un pavillon ou à un chargeur étranger. Cela est particulièrement vrai pour les flux internationaux, d'échange ou de transit, qui constituent la majeure partie des trafics sur les autoroutes ferroviaires envisagées dans cette étude. Par ailleurs, les pleins de carburant pour les trafics concernés sont souvent effectués à l'étranger, ce qui réduit l'impact sur les finances publiques françaises et sur les émissions de CO₂ attribuées à la France (les standards internationaux de comptabilité carbone attribuent les émissions liées aux carburants au pays du point de vente). Enfin, les autres points du bilan des tiers doivent être restreints à la seule partie française des circulations de poids lourds. Le tableau 18 présente le bilan socio-économique corrigé de manière à ne tenir compte que des impacts sur les acteurs français.

Par rapport au bilan global, et toujours hors investissements de mise au gabarit, les bilans pour les acteurs français présentent des totaux plus faibles et devenant même négatifs dans le cas le plus favorable aux transporteurs.

Partie 3 - Trafics potentiels d'un ensemble de liaisons

Tableau 18 - Bilan socio-économique pour la France des lignes supplémentaires d'autoroutes ferroviaires pour l'année 2030*, comparaison des trois situations étudiés

En millions d'euros 2012 par an

Acteur	Bilan	Scénario d'un monopole	Scénario d'un oligopole	Optimisation transporteurs
Opérateurs ferroviaires	Nouvelles AF	31,6	30,0	-10,0
	Amortissement terminaux	-5,7	-5,7	-5,7
	AF existantes	-8,3	-9,9	-10,1
	Total	17,6	14,4	-25,8
Transporteurs	Total	4,8	7,9	17,1
Sociétés concessionnaires d'autoroutes	Recettes	-18,0	-25,1	-59,0
	Entretien	1,8	3,1	5,9
	Total	-16,1	-22,0	-53,1
État	TICPE	-3,8	-6,1	-11,5
	Entretien routes	2,4	4,0	7,3
	Total	-1,4	-2,1	-4,2
	COFP**	-0,4	-0,5	-1,1
Tiers	Accidentologie	1,7	2,9	5,5
	Congestion	5,3	9,1	15,8
	Bruit	~0	~0	~0
	Pollution	7,9	14,9	26,4
	CO ₂	1,5	2,4	4,5
	Total	16,4	29,3	52,3
Total		20,9	26,9	-14,7

* Hors coûts d'investissement de mise au gabarit des lignes.

** Coefficient d'opportunité des fonds publics, égal à 25 % du bilan État en intégrant un prix fictif de rareté des fonds publics. Ce coefficient est conforme aux préconisations du rapport Quinet sur l'évaluation socio-économique des investissements publics et traduit les distorsions induites par les prélèvements obligatoires sur l'économie.

Annexes

Les annexes comprennent les paramètres des modèles de choix des autoroutes ferroviaires de la partie 2, les hypothèses générales utilisées pour le calcul des bilans socio-économiques de la troisième partie, ainsi que les résultats des tests de sensibilité sur le niveau du PIB et le prix du pétrole.



Annexe A - Paramètres des modèles de choix des autoroutes ferroviaires

Cette annexe décrit les paramètres obtenus lors du calage des modèles de choix des autoroutes ferroviaires de la partie 2. Ces modèles suivent tous une structure hiérarchique avec deux principaux modes : la route seule et l'autoroute ferroviaire, chaque service constituant un sous-mode du mode autoroute ferroviaire. Le calage des modèles a été réalisé à partir des résultats de l'enquête CAFT/transit de 2010, qui comporte 73 383 observations avec l'origine et la destination des flux traversant l'arc alpin.

Les fonctions d'utilité utilisées pour les modes route seule et autoroute ferroviaire s'écrivent :

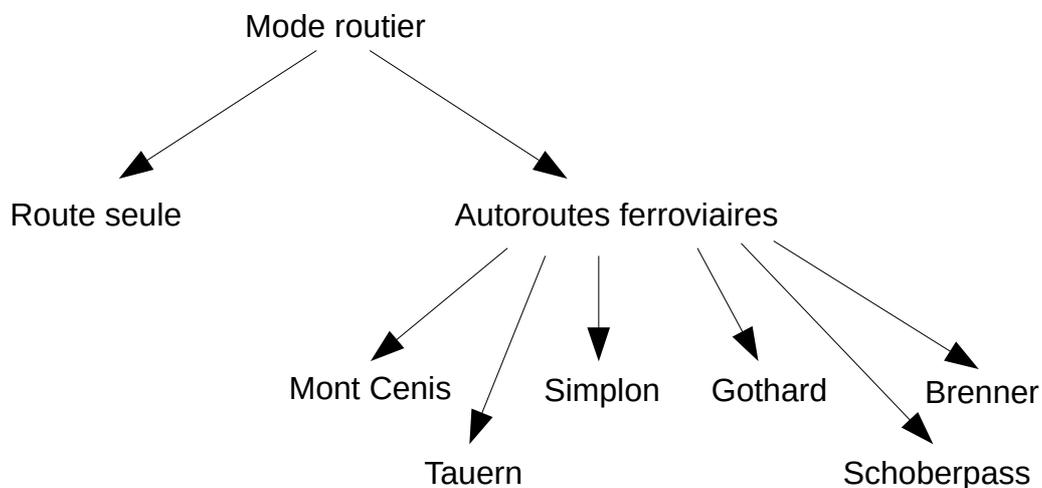
$$U_{AFi} = \alpha_{ACH} \frac{Coût_{ACH}}{1000} + \alpha_i = \alpha_{ACH} \frac{Coût_{ACH}}{1000} + \alpha_{AF} \frac{Péage_{AF}}{1000} + \gamma_{AF} + \beta_i$$

$$U_{RS} = \alpha_{RS} \frac{Coût_{RS}}{1000}$$

α_{AF} , α_{ACH} et α_{RS} représentent les paramètres associés respectivement au prix du service ferroviaire, au coût de l'acheminement routier vers et depuis les terminaux ferroviaires, et au coût du trajet routier direct. γ_{AF} est la constante modale associée aux autoroutes ferroviaires, tandis que β_i est une constante supplémentaire différenciant chaque service.

Concrètement, un premier calage a été effectué à partir de l'enquête transit afin de déterminer les paramètres α_{RS} , α_{ACH} et des cales α_i spécifiques à chaque service. Une régression linéaire a ensuite été réalisée sur les cales α_i obtenues afin de faire ressortir les paramètres α_{AF} et γ_{AF} et de minimiser la somme des carrés des résidus β_i .

Figure 5 : Structure du modèle hiérarchique de choix modal utilisé



Modèle 1

Le premier modèle testé est un modèle PROBIT pour le choix entre route seule et autoroutes ferroviaires. Le choix entre les différents services d'autoroute ferroviaire s'effectue selon un modèle LOGIT avec un certain facteur d'échelle, car ce choix est plus sensible aux différences d'utilités entre services.

La probabilité d'emprunter l'autoroute ferroviaire i s'écrit donc :

$$P_{AFi} = \phi(U_{AF} - U_{RS}) \times \frac{\exp(\lambda U_{AFi})}{\exp(\lambda U_{AF})}$$

avec $\phi(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{2}} \right)$ la fonction de répartition de la loi normale

et $U_{AF} = \ln \left(\frac{1}{\lambda} \sum_j \exp(\lambda U_{AFj}) \right)$ l'utilité de l'ensemble des services ferroviaires.

La log-vraisemblance ainsi obtenue est -15 468. Les paramètres issus du calage sont répertoriés dans le tableau 19.

Tableau 19 - Paramètres issus du calage du modèle 1

Paramètre	Valeur	Écart-type	T-ratio
Coût RS	-2,447	0,062	39,4
Péage AF	-2,341	1,135	2,1
Coût acheminement	-2,248	0,061	36,7
Constante modale AF	-1,980	0,449	4,4
Facteur d'échelle λ	4,117	0,113	27,7

La significativité des paramètres α_{AF} et γ_{AF} est nécessairement faible puisque la régression effectuée porte sur un nombre très limité de points. Néanmoins, le paramètre obtenu pour le prix des autoroutes ferroviaires est proche des autres paramètres de coûts et peut donc être jugé satisfaisant. La cale spécifique aux nouveaux services d'autoroutes ferroviaires, dimensionnée de manière à reproduire les trafics observés sur Perpignan – Bettembourg, est -0,343. Elle se situe plutôt dans la fourchette basse des cales spécifiques obtenues pour les services alpins.

Modèle 2

Le deuxième modèle testé est un modèle LOGIT pour le choix entre route seule et autoroutes ferroviaires, ce qui fait de l'ensemble du modèle un modèle Logit hiérarchique (*Nested Logit*).

La probabilité d'emprunter l'autoroute ferroviaire i s'écrit donc :

$$P_{AFi} = \frac{\exp(U_{AF})}{\exp(U_{RS}) + \exp(U_{AF})} \times \frac{\exp(\lambda U_{AFi})}{\exp(\lambda U_{AF})}$$

La log-vraisemblance obtenue pour le modèle 2 est -15 507. Les paramètres issus du calage sont répertoriés dans le tableau 20.

Tableau 20 - Paramètres issus du calage du modèle 2

Paramètre	Valeur	Écart-type	T-ratio
Coût RS	-5,155	0,135	38,2
Péage AF	-4,912	2,425	2,0
Coût acheminement	-4,755	0,136	35,0
Constante modale AF	-3,662	0,960	3,8
Facteur d'échelle λ	1,955	0,055	17,2

La cale spécifique aux nouveaux services d'autoroutes ferroviaires, dimensionnée de manière à reproduire les trafics observés sur Perpignan – Bettembourg, est -0,842. Elle se situe plutôt dans la fourchette basse des cales spécifiques obtenues pour les services alpins.

Modèle 3

Le modèle 3 est un modèle DOGIT pour le choix entre route seule et autoroutes ferroviaires. Il est identique au modèle 2 pour la formulation des fonctions d'utilité, mais suppose que seule une partie des poids lourds est susceptible d'emprunter les autoroutes ferroviaires, en raison des contraintes logistiques que celles-ci imposent. Les autres poids lourds sont captifs du mode routier. La part de marché qui ressort du calage est de 11,9 %. Le calage ne fait par ailleurs apparaître aucun poids lourd captif des autoroutes ferroviaires. La faible part des trafics non captifs du mode routier constitue indéniablement une faiblesse majeure de ce modèle.

La probabilité d'emprunter l'autoroute ferroviaire i s'écrit :

$$P_{AFi} = \frac{\exp(U_{AF}) + A_{AF}(\exp(U_{RS}) + \exp(U_{AF}))}{(1 + A_{AF} + A_{RS}) \times (\exp(U_{RS}) + \exp(U_{AF}))} \times \frac{\exp(\lambda U_{AFi})}{\exp(\lambda U_{AF})}$$

avec à l'issue de l'étape de calage : $\frac{1}{1 + A_{RS}} = 0,119$, $A_{AF} = 0$ et $\lambda = 1$.

La log-vraisemblance obtenue pour le modèle 3 est -15 376, les paramètres issus du calage sont ceux du tableau 21.

Tableau 21 - Paramètres issus du calage du modèle 3

Paramètre	Valeur	Écart-type	T-ratio
Coût RS	-10,37	0,27	38,5
Péage AF	-9,90	4,64	2,1
Coût acheminement	-9,40	0,25	37,7
Constante modale AF	-1,581	1,840	0,9
Facteur d'échelle λ	1	-	-
Part PL pouvant emprunter une AF	11,87 %	0,36 %	242

La cale spécifique aux nouveaux services d'autoroutes ferroviaires, dimensionnée de manière à reproduire les trafics observés sur Perpignan – Bettembourg, est -1,315.

Annexe B - Hypothèses utilisées pour le calcul des bilans socio-économiques

Les bilans socio-économiques présentés dans ce rapport évaluent les avantages et inconvénients des lignes supplémentaires d'autoroutes ferroviaires par rapport à la situation où seules sont présentes les lignes dont l'existence à l'horizon 2030 apparaît aujourd'hui comme acquise. Les avantages et inconvénients considérés sont ceux pour l'ensemble des acteurs, aussi bien les opérateurs ferroviaires et les transporteurs que les tiers bénéficiant d'une diminution des nuisances liées au transport routier. Les pertes de recettes pour les sociétés concessionnaires d'autoroutes et pour l'État via la TICPE sont également prises en compte.

Les autoroutes ferroviaires nécessitent un gabarit plus exigeant que le transport ferroviaire classique, et qui n'est pas disponible sur la majorité du réseau français actuel. L'ouverture d'une nouvelle ligne doit s'accompagner la plupart du temps de travaux pour la mise au gabarit des voies ferroviaires. Les coûts correspondants n'ont pu être évalués, car ils sont très variables selon la ligne considérée. Ils peuvent représenter une part importante du bilan. En d'autres termes, les résultats obtenus peuvent s'interpréter comme le montant annualisé maximal des coûts d'investissements au-delà duquel il n'est plus rentable d'un point de vue socio-économique d'ouvrir les lignes envisagées.

Le bilan des transporteurs a été calculé à partir de l'analyse du *logsum* de la fonction d'utilité utilisée pour la répartition du trafic entre transport routier et autoroutes ferroviaires. Le résultat obtenu a ensuite été ramené à un gain monétaire en considérant pour chaque origine-destination la variation de coûts routiers nécessaire pour obtenir le même gain d'utilité.

Les économies sur l'entretien du réseau routier ont été calculées à partir d'un coût marginal de 3,5 c€₂₀₀₀ par poids lourd-kilomètre pour le réseau principal (autoroutes et routes nationales) et de 10 c€₂₀₀₀ par poids lourd-kilomètre pour le réseau secondaire.

Le bilan des tiers a été établi conformément aux préconisations du référentiel d'évaluation des projets de transport. La valeur statistique de la vie humaine utilisée pour la partie accidentologie est de 3,96 M€₂₀₁₀ en 2030, tenant compte de son indexation au PIB par tête. Le bilan CO₂ est calculé à partir d'une valorisation de la tonne de CO₂ émise à hauteur de 100 €₂₀₁₀ en 2030. La valorisation de la pollution est conforme à la grille du référentiel d'évaluation de projets et varie en fonction de la densité de population des zones impactées (sans modulation pour les zones montagneuses). Le bilan pour le bruit est proche de zéro, la diminution des nuisances sonores liées au transport routier étant compensée par une augmentation des nuisances liées à la circulation ferroviaire. La décongestion routière liée au report modal a été estimée à partir de MODEV, en prenant une valeur du temps de 16,5 €₂₀₁₂/h pour les véhicules personnels et de 34 €₂₀₁₂/h pour les circulations poids lourds.

Annexe C : Tests de sensibilité

Dans cette publication, les simulations à l'horizon 2030 ont été réalisées à partir des hypothèses centrales du cadrage macroéconomique utilisé dans les projections de trafics du CGDD². Ces hypothèses sont notamment une croissance moyenne du PIB de 1,9 % par an entre 2012 et 2030 et un prix du pétrole fixé à 93 €₂₀₁₂ par baril à l'horizon 2030. Afin de caractériser la sensibilité des trafics d'autoroutes ferroviaires à ces deux facteurs, des simulations complémentaires ont été réalisées selon :

- un scénario *PIB bas* avec une croissance du PIB réduite à 1,4 % par an entre 2012 et 2030,
- un scénario *Baril haut* avec un prix du pétrole de 150 €₂₀₁₂ par baril en 2030,
- un scénario *Baril bas* avec un prix du pétrole de 54 €₂₀₁₂ par baril en 2030.

Pour chacun de ces scénarios, l'équilibre concurrentiel des prix a été recalculé dans l'hypothèse où les fréquences des services sont celles qui ont été identifiées dans le cas d'un oligopole de Cournot. Les résultats sont présentés dans les tableaux 22 et 23.

Tableau 22 - Test de sensibilité au PIB : niveaux de prix permettant le remplissage des fréquences identifiées dans le cas d'un oligopole de Cournot

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Trafic (PL par an)	Scénario central		Scénario PIB bas	
			Prix aller	Prix retour	Prix aller	Prix retour
Perpignan - Bettembourg	2	26 520	746	656	725	633
Perpignan - Calais	1	13 260	843	747	823	724
Calais - Turin	4	53 040	725	834	698	809
Vitoria - Dourges	2	26 520	851	772	829	749
Lyon - Turin	2	26 520	381	413	358	389
Paris - Turin	4	53 040	566	653	542	628
Vitoria - Bettembourg	4	53 040	824	729	802	707
Lyon - Dourges	2	26 520	553	575	531	553
Fos - Bettembourg	1	13 260	640	602	619	580
Fos - Dourges	2	26 520	633	622	612	599
Vitoria - Paris	2	26 520	695	616	673	593
Perpignan - Fribourg	2	26 520	677	574	656	552
Fribourg - Calais	1	13 260	631	591	609	569
Perpignan - Turin	1	13 260	627	587	605	565

Les prix sont donnés en euros par poids lourd aux conditions économiques de 2012.

² R. Pochez, N. Wagner, I. Cabanne, *Projections de la demande de transport sur le long terme*, CGDD, Théma Analyse, juillet 2016.

Tableau 23 - Test de sensibilité au prix du pétrole : niveaux de prix permettant le remplissage des fréquences identifiées dans le cas d'un oligopole de Cournot

Service potentiel d'autoroute ferroviaire	Fréquence (AR/jour)	Trafic (PL par an)	Scénario Baril haut		Scénario Baril bas	
			Prix aller	Prix retour	Prix aller	Prix retour
Perpignan - Bettembourg	2	26 520	876	778	658	574
Perpignan - Calais	1	13 260	984	876	750	661
Calais - Turin	4	53 040	843	963	648	752
Vitoria - Dourges	2	26 520	998	918	750	672
Lyon - Turin	2	26 520	419	457	350	380
Paris - Turin	4	53 040	659	754	508	591
Vitoria - Bettembourg	4	53 040	980	885	716	624
Lyon - Dourges	2	26 520	618	639	510	530
Fos - Bettembourg	1	13 260	732	683	578	546
Fos - Dourges	2	26 520	729	715	570	559
Vitoria - Paris	2	26 520	814	734	615	536
Perpignan - Fribourg	2	26 520	800	687	595	499
Fribourg - Calais	1	13 260	697	634	594	565
Perpignan - Turin	1	13 260	722	677	562	525

Les prix sont donnés en euros par poids lourd aux conditions économiques de 2012.

Dans le scénario PIB bas, le chiffre d'affaires des quatorze autoroutes ferroviaires étudiées est de 257 M€₂₀₁₂ en 2030 contre 266 M€₂₀₁₂ dans le scénario central. Le bilan des opérateurs ferroviaires s'en trouve donc dégradé. Il s'élève en 2030 à 2,6 M€₂₀₁₂ pour la mise en place des neuf nouveaux services contre 7,2 M€₂₀₁₂ dans le scénario central.

Le chiffre d'affaires des autoroutes ferroviaires varie de 237 M€₂₀₁₂ à 310 M€₂₀₁₂ en fonction du prix du pétrole retenu. Le bilan des opérateurs ferroviaires pour la mise en place des neuf nouveaux services est de 31,1 M€₂₀₁₂ en 2030 dans le scénario *Baril haut* contre -8,3 M€₂₀₁₂ dans le scénario *Baril bas* (seuls les prix sont adaptés au prix du pétrole, les niveaux de fréquences restent les mêmes que dans le scénario central). Les autres paramètres du bilan socio-économique de ces nouveaux services sont relativement constants car le niveau de fréquence considéré et donc les trafics poids lourds reportés sont les mêmes dans les scénarios *Baril haut* et *Baril bas*.

Conditions générales d'utilisation

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille — 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1er juillet 1992 — art. L.122-4 et L.122-5 et Code pénal art. 425).

Dépôt légal : Juin 2017
ISSN : 2552-2272



Très utilisées dans les années 1960, les autoroutes ferroviaires font l'objet d'un regain d'intérêt compte tenu de leur atout écologique. Elles permettent en effet de transporter des poids lourds par rail sur de longues distances ou à travers un obstacle naturel. Ce document vise à dresser un panorama de ce que pourrait être un réseau d'autoroutes ferroviaires en 2030 sur longue distance. Ces services seraient non accompagnés sur le modèle de celui proposé entre Perpignan et Bettembourg. Les trafics ont été modélisés en s'appuyant sur les seules données détaillées disponibles, qui concernent les services alpins fonctionnant en mode accompagné et sur de courtes distances.



L'étude porte sur un ensemble de quatorze lignes et évalue les niveaux de prix et de fréquences avec lesquels ces lignes pourraient être exploitées. En fonction des modalités opératoires considérées, le report modal généré par les nouvelles lignes est situé entre 110 et 352 millions de poids lourds-kilomètres par an, soit de l'ordre de 1,1 % à 3,6 % du trafic international poids lourds anticipé sur les routes françaises à cet horizon. Leur rentabilité économique est dépendante du prix du pétrole (93 €₂₀₁₂ par baril dans le scénario central) et des coûts de mise au gabarit des infrastructures existantes qui n'ont pu être évalués précisément.

Le potentiel de développement des autoroutes ferroviaires
Étude exploratoire



commissariat général au développement durable

Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

Sous-direction Mobilité et Aménagement (MA)

Tour Séquoia
92055 La Défense cedex
Courriel : MA.Seei.Cgdd@developpement-durable.gov.fr

www.ecologique-solidaire.gov.fr



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE