Université Lumière Lyon 2

Ecole Doctorale 486 Sciences Economiques et de Gestion

Faculté des Sciences Economiques et de Gestion

Laboratoire d'Economie des Transports

Economie politique des infrastructures ferroviaires

Par Florent LAROCHE

Thèse de doctorat de sciences économiques

Dirigée par **Yves CROZET**

Présentée et soutenue publiquement le **jeudi 4 décembre 2014**

Devant un jury composé de :

François MIRABEL, Professeur, Université de Montpellier 1	Rapporteur
Thierry VANELSLANDER, Professeur, Université d'Anvers (Belgique)	Rapporteur
Alain AYONG LE KAMA, Professeur, Université de Paris X	Examinateur
Jean-Claude RAOUL, Expert, Académie des Technologies	Examinateur
Panos TZIEROPOULOS, Docteur, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse)	Examinateur

Remerciements

Je suis heureux de finaliser aujourd'hui ces trois années de thèse. Le projet initial était ambitieux et sans l'aide et le soutien des personnes que je tiens à remercier ici, il n'aurait pu être mené dans les conditions qui ont été les miennes. Ce projet reposait sur une double volonté : développer une activité professionnelle stimulante auprès du politique tout en menant des activités d'enseignement et de recherche. Si le cadre de la bourse Cifre fut particulièrement bien adapté, la réussite de ce projet n'a été possible que grâce à la confiance qui m'a été donnée.

Je dois cette confiance à Jean-Claude Raoul, Jean-Pierre Audoux et Yves Crozet qui ont toujours porté mon travail, garanti l'objectivité de mes résultats de recherche et donné une véritable dimension politique, notamment dans le cadre de la Commission Mobilité 21 et de missions auprès du Sénateur Louis Nègre, président de la FIF.

Je dois également cette confiance à Laurent Guihéry et Stéphanie Souche qui m'ont ouvert, dès le début de ma thèse, la porte de l'enseignement à l'Université Lyon 2.

Cette confiance a été confortée par une véritable expérience humaine au quotidien. De ce point de vue, j'ai bénéficié d'une situation privilégiée que ce soit au LET ou la FIF.

A la FIF, j'ai découvert une équipe dynamique et compétente qui m'a tout de suite accueilli et accordé une place de choix. Je pense à Sandrine Cheminel, Cédric Giraud, Carole Luksa, Marie Martinez et Marie-Christine Prioux.

Au LET, où je suis passé du statut d'étudiant à celui de doctorant, j'ai toujours pu faire confiance à Martine Sefsaf, Morgane Deplanque et plus récemment à Sophia El Bahi et Nicole Pravaz.

Enfin, j'ai eu le plaisir de rencontrer de courageux compagnons de route. Les doctorants du LET ou futurs dont Pierre Basck, Cécile Chèze et Emmanuel Bougna. Les doctorants d'ailleurs auprès desquels j'ai très largement enrichi mon savoir ferroviaire et économique, David Hergott et Patricia Perennes. Et enfin, ceux de contrées plus lointaines dont le fameux « international office » à Anvers (Katrien De Langhe et Claudia Pani) et l'équipe du LITEP à Lausanne.

Mon ouverture européenne, dans le cadre du réseau Transpornet, a été possible grâce à Thierry Vanelslander (TPR, Université d'Anvers, Belgique) et Panos Tzieropoulos (LITEP, EPFL, Suisse) qui m'ont chacun accueilli très chaleureusement dans leur laboratoire et fait bénéficier de leur expertise.

Je tiens également à remercier Gérard Brun du CGDD pour l'importance qu'il accorde aux travaux des doctorants et son animation du réseau francophone de socio-économie des transports.

A Lyon, le 04 octobre 2014

Sommaire

Introduction **9**

Chapitre I – La congestion routière : un phénomène de club **15**

1.1. Aux origines du principe de congestion, les externalités **17**

1.1.1. Des externalités positives aux externalités négatives 17

1.1.2. Querelle des effets externes et principe de congestion 21

1.1.3. La congestion comme un effet de club 24

1.2. Caractérisation de la congestion, le modèle routier **27**

1.2.1. Les diagrammes fondamentaux 27

1.2.2. L'utilité de l'infrastructure et la valeur du temps 30

1.2.3. Mesurer la congestion routière 31

1.3. Evaluation de la congestion routière en France à l'horizon 2050 ..... **35**

1.3.1. Le choix de l'indicateur du « temps gêné » 35

1.3.2. Un horizon sans congestion sur les principaux axes routiers français 40

1.3.3. Va-t-on vers la fin du mode routier pour les longues distances ? 44

Conclusion du chapitre **47**

Chapitre II – Le principe de congestion est-il transférable au transport ferroviaire ? ... **49**

2.1. La capacité, un enjeu clef du processus de restructuration du système ferroviaire ... **51**

2.1.1. Remise en cause du monopole verticalement intégré et allocation des capacités 51

2.1.2. Le modèle européen, une approche normalisatrice 54

2.1.3. Cas pratique de la France, une interprétation en « méandre libre » du droit européen..... 61

2.2. Caractérisation du phénomène de congestion pour le club ferroviaire **69**

2.2.1. Existe-t-il des diagrammes fondamentaux applicables au ferroviaire ? 69

2.2.2. Principes de production de la capacité ferroviaire et procédure d'attribution 73

2.2.3. Une approche protéiforme du phénomène de congestion ferroviaire 77

2.3. Mesurer le taux d'utilisation d'une infrastructure ferroviaire, application au cas de la LGV Paris-Lyon **81**

2.3.1. Interprétation simplifiée de la capacité et de la saturation 82

2.3.2. Formalisation de la méthode 85

2.3.3. Hypothèses et résultats 87

Conclusion du chapitre **93**

Chapitre III – Le TGV, de l'enfance à la maturité ? 95
3.1. TGV, le temps des succès 97
3.1.1. L'expansion des trafics et de l'offre 97
3.1.2. Une adaptation progressive de la capacité et des méthodes de production 102
3.1.3. Quel avenir pour l'activité TGV ? Le scénario optimiste 107
3.2. « TGV, le temps des doutes » 111
3.2.1. Crise économique ou limites du modèle économique ? 111
3.2.2. Un nouveau venu dans le modèle économique du TGV, les péages 115
3.2.3. La Commission mobilité 21, vers une nouvelle ère ? 118
3.3. Repousser les limites ? 125
3.3.1. Quelles pistes d'adaptation pour accroître la capacité ? 125
3.3.2. Test des pistes d'adaptation (composantes) sur la capacité de la LGV Paris-Lyon 130
3.3.3. Discussion : test « d'optimisation générale » 135
Conclusion du chapitre 139

Chapitre IV – Quels enseignements retenir de la saturation ferroviaire ? 141
4.1. La saturation, un indicateur clef de performance du système ferroviaire 143
4.1.1. Le temps de la performance : une définition en cours de construction en Europe 144
4.1.2. Applications en Europe : l'avance de la Suisse 148
4.1.3. En France, des indicateurs qui restent à définir 152
4.2. Réguler pour inciter à l'amélioration des performances et innover 157
4.2.1. Réguler le monopole naturel pour la performance 158
4.2.2. Quelles conditions et quels outils pour une régulation incitative ? 161
4.2.3. Le cas particulier de la régulation ferroviaire : patience et apprentissage 165
4.3. Projet de désaturation, quelle lecture du calcul économique ? 173
4.3.1. Gain de temps et variation des prix dans le calcul économique 173
4.3.2. La vitesse à l'épreuve de son prix, le concept de vitesse généralisée 175
4.3.3. Valeur du temps et biais de perception : le cas du projet POCL 180
Conclusion du chapitre 187

Conclusion 189

Bibliographie 193

Index des figures 209

Index des tableaux 211

Liste des abréviations **213**

Table des matières **215**

Executive summary **221**

Introduction

« Le chemin de fer sera le mode du vingt-et-unième siècle… s'il survit au vingtième » Louis Armand

Que l'on se rassure, le système ferroviaire a survécu au XXème siècle. Le processus réformiste européen engagé depuis 1990 lui a permis d'entrer dans le XXIème siècle. La prophétie de Louis Armand pourrait même être en-deçà de la réalité si l'on en croit les résultats du consortium de recherche Enerdata-LET (Enerdata-LET, 2014). Leur exercice prospectiviste, mené dans le cadre d'un projet de recherche sur les politiques de transport à réaliser pour respecter l'objectif du facteur 4 à horizon 2050[1], a montré qu'une des conditions de réussite serait un basculement massif des trafics de la route vers le ferroviaire.

Trois scénarios ont été définis : Pégase-Phénix, Chronos-Pénélope et Hestia-Cassandre. Ils proposent chacun un schéma de mobilité possible pour atteindre le facteur 4. On relève que leur double nom est une conséquence directe de la crise de 2007 sur le métier de prospectiviste. Le premier témoigne de la réalité avant crise tandis que le second représente la situation de crise et la nécessité d'ajuster les principaux paramètres. L'évolution majeure a été de passer de scénarios tendanciels à des scénarios de rupture. Les principales variables retenues pour faire varier la demande en transport sont l'évolution du PIB sur les périodes 2010-2025 et 2025-2050, l'élasticité de la demande en vitesse par rapport au PIB, le budget temps de transport (BTT) et la localisation des activités.

Le scénario Pégase-Phénix privilégie la vitesse et la renaissance économique. Le PIB connaît une évolution sur le modèle des Trente Glorieuses avec une stagnation jusqu'en 2025 (0%/an) puis un rattrapage économique entre 2025 et 2050 (+3%/an). Ce scénario s'inscrit dans la continuité de nos habitudes de mobilité sans modifier le rapport vitesse/PIB, le BTT ou la logique de localisation des activités (déconcentration spatiale). Les efforts en matière de consommation énergétique sont donc portés sur les évolutions technologiques (voitures électriques, piles à hydrogène, etc.) et un report massif des trafics vers le ferroviaire. Ce report concerne essentiellement les voyageurs pour qui la sensibilité de la demande en vitesse par rapport au PIB est plus importante que les marchandises. Un tel scénario donne une évolution globale de la demande en transport de +74% pour le fret et +119% pour les voyageurs entre 2010 et 2050. Le ferroviaire progresse de +147% pour le fret mais sa part modale s'accroît faiblement à 14% du marché. Cette contre-performance s'explique notamment par une progression des flux routiers +67% avantagés par de nouvelles motorisations et peu de contraintes sur la route. A l'inverse, le ferroviaire croît pour les voyageurs aux dépens de la route. Sa progression est de +548% tandis que le trafic routier recule de -15% sur les trajets interurbains en dépit des avancées technologiques. La limitation de la vitesse sur route est la principale explication à ce report (maintien de la corrélation vitesse/PIB).

[1] Engagement pris par la France de réduire par 4 ses émissions de CO2 entre 1990 et 2050 (loi n°2005-781 fixant les orientations de la politique énergétique).

Les deux autres scénarios se distinguent de Pégase-Phénix dans la mesure où ils remettent en cause nos habitudes de mobilité. Tous deux font en particulier l'hypothèse d'un découplage entre croissance du PIB et demande en vitesse (élasticité de 0). Le scénario Chronos-Pénélope contrevient à la loi de Zahavi (Crozet & Joly, 2004) en allongeant le BTT de 20% et en augmentant le coût généralisé de la route (limitation des vitesses et augmentation des taxes). Avec une croissance de 1% par an sur l'ensemble de la période (croissance à la « japonaise »), la demande de transport augmente de +36% mais se montre très favorable au transport ferroviaire qui croît de manière quasi exponentielle. Le transport de fret augmente de +780% et porte la part modale à 62% alors que le routier chute de -45%. La même tendance s'observe pour les voyageurs (+461% pour le ferroviaire et -20% pour le routier). Enfin, le scénario Hestia-Cassandre est peut-être le plus mesuré mais aussi le plus pessimiste. Les habitudes de mobilité évoluent vers une relocalisation des activités (proximité) tandis que le niveau de vie ne progresse que très faiblement entre 2010 et 2050 sur le modèle anglais avec une longue période de récession entre 2010 et 2025 (-0,5%/an) et une faible croissance entre 2025 et 2050 (+1,5%). Le niveau de vie ne serait supérieur que de 35% en 2050 par rapport à 2010. L'impact sur les transports est une croissance modérée des flux (+16% pour le fret et +35% pour les voyageurs). Mais là encore, le ferroviaire apparaît comme une solution d'avenir face aux contraintes pesant sur la route. Il progresse de +383% pour le fret et +282% pour les voyageurs alors même que le routier perd respectivement -25% et -6% en trafics.

Ainsi, quels que soient les scénarios, le transport ferroviaire apparaît comme une solution d'avenir pour les flux interurbains. Néanmoins, elle reste très hypothétique au regard des performances actuelles du système ferroviaire français. Peu de choses semblent en effet augurer d'un report massif de la route vers le rail tant du point de vue du fret que des voyageurs.

Depuis 2007, la crise économique a contribué à compliquer l'analyse des tendances notamment en raison de la grande variabilité du PIB et de l'incertitude pesant sur son évolution. Pour autant, quelques points saillants peuvent être observés pour le ferroviaire.

Côté fret, les comptes des transports (CGDD, 2014) montrent que le volume transporté s'est réduit de -45% entre 2000 et 2013 tandis que le PIB a crû de +42% (à prix courants) sur la même période. Cette tendance a été observée pour l'ensemble du secteur sous l'effet de la crise (-7%) mais semble avoir moins impacté le transport routier qui a progressé de +4%. La part modale du ferroviaire est passée de 16% en 2000 à 9% en 2013, témoignant du regain de la route. L'argument de la désindustrialisation est souvent utilisé pour expliquer ce recul (Baron & Messulam, 2013), mais l'analyse des données montre que la production industrielle a crû en France de +0,7% entre 2000 et 2006 (hors crise économique) tandis que le fret ferroviaire s'est contracté de -30% (Laroche, 2013). Pour autant, la situation semble s'être inversée depuis 2006 avec deux années de croissance en 2007 (+3%) et 2011 (+14%) ce qui n'était pas arrivé depuis 2000. Ces résultats peuvent être interprétés comme un effet de rattrapage dans une situation de crise, mais la croissance continue des nouveaux entrants depuis la libéralisation du marché en 2006 peut laisser croire à une nouvelle voie dans le fret ferroviaire. Ils représentent en effet 30% des parts de marché en 2011 (UIC, 2013). Pour finir, si on se réfère à la temporalité des scénarios de prospective Enerdata-LET (base 2010), on observe sur la période 2010 –

2013 une progression de +7% du fret ferroviaire alors même que le transport routier s'est contracté de -4% tout comme le secteur des transports (-5%). On est encore loin des conditions d'un véritable report mais ces résultats montrent au moins que le ferroviaire peut rester compétitif sur certains segments de marché.

Côté voyageurs, l'évolution des trafics semble plus favorable au transport ferroviaire. D'après les Comptes des Transports (CGDD, 2014), la croissance a été de +26,7% pour le ferroviaire sur la période 2000 – 2013 contre +8,6% pour les trafics routiers et +10,8% pour l'ensemble. Le grand perdant a été le transport aérien au niveau national avec -4,4% de trafics. L'essentiel des gains ferroviaires sont à attribuer au TER (+ 55%)[2] et à la grande vitesse (+56%) tandis que les services interurbains de type Corail se sont contractés de -15,7%. Pour autant, cet accroissement des trafics s'est réalisé au prix de deux ressources rares. La première ressource est financière. L'analyse des bilans d'activité de la SNCF montre une érosion continue depuis 2007 des marges opérationnelles de l'activité TGV témoignant d'une difficulté croissante à réaliser des profits sur une activité qui était jusque-là très rentable et utile à l'équilibre des autres activités. Le taux de marge est passé de 18% en 2007 à 11,4% en 2013. Or, Azéma (DG délégué Stratégie et finances à la SNCF) notait en 2010 qu'en deçà d'une marge de 19%, l'activité TGV n'était plus en mesure d'assurer son renouvellement[3]. D'autres études portant sur le transport régional ont montré que le coût du TER a crû en moyenne de +18% en France entre 2008 et 2011 alors même que l'offre s'est contractée de -2% en trains.km (Beauvais consultants, 2011). En Allemagne, le coût et l'offre ont progressé du même ordre de grandeur, +2% (Guihéry, 2011) tandis que le coût s'est réduit de -5% en Suisse pour une offre qui a crû de +6% (Desmaris, 2014). La seconde ressource est capacitaire. Le débat sur le projet de LGV Paris – Orléans – Clermont-Ferrand – Lyon (POCL) a mis en évidence un risque de saturation pour la LGV Paris-Lyon. Première ligne à avoir été mise en service en 1981, elle est le symbole du succès de la grande vitesse en France. Mais victime de son succès, elle pourrait être saturée dès 2020 selon la SNCF et RFF. Dans ce cadre, un observatoire de la saturation a été mis en place suite aux recommandations de la Commission mobilité 21 (Mobilité 21, 2013). L'option du doublement de l'infrastructure représente un coût estimé de 14mds d'euros et soulève de nombreuses interrogations sur son utilité.

Ce rapide panorama interroge sur les possibilités d'adéquation entre la demande et l'offre. Les scénarios comme l'évolution du marché ne semblent pas incriminer un problème de demande que ce soit pour le fret ou les voyageurs. Le développement exponentiel du système de covoiturage sur des axes clefs de la grande vitesse ferroviaire comme le Paris-Lyon incite plutôt à se tourner vers l'offre. On peut voir le covoiturage comme une nouvelle pratique de mobilité, plus conviviale, mais il marque surtout un regain en compétitivité de la voiture face au train ou encore, une perte de compétitivité du train face à la voiture.

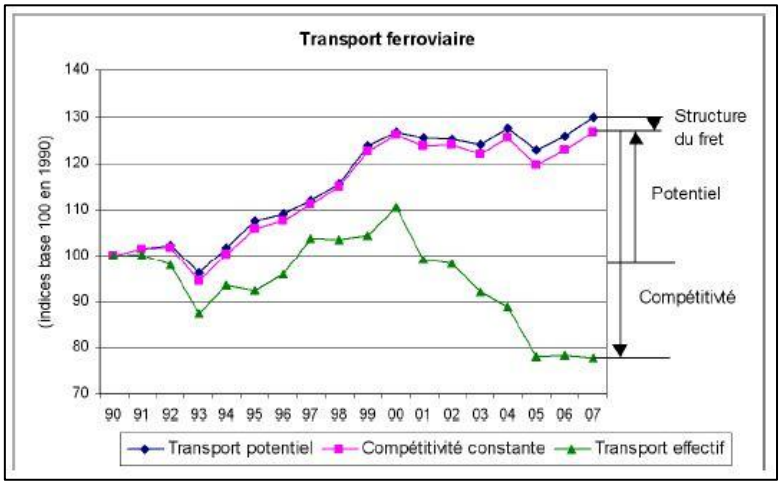
Néanmoins, le débat existe parmi les économistes des transports entre ceux qui identifient les causes du mal-être ferroviaire à un problème de demande (Baron & Messulam, 2013) et ceux qui y voient un défaut d'offre (Crozet & Raoul, 2011).

2 Entre 2002 et 2012 (ARF, 2014)

3 On est bien sûr en droit de s'interroger sur cette marge de 19% pour un Etablissement public. 19% pour faire quoi ? Subventionner par péréquation les activités déficitaires ?

Crozet & Raoul (2011) montrent que les gains de productivité du système ferroviaire (volume total de production/effectifs) ont été de +18,3% entre 1996 et 2008 en France alors même qu'ils ont été de +61,2% en Allemagne et +75,8% en Suisse. Dans le même ordre d'idée, Bernadet & Sinsou (2010) ont mis en évidence pour le fret ferroviaire un écart important entre le volume de transport potentiel, à compétitivité constante, et ses résultats effectifs.

Figure 1 : Evolution, en indices, entre 1990 et 2007, des tonnes-kilomètres transportées France par le mode ferroviaire



Source : Bernadet & Sinsou, 2010

Les rapports Rivier & Putallaz (2005) et Putallaz & Tzieropoulos (2012) attribuent en partie ce défaut de compétitivité à une obsolescence prévisible de nombreuses infrastructures sans investissements rapides.

> *« Il est impératif de stopper le vieillissement de la voie de axes structurants et de procéder au rattrapage de leur substance, condition nécessaire à l'amélioration de la productivité de l'entretien et le maintien des performances commerciales du réseau » (Putallaz & Tzieropoulos, 2012, p5)*

Les incidences de ce vieillissement ont été mises en évidence lors de la seconde conférence périodique pour le fret (12 février 2014). Les entreprises de fret ont pointé de nombreuses pertes en efficacité du réseau notamment en raison des travaux de rénovation (1000km de voies de renouvellement), de la dégradation continue des infrastructures (3000km de ralentissement) et d'un manque d'innovation. L'incertitude liée à la variabilité des plages travaux et les multiples ralentissements ne font que dégrader les conditions de circulation, la régularité des trains et les coûts d'exploitation. Ce phénomène a bien été mis en évidence dans le fret ferroviaire mais s'applique de manière toute aussi certaine aux voyageurs (Crozet, Herrgott, Laroche, & Perennes, 2014).

L'étude de la concordance entre augmentation de la demande et offre ferroviaire nous a mené à poser la question de la performance dans le système ferroviaire. Elle sous-entend d'être en premier lieu capable de définir la capacité d'une infrastructure ferroviaire. En second lieu, la mise en évidence de limites conduit à interroger le phénomène de saturation ou congestion. Enfin, interroger la notion de

saturation mène inévitablement à mettre en perspective la relativité des limites et à poser la question de leur dépassement.

L'objectif de cette recherche est d'appliquer cette problématique au système ferroviaire en tenant compte de ses spécificités. On tient compte de sa constitution en tant qu'industrie de réseau et de monopole naturel dans le cas de l'infrastructure (gestionnaire d'infrastructure). Sans prétendre trancher le débat sur le mode de gouvernance, on considère que cette particularité peut influencer le comportement des acteurs et indirectement la performance du système. On considère également l'évolution législative du système au niveau européen. On ne peut aborder la question de la performance sans resituer le secteur dans son contexte juridique. Enfin, l'essentiel de l'analyse repose sur l'étude de la saturation de la LGV Paris-Lyon. On considère cette LGV représentative de la performance souhaitée pour le réseau ferroviaire français. Elle concentre à la fois les défis techniques et économiques de la capacité qui constituent le cœur de notre réflexion sur la performance, ses conditions et les marges de progression du réseau français.

Le Chapitre I rappelle les fondements économiques et techniques du phénomène de congestion. Il montre notamment que sa définition repose sur l'observation du phénomène dans le domaine routier et ouvre la question à son application dans le domaine ferroviaire.

Le Chapitre II questionne l'application du concept de congestion au transport ferroviaire. L'analyse du processus de production de la capacité remet en cause la pertinence de ce concept dans le cas ferroviaire. La nature planifiée du système porte à parler de performance plutôt que de congestion.

Le Chapitre III interroge le principe de performance à travers une analyse de l'activité TGV et l'évaluation socio-économique des options de désaturation dans le cas de la LGV Paris-Lyon. Ce chapitre a notamment pour objectif de montrer que des rendements croissants sont possibles à condition de modifier le modèle économique du TGV et d'y introduire des innovations techniques.

Le Chapitre IV propose de tirer quelques enseignements de cette analyse. Le premier porte sur la définition des indicateurs de performance pour un réseau. Le second s'intéresse au suivi de ces indicateurs et à la mise en place de systèmes incitatifs par le biais du régulateur économique pour l'investissement et l'innovation. Enfin, le troisième propose un focus sur les principes d'évaluation des investissements (calcul économique) et s'intéresse à leur application dans le cas d'un investissement capacitaire.

Chapitre I – La congestion routière : un phénomène de club

L'infrastructure est rarement illimitée dans sa capacité. Ce constat simple pose la double question de sa disponibilité en cas d'augmentation de la demande et de sa répartition entre les acteurs. Cet aspect a été très largement traité par les économistes dans le cas de sa répartition et les ingénieurs pour sa création. Dans le cadre d'un système en réseau, un phénomène particulier lie ces deux approches : la congestion. Elle résulte d'une tension fondamentale entre offre et demande et interroge à la fois la production de capacité et son allocation.

Dans ce chapitre, on propose une introspection aux origines du concept de congestion. Développé par Pigou à partir de l'étude des externalités par Marshall, il sera intéressant de constater que la définition économique du phénomène de congestion a essentiellement été définie à travers la littérature routière.

Dans un second temps, le focus sera porté sur la relation fondamentale entre densité de trafic et vitesse. Le comportement de ces deux variables permet notamment de vérifier la cohérence et l'intrication profonde entre la théorie économique et la réalité physique des flux.

Enfin, la dernière section sera consacrée à une application du calcul de la congestion routière au cas du réseau français à partir des données Enerdata-LET (2014) présentées en introduction. Cet exercice permet une application pratique de l'analyse de la congestion routière et de proposer une discussion sur le devenir des infrastructures routières en France.

1.1. Aux origines du principe de congestion, les externalités

Si les effets de la congestion sont perçus de longue date, sa conceptualisation économique est récente. Développée à partir des travaux de Marshall (« *Principles of Economics* ») sur les externalités, elle a été définie par Pigou (1920) selon le principe des effets externes négatifs.

Cette première section propose un retour sur ce socle constitutif de l'économie et de l'ingénierie des transports dans le domaine routier. On verra que si cet objet d'étude a concentré l'essentiel de l'attention au cours du XXème siècle, notamment en raison de la manifestation très concrète de ces problèmes dans les sociétés modernes, il a pu favoriser la création de biais de perception dans l'analyse de la congestion pour des modes autres que le routier. L'un des principaux biais réside dans l'idée que le phénomène de congestion tel que décrit pour le mode routier est transposable à d'autres activités. On rappelle que sa manifestation dépend fortement des caractéristiques de l'activité étudiée (« effet de club »).

1.1.1. Des externalités positives aux externalités négatives

1.1.1.1. Marshall et le principe d'externalité positive

Il est couramment admis d'attribuer la paternité du concept d'effet externe aux travaux de Marshall (Marlot, 2002). Sa réflexion repose sur la volonté d'expliquer le double phénomène observé tout au long du XIXème siècle dans les sociétés européennes à savoir une augmentation exceptionnelle de la croissance économique et une réduction progressive des coûts de production. En guise d'explication, il s'interroge sur l'existence d'un cercle vertueux où le produit global s'accroît plus vite que la population et produit des effets bénéfiques à l'ensemble de la société. Selon lui, cette dynamique peut s'expliquer par l'existence d'économies d'échelle externes aux firmes qui s'opposeraient aux économies d'échelle internes et seraient sources de productivité. Ces économies pourraient être liées au progrès technique, au capital ou encore à la localisation (proximité).

Selon ce constat, les économies internes dépendent d'un ensemble de leviers de productivité propres aux entreprises tels que leur taille, leur gestion, la spécialisation de la main-d'œuvre, etc. Marshall précise néanmoins que l'expansion de ces entreprises est limitée dans le temps en raison de l'accroissement de leurs inerties (effet de taille) et d'une perte de souplesse.

Par opposition, Marshall développe le principe d'économies externes. Il considère qu'elles sont une condition essentielle à la création d'un environnement favorable au développement des entreprises. On note que sa volonté de décrire la dynamique vertueuse de la croissance l'a mené à n'envisager que l'aspect positif des externalités

Marshall explique à partir de ce concept à la fois le phénomène d'accumulation de richesses au XIXème siècle et celui de réduction des coûts de production. Arild & Bromley (1997) ont notamment montré qu'il existe une corrélation forte entre la dynamique du marché et les externalités produites. Ils

notent par ailleurs que ce facteur a peu été pris en compte dans la suite des travaux menés sur les externalités par Pigou et Coase.

Marshall construit sa théorie autour du monde industriel. Il s'est intéressé d'une part à l'impact de la localisation géographique des entreprises mais aussi à l'effet de leurs relations sur leur développement. Il note que la proximité géographique des entreprises tend à favoriser leur développement et l'enrichissement de leur environnement avec un attrait plus grand de la main-d'œuvre, des formations et la création de nombreux services annexes.

Par ailleurs, Marshall montre qu'au-delà de la proximité géographique, la nature des relations entre les différentes entreprises (communication, partage des connaissances, etc.) peuvent également être porteuses d'externalités positives et se traduire par une plus grande efficience des méthodes de production.

Ce principe est à rapprocher du progrès technique utilisé comme facteur exogène pour expliquer la croissance dans le modèle néoclassique en opposition aux facteurs internes que sont le travail et le capital (Solow, 1956). On le retrouve également dans la théorie des clusters ou plus près de nous dans les pôles de compétitivité en France.

1.1.1.2. Pigou et les externalités négatives

Pigou construit son raisonnement à partir du concept d'externalité de Marshall. Il s'interroge sur le produit des externalités dans le cadre de l'économie du bien-être abandonnant l'objectif de Marshall qui consistait à expliquer la croissance. Il oriente son sujet de recherche vers le problème de maximisation du « bien-être social global » selon l'optimum de Pareto. Cette approche, fondée sur la question de l'allocation optimale des ressources, conduit Pigou à proposer une nouvelle interprétation des externalités et à mettre au jour leurs effets potentiellement négatifs. Il distingue notamment le bien-être social du bien-être privé (Marlot, 2002).

Pigou montre que l'allocation optimale des ressources repose sur le produit marginal net social de chacune des ressources. L'allocation optimale est donc atteinte lorsque les produits marginaux sociaux nets de l'ensemble des ressources sont égaux selon la règle d'optimum de Pareto.

Par produit marginal social, Pigou entend :

> *« Le produit net total de biens matériels ou de services objectifs généré par un accroissement marginal des ressources qui leur sont consacrées, sans considération de celui à qui échoit cette part du produit » (Pigou, 1962, in Marlot, 2002, p134)*

Il oppose ce produit social au produit marginal net privé :

> *« part du produit net total de biens matériels ou de services objectifs, généré par un accroissement marginal des ressources qui leurs sont consacrées, qui échoit en première instance – i.e. avant la vente – à la personne ayant investi les ressources en question. Dans certaines conditions il est égal au produit marginal net social, dans d'autres il lui est supérieur, dans d'autres encore il lui est inférieur ». (Pigou, 1962, in Marlot, 2002, p135)*

Il y a donc deux conditions clefs d'atteinte de l'optimum social chez Pigou. D'une part, l'optimum correspond à l'égalité des produits marginaux nets sociaux et d'autre part, les produits marginaux nets privés doivent être équivalents aux produits marginaux nets sociaux. Ces deux aspects ont profondément orienté la réflexion sur les externalités.

L'égalisation des produits marginaux nets sociaux repose sur la substituabilité parfaite de ressources d'une activité à une autre. A contrario, tout ce qui rend cette substituabilité imparfaite peut remettre en cause le principe général d'optimum et mener à un optimum de second degré.

Ayant pour volonté de se placer dans le cadre de l'économie réelle, Pigou identifie des « coûts de mobilité » qui ne sont pas sans rappeler ce qui sera ensuite appelé « coût de transaction » chez Coase (Marlot, 2002).

Ces coûts de mobilité sont identifiés comme des obstacles à la parfaite substituabilité des ressources. Ils résultent d'une asymétrie d'information, de l'imparfaite divisibilité des ressources, etc.

Pigou montre qu'il est nécessaire de réaliser les transferts tant que le coût de déplacement d'une ressource d'une utilisation à une autre est inférieur à son produit marginal net social. Ainsi, l'optimum de Pareto ne peut être atteint que dans le cas où les coûts de transfert sont réduits à 0 ce qui est très improbable dans le monde réel (coût de formation, coût du déplacement, coût d'adaptation de l'outil productif, coût de retraitement, etc.).

Le problème de l'adéquation entre produit marginal social et produit marginal privé constitue pour Pigou l'origine de l'externalité et un moyen de quantification. Cette externalité peut être par déduction soit positive dans le cas où le produit social dépasse le produit privé ou négative dans la situation inverse. Pigou se distingue ici de Marshall en envisageant dans son modèle la possibilité de « déséconomies » externes.

> *« Une personne A, alors qu'elle est en train de rendre un certain service, contre payement, à une seconde personne B, affecte incidemment, en bien ou en mal, d'autres personnes (non productrices de services similaires), et cela se produit de telle manière qu'on ne peut pas exiger un payement aux bénéficiaires ou verser un dédommagement aux personnes lésées ».*
>
> *(Pigou, 1962, in Marlot, 2002, p183)*

1.1.1.3. Le principe d'une taxation incitative

Pour Pigou, l'adéquation peut être garantie par une intervention de l'Etat sous la forme d'une taxation dans le cas de rendements décroissants ou d'une subvention dans le cas de rendements croissants. La taxe se justifie en situation de rendements décroissants au sens où le produit marginal privé dépasse le produit marginal social (hausse des coûts pour les agents hors de l'industrie). A l'inverse, la subvention se justifie en situation de rendements croissants, le produit marginal social dépassant le produit marginal privé (gain pour la collectivité). Enfin, l'intervention de l'Etat est justifiée par le fait qu'il ne peut exister de contrepartie marchande à ces externalités en raison de leur caractère général.

Elles concernent « l'environnement général de l'industrie » et Pigou considère qu'il ne peut y avoir d'ajustement spontané.

Pour autant, il ne recommande par une intervention dirigiste de l'Etat mais plutôt incitative. L'objectif est d'orienter l'expression des intérêts privés vers les usages les plus rémunérateurs pour la société. L'Etat se fonde pour cela sur la réglementation et la recherche d'outils pour réduire au maximum les coûts de mobilité et rapprocher le produit marginal social du produit marginal privé. Par ailleurs, cette approche ne remet pas en cause le principe de marché qui reste pour Pigou le moyen privilégié d'engendrer une allocation optimale des ressources.

L'outil privilégié par Pigou repose sur la taxation. C'est peut-être cet élément qui lui a valu la plupart des critiques (Marlot, 2002). Il part du constat que toute influence positive ou négative sur une activité qui ne donne pas lieu à compensation financière entraine une divergence des produits ce qui entraine une mauvaise allocation des ressources. Il considère alors que la mise en place d'un système de taxation et de subvention permet d'inciter à une meilleure utilisation des ressources sans remettre en cause le principe du marché.

> *« Il est néanmoins possible pour l'Etat, s'il décide de le faire, de réduire la divergence (entre produits marginaux social et privé) dans quelque domaine que ce soit par des « encouragements exceptionnels » ou par des « restrictions exceptionnelles » à l'investissement (…). La plus évidente des formes que peuvent adopter ces encouragements et ces restrictions est bien sûr celle de subventions et de taxes » (Pigou, 1962, in Marlot, 2002, p192).*

Pigou perçoit l'Etat régulateur comme temporaire. En effet, l'Etat n'est pas voué à intervenir durablement sur un marché. Il intervient lorsque la résolution d'un conflit ne peut plus être uniquement supportée de manière contractuelle, notamment parce que le nombre d'agents concernés est trop important. L'outil privilégié par Pigou repose sur le principe d'une taxe ou d'une subvention, meilleur moyen d'inciter les agents à considérer en termes de coûts la différence entre leur produit marginal privé et le produit marginal social. Néanmoins, en cas d'insuffisance de ces outils, l'Etat peut emprunter la voie de l'action judiciaire, établir des droits de propriété via des brevets voire aller jusqu'à la prise de contrôle de la ressource en cas de divergence grave entre le produit marginal privé et social (industries clefs de type militaire, etc.). Tout dépend de la définition par l'Etat des deux produits et notamment du produit marginal social. Par ailleurs, Pigou recommande l'évaluation du coût des mesures au préalable de chaque action que ce soit pour réduire les coûts de mobilité ou l'écart entre produit marginal social et privé.

Pour conclure, Marlot (2002) précise deux clefs de lecture pour comprendre la pensée de Pigou. D'une part, Pigou utilise très peu le mot d'externalité et le réserve exclusivement à la définition Marshallienne. D'autre part, si Marshall n'a utilisé que des exemples de rendements croissants pour illustrer son concept, Pigou tend à se focaliser sur les déséconomies dans les exemples cités dont les plus célèbres sont les effets des escarbilles des locomotives sur les exploitations forestières (incendies) et le rejet des fumées d'usine.

1.1.2. Querelle des effets externes et principe de congestion

L'approche interventionniste de Pigou a été fortement contestée, donnant lieu à la « querelle des effets externes » (Jessua, 1968). La querelle est née d'une critique des travaux de Pigou par Young (Marlot, 2002). Elle a notamment eu pour conséquence de mener Pigou à rédiger « *The Economics of Welfare* » et à approfondir sa démonstration sur les externalités négatives à travers l'exemple de la congestion routière.

1.1.2.1 L'interventionnisme contesté de l'Etat

Young remet en cause le principe d'une taxation des industries à rendement décroissant (Marlot, 2002). Pour lui, l'augmentation du coût de production et donc du prix de vente au client constitue un signal suffisant pour appréhender la rareté de la ressource. En revanche, il ne remet pas en cause le principe de subventions aux industries à rendements croissants qui doivent être encouragées dans l'augmentation de leur production dans la mesure où celle-ci entraine une économie de la ressource. Par conséquent, il considère que l'intervention de l'Etat n'est pas nécessaire dans le cas des industries à rendements décroissant dans la mesure où la hausse des coûts de production ne fait que confirmer le bon fonctionnement du mécanisme du prix et encourage l'entreprise à réaliser une plus grande économie de ressource pour maintenir sa rentabilité et sa compétitivité.

Ainsi, dans le cas d'une industrie en situation de monopole et à rendements croissants tout l'enjeu consisterait à veiller à ce que la production augmente plus vite que la consommation des ressources. Cet aspect sera en particulier développé dans le cas du secteur ferroviaire.

1.1.2.2. La réponse de Pigou : première description du phénomène de congestion

Attaqué sur la nécessité de taxer les industries à rendement décroissant, Pigou utilise un exemple atypique pour prouver que des investissements excessifs dans des industries à rendements décroissants peuvent avoir des effets négatifs sur les autres activités, entrainant l'intervention de l'Etat.

Si la démonstration peut être critiquée pour sa simplicité, elle a néanmoins initié une vaste réflexion autour du phénomène de congestion et de sa régulation.

L'exemple repose sur l'existence de deux itinéraires routiers en concurrence pour relier un point A à un point B avec une entrée et une sortie. La première route est suffisamment large pour accueillir une demande infinie sans contrainte de capacité mais en contrepartie son revêtement est de mauvaise qualité. La seconde offre une meilleure qualité de revêtement mais se trouve plus étroite entrainant ainsi une contrainte forte de capacité. Pigou note que la route 2 procure *a priori* une meilleure vitesse que la route 1 ce qui permet des gains de temps non négligeables. Par conséquent, si un trafic de camions se répartit de manière libre entre les deux points, la route 2 devrait être logiquement préférée à la route 1 pour ses gains de temps (réduction du coût de production).

Pigou considère ici l'activité transport comme une industrie et remarque que tant que les temps de parcours ne seront pas identiques d'une route à l'autre, les entreprises seront incitées à investir sur la route la plus rapide (plus grand produit marginal privé). Partant de ce principe, il identifie une relation négative sur la voie rapide entre densité de trafic et temps de parcours. Plus le nombre de camions augmente, plus la vitesse se dégrade et plus le temps de parcours s'allonge augmentant ainsi le coût de production (industrie à rendements décroissants). Cette relation a depuis été largement décrite par l'ingénierie du trafic dans le domaine routier. Pour Pigou, il y a là une divergence entre le produit marginal social qui décroît plus vite que le produit marginal privé. A l'inverse, il n'y a pas de divergence observée sur la route lente puisqu'une unité de production ajoutée n'entraine pas de variation dans la relation entre investissement et production pour les autres camions. Il n'y a donc pas divergence entre le produit marginal social et le privé.

Pour Pigou, cette démonstration mène naturellement à une intervention de l'Etat pour inciter une partie du trafic de la route rapide à se reporter vers la voie lente. Ce report permet une réduction des coûts pour les camions continuant d'emprunter la route rapide sans diminuer le produit marginal privé pour les camions transférés puisque leur addition à la route lente n'entraine pas une augmentation du coût social (pas de contrainte). Par conséquent, la taxation d'une industrie à rendements décroissants est nécessaire, selon Pigou, pour assurer une allocation optimale des ressources. Dans le cas présent, une taxe prélevée par camion sur la voie rapide devrait permettre au transporteur de prendre en compte la congestion dans sa structure de coûts et modifier sa relation entre investissement et production. Ainsi, il aura intérêt à investir sur la route lente à partir du moment où son coût marginal privé, additionné à la taxe, atteindra le coût marginal de la route lente. La taxe permet ainsi d'optimiser le rendement des investissements sur chacune des routes.

Ce raisonnement a pour objectif de valider la nécessité d'une intervention de l'Etat pour réguler l'industrie. Pigou montre notamment que les rendements décroissants peuvent s'exprimer au niveau de la collectivité et donc ne pas être pris en compte par le marché.

1.1.2.3. Approfondissement de l'analyse du phénomène de congestion

L'exemple de Pigou a été le point de départ d'une définition économique de la congestion fondée sur le principe d'externalité. Le débat a été nourri et on relate ici les éléments clefs.

Pour Pigou, la congestion est un « coût commun » que les usagers subissent collectivement à niveau égal au sens où le coût marginal social est croissant (plus il y a de camions et plus il y a perte de temps). Selon ce principe, il est alors possible de parler d'externalité positive pour une industrie à rendements croissants dans la mesure où elle procure des « coûts communs décroissants ». A l'inverse, les externalités négatives sont plus caractéristiques des industries à rendements décroissants dans la mesure où elles produisent des coûts communs croissants.

Marlot (2002) relève que cette approche comporte une confusion importante entre firme et industrie. Dans une situation de rendements décroissants, les « coûts sociaux » ou « communs » n'apparaissent qu'au niveau de l'industrie. Dans le cas de la firme, la rationalité économique devrait limiter sa production à l'intersection entre le coût marginal et le coût moyen. A l'inverse, dans une situation de

rendements croissants, les externalités qui apparaîtraient au niveau de l'industrie devraient avoir des effets positifs selon la définition de Marshall. Côté firme, les externalités n'existent pas *a priori* car les coûts sont communs aux usagers.

Ainsi, Marlot (2002) montre que l'exemple de Pigou a été mal choisi pour illustrer la nécessité d'une intervention de l'Etat. Dans sa démonstration, la congestion est de toute évidence un coût commun dans la mesure où la route est considérée comme une « ressource naturelle » à disposition d'une infinité de firmes incapables de prendre en compte le coût commun. Pour autant, il n'y a pas d'externalités à proprement parlé, le responsable étant lui-même victime. Il s'agit donc d'un effet externe aux firmes mais interne à l'industrie. Marlot (2002) remarque que le rejet de fumée d'une usine aurait pu mieux caractériser le principe d'externalité.

Knight (1924) a repris cet exemple et approfondi le concept de congestion. Ce phénomène s'expliquerait simplement par les conditions d'une industrie à rendements décroissants. Une industrie vend à ses clients le droit d'utiliser une ressource qui, sous contrainte de capacité, s'avère être rare. La valeur des droits d'usage de la ressource serait soumise à une courbe concave. Elle augmente jusqu'à un certain point à partir duquel la valeur du bien se réduit en raison de la gêne mutuelle. En ce cas, l'intervention d'un régulateur n'est pas nécessaire dans la mesure où la maximisation du produit marginal privé de l'industrie correspond à la maximisation du produit social.

Dans sa critique de Pigou, Knight montre que les routes, par leur structure productive, peuvent inciter différemment à l'appropriation privée. Il ne les considère plus alors comme Pigou (ressource naturelle comme l'air, etc.) mais comme des terres dont certaines sont plus fertiles que d'autres et ont donc plus de valeur. La vitesse ici permet d'évaluer cette valeur. Par conséquent, la route lente aura moins de valeur que la route rapide. En cas d'appropriation privée, la route lente ne devrait pas trouver preneur en raison de ses rendements constants et la route rapide devrait trouver preneur en offrant une rente fondée sur un péage similaire à la taxe imaginée par Pigou pour obtenir l'équilibre entre la route lente et la route rapide. Le prix ne peut donc excéder la différence entre le produit marginal d'un investissement usant la route rapide et celui usant la route lente.

L'utilisation de l'exemple des parcelles agricoles par Knight montre bien que le fond du débat ne portait pas sur le phénomène de congestion en soi mais plutôt sur l'analyse et la mesure des effets produits par les industries sur le reste de la collectivité.

1.1.3. La congestion comme un effet de club

Cette dernière section rappelle deux points essentiels de l'analyse contemporaine de la congestion. D'une part, elle s'apparente à une dégradation de la qualité de service (Arnott & Kraus, 2008). D'autre part, sa caractérisation dépend de l'activité pour laquelle elle est étudiée (Rothengatter, 1994).

1.1.3.1. Approche contemporaine du phénomène de congestion

Arnott et Kraus (2008) proposent une définition générale du phénomène de congestion :

> *« Phénomène par lequel la qualité de service fournie par une structure congestible se dégrade à mesure que son usage s'accroît, lorsque la capacité est maintenue constante »*
>
> *(In « The New Palgrave Dictionary of Economics », 2008, article « Congestion », p1).*

Pour Arnott et Kraus (2008), la congestion repose sur le principe d'une structure dont un ou plusieurs éléments clefs, i, peuvent être potentiellement congestionnés. Dans le cas d'un hôpital, les éléments congestibles sont les lits, les parkings, etc. Ces éléments peuvent être définis par deux types de capacité. La capacité de débit qui considère le débit maximum d'usagers par unité de temps, k_i, et la capacité de stockage, K_i, qui considère le nombre maximum d'usagers en un point dans un temps et un lieu donnés. Ces deux aspects de la capacité permettent de définir le niveau d'utilisation de l'élément congestible selon le débit effectif sur un temps donné, n_i, et le nombre d'usagers à un point donné, N_i. L'interaction entre les deux dimensions (capacité et demande) permet de mesurer le niveau d'utilisation et de définir un niveau de qualité de service associé, s. La relation obtenue est la suivante :

$S = S(k, K, n, N)$.

A priori, la qualité de service définit directement le niveau de congestion. Cette congestion apparaît lorsqu'il existe au moins une relation décroissante entre une dimension de la qualité de service et un élément de congestion sous l'effet d'une augmentation de la demande. Cette relation signifie que pour une unité produite supplémentaire, la qualité de service se dégrade d'autant. Cette formalisation s'applique particulièrement bien à l'exemple de Pigou et au domaine routier où l'introduction d'un véhicule supplémentaire tend à réduire la vitesse moyenne. Arnott et Kraus précisent néanmoins que cette formalisation traduit une approche statique de la congestion. Pour considérer une approche dynamique, il serait nécessaire d'ajouter des indices de temps à chacun des paramètres se rapportant aux stocks ou flux.

1.1.3.2. Un phénomène multiforme

Arnott et Kraux notent que deux types d'approches dans la congestion coexistent sur la base de cette formalisation. Une approche de la capacité par les flux a prévalu dans le domaine routier depuis Vickrey (1969) avec la définition d'un modèle par goulot d'étranglement (bottleneck). Une autre approche s'est plutôt développée sur la base des stocks pour des structures de type piscine, hôpital, etc. Enfin, les auteurs distinguent les problèmes de réseau qui se caractérisent par des approches différentes entre les arcs et les nœuds.

Rothengatter (1994) parle pour ces différentes approches de phénomène de club (« *club of road user's* », p105). Il montre à partir d'une analyse de la congestion routière que les externalités négatives produites par un automobiliste sont avant tout supportées par les autres utilisateurs de la route ou membres du club. Une bonne compréhension de ces externalités passe donc par la description de l'activité étudiée et par l'analyse des interrelations entre utilisateurs. Des externalités d'ordre plus général peuvent toucher individus hors du club (pollution, bruit), mais sont-elles directement dues à la congestion ?

Par conséquent, le phénomène de congestion ne semble pas uniforme mais peut au contraire prendre plusieurs formes selon l'activité étudiée.

Conclusion

Marshall a ouvert la voie en montrant que la croissance industrielle au XIXème siècle pouvait se caractériser par la loi des rendements croissants avec une augmentation des marchés et une baisse des coûts de production. Il en a conclu que les rendements croissants étaient sources d'externalités positives à l'ensemble de la société au-delà de la simple industrie.

Pigou apporte la nuance. Il démontre qu'une industrie à rendements décroissants conduit à une divergence entre le produit marginal social net et le produit marginal privé net qui augmente plus vite. La divergence révèle un coût supporté par la société supérieur à celui supporté par la firme et nécessite une intervention de l'Etat sous la forme de taxes pour rétablir l'équilibre. A l'inverse, en cas de rendements croissants, le produit marginal social net augmente plus vite que le produit marginal privé net, ce qui engage l'Etat à verser des subventions pour inciter à la production.

Dans ce cadre, l'exemple de la congestion routière, utilisé comme illustration, a été, presque par hasard, le point de départ d'un champ d'étude qui a nourri la recherche et les politiques publiques de manière intense jusqu'à aujourd'hui.

La définition contemporaine du phénomène de congestion met en évidence deux caractéristiques fondamentales. En premier lieu, il se caractérise par une corrélation entre niveau d'activité pour une structure congestible et dégradation de la qualité de service (Arnott & Kraus, 2008). En second lieu, les conditions de manifestation du phénomène varient selon la nature des activités : effet de « club » (Rothengatter, 1994). Il convient donc de considérer le phénomène de congestion selon une activité particulière pour pouvoir le caractériser.

1.2. Caractérisation de la congestion, le modèle routier

A la suite de Pigou, le travail des économistes et des ingénieurs a été de caractériser et de préciser le phénomène de congestion (Kolm, 1968 ; Verhoef, 2010). L'accroissement considérable du taux d'équipement en véhicules individuels et de leur utilisation en milieu urbain a contribué à concentrer les recherches sur le transport routier. Les travaux menés sur cette thématique ont été nombreux et ont eu tendance, comme nous le montrons par la suite, à éclipser d'autres secteurs, dont le ferroviaire. Concernant le routier, la notion de congestion repose sur une relation fondamentale entre débit et vitesse. Elle a été la source de nombreux modèles de trafic (hydrodynamique, file d'attente, etc.) et interroge d'un point de vue économique sur la régulation optimale de la congestion.

Dans cette section, la simple caractérisation de la congestion pour le domaine routier sera privilégiée (club routier). Autrement dit, on propose de revenir sur l'intuition de Pigou dans la relation établie entre densité de trafic et vitesse pour montrer que non seulement elle a ensuite été validée mais qu'elle a aussi fondamentalement influencé l'approche de la congestion dans les transports.

1.2.1. Les diagrammes fondamentaux

Les travaux suivants reposent sur l'analyse de la relation entre densité de véhicules et vitesse moyenne dont les premières estimations ont été réalisées par Carmichaël & Haley (1950) pour les voies rapides ou encore Rothrock (1956) pour les infrastructures en milieu urbain. Ils font apparaître une décroissance régulière de la vitesse moyenne avec le flux de véhicules.

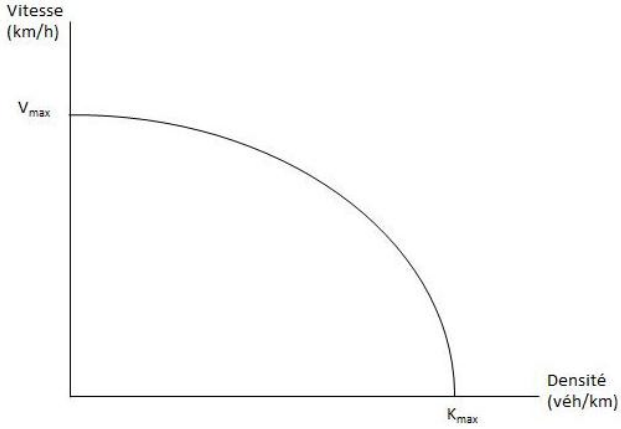
Menés en ingénierie du trafic, ils ont permis de décrire finement le fonctionnement de la circulation. Papon (1991) rappelle que trois variables microscopiques fondamentales définissent la dynamique du trafic routier : la vitesse v (en km/h), le débit horaire d (en veh/h) et la densité k (en veh/km). On considère ici un tronçon de voirie entre un point A et un point B de longueur L et pour une période d'une heure.

La relation fondamentale s'écrit sous la forme d = v*k. Elle peut être représentée par n'importe quel plan (v,k), (d,v) ou (d,k).

1.2.1.1. Relation vitesse – densité de trafic

Dans le cas de la relation (v,k), le graphique suivant montre une corrélation inverse entre la vitesse v et la densité de trafic k. Elle considère l'infrastructure sous la forme d'un élément de stockage pour reprendre la définition générale (Arnott & Kraus, 2008) et valide l'intuition de Pigou. Plus la densité de trafic est importante en termes de véhicules par kilomètre et plus la vitesse est réduite.

Figure 2 : Relation vitesse-densité

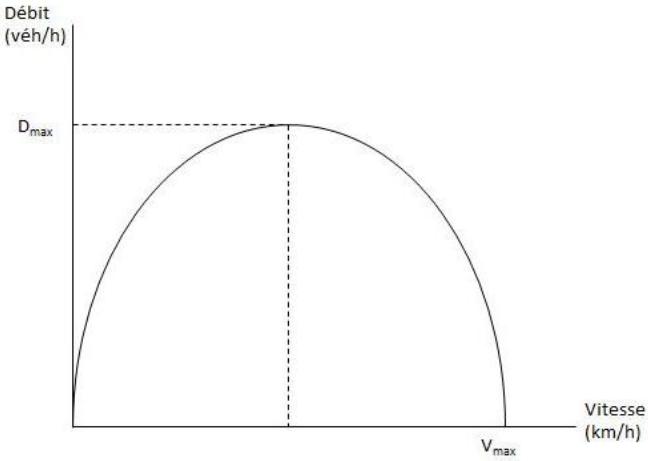


Source : Marlot, 2002

1.2.1.2. Relation débit horaire – vitesse

La seconde relation (d,v) considère l'infrastructure en termes de flux. Le graphique suivant montre qu'il existe une vitesse optimale pour un flux en véhicule optimal par heure. Jusqu'à un certain seuil, le débit augmente (D_{max}) mais au-delà de ce point le débit se réduit jusqu'à atteindre la vitesse maximale (V max) en 0.

Figure 3 : Relation débit – vitesse



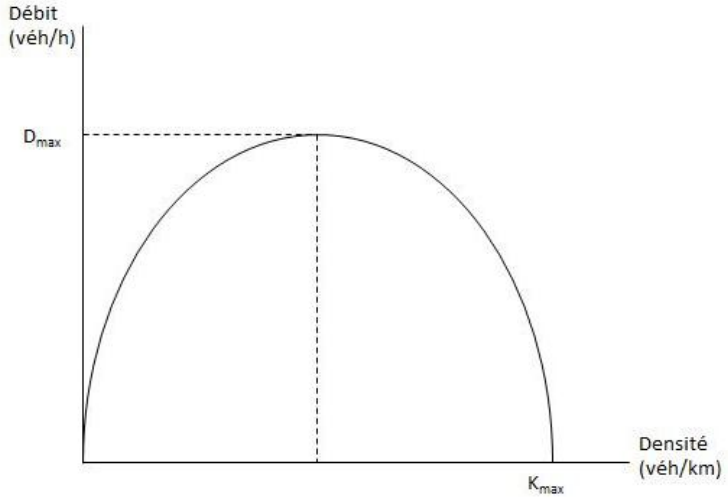
Source : Marlot, 2002

1.2.1.3. Relation débit horaire – densité de trafic

Enfin, la troisième relation (d,k) rapproche les deux dimensions de l'infrastructure en termes de stock et de flux. Elle synthétise les deux premières relations à savoir l'existence d'un optimum en termes de flux selon le nombre de véhicules au kilomètre. Le graphique suivant met en évidence deux notions développées par les ingénieurs : le régime « laminaire » et le régime « forcé ». Derycke (1997) relève que ces deux approches proviennent de l'analogie entre la circulation routière et l'hydraulique. En

régime laminaire, les fluides s'écoulent sans résistance et de manière régulière dans un espace homogène. En régime forcé, l'écoulement des fluides est discontinu dans un espace hétérogène.

Figure 4 : Relation débit-densité

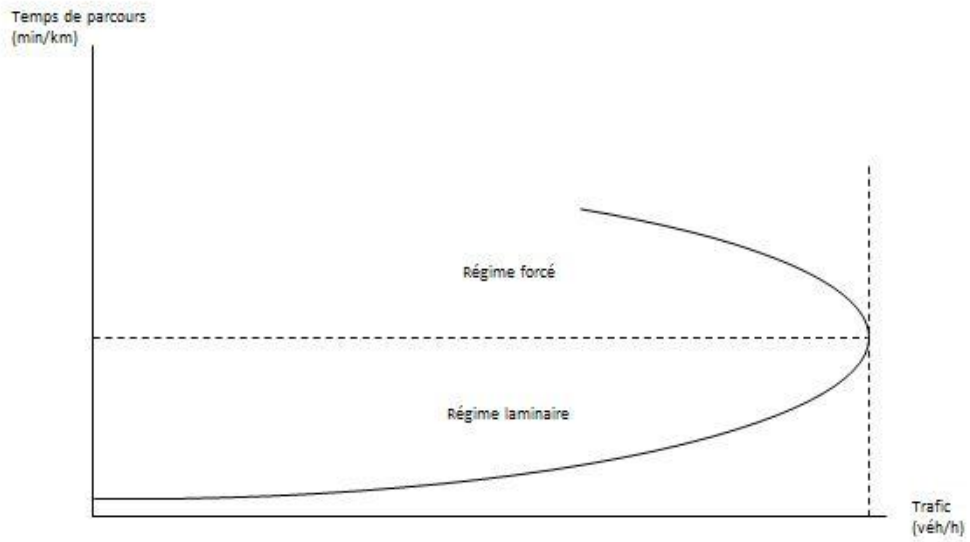


Source : Marlot, 2002

La relation débit-vitesse peut être esthétisée selon la représentation suivante. Elle révèle une relation fondamentale entre le débit horaire d'une infrastructure et le temps de parcours défini par la vitesse (plus la vitesse est réduite et plus le temps de parcours augmente). L'ellipse de la courbe traduit les deux situations possibles d'écoulement des flux (régime laminaire ou forcé). D'un point de vue économique elle permet d'évaluer le coût du kilomètre parcouru et d'associer la qualité de service au temps de parcours défini par les trois variables.

Cette analyse conforte la démonstration pigouvienne en associant la congestion routière à une perte de temps subie par l'usager par rapport au temps de parcours optimal en régime laminaire.

Figure 5 : Représentation du temps de parcours kilométrique initial selon le trafic initial



Source : Papon, 1991

1.2.2. L'utilité de l'infrastructure et la valeur du temps

La caractérisation de la congestion routière fondée sur une relation débit-temps de parcours négative complète la description économique de l'infrastructure initiée par Dupuit (1849). Dans ses travaux portant sur les concepts d'utilité, de demande et de surplus des consommateurs, il montre que l'utilité d'une infrastructure dépend essentiellement du temps de parcours qu'elle offre entre un point A et un point B par rapport à un autre itinéraire.

Il s'oppose en cela à la tradition économique de son temps qui identifie l'utilité d'un bien en fonction de sa valeur d'échange sur le marché. Dans un raisonnement par l'absurde, Dupuit montre que selon cette approche, la réduction du coût de production d'un bien par deux contribuerait à réduire également par deux son utilité. Il développe sa pensée à travers l'exemple d'un pont sur lequel un péage serait institué. Il pose pour hypothèse que l'utilité des individus n'est pas égale au prix du marché. Il y aurait une utilité absolue (prix maximal consenti par l'individu) et une utilité relative également appelée surplus (différence entre l'utilité absolue et le prix réel). L'utilité absolue est variable selon les individus en fonction de leur revenu et de la satisfaction retirée du bien. Le concept de péage est pour Dupuit le meilleur moyen de connaître le surplus de chacun des consommateurs. Il observe qu'en l'absence de péage l'ensemble des consommateurs est satisfait. A contrario, plus le prix augmente et plus le surplus des consommateurs se réduit entrainant une réduction du nombre d'usagers.

Il conclut sur le fait que la valeur d'une infrastructure n'est pas déterminée par son coût de production mais par son utilité générale (agrégat de l'ensemble des utilités). Elle dépend donc du revenu des usagers et du temps de parcours offert par l'infrastructure par rapport à un autre itinéraire. Ainsi, la valeur temps pour chacun des individus devient l'élément déterminant d'une infrastructure. Marlot (2002) remarque que Dupuit n'a pas considéré de situation congestionnée. Néanmoins, la confrontation entre son analyse et la définition moderne de la congestion permet d'affiner la caractérisation du phénomène. Ainsi, la dégradation du temps de parcours peut impacter l'utilité d'une infrastructure et justifier soit un nouvel investissement, soit la mise en place d'un péage, soit le report des trafics vers un autre mode ou itinéraire (cas de Pigou).

> *« Le pont est vendu à un homme intelligent qui étudie la fréquentation et cherche à augmenter son revenu. Il lui est défendu de relever son tarif, et d'ailleurs cette mesure, pas plus qu'un abaissement, n'accroîtrait suffisamment le produit, il est donc obligé d'avoir recours à de nouvelles ressources. Il remarque que son pont réunit les manufactures à celui où logent les ouvriers ; matin et soir ces derniers sont obligés de faire un long détour pour se rendre à leur destination. Le pont abrège beaucoup la distance à parcourir, mais un sacrifice des 10 centimes par jour est beaucoup trop considérable eu égard à leur salaire ; en ne leur demandant que 2 centimes, pas un n'hésitera à se procurer cette satisfaction, et on obtiendra ainsi mille nouveaux passages quotidiens »*
>
> *(Dupuit, 1849, in Marlot, 2002, pp219-220)*

On retient donc ici que la valeur temps est un élément fondamental pour définir l'utilité d'une infrastructure au regard de la disposition à payer de la collectivité (somme des surplus). Elle est à la fois physique (relation débit-vitesse) et économique et permet d'offrir une approche complète de

l'infrastructure. Néanmoins, les travaux de Dupuit ont également ouvert la voie au principe de tarification marginale de l'infrastructure, à la notion de discrimination tarifaire (différentiation des tarifs selon les consommateurs et leur surplus) et au calcul économique (choix et financement des investissements selon leur utilité). Ces différents points seront successivement traités dans les chapitres suivants.

1.2.3. Mesurer la congestion routière

1.2.3.1 Rétrospective des principaux développements : analyse statique et dynamique

Les modèles utiles au calcul de la congestion sur une infrastructure routière sont nombreux. On propose ici une courte rétrospective des principaux développements qui ont prévalu depuis les années 60.

Les travaux se sont rapidement développés sur la base des diagrammes fondamentaux. L'objectif a été de donner un sens plus précis à la notion de « congestion » en liant les apports de l'ingénierie à ceux de l'économie (identification et régulation de la congestion). On présentera principalement ici l'analyse de Kolm (1968) qui propose une synthèse des travaux menés dans les années 60 dans son ouvrage sur la *« Théorie économique générale de l'encombrement* ». Les travaux de Vickrey (1969) et la tradition des modèles de file d'attente seront également évoqués. L'intérêt de cette approche, bien qu'encore très féconde aujourd'hui, est moindre pour notre travail dans le sens où elle privilégie l'analyse de l'hyper congestion (régime forcé).

Kolm (1968) présente une vision globale de la problématique de l'encombrement reposant sur l'ingénierie trafic et les travaux déjà produits par les économistes (Mohring & Harwitz, 1962). Son principal apport a été de préciser l'intuition de Pigou dans la relation entre congestion et externalité. Il reconnaît l'encombrement comme un effet externe qu'il est nécessaire d'internaliser.

> *« Il y a effet d'une personne sur une autre quand une décision de la première concerne la seconde sans que l'acte qui transmet l'influence fasse l'objet d'entente entre elles »*
>
> *(Kolm, 1968, in Marlot, 2002, p71)*

La volonté de préciser le concept de congestion à travers les externalités a conduit Kolm à développer le principe de qualité de service. Il distingue la cause qui est l'accumulation d'usagers, de la conséquence qui se traduit par une baisse de la qualité de service. La qualité de service est considérée en termes de temps de parcours selon les diagrammes fondamentaux.

Cette notion de qualité nous intéresse particulièrement et se rapproche de la définition générale d'Arnott et Kraus (2008). Elle permet notamment de distinguer une demande de quantité d'une demande de qualité et pose la question de l'arbitrage entre ces deux aspects. La réponse dans le cas de la congestion routière passe par le biais de la tarification.

Kolm formalise la congestion selon la fonction débit-vitesse tout en apportant une nuance dans la détermination de la vitesse. Il considère la vitesse selon l'espacement entre les véhicules. Ainsi, la

congestion apparaît lorsque la vitesse d'un véhicule est limitée par celle de celui qui le précède (fonction de densité). Autrement dit sa fonction de congestion repose sur la relation entre vitesse et espacement des véhicules. Elle est composée de trois paramètres dont l'ensemble prend l'aspect d'une fonction de production de service. Le premier *w* exprime la vitesse de circulation (qualité de service), le second *x* mesure la quantité de véhicules servis par unité de temps tandis que le troisième *z* traduit l'offre en service en considérant *w* en fonction de *x*.

Par conséquent, la congestion chez Kolm s'exprime en temps perdu par les individus en fonction de la densité de trafic. Le facteur temps est considéré comme l'élément déterminant de la qualité de service produite par une infrastructure.

Les travaux de Kolm sur la congestion ne peuvent être présentés sans évoquer ceux effectués en parallèle par Vickrey (1969). Vickrey a pour objectif de décrire plus fidèlement la congestion et réfute les notions d'externalité. Il se place d'un point de vue théorique dans une approche dynamique de la congestion fondée sur le principe de la répartition dans le temps des flux et du problème de leur concentration à quelque moment de la journée (phénomènes de pointe). La question n'est plus d'évaluer la congestion mais d'analyser les conditions d'écoulement de la voirie notamment aux endroits les plus difficiles (nœuds, rétrécissements de voies, etc.). L'effet de la congestion est perçu comme le décalage entre l'heure d'arrivée effective et l'heure d'arrivée en situation non perturbée pour un déplacement entre un point A et un point B. Cette approche s'applique bien aux problématiques urbaines où la congestion dépend fortement de l'heure et du comportement des individus (anticipation, relocalisation, etc.). Par ailleurs, on retient Hau (1998) qui en cherchant à caractériser la capacité d'une voie routière a montré que celle-ci variait assez peu d'un pays à l'autre à condition de ne considérer que la bande de roulement. Il donne une moyenne de 1000 véhicules par heure et par sens pour une route à deux voies et environ 1800 à 2000 véhicules par heure et par sens pour une route à quatre voies.

1.2.3.2 Le temps : élément clef de définition des indicateurs de congestion

Dans une étude réalisée sur la congestion du réseau routier de Montréal (Robitaille & Nguyen, 2003), les auteurs dressent une revue de littérature des principaux indicateurs utiles à l'identification de la congestion routière.

L'étude relève que la plupart des indices de congestion sont calculés à partir de la mesure du temps de parcours (ou retard sur l'heure théorique[4]). Les auteurs distinguent mesure et indice au sens où la mesure est liée à une unité (temps de parcours additionnel en minutes) tandis qu'un indice se lit sans. L'essentiel des mesures sont réalisées en comparant la situation de fait à la situation initiale.

Les auteurs appuient leurs travaux sur deux rapports : Urban Mobility Index (Schrank & Lomax, 2001) et NCHRP Report 398 (Levinson, *et al.*, 1997).

Le premier rapport propose de fonder trois indicateurs sur la mesure du « *travel delay* » (temps de parcours additionnel créé par la congestion) :

[4] Heure d'arrivée sans perturbation

- Le « *Roadway Congestion Index* (RCI) » : mesure l'étendue de la période de pointe selon le rapport entre débit total quotidien et offre du réseau routier ;
- Le « *Travel Rate Index* (TRI) » : rapport entre le temps additionnel requis pour réaliser un parcours en heure de pointe et le temps nécessaire en période d'écoulement fluide des trafics ;
- Le « *Travel Time Index* (TTI) : constitué sur la même base que le TRI mais inclus la congestion causée par les incidents en plus d'une congestion récurrente.

Le second rapport propose un ensemble de mesures et d'indicateurs dont les principaux sont :

- Le taux de déplacement (min/km) : rapport entre temps de déplacement et longueur du segment ;
- Le taux de retard (min/km) : taux de déplacement réel moins taux de déplacement acceptable (seuil accepté de ralentissement) ;
- Indice de mobilité : appliqué à un corridor il considère le nombre de personnes multiplié par la vitesse moyenne qu'il rapporte à la capacité du corridor ;
- Accessibilité : somme des déplacements possibles dans le cas où le temps de déplacement réel est inférieur ou égal au temps de déplacement acceptable.

1.2.3.3 Piste pour un indicateur de congestion synthétique

Les auteurs proposent de retenir trois indicateurs : un indicateur descriptif (statique), un indicateur de file d'attente (dynamique) et un indicateur synthétique.

Le premier propose une mesure fidèle des conditions de circulation en plusieurs points du réseau étudié et en situation de régime laminaire. Il agrège un ensemble de mesures réalisées à partir de postes de détection de véhicules automatiques. Elles reposent sur l'analyse du taux d'occupation de la voirie et par déduction la gêne occasionnée par les véhicules entre eux (mesure du débit). Un taux d'occupation inférieur à 14% correspond à une situation fluide tandis qu'un taux supérieur à 33% indique une situation en congestion.

Le second indicateur repose sur un ensemble de mesures et d'indicateurs du temps de parcours dont :

- Le retard : différence entre le temps de parcours mesuré en situation de ralentissement par rapport à la situation d'écoulement libre ;
- Le taux relatif de retard : division du retard moyen en heure de pointe par le temps de parcours en écoulement libre (permet la comparaison entre différents corridors) ;
- La proportion de retard : rapport entre le retard moyen de l'heure de pointe et le temps de parcours moyen durant l'heure de pointe ;

- La longueur maximale des files d'attente : somme des longueurs de files d'attente d'au moins une minutes identifiées par le véhicule témoin ;
- L'étalement de la pointe : proportion de la période de pointe durant laquelle le réseau est affecté par la congestion.

Enfin, l'indicateur de synthèse est repris du rapport Urban Mobility Index (2001) : le *Travel Rate Index* (TRI). Il permet d'évaluer le temps supplémentaire de déplacement causé par la congestion routière et de comparer différents réseaux. Ainsi, le TRI moyen sur le réseau de Boston serait de 1,32 ce qui signifie qu'il faut en moyenne 32% de temps supplémentaire pour se déplacer en période de pointe par rapport à une situation d'écoulement fluide des trafics. Dans le classement américain, le pire TRI est de 1,51 en 1997 pour Los Angeles tandis que les agglomérations de petite taille tiennent le haut du classement comme Rochester (NY) avec 1,06.

Pour autant, les auteurs tempèrent sur l'interprétation de cet indice. Ils relèvent que la définition d'un seul indice pour évaluer la congestion peut se révéler incomplet pour des cas d'étude particuliers. Par conséquent, il est important de déterminer son niveau d'analyse pour choisir la bonne méthode et sélectionner les bons indicateurs.

Conclusion

Le club routier peut être caractérisé de la manière suivante. En premier lieu, il existe une relation fondamentale entre vitesse, densité de trafic et débit. Cette observation consensuelle résulte de la bonne connaissance du comportement des flux routiers et de l'uniformité en matière de capacité des infrastructures routières (Hau, 1998). En second lieu, le phénomène de congestion se traduit par une perte de temps pour l'usager. Selon l'analyse de Kolm (1968), elle se manifeste par une qualité de service dégradée dans la mesure où l'infrastructure est considérée comme produisant de la vitesse et par conséquent du gain de temps.

Ces caractéristiques ont pour conséquence de placer la valeur temps au cœur de l'utilité de l'infrastructure et de son évaluation économique. Les quelques exemples de mesure de la congestion présentés dans le dernier point confirment cette unicité. La valeur temps détermine l'ensemble des indicateurs, que ce soit des indicateurs de qualité de service, d'accessibilité ou de congestion.

On propose dans la section 1.3. de s'intéresser à la mise en pratique d'un indicateur de congestion sur le réseau routier français à partir des données Enerdata-LET à l'horizon 2050.

1.3. Evaluation de la congestion routière en France à l'horizon 2050

La section suivante propose de mettre en pratique les acquis théoriques précédemment présentés à l'épreuve du cas français. Les données de prospective produites par Enerdata-LET (2014) et présentées en introduction offrent un champ d'expérimentation intéressant à étudier en posant deux questions. D'une part, que peut-on retenir du corpus théorique pour représenter la congestion sur le réseau routier ? D'autre part, quel peut-être l'avenir des infrastructures routières en France et quelles perspectives d'utilisation du réseau ?

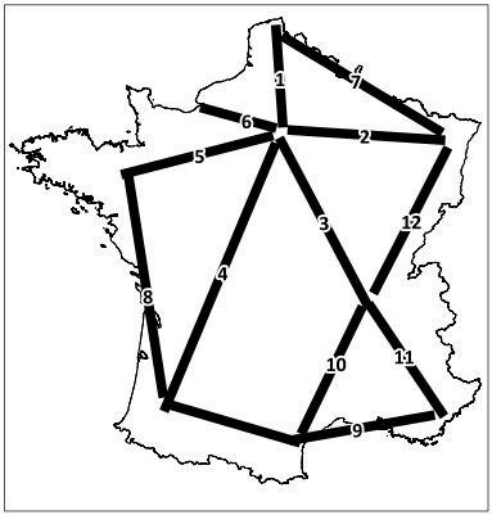
1.3.1. Le choix de l'indicateur du « temps gêné »

L'indicateur du « temps gêné » est issu des travaux du Sétra (2009) pour estimer la congestion routière sur le réseau français. La méthode est présentée en trois temps. On rappelle dans un premier temps sa philosophie en matière de conceptualisation de la congestion. Dans un second temps la formule de travail est présentée. Enfin une grille de lecture des résultats est proposée.

1.3.1.1. La congestion calculée à partir du concept de « temps gêné »

Pour rappel, les données produites par le consortium Enerdata-LET (2014) se présentent de manière agrégées à l'échelle de grands axes. Elles distinguent les flux marchandises des flux voyageurs et sont projetées sur 12 axes qui schématisent le réseau routier français.

Figure 6 : Répartition par axe des données de trafic routier



Source : Enerdata – LET, 2014

En conséquence, le traitement des données nécessite de sélectionner une méthode permettant de déterminer le niveau général de congestion d'une infrastructure. L'approche développée par le Sétra pour améliorer les débats publics propose de qualifier la congestion routière selon l'indicateur du « temps gêné ».

> *« Le temps gêné est le temps passé par les VL en état ralenti. Cet indicateur de gêne présente l'état moyen de congestion pour des périodes en régime non saturé ». (Sétra, 2009, p2)*

Cet indicateur se rapproche fortement de la modélisation de la congestion proposée par Kolm (1968). Le temps gêné considère qu'il y a gêne à partir du moment où un véhicule se trouve limité en vitesse par le véhicule précédent (rapport entre le temps de parcours sans gêne et le temps de parcours avec gêne). La vitesse est perçue à partir de l'espacement entre les véhicules. L'indicateur permet de calculer la congestion dans des situations de régime laminaire pour des trafics moyens journaliers annuels (TMJA).

Deux points ancrent ce modèle dans la tradition de Kolm, la conceptualisation de la congestion en tant qu'externalité entre usagers (Pigou, 1920, 1962) et l'intégration de la fonction de production de service avec un indicateur de qualité de service.

L'indicateur est calculé à partir de deux variables clefs, le trafic moyen journalier annuel (TMJA) et le pourcentage de poids lourds (PL). Le Sétra intègre dans sa méthode l'hétérogénéité des trafics en distinguant le flux de poids lourds et le flux de véhicules légers (VL). La méthode distingue également différents types de route selon le nombre de voies concernées.

La formulation de la courbe débit-temps pour les VL est la suivante :

$T_{VL}(X_{VL}, X_{PL}) = \tau_{VL}\,[1+ \gamma_{VL}\,(X_{uvp}/K_{uvp})^{\alpha VL}]$

Où

X_{VL}	Débit horaire VL
X_{PL}	Débit horaire PL
$T_{VL}(X_{VL}, X_{PL})$	Temps de parcours unitaire des VL
X_{uvp}	Débit horaire en Unité de Véhicule Particulier (UVP)
τ_{VL}	Temps de parcours unitaire des VL sur une route à vide
γ_{VL}, α_{VL}	Coefficients dépendants du type de routes
K_{uvp}	Capacité du type de routes en UVP

1.3.1.2. La méthode de calcul

Le calcul du temps gêné pour les VL s'effectue à partir des trafics moyens journaliers annuels (TMJA) selon la formule suivante :

$$B' = (\gamma + 1)/(\gamma + \left[\frac{\kappa_{uvp}}{x_{uvp}}\right]^{\alpha}) \quad (1)$$

Les coefficients α et γ permettent d'ajuster les paramètres selon les différents types de route avec κ_{uvp} pour la capacité de l'infrastructure et x_{uvp} pour le débit horaire de véhicules.

Calcul du débit horaire :

Deux formules sont proposées pour déterminer le débit horaire moyen PL et VL (x_{uvp}).

La première formule consiste à agréger les débits horaires VL et PL selon le coefficient d'équivalence « *e* » pour traduire le surplus d'encombrement d'un PL par rapport à un VL.

$X_{uvp} = X_{VL} + e.X_{PL}$

La lecture de cette formule est simple mais son résultat ne traduit pas les variations de trafic sur une journée, source de congestion.

Une seconde formule propose une meilleure prise en compte des variations de trafic dans le temps.

$$\overline{X}_{véh} = TMJA/24$$

$$\tilde{x}_{uvp} = \overline{X}_{véh}(\chi_{vl}.(1-p) + p.e.\chi_{pl})$$ p désigne le % PL

Où

χ_{VL}, χ_{PL}	Taux de concentration moyen de débit horaire des VL et PL
τ_{PL}	Temps de parcours unitaire d'un PL sur une route à vide

Elle permet de relier au TMJA la connaissance des 8760 heures d'une année par agrégation des données PL et VL et l'utilisation de coefficients de concentration (χ_{VL} et χ_{PL}).

Le débit équivalent permet de tenir compte de la dynamique des trafics sur une année contrairement au débit horaire moyen annuel. Il prend la forme d'un débit horaire fictif représentant les conditions moyennes de temps de parcours sur une année. Il dépend directement de la fonction temps-débit et donne une valeur pour chacun des débits (PL et VL).

Cette seconde formule a été retenue pour projeter les données des scénarios Enerdata-LET (2014). Plus complète, elle permet de considérer l'hétérogénéité des débits en termes d'espace (*e*) et de temps (χ_{VL}).

Calcul des coefficients de concentration :

Ces coefficients sont le rapport entre le débit équivalent et le débit horaire moyen annuel. Ils permettent de décrire les conditions moyennes de trafic, remplaçant la connaissance des 8760h de trafic annuel. Ils sont propres à chaque tronçon de route et les valeurs moyennes observées sont transférables d'une route à une autre.

Tableau 1 : Valeurs usuelles retenues pour les facteurs de concentration

Type de routes	**χ_{VL} (min-max)**	**χ_{PL} (min-max)**
Autoroutes à 2x3 voies	2,4 – 2,8	1,1 – 1,3
Autoroutes à 2x2 voies	2,3 – 3,0	1,1 – 1,3
Routes express à 2x2 voies	1,8 – 2,6	1,1 – 1,4
Routes bidirectionnelles à 2 voies	1,5 – 1,8	1,4 – 1,6

Source : SETRA, 2009

Dans l'ensemble, les valeurs varient entre 1,1 et 1,5 pour les PL qui circulent de manière assez homogène sur l'ensemble des heures d'une année tandis que les valeurs sont plus élevées pour les VL (1,5 et 2,8) qui sont soumis à des effets de masses importants (rythmes de travail, congés payés, etc.). On remarque que les amplitudes sont d'autant plus importantes sur les autoroutes à 2x2 voies pour les VL et les routes bidirectionnelles à 2 voies pour le PL.

Le Sétra (2009) observe trois grands types de variation pour les coefficients de concentration :

- Plus le TMJA est élevé et plus la concentration de VL est faible à pourcentage de PL identique (meilleure répartition des circulations) ;
- Une concentration de VL est souvent liée à un pourcentage de PL élevé en raison de la plus grande gêne occasionnée ;
- La concentration des VL a tendance à diminuer à l'approche des grandes agglomérations en raison d'un meilleur étalement dans le temps des trafics.

1.3.1.3. Le paramétrage et la grille de lecture

Le tableau suivant présente les valeurs retenues par défaut pour les paramètres clefs de la méthode. L'analyse repose sur des moyennes mais permet de distinguer différents types de route dont les caractéristiques font varier les débits de PL et VL.

Tableau 2 : Valeurs moyennes retenues par le Sétra par type de route

	Facteurs de concentration		**Paramètres de la fonction temps-débit**					
Types de routes	χ_{VL}	χ_{PL}	α	γ	τ_{VL} (mn/km)	τ_{PL} (mn/km)	κ_{uvp} uvp/h	Coefficient équivalence PL / VL
Autoroute à 2 x 2 v	2,7	1,1	4	0,45	0,46	0,667	1750 x 2	2,5
Autoroute à 2 x 3 v	2,6	1,1	6	0,45	0,46	0,667	1750 x 3	2,5
Autoroute à 2 x 4 v	2,6	1,1	6	0,45	0,46	0,667	1750 x 4	2,5
Route Express à 2 x 2 v	2,6	1,1	4	0,295	0,545	0,706	1750 x 2	2,5
Route Bidirection à 2 v	1,8	1,4	1,81	0,391	0,659	0,916	1750	3
Route Bidirection à 3 v	1,7	1,4	1,65	0,497	0,6	0,898	1750 x 1,4	3

Source : SETRA, 2009

Les valeurs retenues ne sont pas sans rappeler l'évaluation de Hau (1998) pour les autoroutes (1700 à 2000 véh/heure). On observe que la capacité est croissante avec le nombre de voies et que le coefficient d'équivalence entre PL et VL se réduit dans le cas d'un dépassement continu possible. Le gain en termes de temps apporté par l'autoroute se traduit également dans les temps de parcours (τ_{VL} et τ_{PL}), meilleurs sur autoroute que sur route classique.

Par ailleurs, la concentration des véhicules paraît plus importante sur autoroute que sur route classique avec un écart de près de 1 point. A contrario, la concentration des trafics PL reste homogène avec une légère augmentation hors autoroute. La concentration des VL peut exprimer les périodes d'affluence fortes liées aux week-ends et congés payés.

Grille de lecture de l'indicateur de « temps gêné »

Le Sétra (2009), sur la base de ses observations, a défini une grille de lecture et d'analyse du temps gêné. De manière générale, le pourcentage de temps gêné sur un itinéraire fait référence à un niveau de congestion. Le TMJA change quant à lui selon les caractéristiques des axes et le pourcentage de poids lourds. A titre d'exemple, le TMJA calculé pour le tableau ci-dessous s'applique pour une 2x3 voies dont les trafics sont composés à 15% de PL.

Tableau 3 : Grille de lecture de la congestion routière

Caractérisation de la situation	Pourcentage temps gêné pour les VL en moyenne annuelle	TMJA (véh/j) 2 sens	Fréquence moyenne des saturations	Pourcentage temps perdu pour les VL en moyenne annuelle
Fluide	**< 10 %**	**< 62 000**	Des ralentissements ou des attentes de courte durée ne sont pas exclus, mais ils ne sont pas localisés	< 3 %
Dégradée	**10 à 20 %**	**62 000** à **70 000**	Hors été, la saturation apparaît en moyenne 1 jour sur 20, principalement aux périodes de fêtes et vacances scolaires	3 % à 7 %
Fortement dégradée	**20 à 45 %**	**70 000** à **81 000**	Hors été, la saturation apparaît en moyenne 2 jours par mois, principalement aux périodes de fêtes et vacances scolaires	7 % à 16 %
Très fortement dégradée	**> 45 %**	**> 81 000**	Hors été, la saturation apparaît en moyenne 3 jours par mois aux périodes de fêtes et vacances scolaires et certains jours ouvrables	> 16 %

Source : SETRA, 2009

Une telle projection permet d'identifier les différents degrés de congestion selon le niveau de trafic et les périodes de pointe (approche probabiliste). On observe notamment qu'à partir de 50% de temps gêné, la circulation est considérée comme fortement dégradée. Le temps perdu pour les VL sur une année est supérieur à 16%. Le seuil de véhicules pour une dégradation des conditions de circulation varie selon l'hétérogénéité des circulations (VL et PL) et la densité de véhicules.

Pour conclure, la méthode a été choisie d'une part pour son niveau d'analyse cohérent avec nos objectifs (évaluation de la congestion routière) et d'autre part pour sa bonne cohérence avec les données issues du projet Enerdata-LET (2014).

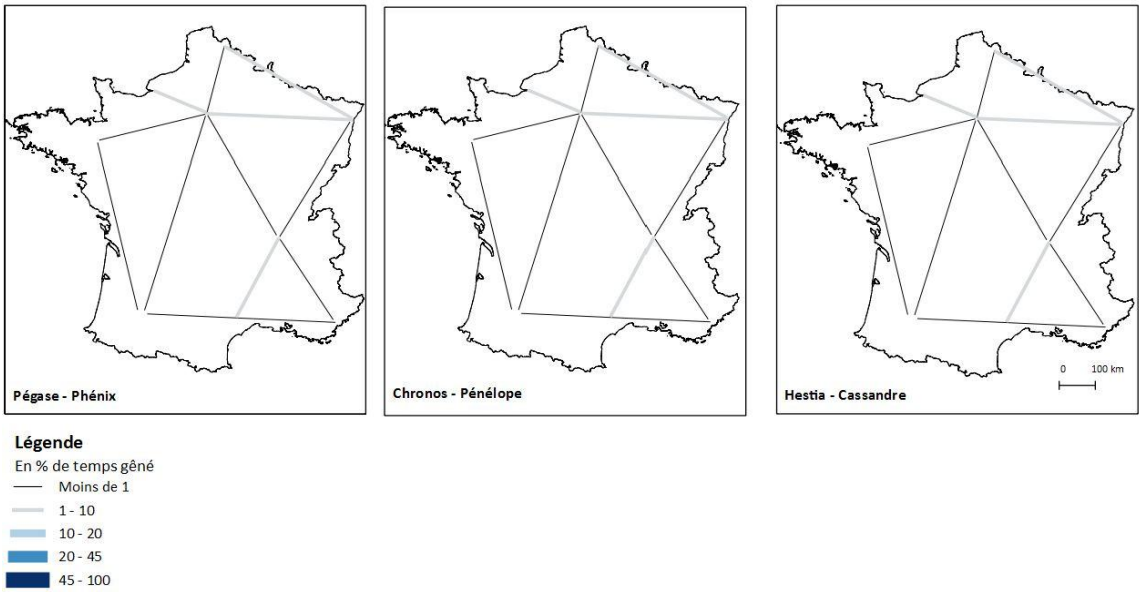
1.3.2. Un horizon sans congestion sur les principaux axes routiers français

La formule de débit équivalent VL, proposée par le Sétra (2009) a été retenue pour estimer la congestion du réseau autoroutier à l'horizon 2050 selon les données Enerdata-Let (2014). Un premier point montre un faible encombrement du réseau autoroutier longue distance en France tandis que le second révèle une baisse tendancielle du transport de voyageurs sous l'effet d'un report modal vers les modes à grande vitesse alors que les trafics de marchandises progressent par route sans pour autant compenser la perte due aux voyageurs. Enfin, la troisième section rappelle que la baisse du trafic global interrégional ne doit pas occulter des besoins locaux en investissements capacitaires. On rappelle au préalable que ce travail de prospective décrit de grandes tendances théoriques qui peuvent diverger de la réalité de certains axes.

1.3.2.1. Un réseau sans contrainte particulière de capacité en 2010

La situation en 2010 révèle un faible niveau de congestion sur les principaux axes du réseau autoroutier hors nœuds urbains, barrières de péage ou circulation dégradée pour cause exceptionnelle (travaux, accidents, etc.). La série de cartes suivante propose une projection par axe du temps gêné en 2010. La proportion observée est très faible sur l'ensemble du réseau.

Figure 7 : Estimation de la congestion routière par axe en 2010 selon les scénarios



Source : Enerdata – LET, 2014

Les trois scénarios (*cf.* introduction) prévoient unanimement une diminution générale du trafic routier en France à l'horizon 2050. Le pic de trafic serait atteint en 2010 avec 163 GVkm (Giga Véchicules-kilomètre) contre 138 GVkm en 1992 et 151 GVkm en 2050 pour le scénario le plus favorable au transport routier (Pégase - phénix). On s'intéresse dans la suite de l'analyse uniquement aux résultats du scénario Pégase-Phénix en hypothéquant que les résultats des deux autres scénarios ne font que valider et amplifier la tendance décrite.

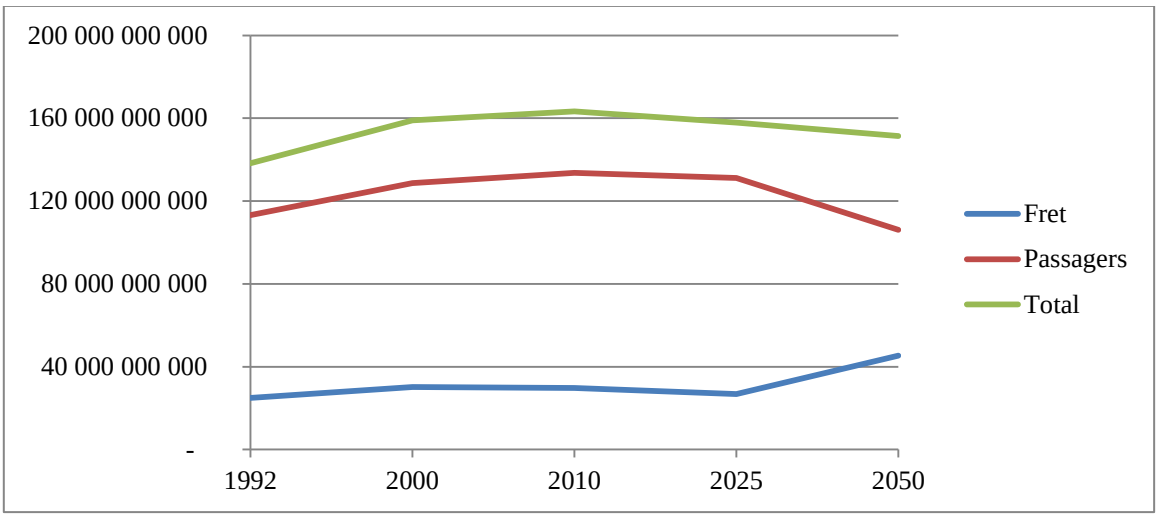
1.3.2.2. Une tendance en défaveur du mode routier à l'horizon 2050

La baisse du trafic routier à l'horizon 2050 semble confirmée par le scénario le plus optimiste dans ce domaine (Pégase-Phénix). Sous l'effet du rebond économique à partir de 2025, les flux voyageurs se reportent massivement vers les modes rapides (ferroviaire et aérien). La part de marché pour le routier passe de 74% en 2010 à seulement 29% en 2050 alors que la part du ferroviaire progresse de 16% à 46% en 2050 et l'aérien de 10% à 26%. Le marché pour les voyageurs s'oriente résolument vers la recherche de la vitesse liée à l'accroissement du PIB sans contrainte environnementale.

Concernant les marchandises, l'avantage reste à la route avec une consolidation de la part modale routière de 88% en 2010 à 84% en 2050 et une légère progression du ferroviaire de 9% en 2010 à 14% en 2050. Si ce scénario confirme la persistance du mode ferroviaire, le besoin en vitesse et en flexibilité ne semblent pas être des facteurs de compétitivité pour ce mode contrairement au routier.

Ce scénario est réaliste sous deux conditions. D'une part, le transport ferroviaire se spécialise dans la grande vitesse pour les voyageurs et maintient un niveau de qualité de service constant dans le fret ferroviaire (pas d'amélioration). D'autre part, aucune mesure environnementale restrictive n'est prise en défaveur de la route pour le transport de marchandises ou en défaveur de la grande vitesse (notamment aérienne) pour le transport de voyageurs.

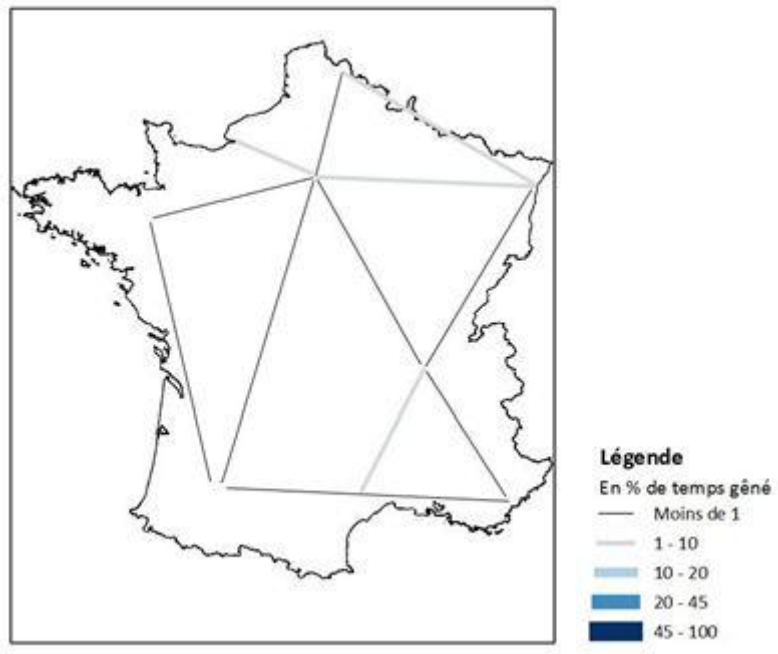
Figure 8 : Evolution du trafic routier à l'horizon 2050 selon Pégase – Phénix (en Vkm)



Source : Enerdata – LET, 2014

Une telle orientation aurait pour résultat une plus grande hétérogénéité des circulations sur le réseau autoroutier (plus grande part de PL) et une spécialisation progressive des services vers le transit de marchandises. Le pourcentage moyen de PL passerait ainsi de 18% en 2010 à 30% en 2050. Pour autant, le pourcentage de temps gêné ne semble pas augmenter à l'horizon 2050 malgré le plus grand pourcentage de PL. Cet effet est compensé par la baisse globale des trafics et donne pour résultat un niveau de congestion comparable à la situation de 2010.

Figure 9 : Estimation de la congestion routière par axe en 2050 selon le scénario Pégase-Phénix



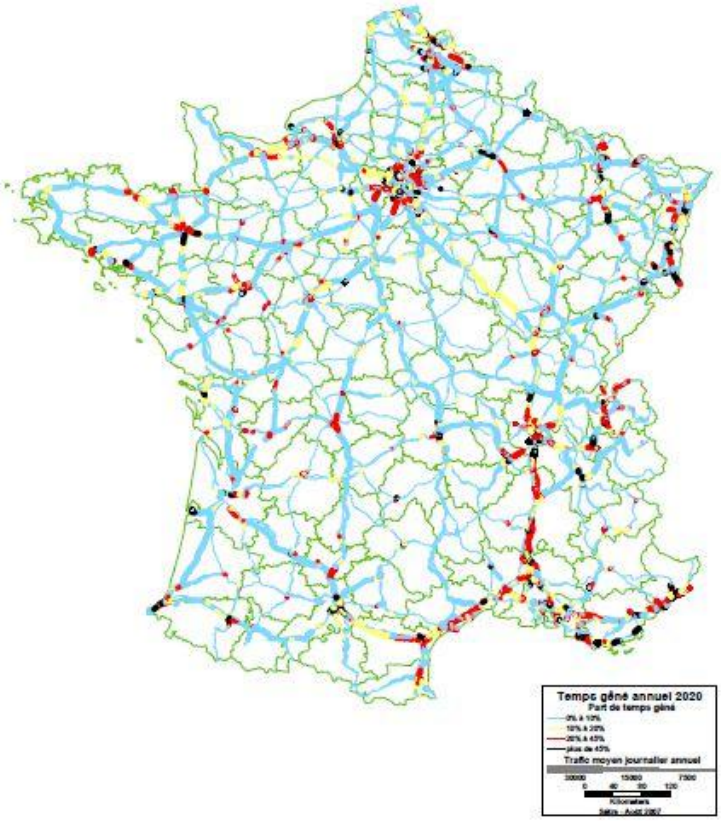
Source : Enerdata – LET, 2014

L'avenir du réseau autoroutier français ne semble pas résider dans la recherche d'un accroissement des capacités, mais plutôt dans celle d'une gestion optimisée des capacités existantes. Seul le quart Nord-Est et la vallée du Rhône pourraient continuer à connaître des situations d'encombrement ponctuelles.

1.3.2.3. Une route peut en cacher une autre

Ces résultats ne signifient pas pour autant que tout investissement de capacité pour le réseau routier est devenu inutile. Cette étude concerne uniquement le réseau national, les réseaux régionaux et locaux pouvant connaître des problèmes de saturation à l'horizon 2050. La projection suivante a été réalisée par le Sétra à horizon 2020. Elle propose un degré d'analyse plus fin et met bien en évidence la persistance de difficultés aux abords des grandes agglomérations sur l'ensemble du réseau français. Les solutions de capacité ou de régulation des flux ponctuelles ne sont donc pas à sous-estimer et le besoin en investissements routiers reste une réalité.

Figure 10 : Projection du temps gêné annuel en 2020 sur le réseau autoroutier français



Source : SETRA, 2009

Cette projection s'inscrit dans la continuité des résultats de l'étude Enerdata-LET (2014). En premier lieu, les résultats pour les grands axes confirment le bon dimensionnement du réseau autoroutier. Hormis l'axe de la vallée du Rhône et l'arc méditerranéen, le niveau de congestion ne devrait pas évoluer de manière notable sur l'ensemble du réseau conformément aux prédictions réalisées par le scénario Pégase-Phénix. En second lieu, ces résultats convergent vers l'analyse du scénario Hestia-Cassandre où le choix de la proximité tend à accroître la mobilité régionale et à réduire les flux interrégionaux, libérant ainsi de la capacité sur les arcs au détriment des nœuds.

Pour conclure, quelque-soit le grain d'analyse, la projection à la baisse des flux interrégionaux interroge les économistes et les aménageurs sur un sujet auquel ils répugnent souvent à se livrer : comment gérer une situation de décroissance ?

Dans le cas du ferroviaire, illustre prédécesseur du routier, c'est la théorie du « laisser-faire » qui fut privilégiée au cours du XXème siècle. Mais est-ce forcément la bonne solution ?

1.3.3. Va-t-on vers la fin du mode routier pour les longues distances ?

La perspective d'une moins grande intensité de trafic sur le réseau autoroutier invite à pousser plus loin la question de l'avenir des infrastructures. On remarque qu'il n'existe pas de travaux dans la littérature économique qui pose directement la question de la réallocation des capacités autoroutières en cas d'une baisse durable des trafics. Il serait pourtant intéressant de s'interroger sur les solutions possibles à la gestion d'un tel phénomène.

1.3.3.1. Un problème d'attractivité

Il convient de rappeler que les flux devraient de manière générale augmenter à l'horizon 2050. Le mode routier ne serait donc pas impacté par une baisse générale des trafics mais par une évolution défavorable de la répartition modale tout comme le transport ferroviaire a connu un déclin en part modale face aux autres modes au cours du XXème siècle.

Ce constat doit orienter la réflexion vers un plan de renouvellement de l'activité plutôt que de démantèlement. Cette dernière solution a été adoptée pour le ferroviaire. La taille du réseau est ainsi passée de 42000km (Kipfer, 1938) à 29000km aujourd'hui (Eurostat).

Pourtant, on observe que ce n'est pas forcément cette stratégie qui a permis le renouveau du système, mais plutôt l'effort d'innovation porté sur le TGV et la revalorisation des services TER.

1.3.3.2. Proposer de nouveaux services

La perte de compétitivité de la route en termes de gain de temps sur le ferroviaire (notamment dans le cas du transport de voyageurs) devrait orienter le débat non plus sur la régulation des trafics mais sur la valorisation de services liés. Le développement de services de covoiturage, du transport longue distance par autobus ou de solutions optimisées pour le transport de marchandises pourraient constituer des éléments de réponse.

On propose de reprendre dans ce point une solution imaginée et portée par (Bougnoux, 2010)[5] pour mettre au point un service d'autoroutes électrifiées. Ce système est actuellement testé en Allemagne par Siemens. Il repose sur le principe de camions équipés de pantographes aptes à circuler sur des voies dotées de caténaires sur le modèle des trolleybus.

5 Je tiens à rendre un hommage particulier à Brieuc Bougnoux malheureusement décédé d'un accident de ski dans le massif de Belledonne le 5 février 2014

Figure 11 : Représentation d'une autoroute électrifiée

Source : Bougnoux, 2010

Un tel système présente l'intérêt de mutualiser la consommation énergétique pour les longs trajets tout en laissant une autonomie pour les trajets de proximité. Les ruptures de charge observées dans le transport combiné rail/route disparaissent et le développement d'attelages virtuels entre poids lourds rend possible le développement de « trains routiers électriques » au sens propre du terme. Les sociétés d'autoroute pourraient ainsi devenir des opérateurs routiers de fret routier.

Une telle option ne ferait que renforcer la logique du report modal route/rail en libérant de la capacité ferroviaire pour les voyageurs et en spécialisant progressivement le mode routier vers le transport de marchandises.

Côté voyageur, le développement de solutions alternatives comme l'auto-partage en urbain ou le covoiturage en interurbain peut engendrer un regain de compétitivité pour l'automobile. L'intérêt de ces systèmes réside dans l'optimisation du taux de remplissage des automobiles qui contiennent en moyenne 1,6 personne en 2014. D'après BlaBlacar (2014), le covoiturage permet de porter ce taux à trois personnes en moyenne par automobile. L'impact potentiel de ces nouvelles pratiques sur la compétitivité de la route par rapport aux autres modes est plus longuement développé dans la section 4.3.2.2.

1.3.3.3. Repenser le véhicule individuel

Il ne faut pas conclure trop vite à la fin des transports individuels sur longue distance.

Les scénarios Enerdata-LET (2014) ont été centrés sur la question des émissions de CO2. Par conséquent, les auteurs se sont intéressés uniquement au problème de la motorisation des véhicules particuliers sous contrainte énergétique. Dans cette situation, le mode routier est forcément défavorisé dans l'hypothèse d'une rareté croissante des ressources énergétiques.

Si on exclut le postulat de la rareté énergétique et que l'on considère la concurrence entre le mode routier et ferroviaire pour les voyageurs sur le plan du temps et du confort, la diffusion de véhicules intelligents de type « Google car » pourrait faire évoluer les résultats du scénario Pégase-Phénix.

Testée en 2014 sur les routes californiennes, la « Google car » répond au rêve de la voiture sans chauffeur guidée à partir de la technologie GPS. Son usage reste pour l'instant limité à l'état de prototype mais Google prévoit déjà une commercialisation de ce produit à partir de 2020[6].

La diffusion d'un tel mode de transport pourrait encourager les individus à reconsidérer leur choix modal, le véhicule individuel devenant une combinaison parfaite des avantages de l'individuel et du collectif. Elle s'exprimerait dans plusieurs domaines. En premier lieu, le véhicule deviendrait un espace privilégié de repos et de travail en comparaison aux contraintes liées aux transports collectifs. En second lieu, les temps de parcours pourraient être optimisés grâce à la conduite automatique tout comme la gestion des flux. Enfin, la plus grande facilité de circulation pourrait accroître l'incitation à la mobilité et générer des flux supplémentaires dans un monde idéal sans contrainte énergétique.

Pour autant, il reste encore de nombreux défis à relever. Du point de vue technique, la voiture est pour l'instant limitée à 40km/h et fonctionne à l'électricité ce qui réduit sa pertinence pour les trajets longue distance. Du point de vue réglementaire, la question de la responsabilité en cas d'accident reste sans réponse du côté des assureurs. Enfin, il n'est pas sûr que l'introduction de tels véhicules produise immédiatement les gains en termes de temps et d'optimisation attendus dans la mesure où la phase de cohabitation avec les véhicules classiques pourrait être longue.

Conclusion

La question du devenir des autoroutes face à une baisse des trafics peut constituer une question d'avenir. Néanmoins, ce point montre que cette perspective peut être simplement conjoncturelle dans le cas où de nouveaux services se développeraient et où un saut technologique serait réalisé pour les véhicules individuels. Par ailleurs, si ces solutions pouvaient paraître utopiques il y a encore peu, le développement du covoiturage et les premiers tests concluants de Google rendent plus crédible leur potentiel de réalisation. On note que les technologies numériques sont un élément clef de concrétisation de ces différents systèmes et peuvent contribuer à révolutionner fondamentalement le concept d'infrastructure routière (électrification) et les services associés. Bien entendu, l'association de solutions techniques innovantes comme la « Google car » à de nouveaux services de mobilité fondés sur l'usage (type covoiturage) pourrait modifier profondément le modèle économique de l'automobile qui reposait jusqu'à présent sur la possession d'un véhicule et l'optimisation de la performance du conducteur. Hors contrainte énergétique, la mobilité pourrait connaître une nouvelle phase de développement à un coût moindre (coût d'usage) et avec de plus grandes performances (conduite automatique).

6 http://www.lefigaro.fr/secteur/high-tech/2014/05/28/01007-20140528ARTFIG00367-google-devoile-son-prototype-de-voiture-electrique-sans-conducteur.php

Conclusion du chapitre

Ce premier chapitre sur la caractérisation de la congestion routière montre une réflexion très riche dans ce domaine depuis l'exemple de Pigou.

On peut en retenir une caractérisation unanimement reconnue de la relation entre densité – débit et vitesse, fondement de l'ensemble des travaux de modélisation. Ces travaux, issus de l'ingénierie, ont permis de nombreux développements par les économistes pour comprendre à la fois le phénomène de congestion et développer des outils économiques de régulation (le plus souvent fondés sur la tarification).

On retiendra particulièrement la définition de Kolm (1968), reprise par Arnott & Kraus (2008), qui identifie la congestion à une dégradation de la qualité de service en considérant que la relation débit-vitesse correspond à une fonction de production.

On note que la définition du phénomène de congestion s'apparente particulièrement bien au domaine routier qui fut dès l'origine un cas d'étude privilégié.

Enfin, l'application pratique du calcul de la congestion dans la dernière section propose une réflexion sur le cas inverse au phénomène de saturation. La question est souvent évitée par les économistes et les aménageurs du territoire mais mérite d'être posée : comment conceptualiser une situation de décroissance alors même que l'ensemble du raisonnement repose sur une logique de croissance ?

La réponse tient en la redéfinition des services pour gagner à la fois en performance et en compétitivité. Dans cette perspective, la baisse tendancielle des trafics routiers ne pourrait être que conjoncturelle. En premier lieu, les résultats n'excluent pas des besoins en investissements capacitaires à l'approche des grandes agglomérations. Par ailleurs, un ensemble de nouveaux services (de type autoroute électrifiée, covoiturage, etc.) à moyen terme et la perspective à long terme de sauts technologiques (« Google car ») pourraient assurer une seconde vie aux circulations autoroutières interurbaines.

Chapitre II – Le principe de congestion est-il transférable au transport ferroviaire ?

L'analyse du phénomène de congestion dans le secteur ferroviaire reste limitée à quelques publications. On retient principalement la tentative de valorisation britannique du début des années 2000 avec les travaux Nash & Sansom (1999), de Ball, Cooper, & Gibson (2002), l'étude de Quinet (2003) sur la détermination des coûts marginaux et la réflexion entamée par RFF à partir de 2012 dans le but de justifier une tarification différenciée selon les heures ((Brunel, Marlot, & Pérez, 2013). Cette récente prise de conscience distingue le ferroviaire des autres modes de transport dont le routier, où le phénomène est bien connu, ou encore l'aérien où les travaux remontent aux années 70 (Carlin & Park, 1970) et se sont développés avec la libéralisation progressive du secteur (Brueckner & Spiller, 1994). Ils établissent notamment un lien entre la densité des trafics dans un aéroport et les retards. La constitution de hubs a accru cet effet avec la concentration des slots sur de courtes fenêtres temporelles (Mayer & Sinai, 2003). Par ailleurs, le phénomène a également été étudié dans le domaine des industries de réseau type télécom ou électricité avec la recherche de plus grandes capacités et de tarifications incitatives selon les heures de consommation (George, 2014). Le ferroviaire semble être resté en dehors de cette dynamique jusque récemment. Certes, des travaux ont été menés par les sciences de l'ingénierie sur les déterminants de la capacité ou par les économistes sur l'allocation optimale des capacités, mais très peu ont abordé la question de l'interaction entre ces deux aspects et le phénomène de congestion. L'organisation monopolistique historique du système ferroviaire en Europe et dans le monde peut expliquer ce relatif retard. Le processus de libéralisation initié dès 1988 par la Suède puis la Commission européenne constitue un élément clef du développement du questionnement en matière de congestion.

Une réflexion en France a été initiée par le gestionnaire d'infrastructure depuis 2010 pour intégrer une redevance dite de réservation dans sa structure tarifaire. Cette redevance est *« due par tout client attributaire de la capacité »* (RFF, 2014) et introduit une modulation horaire selon la période de circulation. Elle a pour but d'améliorer l'allocation des capacités en transmettant aux entreprises ferroviaires un signal prix sur la rareté des sillons. Néanmoins, cette approche fait débat et l'ARAF (Autorité de Régulation des Activités Ferroviaires), à travers deux avis (n°2013-011 et n°2014-001), a demandé à RFF de clarifier la constitution de sa redevance.

Il importe donc dans un premier temps de revenir sur les termes du débat actuel. Dans un second temps, nous proposerons une analyse technique et économique de la congestion ferroviaire puis dans un dernier temps nous proposerons une méthode d'évaluation de la capacité adaptée à la projection des données Enerdata-LET (2014).

2.1. La capacité, un enjeu clef du processus de restructuration du système ferroviaire

Il convient dans ce premier point de préciser le contexte d'exploration de la congestion ferroviaire. Ce secteur est souvent décrit comme un système complexe constitué d'un ensemble de sous-systèmes économiques, techniques et sociaux soumis à un important jeu d'acteurs (Luzeaux & Ruault, 2008). Cette réalité nécessite de revenir dans un premier temps sur l'évolution institutionnelle du secteur puis économique pour finir par le jeu d'acteur.

2.1.1. Remise en cause du monopole verticalement intégré et allocation des capacités

2.1.1.1. Des initiatives privées aux grands monopoles ferroviaires intégrés

Le transport ferroviaire s'est caractérisé jusque dans les années 80-90 par des monopoles nationaux tournés vers leur marché et verticalement intégrés selon le principe de la cohérence « roue-rail ». Il est intéressant d'observer que la tendance a été mondiale. Alors que les premières lignes au début XIXème sont souvent l'œuvre de compagnies privées verticalement intégrées et parfois en concurrence sur des réseaux différents, un processus de nationalisation et d'éviction de la concurrence s'est rapidement mis en place au début du XXème siècle (Caron, 2005). Considéré par de nombreux pays comme une industrie stratégique et économiquement porteuse de rendements croissants, le système a naturellement évolué de l'entreprenariat privé à l'organisation administrative.

Le processus a été similaire à l'ensemble des pays et peut être résumé ainsi : développement du réseau porté par plusieurs entreprises puis apparition de difficultés diverses dont des faillites, des incohérences d'exploitation et des investissements inutiles. La solution trouvée par les gouvernements a été de les unifier au sein de compagnies nationales administrées par l'Etat. Sur ce modèle, en France, la SNCF est créée en 1937 par décret-loi. Elle regroupe six grandes compagnies privées dont une déjà nationalisée en 1908 (Compagnie de l'Ouest). Au Japon, la *Japanese National Railway* (JNR) est établie en 1908 et vient se substituer à l'ensemble des compagnies privées qui opéraient le réseau. Les exemples sont nombreux et ont toujours suivi le même modèle à l'image de l'Allemagne qui en 1924 a fédéré l'ensemble des réseaux hérités des différents Länder en un réseau national et directement géré par l'Etat fédéral (*Deutsche Reichsbahn*) ou encore la Grande-Bretagne qui a fusionné en 1948 les quatre compagnies ferroviaires historiques (« *Big Four* ») en une entreprise publique (*British railway*).

Il faut néanmoins distinguer les Etats-Unis où les grandes compagnies sont restées privées et en situation de monopole intégré sur leur réseau. Pour autant, elles ont été soumises dès 1887 à l'agence de régulation américaine (*Interstate Commerce Commission*, ICC) qui a exercé un contrôle important sur les prix jusqu'à la fin des années 70, faisant du système ferroviaire américain un ensemble

relativement rigide. Il faut également distinguer la Suisse, où quelques compagnies historiques privées et verticalement intégrées ont continué à opérer leur réseau (BLS, SOB, etc.) en parallèle de la constitution de l'opérateur national en 1902 (Chemins de fer fédéraux, CFF).

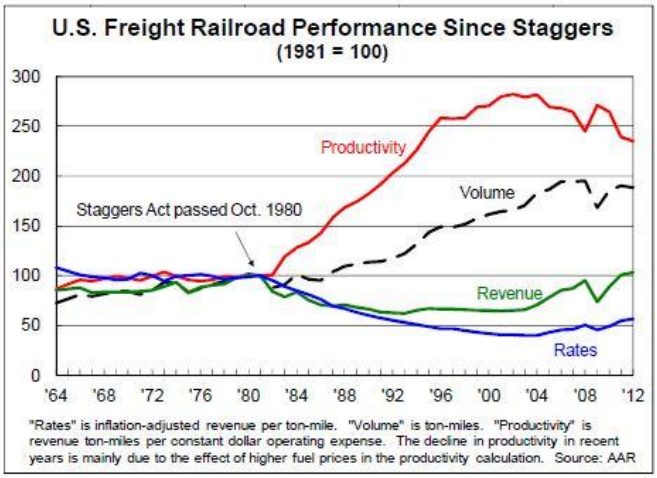
La constitution de monopoles publics nationaux n'a pas contribué à orienter le débat sur l'économie ferroviaire au-delà d'un petit cercle d'initié souvent liés de près ou de loin aux compagnies nationales. En France, la production scientifique des années 30-50 en témoigne. On trouve en 1950 un ouvrage de Hutter, ingénieur en chef au service commercial de la SNCF, qui interroge la notion de coût marginal dans le ferroviaire. En 1938, Kipfer pose la question des rendements croissants dans le ferroviaire. Il est alors ingénieur principal au comité de direction des grands réseaux. Raymonde Caralp dans ses publications de 1951 sur l'exploitation ferroviaire et les vins du Languedoc se distingue à la fois en tant que géographe et professeure d'université. Néanmoins, il est intéressant de noter qu'elle est mariée depuis 1942 à Pierre Caralp, ingénieur des Mines et cadre supérieur à la SNCF.

2.1.1.2. Les limites d'un modèle : endettement et sous-performance

Si on considère les deux premières périodes comme des étapes bien définies du développement ferroviaire, alors la troisième phase apparaît dès la fin des années 70 et suit encore son cours à l'heure actuelle en Europe. Le principal facteur d'évolution résulte du développement rapide des autres modes de transport dont l'automobile et l'aérien. La dette contractée par la plupart des compagnies nationales et les inerties organisationnelles liées à leur statut de monopole ont eu pour résultat d'accroitre leurs difficultés qui se sont traduites dans la plupart des pays par une réduction progressive des trafics.

Les Etats-Unis sont le premier pays à réformer le système ferroviaire en mettant notamment fin à la régulation des prix par l'*Interstate Commerce Commission* en 1980 avec le « *Stagger Act* » (précédé en 1976 par une première tentative de réforme avec le « *4R Act* »). Les effets ont été spectaculaires, chaque compagnie ayant désormais la maîtrise de la commercialisation de ses services et de leur prix.

Figure 12 : Performance des entreprises de fret ferroviaire aux Etats-Unis entre 1964 et 2012



Source : AAR, 2014

Les effets ont particulièrement été profitables entre 1985 et le début des années 2000 avec une augmentation des volumes et une baisse des tarifs. La crise de 2007 semble avoir marqué une stabilisation du marché qui s'explique principalement par une concentration des acteurs dans le secteur (Ivaldi & Mccullough, 2005). Selon Nuria Fernandez (Acting Director de la Federal Transit Administration de 1999 à 2001), la concentration des acteurs se traduit par un sous-investissement dans le développement en capacité des grands corridors fret ce qui entraine leur saturation et limite le développement des trafics. L'enjeu est donc de trouver de nouveaux leviers pour inciter les grandes compagnies à investir et à conquérir de nouveaux marchés.

Le Japon a également rapidement redéfini l'organisation de son secteur ferroviaire face à une érosion des parts de marché et à un accroissement important de la dette. La compagnie nationale est divisée en 1987 en 7 compagnies privées (6 compagnies voyageurs et une fret) regroupées au sein d'une société commune (*Japan Railways*, JR). Elles opèrent chacune en monopole sur un périmètre régional bien défini et sous convention avec les collectivités dans le cadre de subventionnement pour les missions de service public (Rothengatter, 1991). Elles sont également connues pour avoir diversifié leurs actifs notamment dans la valorisation immobilière autour des gares.

L'évolution a été plus modérée en Europe où les débats se poursuivent avec en 2014 la définition d'un quatrième paquet ferroviaire.

2.1.1.3. Le réveil européen : de la Suède à la Commission européenne

On désigne souvent à tort la Commission européenne comme responsable de la remise en cause progressive des monopoles ferroviaires nationaux hérités de la première moitié du XXème siècle. Or l'aperçu historique de l'évolution du secteur montre que la remise en cause est plus ancienne et plus systémique que la politique européenne. La concurrence de la route et la crise de gestion des systèmes ferroviaires (chute des trafics) ont été des moteurs puissants. En Europe, la Suède a été le premier pays à faire évoluer son modèle et a profondément inspiré les orientations de la Commission européenne.

La Suède est confrontée à la fin des années 80 à une crise de son modèle. La croissance du PIB se ralentit (négative entre 1991 et 1993), l'endettement atteint 80% du PIB et le déficit public se creuse à 11,9% du PIB en 1993. Pour assurer la pérennité de son modèle et maîtriser des dépenses publiques qui représentent près de 70% de son PIB, la Suède prend un certain nombre d'initiatives pour rendre les services publics plus efficaces. Parmi ces mesures, on retient la libéralisation de plusieurs secteurs (aérien, 1992 ; poste, 1993 ; électricité, 1996) dont le ferroviaire qui fut le premier (1988).

Elle choisit de séparer le monopole dans sa verticalité en distinguant la gestion de l'infrastructure (gestion des trafics, entretien et renouvellement des voies) de l'exploitation ferroviaire (transport de voyageurs ou de marchandises). Les différents segments de marché sont ensuite progressivement ouverts à la concurrence avec distinction entre la concurrence pour le marché dans le cas des transports de voyageurs régionaux (1995) et la concurrence sur le marché pour le transport de marchandises (1996) et de voyageurs longue distance (2010).

Ainsi dès 1988, la Suède propose en guise de modèle européen un système ferroviaire où les activités entre gestionnaire d'infrastructure et opérateur historique sont clairement séparées. Elle reconnaît la

gestion de l'infrastructure comme relevant du monopole naturel en raison de sa structure à rendements croissants mais considère l'activité de l'opérateur comme une industrie classique (rendements décroissants) ne nécessitant pas obligatoirement une situation de monopole. La concurrence est encouragée et contrôlée dans le cadre d'appels d'offres prenant la forme de délégations de services publics pour les transports régionaux.

Les pays européens voisins ont eu un temps de réaction plus long. La Grande Bretagne réforme son système à partir de 1993, l'Allemagne engage le processus en 1994 et la plupart des autres attendent la fin des années 90 pour initier le processus (1997 pour la France).

La transition d'une organisation administrative à une structure orientée vers le marché n'a pas toujours été évidente et s'est traduite en Europe par un temps long. Néanmoins, pour la plupart des pays, la politique européenne a été un vecteur d'évolution souvent de bon grès et aussi parfois de force.

2.1.2. Le modèle européen, une approche normalisatrice

La Commission européenne applique depuis 1991 une politique normalisatrice dans le secteur ferroviaire en perspective du renforcement du marché unique. Ce principe a été rappelé dans l'acte pour le marché unique II (« Ensemble pour une nouvelle croissance »), adopté par le Conseil européen en 2012. Il insiste notamment sur la nécessité d'une plus grande intégration et d'une plus grande concurrence du réseau ferroviaire européen. Cette politique à caractère économique se distingue d'une approche technicienne plus ancienne qui consistait à rapprocher les standards industriels propres à chaque réseau.

Initiée par la directive 91/440/CE (CE, 1991), la politique ferroviaire européenne repose sur quatre piliers dont l'objectif est la création d'un espace ferroviaire unique (Crozet, Herrgott, Laroche, & Perennes, 2014)[7]. Le premier pilier correspond à la libéralisation du secteur pour une ouverture progressive des marchés nationaux et la constitution d'entreprises ferroviaires européennes. Le second concerne la sécurité avec l'instauration ou la reconnaissance progressive de règles communes. Le concept d'interopérabilité constitue le troisième pilier et a été défini dès le traité de Maastricht[8]. Enfin, le développement d'une approche territoriale à travers l'identification d'axes clefs de fonctionnement du réseau européen compose le quatrième pilier (corridors RTE-T). Ces piliers sont progressivement précisés par la Commission européenne à travers la production de directives et de règlements.

Afin de clarifier son action, la Commission européenne a choisi de regrouper ces textes sous la forme de « paquets ferroviaires ». Trois paquets ont été produits depuis 1998 et un quatrième est en cours d'adoption en 2014 selon la procédure législative ordinaire. Cette méthode de travail présente plusieurs intérêts pour la Commission européenne. Sur le plan pratique, le regroupement des textes

7 Les premiers travaux d'harmonisation du réseau européen sont plus anciens mais ils ne concernaient que des aspects techniques. La directive 91/440/CE marque une rupture avec un volet économique.

8 L'interopérabilité définit l'aptitude du système ferroviaire transeuropéen à permettre la « circulation sure et sans rupture des trains » (CE, 1991)

offre une meilleure lisibilité des orientations prises. Sur le plan politique, ces séries permettent de diluer une disposition centrale (développement de la libéralisation) dans un ensemble moins « politique » (renforcement de la sécurité et des droits des consommateurs).

Sans rentrer plus en détail dans la politique européenne, le premier paquet ferroviaire (1998-2001) a principalement ouvert l'accès aux services de fret internationaux sur le réseau transeuropéen de fret ferroviaire (RTEFF) et rendu obligatoire la création d'un régulateur ferroviaire. Le second paquet (2002-2004) ouvre le secteur du fret ferroviaire à la concurrence et instaure par règlement la création de l'Agence Ferroviaire Européenne (ERA). Le troisième paquet ferroviaire (2004-2007) prévoit l'ouverture à la concurrence du service international de voyageurs au 1er janvier 2010 et précise la position européenne en matière de services publics ferroviaire avec le règlement n°1370/2007 (CE, 2007) relatif aux services publics de transport de voyageurs dit « OSP » (Obligation de Service Public). Enfin, le quatrième paquet, en cours de négociation entre le parlement européen et le conseil de l'Union Européenne, devrait permettre d'achever le processus d'ouverture des marchés nationaux (horizon 2018-2019), de renforcer le rôle de l'ERA en matière de certification du matériel roulant et de réaffirmer les critères de séparation entre le gestionnaire d'infrastructure et les entreprises ferroviaires.

2.1.2.1. La directive 91/440/CEE : une ébauche de normalisation et d'harmonisation

La notion de capacité dans le secteur ferroviaire renvoie à une définition très réglementée au niveau européen. Elle s'est construite en plusieurs étapes et continue, encore aujourd'hui, à susciter le débat.

La politique européenne a eu un impact non négligeable sur la prise en compte de la capacité dans le secteur ferroviaire. Son action visant à renforcer l'efficacité du système ferroviaire a contribué à placer la capacité et ses contraintes au cœur du travail d'harmonisation et de normalisation des pratiques. On propose dans ce point d'analyser la vision européenne de la capacité à partir d'une rétrospective des directives traitant le sujet (91/440/CEE, 95/18/CE, 2001/14/CE et 2012/34/UE).

La directive 91/440/CEE fonde la politique européenne en matière de transport ferroviaire. Les deux premiers considérants posent les principes fondamentaux de cette politique et n'ont jusqu'à présent jamais varié. Le premier rappelle la nécessité d'une plus grande intégration du secteur ferroviaire européen pour répondre aux impératifs du marché intérieur (notamment en matière d'interopérabilité). Il définit le transport ferroviaire comme un *« élément vital du secteur des transports dans la Communauté »*, d'où la nécessité d'agir pour renverser la tendance du déclin. Le second considérant amène l'idée que l'amélioration de l'efficacité du transport ferroviaire est une condition *sine qua non* pour le rendre plus compétitif vis-à-vis de la route et garantir sa pérennité. Le quatrième considérant indique que la séparation entre le gestionnaire d'infrastructure et les exploitants ferroviaires est une condition essentielle pour permettre ce gain en efficacité. L'enjeu est double. Il consiste d'une part à rationaliser les relations entre gestionnaires d'infrastructure et exploitants et d'autre part à envisager la transition d'une économie administrée à une économie de marché où plusieurs acteurs sont en concurrence pour obtenir un droit de capacité.

L'article 1er synthétise cette vision selon quatre principes fondamentaux : l'indépendance des entreprises ferroviaires du point de vue de la gestion (orientation vers une gestion plus commerciale), la séparation comptable entre le gestionnaire de l'infrastructure et l'opérateur historique, l'assainissement financier du secteur et la mise en place d'un système pour garantir le droit d'accès au réseau de manière équitable (accès aux mêmes prestations pour les différentes entreprises).

L'article 8 de la section III précise l'interaction entre gestionnaire d'infrastructure et entreprises ferroviaires à travers le principe d'une *« redevance d'utilisation de l'infrastructure ferroviaire »*. Elle est produite par le gestionnaire d'infrastructure et a pour but *« d'éviter toute discrimination entre entreprises ferroviaires »*. On peut observer que l'idée de couverture des coûts d'infrastructure n'est pas développée.

Il est recommandé de calculer la redevance selon deux grandes variables : le kilométrage et la composition des trains. Ces variables peuvent être pondérées selon la vitesse, la charge de l'essieu et le niveau ou la période d'utilisation de l'infrastructure (introduction de l'idée d'une modulation horaire).

Par conséquent, la directive 91/440/CEE introduit dès le début la notion de capacité au cœur du principe d'efficacité du réseau ferroviaire. Par ailleurs, elle instaure l'idée d'une relation tarifée entre le gestionnaire d'infrastructure et les entreprises ferroviaires et crée les bases d'un nouveau marché pour allouer la capacité selon le principe de redevance. L'objectif est de permettre à terme la circulation sur un même réseau de plusieurs opérateurs différents.

La directive 95/19/CE précise les dispositions de la directive 91/440/CEE en matière de droit d'accès et de répartition de la capacité. Les considérants montrent que pour garantir le droit d'accès à de nouveaux services, il nécessaire de définir une procédure harmonisée pour l'attribution des capacités et la perception des redevances (rappelé dans l'article 1). On observe que les « nouveaux services » sont pour l'essentiel limités en 1995 aux groupements entre compagnies nationales pour des services internationaux de type Eurostar.

La section II intitulée « répartition des capacités d'infrastructure ferroviaire » pose le principe d'une répartition « équitable » et « non discriminatoire ». Elle introduit la nécessité de disposer d'un « organisme de répartition » indépendant de l'opérateur historique et de définir une procédure claire pour garantir la transparence du système. Une première tentative de normalisation de la procédure d'attribution est proposée dans l'article 10. La demande de capacité est adressée à l'organisme en charge de la répartition de la capacité. L'organisme étudie la demande et établit des réunions de coordination en cas de demandes concurrentes. Dans le cas où la capacité n'est pas suffisante pour répondre à la demande, cette dernière est de nouveau étudiée lors de la définition du service horaire suivant.

Par ailleurs, l'article 6 pose le principe d'équilibre des comptes du GI compte tenu des subventions et des redevances tandis que l'article 7 introduit la notion de commercialisation de la capacité pour le gestionnaire d'infrastructure. L'idée sous-jacente est qu'une plus grande responsabilisation du gestionnaire d'infrastructure peut constituer un levier pour l'encourager à optimiser la capacité de son réseau. Néanmoins, le principe de redevance évolue peu dans sa structure de 1991. La notion d'usure de l'infrastructure est ajoutée au mode de calcul.

La directive 95/19/CE apporte donc deux éléments fondamentaux : une procédure harmonisée de répartition de la capacité et un système de redevance transparent.

2.1.2.2. Directive 2001/14/CE : une étape majeure

Le projet de directive proposé en 1998 et finalement remanié dans la directive 2001/14/CE a conforté la Commission européenne dans l'idée d'harmoniser par le droit les procédures de répartition de la capacité. Le tableau suivant synthétise le constat dressé par la Commission européenne en 1998 et révèle d'une part le travail qu'il reste à réaliser pour faire accepter le principe de redevance et d'autre part la diversité dans l'interprétation du droit européen.

Tableau 4 : Systèmes de redevance en vigueur dans les différents pays européens en 1998

Pays	**Système de redevance**
Autriche	Redevance : charge fixe selon distance parcourue/an et charge variable par tonne.km et par train.km
Belgique	Redevance : charge fixe selon train.km et pondérée par différents coefficients
Danemark	Redevance : charge variable selon distance parcourue
Finlande	Redevance : charge par tonne.km différenciée entre voyageurs et fret avec charge additionnelle pour le fret selon les tonnes transportées
France	Redevance: Charge selon la distance parcourue, charge de réservation par train.km et charge d'utilisation par train.km
Allemagne	Redevance : charge standard par train.km qui varie selon le type d'itinéraire et selon le type de train
Grèce	Pas de redevance
Italie	Pas de redevance
Pays-Bas	Charges maintenues à 0
Portugal	Pas de redevance
Espagne	Pas de redevance
Suède	Redevance : charge fixe par axe et par an qui varie selon le matériel roulant et la gestion du trafic
Royaume-Uni	Pour les services franchisés : charges fixe et variable doublées d'un contrat de performance Pour le fret : charges négociées dans l'objectif de couvrir les coûts fixes du réseau fret.

Source : projet de directive 98/480/CE

L'objectif de la Commission européenne dans la rédaction de la directive 2001/14/CE est réduire cette hétérogénéité (considérant 4) en développant les principes fondamentaux des redevances et en précisant le système de répartition des capacités. Elle rappelle dans ses considérants les apports des deux précédentes directives à savoir :

- Pour la directive 91/440/CEE la définition du principe de droit d'accès dans l'idée qu'à terme « des utilisateurs multiples puissent utiliser l'infrastructure » ;
- Pour la directive 95/19/CE la définition d'un cadre général de répartition des capacités.

La lecture des considérants traduit une évolution notable dans la position de la Commission européenne vis-à-vis du secteur ferroviaire. Elle est plus affirmée et détaillée notamment en ce qui concerne les effets attendus de la réforme. Les considérants 6 et 7 affirment d'une part qu'un système de répartition efficace des capacités associé à des entreprises ferroviaires compétitives devrait renforcer l'efficacité du secteur par rapport aux autres modes. D'autre part, la définition d'un système incitatif pour le gestionnaire d'infrastructure devrait entraîner une réduction des coûts et *in fine* des redevances tout en assurant une meilleure utilisation du réseau. Cette approche contraste fortement

avec les considérants de la précédente directive où la notion d'efficacité pour le gestionnaire d'infrastructure n'était qu'indirectement traitée.

Les avancées sont multiples et déterminantes.

En premier lieu, le gestionnaire d'infrastructure est reconnu comme un « monopole naturel » (considérant 40). Dans cette perspective, la directive propose la mise en place d'un système d'incitation à la réduction des coûts de production et d'optimisation de l'utilisation du réseau pour le gestionnaire (article 5) qui repose sur :

- Article 7 et 9 : une certaine liberté dans la définition de la redevance pour la définition de signaux tarifaires aux opérateurs (à la hausse dans le cas de lignes saturées ou à la baisse dans le cas de lignes sous utilisées) ;
- Article 8 : la possibilité de maintenir des redevances élevées dans le cas du financement d'un investissement spécifique qui aurait pour effet d'améliorer l'efficacité de l'infrastructure ;
- Article 11 : la mise en place d'un système d'amélioration des performances reposant sur des pénalités pécuniaires en cas de défaillance du réseau (incitation à l'amélioration de la qualité) ;
- Article 17 : la mise en place d'accords-cadres qui garantissent sur une durée de cinq ans des rapports privilégiés entre le GI et l'EF concernée ;
- Article 30 : la création d'un organisme de contrôle chargé de veiller à la non-discrimination dans l'accès au réseau.

On note par ailleurs une évolution notable des principes de redevance qui prennent le nom de « tarification » (Article 7). Le principe d'une tarification au coût marginal est érigé pour les prestations minimales et le droit d'accès au réseau : « *sont égales au coût directement imputable à l'exploitation du service ferroviaire* ».

En second lieu, la procédure de répartition de la capacité est considérablement enrichie. Elle intègre de manière explicite le problème de la saturation (considérant 25) et propose un processus complet et détaillé de répartition des capacités. L'ensemble des informations concernant les conditions d'accès au réseau sont consignées dans le document de référence du réseau (DRR) définit à l'article 3. Il doit permettre de réduire les asymétries d'information entre le GI et les EF.

La procédure de répartition des capacités est définie comme suit :

- Article 14 : le gestionnaire d'infrastructure attribue la capacité ;
- Article 17 : des accords-cadres permettent des rapports privilégiés entre GI et EF lors de la négociation mais ne peuvent garantir un sillon en particulier ;
- Article 19 : la demande en sillons est formulée par les candidats moyennent une redevance ;
- Article 18 : un calendrier est fixé pour les étapes clefs de la répartition ;

- Article 21 : en cas de demandes concurrentes, une procédure de coordination doit être menée par le GI entre les EF ;
- Article 22 : en cas d'impossibilité à répondre à toutes les demandes suite à la procédure de coordination, le GI déclare l'infrastructure saturée et enclenche une procédure particulière visant à résorber la saturation.

L'avancée majeure proposée par cette directive consiste certainement en la prise en compte de la saturation ferroviaire et la proposition d'une procédure de résolution du problème. L'article 7 précise qu'une redevance peut être prélevée au titre de la rareté pour une *« section identifiable de l'infrastructure pendant les périodes de saturation »*.

La méthode de traitement de la saturation est composée de trois étapes :

- Article 22 : l'échec de la procédure de coordination (ensemble de la demande non satisfaite) mène à la déclaration de saturation. La Commission européenne définit l'infrastructure saturée comme *«la section de l'infrastructure pour laquelle les demandes de capacités d'infrastructure ne peuvent être totalement satisfaites pendant certaines périodes, même après coordination des différentes demandes de réservation de capacités »* (définition « infrastructure saturée » Article 1).
- Article 25 : une analyse des capacités doit avoir lieu pour identifier les causes de la saturation. Elle doit porter sur l'ensemble du système à savoir l'infrastructure, les procédures d'exploitation et la nature des différents services offerts. Elle doit estimer l'incidence de ces différents éléments sur la capacité et proposer des solutions pour satisfaire la demande supplémentaire ;
- Article 26 : définition d'un « plan de renforcement des capacités » qui décrit la saturation constatée, l'évolution probable des trafics et les solutions envisageables. Chaque solution doit être évaluée sur la base d'une analyse coût-avantage. Le GI est incité à proposer une solution. Dans le cas où il n'en présente pas, il ne peut maintenir la redevance pour saturation à moins qu'il démontre qu'il n'y a pas de solutions possibles ou que celles-ci ont un coût pour la collectivité supérieur au poids de la redevance.

Il est intéressant de noter en complément que la capacité attribuée par le GI à une EF ne peut ensuite être échangée par cette EF avec une autre (pas de marché secondaire).

Par ailleurs, dans le cas de la déclaration de saturation, la redevance de saturation est jugée caduque si elle existait déjà au préalable de la déclaration (jugée inefficace). La capacité doit être alors répartie selon des priorités établies par le GI (article 22). Elles sont définies selon l'importance du service pour la collectivité par rapport à tout autre service qui serait exclu.

La directive 2001/14/CE marque par conséquent une rupture dans la politique européenne en introduisant un degré supérieur de normalisation dans la répartition de la capacité à travers le DRR, la

procédure de répartition, le traitement de la saturation ou encore le principe de tarification incitative pour l'utilisation de l'infrastructure et la performance du gestionnaire. Concernant les EF, l'ouverture du marché à la concurrence doit *a priori* remplir le rôle d'incitation à la performance.

2.1.2.3. Directive 2012/34/UE : la consolidation

L'organisation actuelle est définie par la directive 2012/34/UE. Elle enrichit et précise les directives précédentes sans pour autant faire évoluer les grands principes d'attribution de la capacité.

En premier lieu, l'organisme de contrôle est affirmé dans son statut (indépendance organisationnelle et autonomie juridique) et sa mission de contrôle de la procédure d'attribution des capacités.

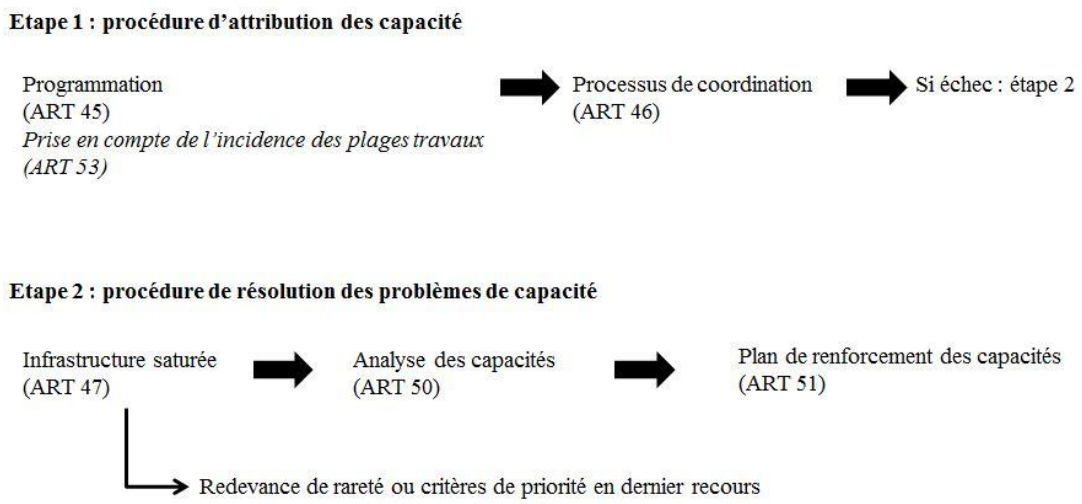
En second lieu, les exigences de performance vis-à-vis du GI sont renforcées avec la mise en place d'un contrat de performance d'au moins 5 ans entre l'Etat et le GI dans lequel le GI *« est encouragé par des mesures d'incitation à réduire les coûts de fourniture de l'infrastructure et le niveau des redevances d'accès »* sans pour autant remettre en cause la sécurité du réseau (Article 30).

Enfin, le principe de tarification est enrichi de deux mesures incitatives dans l'article 31. La redevance peut être modulée selon :

- Les externalités environnementales telles que la réduction de la redevance d'utilisation pour les wagons équipés de système de freinage à bas niveau de bruit ;
- L'amélioration en performance du réseau telle que la réduction des redevances pour les trains équipés du système ETCS et circulant sur des infrastructures équipées.

La procédure actuelle d'attribution des capacités et de prise en compte de la saturation peut être synthétisée de la manière suivante.

Figure 13 : Synthèse de la procédure d'allocation de la capacité et de résolution des problèmes de capacité



Source : Auteur selon la directive 2012/34/UE

La Commission européenne considère donc la saturation ferroviaire à partir du moment où la procédure de coordination a échoué à satisfaire l'ensemble des demandes et où l'infrastructure ne peut accepter une circulation supplémentaire. Dès lors une analyse de la capacité et un plan de renforcement des capacités doivent être réalisés dans les 6 mois. Par ailleurs, une redevance liée à la rareté peut être prélevée à condition qu'un plan de renforcement soit engagé. Elle est *a priori* transitoire mais peut être maintenue si les options proposées par le plan de renforcement ne permettent pas une adaptation de la capacité à un coût raisonnable (selon les besoins).

Enfin, il est intéressant de noter que si le terme « tarification » est utilisé pour décrire la politique générale dans ce domaine, c'est le terme redevance qui prévaut dans le détail et qui rappelle la gestion administrative des capacités.

Pour conclure, la Commission européenne a renforcé les procédures de contrôle du GI et veillé à développer des systèmes d'incitation à la performance en tenant compte de la nature spécifique du GI en tant que monopole naturel. Son travail de normalisation s'est considérablement accru à partir des années 2000 comme l'illustre le tableau suivant.

Tableau 5 : Analyse statistique simplifiée du travail de normalisation de la Commission européenne dans le secteur ferroviaire

Directive	**Nombre de considérants**	**Nombre d'articles**	**Nombre de définitions**	**Nombre d'annexes**
91/440/CEE	12	16	6	0
95/19/CE	15	16	6	0
2001/14/CE	50	40	13	3
2012/34/UE	87	67	30	10

Source : Auteur

2.1.3. Cas pratique de la France, une interprétation en « méandre libre » du droit européen

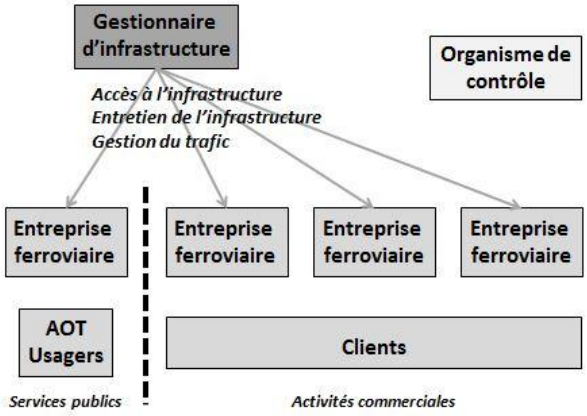
Le cas français se distingue par une interprétation pas toujours orthodoxe du droit européen. L'exemple le plus marquant est l'organisation particulière du secteur héritée de la sortie partielle des fonctions de gestionnaire d'infrastructure de la SNCF en 1997 (loi n°97-135). Nous reviendrons rapidement sur ce point essentiel du système français pour ensuite nous intéresser plus spécifiquement à la mise en œuvre de la procédure de répartition des capacités et à la tarification. Ce dernier point fait actuellement l'objet d'un débat entre RFF et l'ARAF concernant la prise en compte et la valorisation du phénomène de congestion dans le ferroviaire.

2.1.3.1. La création de Réseau Ferré de France : interprétation de la séparation

La définition du gestionnaire d'infrastructure par la Commission européenne a évolué vers une approche élargie et précise de la gestion de l'infrastructure. Toutefois, les attributs du gestionnaire d'infrastructure ont fluctué entre 1991 et 2012. Dans la première définition, le gestionnaire d'infrastructure est défini par *« l'établissement et […] l'entretien de l'infrastructure ferroviaire, ainsi que […] la gestion des systèmes de régulation et de sécurité »* (Article 3, 91/440/CEE). Dans la définition de 2001, l'association du gestionnaire d'infrastructure à la gestion du trafic (« systèmes de régulation » et à la sécurité ferroviaire est moins évidente : *« Ceci peut également inclure la gestion des systèmes de contrôle et de sécurité de l'infrastructure. Les fonctions de gestionnaire de réseau sur tout ou partie d'un réseau peuvent être attribuées à plusieurs organismes ou entreprises »* (Article 2, 2001/14/CE). *A contrario*, la définition de 2012 est plus précise et lève le flou sur le concept de « régulation ». Elle attribue au gestionnaire d'infrastructure *« la gestion et […] l'entretien de l'infrastructure ferroviaire, y compris la gestion du trafic, et du système de signalisation et de contrôle-commande ; les fonctions de gestionnaire de réseau sur tout ou partie d'un réseau peuvent être attribuées à plusieurs organismes ou entreprises »* (Article 3, 2012/34/UE).

L'organisation idéale de la Commission européenne selon la directive 2012/34/UE peut être schématisée de la manière suivante.

Figure 14 : Aperçu de l'organisation du système ferroviaire par la Commission européenne



Source : Crozet, Herrgott, Laroche, & Perennes, 2014

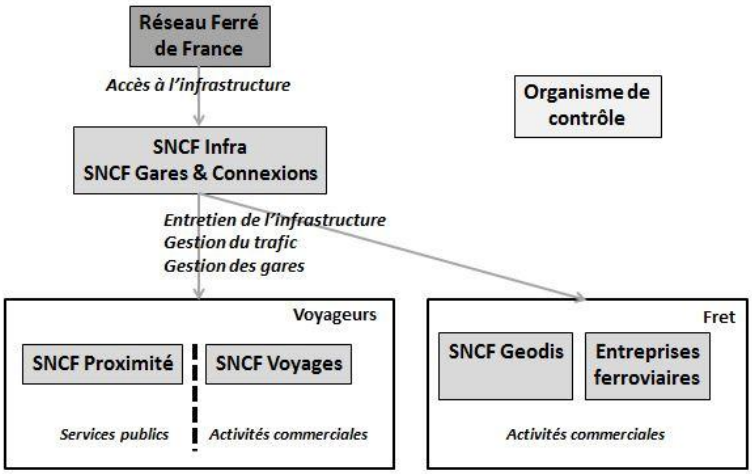
L'objectif de cette section n'est pas de présenter l'organisation d'ensemble du système ferroviaire telle que pensée par la Commission européenne mais d'illustrer la position du gestionnaire d'infrastructure et ses principales fonctions. Toutefois, le schéma montre qu'une distinction est réalisée entre les missions de services publics (définit par le règlement OSP 2007/1370) et les activités commerciales non subventionnées.

La France a fait le choix en 1997 de ne retenir que la version minimaliste de la définition européenne pour la création du gestionnaire d'infrastructure (Réseau Ferré de France). La loi n°97-135 a créé un système de responsabilité ambigu entre le GI et la SNCF. L'article 1 précise que *« compte tenu des impératifs de sécurité et de continuité du service public, la gestion du trafic et des circulations sur le*

réseau ferré national ainsi que le fonctionnement et l'entretien des installations techniques et de sécurité de ce réseau sont assurés par la Société nationale des chemins de fer français pour le compte et selon les objectifs et principes de gestion définis par Réseau ferré de France. Il la rémunère à cet effet ».

En conséquence, le GI obtient formellement la responsabilité pour la gestion des capacités et la maîtrise d'ouvrage pour les grands projets d'infrastructure (décret n°97-444) mais se trouve dans l'obligation de déléguer les missions d'entretien du réseau au gestionnaire d'infrastructure délégué, branche de la SNCF (« SNCF infra »). La SNCF conserve également la gestion du trafic et la gestion des gares. Par ailleurs, elle conserve son monopole sur l'activité voyageurs tandis que le marché du fret est ouvert à la concurrence à partir de 2006.

Figure 15 : Aperçu de l'organisation du système ferroviaire en France en 2014 (avant le projet de loi portant réforme ferroviaire)

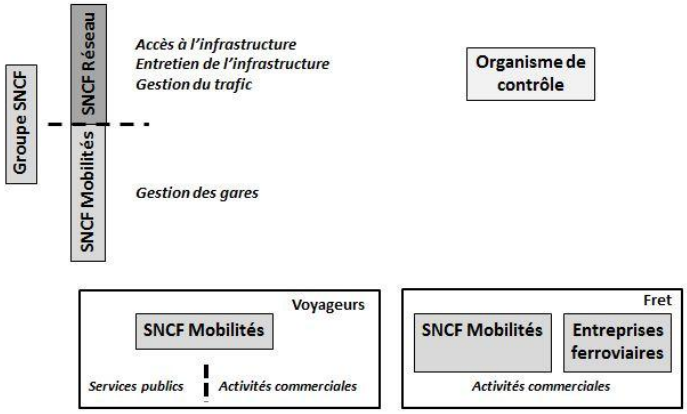


Source : auteur

Ce mode d'organisation a fait l'objet de nombreuses critiques à la fois par la Commission européenne (COM 2009-1687) mais aussi par les experts français (Crozet & Raoul, 2011 ; Bonnafous, 2013). Le maintien d'activités propres au gestionnaire d'infrastructure au sein de l'opérateur historique portait à débat et interrogeait sur l'indépendance de ses fonctions.

La nouvelle loi du 4 août 2014 (République française, 2014) poursuit le double objectif de rationaliser l'organisation du secteur pour une plus grande efficacité et par ailleurs, de mettre aux normes européennes le gestionnaire d'infrastructure. L'organisation générale présentée dans le schéma suivant questionne sur l'indépendance réelle du gestionnaire d'infrastructure et la compatibilité du projet avec le droit européen (Bonnafous, 2013 ; Crozet, 2013). Néanmoins, ce projet permet de réunifier selon le modèle européen l'ensemble des fonctions du gestionnaire d'infrastructure au sein de SNCF Réseau, excepté la gestion des gares qui reste du ressort de l'opérateur historique (« SNCF mobilités »).

Figure 16 : Aperçu de l'organisation du système ferroviaire en France selon la loi du 4 août 2014



Source : auteur

L'analyse de l'organisation du secteur ferroviaire en France montre que la culture du système intégré reste encore très ancrée malgré la politique européenne. Que ce soit dans la situation héritée de 1997 ou dans la nouvelle loi du 4 août 2014, l'opérateur historique maintient une certaine proximité avec la gestion de l'infrastructure. Cette proximité est d'autant plus forte qu'il se trouve en situation de quasi-monopole sur l'ensemble du marché.

2.1.3.2. Les missions du gestionnaire d'infrastructure : la répartition des capacités et la tarification

Mission 1 : La répartition des capacités

Les procédures définies par le gestionnaire d'infrastructure français en matière de répartition des capacités et de tarification suivent le droit européen précédemment décrit.

L'ensemble de ces éléments est consigné dans le Document de Référence du Réseau Ferré National (DRR) selon la définition européenne.

Le DRR pour « l'horaire de service 2015 » (RFF, 2014) ainsi que son annexe 8 décrivent précisément la procédure suivie pour la répartition des capacités, indiquent le calendrier de référence et détaillent les principes de tarification.

La procédure suivie est répartie en deux temps et s'échelonne sur cinq ans (court et moyen termes). La phase de programmation (définition d'un catalogue de sillons) s'étale sur 3 ans. Elle intègre les hypothèses d'évolution des trafics et les besoins à venir en entretien (définition des « fenêtres travaux »). La phase de coordination (« dialogue industriel ») occupe les deux dernières années jusqu'à la mise en service de l'horaire. Dans ce schéma, les entreprises ferroviaires doivent définir leurs besoins en capacité entre 1 et 2 ans avant la phase d'exploitation. Ce délai a souvent fait l'objet de critiques, notamment de la part des exploitants fret auxquels le marché demande de la flexibilité.

Des dispositions particulières ont été mises en place pour améliorer la flexibilité de la grille horaire. Le « sillon de dernière minute » permet de traiter une demande de capacité moins de 8 jours avant la date de circulation.

Dans le cas de demandes concurrentes, le gestionnaire met en place des réunions de coordination entre les acteurs concernés et ceux potentiellement impactés par des modifications. La priorité est donnée aux services opérant plus de 200 jours par an.

De 1997 à 2014, le gestionnaire a toujours pu répondre à l'ensemble des demandes de capacité. Néanmoins, conformément au droit européen, une procédure de déclaration de saturation de l'infrastructure peut être déclenchée.

Le gestionnaire définit une infrastructure saturée quand « des demandes de sillons réguliers pour circuler au moins une fois par semaine sur la durée de l'horaire de service, hormis cause travaux, n'ont pu donner lieu à attribution de sillons, à l'issue de la procédure de coordination et de réclamation » (RFF 2014, p74). Cette définition s'inscrit dans l'approche européenne et précise les conditions de saturation (période de temps et type de service). La procédure adoptée en cas de saturation est rigoureusement identique au modèle européen à savoir : déclaration de saturation, analyse de la capacité de l'infrastructure et proposition d'un plan de renforcement des capacités.

L'article 22 du décret 2003/194 fixe les conditions d'attribution de la capacité. Les demandes réalisées dans le cadre du catalogue de sillons et valables pour plus de 200 jours d'exploitation sont traitées prioritairement. Selon ce principe, les demandes relevant des accords-cadres sont traitées en priorité puis le principe du « premier arrivé, premier servi » s'applique pour le reste des demandes.

Par conséquent, l'analyse de la capacité d'une infrastructure ferroviaire est un élément déterminant de la procédure de saturation. Il convient de distinguer ce qui relève d'une part de la saturation réelle de l'infrastructure et d'autre part de la performance de l'infrastructure. Néanmoins, la dispersion des tâches relevant du périmètre d'action du gestionnaire de l'infrastructure (cas français) peut entrainer des pertes d'efficacité (maintenance et entretien de l'infrastructure).

Mission 2 : La tarification de l'infrastructure

Concernant la tarification, on s'intéresse à la politique appliquée par le gestionnaire d'infrastructure français. Elle est détaillée dans le DRR (chapitre 6) et son annexe 10.

Les principes de tarification sont définis dans le décret n°97-446 du 5 mai 1997 « relatif aux redevances d'utilisation du réseau ferré national perçues au profit de Réseau ferré de France », modifié par le décret n°2008-1204 du 20 novembre 2008. Conformément au droit européen, RFF est chargé « d'établir et de percevoir les redevances » (Article 1). Ces recettes sont affectées à la couverture de ses coûts selon le principe d'équilibre de ses comptes (subventions comprises).

La tarification du droit d'utilisation du réseau tient compte des « coûts de l'infrastructure du réseau ferré national, de la situation du marché des transports et des caractéristiques de l'offre et de la demande, des impératifs de l'utilisation optimale du réseau ferré national, du coût des effets sur l'environnement de l'exploitation des trains et de l'harmonisation des conditions de la concurrence intermodale. Elles tiennent compte, lorsque le marché s'y prête, de la valeur économique tirée de

l'utilisation du réseau ferré national » (Article 2). Cette définition s'applique pour la tarification des prestations minimales[9] assurées par le gestionnaire d'infrastructure. Elle permet entre autre d'appliquer une tarification a minima au coût marginal selon le coût des infrastructures et de la maintenance, de distinguer les différents segments du marché (voyageurs, fret) et les types de circulation (grande vitesse, TER, etc.), de prendre en compte les effets externes (bruit essentiellement) et de proposer des modulations tarifaires selon le niveau d'utilisation de l'infrastructure (valorisation de la rareté).

Dans le DRR 2015, elle prend la forme de quatre redevances (redevance de circulation, de réservation, d'accès et d'investissement). Ces redevances sont différemment appliquées selon les segments de marché pour tenir compte de leurs spécificités en termes d'offre et de demande. RFF distingue les services conventionnés type TER et TET (définis par des Autorités Organisatrices et subventionnés) des activités commerciales non conventionnées types TGV ou fret.

Les redevances de circulation et de réservation s'appliquent à l'ensemble de ces services. La redevance d'accès ne concerne que les services conventionnés et celle d'investissement renvoie à des cas bien spécifiques.

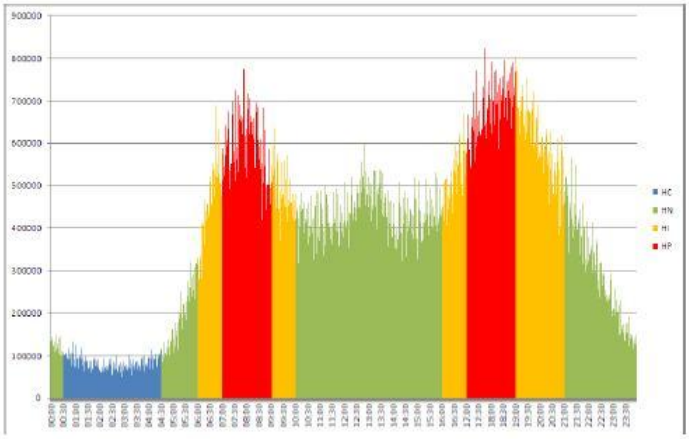
La redevance de circulation (RC) vise à couvrir le coût marginal engendré par la circulation d'un train supplémentaire en termes de maintenance et d'exploitation. Elle repose sur les coûts marginaux d'exploitation (tracé des sillons, gestion du trafic), d'entretien courant et de renouvellement. Le coût marginal est estimé à partir d'un modèle de coût défini par RFF et nécessite d'avoir une connaissance fine de la structure des coûts de production. La redevance est calculée selon le prix kilométrique de circulation (PKC) et la distance parcourue. Le PKC est modulé en fonction du service de transport (impact d'un train de fret différent d'un TER).

La redevance de réservation permet de valoriser l'infrastructure et de couvrir tout ou partie des coûts du capital à travers différentes modulations. La redevance est calculée à partir du Prix Kilométrique de Réservation (PKR) dont le barème varie selon les types d'infrastructure (ligne grande vitesse, ligne classique). Le PKR est modulé par des coefficients (au nombre de 5) qui s'appliquent selon les types de service (fret, TER, TGV, etc.). Parmi les 5 coefficients, la modulation horaire est la seule qui s'applique à l'ensemble des services. Elle traduit le niveau d'utilisation de l'infrastructure selon la période d'utilisation et a pour objectif d'envoyer un signal prix aux entreprises ferroviaires. Cette modulation peut être interprétée comme une forme de tarification de la rareté. Elle est différenciée selon les types de service (voyageur/fret) et s'applique de manière uniforme pour l'ensemble des lignes.

La relation entre densité de trafic et modulation tarifaire appliquée aux services voyageurs est concomitante avec les périodes de pointe.

9 Les prestations minimales comprennent : le traitement des demandes de capacités d'infrastructure, le droit d'utilisation des sillons attribués, les prestations relatives à la circulation, l'accès par le réseau aux infrastructures de service.

Figure 17 : Rapport entre la modulation tarifaire horaire (en couleur) et la densité de trafic (en sillons-kilomètres 2012)



Source : DRR 2015, annexe 10.1

Les autres coefficients s'appliquent de manière différenciée selon les types de service. Les convois de voyageurs sont pondérés en fonction de l'origine/destination du sillon (sur LGV), d'une modulation pour les circulations TER circulant sur LGV (TERGV) et d'une modulation spécifique aux TAGV radiaux ayant pour origine ou destination la Suisse. Pour les convois fret, un coefficient lié à la vitesse ou à la longueur du sillon vient compléter la modulation horaire. Par ailleurs, on en déduit que le transport régional sur voie classique est impacté uniquement par le coefficient de modulation horaire.

Cette redevance permet donc d'introduire à la fois l'idée de rareté de l'infrastructure mais aussi celle d'externalité d'une circulation sur une autre (coefficient fret selon la vitesse).

La redevance d'accès ne concerne que les activités conventionnées (TET, TER et Transilien). Elle répond aux principes de la théorie économique selon lesquels la tarification au coût marginal des services produits en régime de rendements croissants (caractéristique du monopole naturel) aboutit nécessairement au financement par l'Etat de la différence entre le coût marginal et le coût moyen. Dans le cas du DRR 2015, elle est fixée par type de service et compense le manque à gagner pour le gestionnaire avec une tarification au coût marginal (redevance de circulation). Par conséquent, les activités conventionnées couvrent *a priori* le coût complet de l'infrastructure contrairement aux activités commerciales.

Enfin, la redevance d'investissement est spécifique à un investissement réalisé sur une ligne. Elle s'inscrit dans le cadre d'un plan de renforcement des capacités et doit permettre une couverture des coûts induits sur le long terme. Cette redevance s'inscrit en conformité avec le droit européen qui prévoit le maintien de redevances plus élevées pour le financement de projets utiles en capacité et/ou rentables (Article 7, directive 2001/14/CE).

Dans l'ensemble, la tarification proposée par RFF couvre les prestations minimales au coût marginal pour les activités commerciales et complet pour les activités conventionnées. La tarification repose sur l'estimation du coût au kilomètre d'un train et de la distance parcourue. Elle est pondérée selon le type de service (voyageur/fret) et selon l'horaire. Par conséquent, la capacité du gestionnaire à connaître ses

coûts de production et la détermination de la modulation horaire sont deux éléments fondamentaux du niveau de péage de l'infrastructure.

Néanmoins, on peut relever que les recommandations réalisées par le directive 2012/34/UE en matière de modulation tarifaire pour les externalités liées au bruit et pour les convois équipés de l'ETCS ne semblent pas avoir été prises en compte dans le DRR 2015.

2.1.3.3. Avis de l'ARAF sur l'allocation des capacités et la tarification

En pratique, l'ARAF relève dans ses avis 2013-002 et 2014-001 l'importance de mieux définir le coût de production des prestations minimales et de préciser les principes de modulation horaire. Concernant la tarification des prestations minimales, l'ARAF rappelle dans l'avis n°2014-001 la nécessité de préciser le modèle de coût et de définir des objectifs de productivité à partir de la mise en place d'un indicateur global de suivi du volume de production. L'ARAF regrette notamment qu'il n'y ait pas d'engagement clair de la part du gestionnaire en matière de réduction de ses coûts de production comme défini par l'article 6 de la directive 2001/14/CE.

La seule action proposée dans le DRR 2015 semble être la mise en application de l'article 11 de la directive 2001/14/CE qui incite à mettre en place un « système d'amélioration des performances » par le biais d'une tarification incitative entre gestionnaire d'infrastructure et entreprises ferroviaires pour encourager à la réduction des défaillances et à l'amélioration du réseau. Il engage chacun des acteurs à tenir des objectifs de régularité. Tout retard de plus de 5 min est comptabilisé. La responsabilité est imputée soit à RFF, soit à l'entreprise ferroviaire. Des objectifs de performance sont élaborés d'une année sur l'autre et sanctionnés de malus en cas de non-respect. Néanmoins, si ce système répond aux critères européens concernant l'amélioration des performances, il n'est pas sûr qu'il réponde à l'objectif de réduction des coûts.

Par ailleurs, l'ARAF engage à une meilleure définition de la modulation horaire. Elle observe qu'une application uniforme de la modulation sur l'ensemble du réseau comporte un risque de dilution du signal prix (mark-up). Elle recommande d'adapter ce signal aux infrastructures concernées, de rendre plus transparentes les contraintes de capacité et de mieux définir le principe de rareté des capacités.

Conclusion

Les avis de l'ARAF vont dans le sens d'une recherche en matière d'optimisation de l'allocation des capacités et d'une meilleure identification des gains de productivité réalisables sur le réseau. La détermination de la capacité d'une infrastructure ferroviaire constitue le cœur du sujet et va faire l'objet de la section 2.2.

2.2. Caractérisation du phénomène de congestion pour le club ferroviaire

Le renouveau annoncé du système ferroviaire (directive 91/440/CEE) a contribué à faire de la notion de capacité un élément clef dans l'organisation du système. Le processus de séparation des anciens monopoles intégrés et l'identification du gestionnaire d'infrastructure en tant que monopole naturel rendent cette question sensible. Elle apparaît à la fois comme un moyen de mesurer la performance du gestionnaire d'infrastructure mais aussi de valoriser l'infrastructure. Pourtant, cette notion est ambiguë et comporte aussi bien des espoirs que des flous dans sa définition. Les espoirs sont portés par les études menées dans le cadre de la congestion routière. Une tarification adaptée permet non seulement d'internaliser les coûts externes mais aussi de financer les investissements à venir (Mohring et Hartwitz, 1962 ; Vickrey, 1969). La directive 2001/14/CE retient ce principe de financement à l'article 8 avec la possibilité de maintenir une redevance plus élevée basée sur le coût à long terme du projet d'investissement à condition qu'il améliore le rendement et/ou la rentabilité. Les flous sont rappelés par le débat entre RFF et l'ARAF portant sur la redevance de réservation (modulation horaire) qui montre les limites de l'interprétation et interroge sur les principes de tarification. Ils portent notamment sur la définition de la capacité ferroviaire et sur sa caractérisation, condition *sine qua non* pour ensuite proposer une tarification adaptée.

Dans cette section, la question de la tarification n'est pas directement traitée. La discussion s'intéresse uniquement à la caractérisation de la congestion dans le « club » ferroviaire (Rothengatter, 1994). Dans le cas du mode routier, le terme congestion est adopté pour illustrer un phénomène de saturation de l'infrastructure générateur d'externalités négatives. Qu'en est-il dans le ferroviaire ? Peut-on parler de congestion au même sens que pour le mode routier ou le concept ne doit-il pas être adapté selon les spécificités techniques et économiques du système ferroviaire ?

Un premier point est consacré à l'identification de relations similaires au routier pour le ferroviaire avant de décrire ses spécificités en matière de capacité. Un troisième point propose une interprétation socio-économique possible de la congestion ferroviaire.

2.2.1. Existe-t-il des diagrammes fondamentaux applicables au ferroviaire ?

Le principe de la congestion routière repose sur l'intuition de Pigou d'une relation positive entre densité de trafic et perte de temps et validée par l'ingénierie du trafic. Cette relation a été formulée sous la forme de trois diagrammes fondamentaux (*cf.* section 1.2.1). On s'interroge ici sur l'existence d'une telle relation dans le domaine du ferroviaire en tenant compte de son aspect guidé qui lui donne la particularité d'être planifié et laisse *a priori* peu de marge à l'incertitude.

L'analyse formelle du comportement des trafics dans le ferroviaire selon la densité de trafic est récente. La réflexion s'appuie essentiellement sur les travaux de Ball, Cooper, & Gibson (2002) pour le gestionnaire d'infrastructure britannique et ceux de Brunel, Marlot, & Pérez (2013) pour le gestionnaire d'infrastructure français.

2.2.1.1. Une relation entre densité de trafic et retard ?

Gibson et son équipe proposent de tester la causalité entre retard et densité de trafic pour mieux identifier le phénomène de congestion ferroviaire. Leur démarche s'inscrit dans le cadre d'une volonté de la part du gestionnaire d'infrastructure (*Railtrack* en 2002) de tarifer la rareté en capacité. En application de la directive 2001/14/CE, le gestionnaire a effectivement décidé de mettre en place un régime de performance avec les entreprises ferroviaires franchisées et d'appliquer un signal prix (« mark-up ») sur les lignes particulièrement circulées. Dans les deux cas, la caractérisation du phénomène de rareté d'une infrastructure est nécessaire pour déterminer l'impact potentiel d'une circulation supplémentaire sur les autres et par extension définir un coût de congestion.

L'étude de Ball, *et al.* (2002) repose sur une analyse économétrique entre utilisation de la capacité et temps de retard. Le retard est déterminé selon la différence entre l'horaire de passage théorique d'un train et son horaire de passage effectif. Les tests ont été réalisés à différentes périodes de la journée sur une année de service complète (1998-1999). L'unité de mesure retenue pour la densité de trafic est le nombre de trains/mile.

Les résultats montrent une relation statistique significative entre les deux variables, densité de train et temps de retard. Gibson et al proposent de traduire cette relation à partir de la fonction exponentielle suivante :

$$D_{it} = A_i * \exp(\beta C_{it})$$

Où

D_{it} définit le temps de retard sur une section de ligne *i* dans un temps donné *t* ;

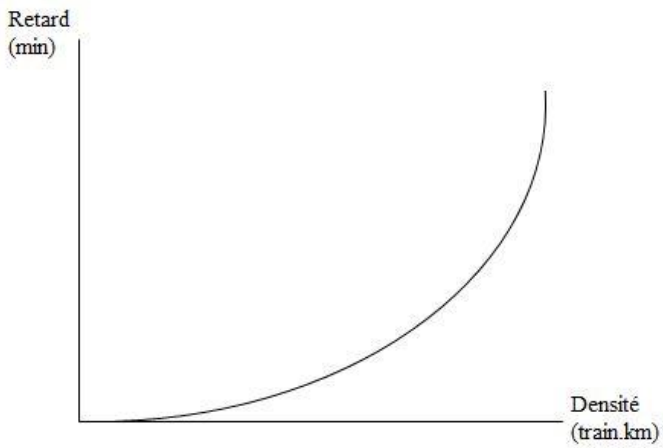
A_i est une variable propre à la section *i* en un temps donné *t* ;

β est un coefficient propre à la ligne étudiée

C_{it} est un indice d'utilisation de la ligne *i* en un temps donné *t*.

Sa projection établit la relation suivante entre temps de retard et densité d'utilisation de la ligne.

Figure 18 : Schématisation de la relation retard – densité de trafic



Source : Ball, Cooper, & Gibson, 2002

2.2.1.2. Des résultats difficiles à reproduire d'une ligne à l'autre

Cette relation a été approfondie et précisée par Brunel, *et al.* (2013). Cependant, quelle que soit la validité de la relation, Gibson, et al. (2002) ont mis en évidence le fait que la capacité ferroviaire ne peut être appréhendée de manière générale et dépend des caractéristiques de chaque ligne dans des périodes temporelles bien définies.

Les principales causes de différenciation retenues sont la localisation de l'infrastructure (milieu urbain, rural, etc.), le temps ou jours d'exploitation (périodes de pointe et creuse), la vitesse relative (qui influe le débit) et le régime de performance défini sur la ligne entre le gestionnaire d'infrastructure et les entreprises ferroviaires.

Ainsi sur 24 cas étudiés, 20 donnent pour résultat une relation statistiquement significative et 4 non significatives. Ball, *et al.* (2002) notent que ces cas correspondent à des sections faiblement concernées par le phénomène de congestion du fait de leur situation géographique en rase campagne et à l'écart des nœuds ferroviaires.

Néanmoins, parmi les 20 cas signifiants, ils relèvent une grande hétérogénéité dans la sensibilité du temps de retard à la densité de trafic et reconnait ne pas être en mesure d'expliquer précisément les causes de ces écarts :

> *« The facts that there are significant differences between betas on different routes indicates some different characteristics of the routes ; however, the precise reasons for these differences have not been determined » (Ball, et al., 2002, p348).*

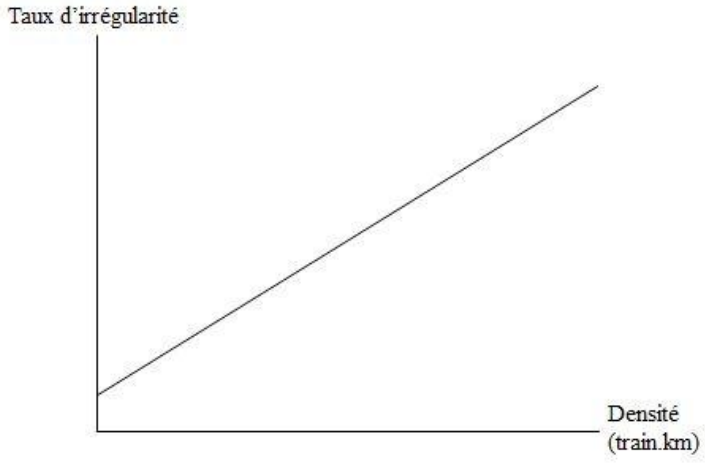
2.2.1.3. Quand le retard est aléatoire

Brunel, *et al.* (2013) se sont inspirés de ces premiers travaux pour proposer une formalisation du phénomène de congestion ferroviaire. Pour autant, ils ont remis en cause la relation établie par Ball, *et al.* (2002), peut-être trop semblable aux diagrammes routiers, en proposant une relation fondée sur le taux d'irrégularité.

Leurs travaux se sont fondés sur une analyse économétrique des données recueillies à partir de la base de données BREHAT. A disposition du gestionnaire d'infrastructure, elle permet d'enregistrer l'ensemble des circulations sur le réseau en différents points et permet notamment de comparer l'horaire théorique de passage d'un train à son horaire de passage effectif. Le travail de comparaison a été réalisé pour un ensemble de lignes aux caractéristiques différentes (LGV, ligne classique) et a consisté à croiser la densité de trafic au taux d'irrégularité et aux retards moyens observés sur la ligne étudiée. Les résultats obtenus n'ont pas été significatifs concernant la variable des retards moyens. Sur la plupart des lignes, le retard ne semble pas être corrélé à la densité de trafic et reste constant (entre 5 et 10 min) contrairement à l'affirmation de Gibson et al (2002). En revanche, une relation statistique est observée dans le cas de l'irrégularité. Si on considère la régularité comme la capacité d'un train à tenir son horaire théorique, l'irrégularité se traduit par la différence entre horaire théorique et horaire

effectif. Mais à rebours de l'analyse anglaise, ils montrent que ce phénomène ne se traduit pas forcément par une augmentation du temps moyen de retard.

Figure 19 : Courbe débit – taux d'irrégularité ferroviaire



Source : Brunel, Marlot, & Pérez, 2013

La relation débit horaire – taux d'irrégularité peut être formalisée de la manière suivante :

$$\tau_i = \alpha + \beta Q_i + \varepsilon_i$$

Avec

τ_i pour le taux d'irrégularité sur la ligne donnée *i* ;

α , β et ε pour caractériser la ligne ;

Q_i le trafic sur la ligne donnée *i*.

Ces premiers résultats tendent à caractériser la congestion ferroviaire comme un phénomène aléatoire. Le caractère aléatoire est dû à la production industrielle des circulations. Il résulte à la fois des impondérables qui peuvent affecter la production (climatique, humain, etc.) et de la capacité à les anticiper et les résoudre. Par conséquent, le principe du taux d'irrégularité semble mieux s'appliquer au ferroviaire que l'indicateur du temps de parcours dans la mesure où la régulation s'effectue au préalable des circulations (procédure de répartition des capacités) contrairement au routier où le temps de parcours est directement impacté par une régulation qui ne peut être faite qu'en temps réel.

La bonne compréhension de la production capacitaire ferroviaire nécessite de rappeler dans le point suivant ses principes de base à travers la construction du graphique horaire.

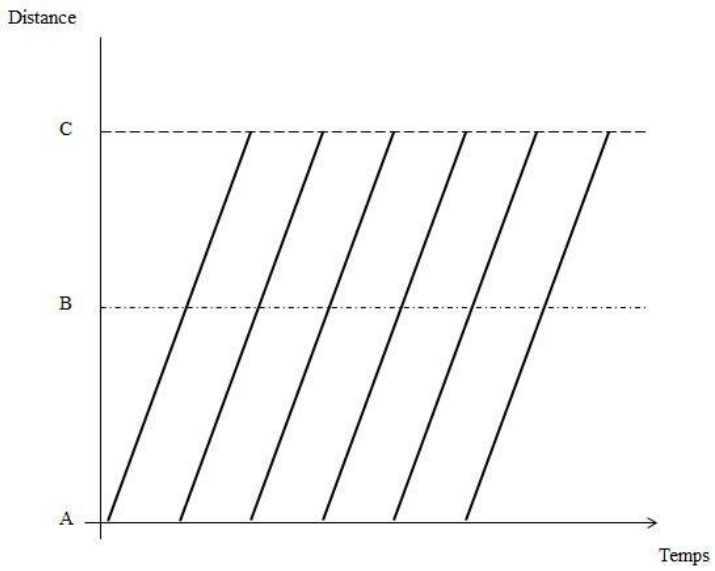
2.2.2. Principes de production de la capacité ferroviaire et procédure d'attribution

L'analyse de la relation densité-retard pour le ferroviaire peut être encore approfondie. Pour autant, il faut distinguer l'étude du comportement des circulations en situation d'exploitation, de la conceptualisation de ces circulations. Il est proposé ici de s'intéresser à la phase de conceptualisation. Sur ce point, une riche littérature existe notamment dans le domaine de l'ingénierie (Petersen, 1974 ; Higgins, Kozan, & Ferreira, 1996 ; Burdett & Kozan, 2006). Elle montre que l'accroissement des trafics peut entrainer des allongements de temps de parcours lors de la conceptualisation des grilles horaires.

2.2.2.1. Organisation des circulations et capacité de l'infrastructure

La capacité d'une ligne est principalement définie par le système de signalisation qui garantit la sécurité entre chaque circulation. Selon ce système, une ligne est décomposée en plusieurs cantons, plus ou moins flexibles, dans lesquels circulent les trains. Un canton ne peut être occupé que par un seul train et son accès au train suivant est bloqué tant que le train en transit n'en est pas sorti. Selon ce principe, les trains doivent se succéder dans des temps minimaux impartis pour ne pas se gêner mutuellement. Cette succession est planifiée en amont des circulations lors de l'établissement de la grille horaire. Les sillons tracés (un sillon équivaut à un train) prennent en compte les performances propres aux différents types de service ainsi que les contraintes propres à l'infrastructure (limitation de vitesse, croisements, etc.). Dans le cas idéal d'une ligne fréquentée par des services aux caractéristiques similaires (dessertes, vitesse, etc.), on obtient le graphique horaire suivant.

Figure 20 : Graphique horaire pour une heure de service en situation homogène (situation 1)



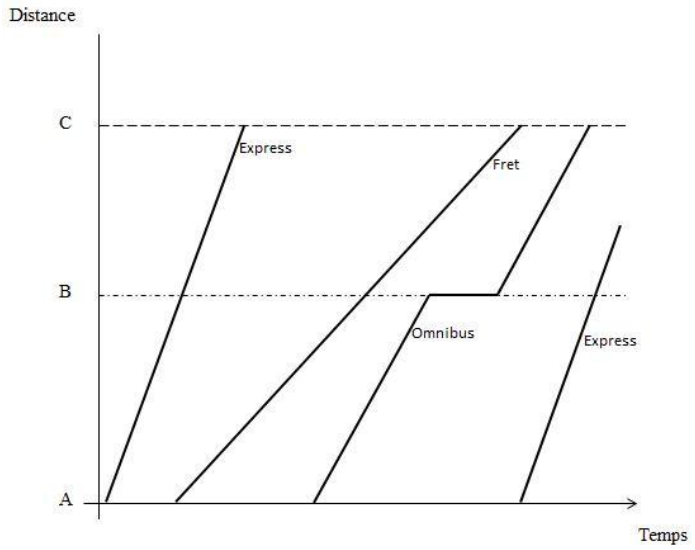
Source : auteur

2.2.2.2. Tracé des sillons et prise en compte du risque d'irrégularité

Les circulations se succèdent à intervalles réguliers. L'intervalle dépend dans ce cas de la performance du système de signalisation qui détermine le temps tampon minimal de sécurité entre deux circulations. Il prend notamment en compte les capacités de détection d'une circulation arrêtée en pleine voie et les capacités de freinage des convois.

Néanmoins, une telle représentation ne s'applique qu'à quelques lignes dont les LGV en France. La plupart des lignes mélange, sur le modèle allemand, l'ensemble des services de transport à savoir le fret, les voyageurs longue distance et les voyageurs régionaux. Ces services se distinguent principalement par leur vitesse, les dessertes et la performance des convois. La capacité se trouve d'autant impactée. Dans la situation précédente, 1, 6 trains circule en une heure à raison d'un train toutes les 10min tandis que dans la situation suivante seuls 3,5 trains circulent.

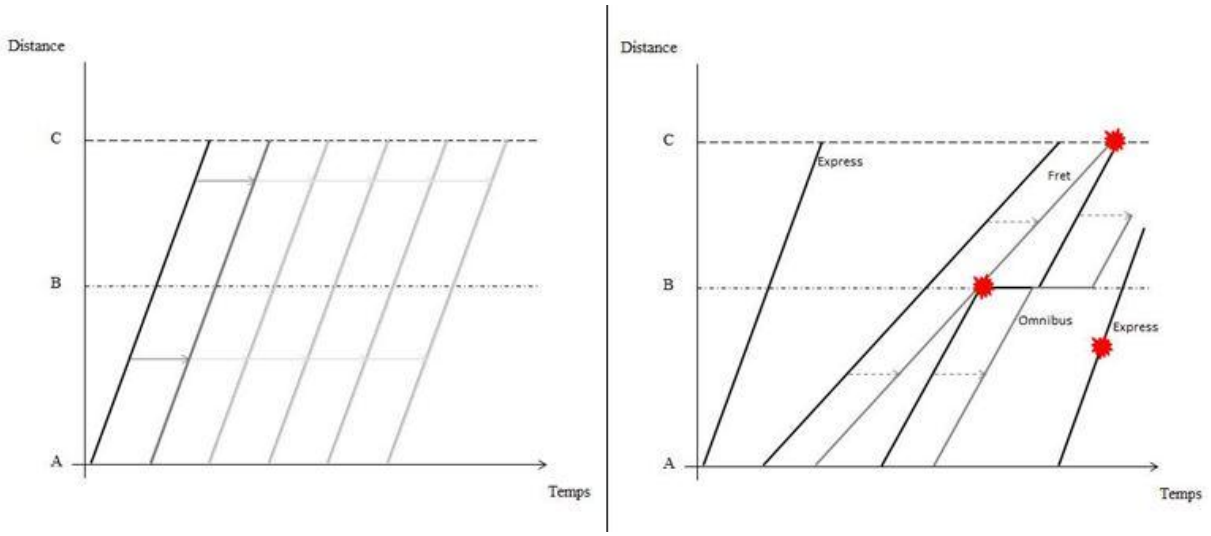
Figure 21 : Graphique horaire pour une heure de service en situation hétérogène (situation 2)



Source : auteur

Si on considère ces deux situations selon une perturbation de 10min sur l'un des trains, on obtient dans la situation 1, par effet domino, la suppression d'un train durant la période horaire définie. Dans la situation 2, le retard subi par le train de fret entraine un report sur le créneau horaire suivant de la fin du service omnibus et du départ de l'express. On obtient 2,5 trains au lieu de 3,5. Par conséquent, l'effet du retard d'un train sur l'autre n'est pas directement dû à une surcharge de la ligne mais plutôt à un aléa et à la capacité à gérer les situations de crise. En période normale, l'ensemble des trains peut circuler selon les conditions de circulation définies sur la ligne.

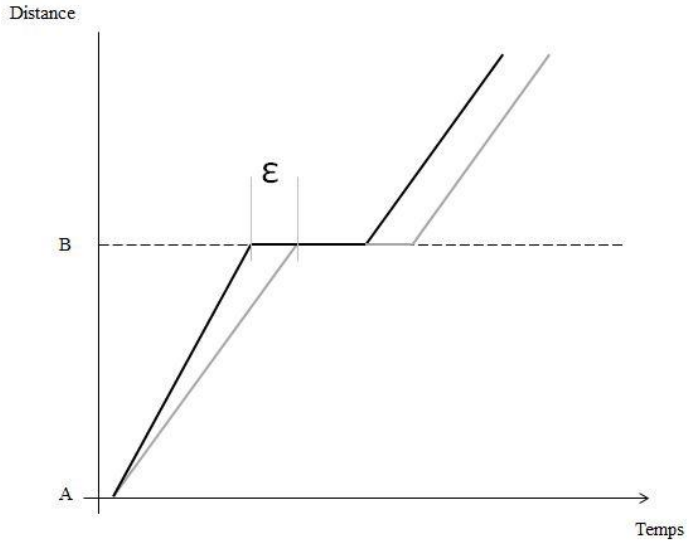
Figure 22 : Graphiques horaires en situation perturbée (retard de 10 min)



Source : auteur

En cas d'augmentation des trafics, le tracé des sillons peut être adapté de telle sorte qu'une circulation supplémentaire soit insérée. Dans la première situation, l'insertion d'un train supplémentaire nécessite l'aménagement d'un intervalle entre chaque train de 8 minutes au lieu de 10. La capacité du système à absorber cet aménagement va dépendre des règles de tracé des sillons et du comportement des circulations. Le graphique suivant rappelle le principe de base d'un tracé de sillon (Tzieropoulos, 2014).

Figure 23 : Principe de tracé d'un sillon, tracé théorique et tracé horaire

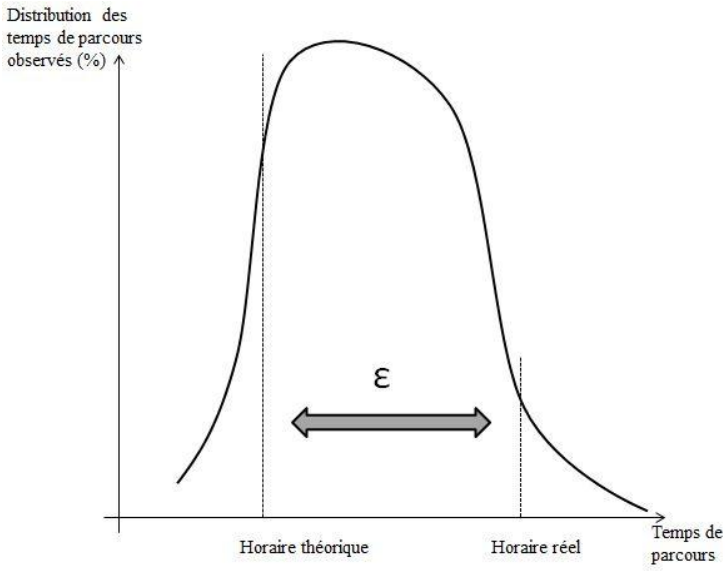


Source : Tzieropoulos, 2014

Une distinction est faite entre le tracé théorique (en noir) tel qu'il pourrait être réalisé dans un monde idéal et le tracé réel (en gris) qui prend en compte le comportement du conducteur ainsi qu'une marge de sécurité en cas de perturbation. Par conséquent, un arbitrage doit être réalisé entre régularité (capacité d'un train à tenir son horaire) et capacité (réduction au minimum du temps de détente entre

deux circulations). Cet arbitrage repose en grande partie sur le coefficient ε qui détermine la probabilité pour un train d'être en retard selon la distribution des temps de parcours observés. Tzieropoulos (2014) note que ce coefficient, qui reflète les conditions d'exploitation de la ligne, peut même s'appliquer à la circulation d'un train par jour sur une ligne. Le coefficient peut être formalisé de la manière suivante.

Figure 24 : Détermination du coefficient ε



Source : Tzieropoulos, 2014

2.2.2.3. Derrière la saturation, la question de la performance

Cette présentation simplifiée met en évidence la complexité du système ferroviaire et pose directement la question de sa performance. Le coefficient ε montre d'une part que le retard doit être considéré sous la forme d'une probabilité (taux de non-respect du temps de parcours théorique) et d'autre part que le risque de retard est *a priori* internalisé dans la définition des objectifs de régularité du gestionnaire d'infrastructure. Par conséquent, l'insertion d'un train supplémentaire peut se traduire de trois manières différentes en termes de retard :

- Dans le cas où l'infrastructure est saturée (occupation de l'ensemble de sa capacité[10]) et où aucun plan d'amélioration des performances n'est mis en place, le risque de retard augmente dans la mesure où le gestionnaire doit réduire le coefficient ε pour libérer de la capacité (contraindre au maximum les sillons pour insérer une circulation supplémentaire) ;
- Dans le cas où l'infrastructure est saturée (occupation de l'ensemble de sa capacité) et où un plan d'amélioration des performances est mis en place, le risque de retard reste constant dans la mesure où le coefficient ε maintient au moins sa performance ;

10 Selon les situations 1 et 2, il est intéressant de noter que la notion de saturation est très relative. Elle dépend notamment de l'organisation des circulations et des services concernés.

- Dans le cas où l'infrastructure n'est pas saturée, le plan d'amélioration n'est pas nécessaire pour maintenir un risque de retard constant dans la mesure où le coefficient ε reste inchangé.

Pour conclure ce point, on peut avancer l'idée que ce n'est pas tant la congestion qu'il est souhaitable de réguler dans le ferroviaire mais plutôt le gestionnaire d'infrastructure et son rapport aux entreprises ferroviaires. Ce constat tend à conforter l'article 35 de la directive 2001/14/CE (« système d'amélioration des performances ») qui vise à lier le gestionnaire d'infrastructure aux entreprises par un système de tarification incitative (bonus-malus) pour améliorer la performance globale de l'infrastructure. Ce système a été mis en place en Grande-Bretagne et est en cours de développement en France (*cf.* section 4.1.2.3.).

2.2.3. Une approche protéiforme du phénomène de congestion ferroviaire

Si la congestion routière s'exprime au travers de trois relations fondamentales, la caractérisation de la congestion ferroviaire paraît plus complexe. Cette section propose une approche possible de la congestion ferroviaire au regard de la procédure d'allocation des capacités et de la méthode de production d'une grille horaire décrites précédemment. L'objectif est de montrer que le phénomène de congestion ferroviaire est protéiforme dans la mesure où on distingue la phase amont de production de la grille horaire de sa phase aval pour l'exploitation. Cette analyse nous mènera dans un dernier temps à montrer que le coût de congestion ne peut être uniquement défini par la production d'externalités en phase d'exploitation. Les coûts associés au processus de répartition de capacité et de négociation en phase amont doivent également être pris en compte.

2.2.3.1. La phase amont : anticipation et négociation

La phase amont de production de la capacité correspond à la construction de la grille horaire telle que décrite dans le DRR 2015 pour la France. Elle se répartit en trois grandes étapes que sont la définition d'un catalogue sillons par le gestionnaire à destination des entreprises ferroviaires, la commande de sillons et la construction par le gestionnaire de la grille horaire en fonction des réponses. Dans le cas où des demandes sont concurrentes, une phase de négociation est prévue entre parties prenantes.

L'étape de définition du catalogue de sillons donne au gestionnaire un temps d'avance sur la demande. Il définit la capacité de son infrastructure et les droits d'accès à mettre sur le marché selon ses règles de tracé des sillons. Il a été montré dans la section 2.2.2. que le choix d'organisation de la grille horaire et du taux de marge de régularité (ε) peut impacter fortement la capacité disponible. Par conséquent, le catalogue présenté aux entreprises ferroviaires intègre déjà *a priori* l'anticipation du risque de dégradation de la qualité de service en cas d'un taux d'utilisation de 100% de la capacité proposée. L'intégration de ce risque peut être appréhendée à partir du coefficient de régularité (ε) retenu pour le tracé de chacun des sillons. Cette première étape se distingue fortement de la congestion

routière où il n'existe pas *a priori* d'identification des droits d'accès au préalable de la circulation. Dans le cas d'une circulation régulée sur le modèle du tunnel du Mont-Blanc, les automobiles sont injectées dans le tunnel selon une logique de canton. Néanmoins, cette régulation se fait au prix d'une file d'attente qui évolue en temps réel. Dans le cas du ferroviaire, cette file d'attente est reporté hors de la phase d'exploitation.

La seconde étape traduit la file d'attente liée à la demande des entreprises ferroviaires. Chacune se positionne sur les sillons dont l'utilité est la plus forte pour son activité. On suppose qu'elles peuvent anticiper la saturation d'une infrastructure. Ce comportement se traduit par une stratégie de surréservation sur des créneaux horaires bien précis pour espérer obtenir au moins un sillon. Il y a principalement deux raisons à développer cette stratégie. D'une part, les entreprises augmentent leur chance d'obtenir le sillon recherché et d'autre part, ils peuvent gagner en flexibilité dans le cas où ils obtiennent des sillons supplémentaires. Pour finir, un autre objectif serait de chercher à handicaper la concurrence.

La troisième phase rend manifeste le problème de congestion ferroviaire. Le gestionnaire se trouve en situation d'arbitre entre la capacité de son réseau et la demande des entreprises ferroviaires. En cas de demandes concurrentes pour un créneau horaire déjà saturé, il peut être mené à redéfinir ses conditions de capacité pour mettre sur le marché un droit d'accès supplémentaire. Mais dans le cas où aucune des entreprises ne souhaite déplacer sa demande à un autre créneau horaire et où l'ensemble des sillons est déjà pourvu, le gestionnaire a deux solutions. Soit il refuse une demande, mais il doit alors motiver son refus avec le risque de devoir déclarer l'infrastructure saturée selon le droit européen. Soit il accepte de revenir sur sa définition de la capacité pour insérer un sillon supplémentaire dans la grille horaire. Dans ce cas, le gestionnaire n'a d'autre choix que de renier sur sa marge de régularité au risque de voir lors de la phase d'exploitation le taux d'irrégularité augmenter sur la ligne (type sillon précaire). Du point de vue de l'analyse de la congestion, cette dernière observation montre que la saturation d'une ligne peut mener *a priori* le gestionnaire à prendre le risque de dégrader sa qualité de service pour satisfaire l'ensemble de la demande. Pour autant, si dans le cas du mode routier, l'introduction d'une automobile supplémentaire entraine une externalité négative (perte de temps), l'introduction d'une circulation supplémentaire dans le ferroviaire ne produit pas avec certitude une externalité négative en termes de régularité. Le gestionnaire réduit sa marge de régularité, pour autant, il ne peut mettre sur le marché un droit d'accès pour un sillon qui ne peut pas être tracé. Autrement dit, dans un système parfaitement performant chaque sillon devrait pouvoir être tracé sans marge de régularité.

L'analyse de l'interaction entre offre et demande dans la phase amont interroge sur la notion de congestion et d'externalité. D'un côté, la satisfaction d'une demande supplémentaire en cas de saturation de la ligne sur une période horaire peut mener le gestionnaire à renier sur sa marge de régularité (production d'externalités négatives). D'un autre côté, un système parfaitement performant devrait pouvoir assurer une qualité de service constante quel que soit le taux d'utilisation de la ligne.

2.2.3.2. La phase aval : exploitation et externalités

Les externalités négatives liées aux adaptations du plan horaire se manifestent lors de la phase d'exploitation. La section 2.2.1. a montré que l'accroissement de la densité de trafic sur une ligne pouvait augmenter le risque d'irrégularité et *in fine* de retard. Pour autant, ce risque existe quel que soit le niveau d'utilisation de la ligne. Il dépend également de la capacité du gestionnaire à gérer en temps réel les circulations (responsabilité du gestionnaire des circulations) mais aussi de la capacité des entreprises ferroviaires à respecter leur plan de transport. Dans ce cas, ce n'est pas tant la densité de trafic qui doit être incriminée mais plutôt la capacité de chacun des acteurs à tenir ses engagements.

Le « système d'amélioration des performances » proposé dans la directive 2001/14/CE et en cours d'application en France semble s'inscrire dans cette logique (*cf.* section 4.1.2.3.). Il pose pour hypothèse que la demande est régulée en amont de la phase d'exploitation. Par conséquent, le bon déroulement de l'exploitation relève en majeur partie du comportement des acteurs et de leur capacité à exécuter le plan de transport. Des objectifs de régularité sont donc définis entre le gestionnaire d'infrastructure et chaque entreprise ferroviaire. Dans le cas où ces objectifs ne sont pas tenus, le constat d'échec est pondéré par la responsabilité de chacun des acteurs et des compensations financières ont lieu. Ces objectifs évoluent d'année en année dans une logique d'amélioration des performances. Pour autant, il est accepté qu'une part de l'irrégularité puisse ne pas être totalement expliquée dans la mesure où l'objectif est rarement fixé à 100% de régularité. Par ailleurs, la notion de régularité est elle-même soumise à une définition particulière (5min, 10min, etc.). Par conséquent, la performance d'un système n'explique pas l'ensemble des irrégularités constatées. Elles peuvent provenir de facteurs externes (climatique, accidents, etc.) mais aussi de facteurs internes liés à la densité de trafic qui tant à réduire les marges de flexibilité du système.

Il est donc difficile de distinguer ce qui relève de la saturation d'une ligne de ce qui résulte de la performance de ses installations et de la capacité de chacun des acteurs à suivre la grille horaire. C'est pourquoi on préfère parler d'une congestion protéiforme dont les effets sont aléatoires. Cette difficulté provient essentiellement de la distinction entre phase de production de la capacité et phase d'exploitation. Il est certain que dans le domaine routier, la confrontation de l'offre à la demande dans un espace et un temps identiques simplifie l'analyse. Dans le cas du ferroviaire, la congestion devrait être *a priori* maîtrisée lors de la mise en exploitation de la grille horaire.

2.2.3.3. Congestion ferroviaire : coût de négociation et amélioration des performances

L'aspect protéiforme de la congestion ferroviaire ne facilite pas le travail de l'économiste dans l'identification de ses coûts. L'objectif ici n'est pas de répondre à la question de sa tarification mais plutôt d'essayer d'identifier les principales sources de surcoût.

Dans la phase amont, la tension entre la demande et la contrainte de capacité peut avoir deux effets : un allongement du délai de traitement des demandes de la part du gestionnaire et une augmentation du temps et du volume de négociations pour cause de demandes concurrentes. Ces deux aspects peuvent entrainer une augmentation des coûts de production de la grille horaire et réduire la qualité de service du gestionnaire en matière de traitement des demandes.

Dans la phase aval, le traitement de la saturation réalisé en amont de l'exploitation peut engendrer des coûts cachés (ou externalités) pour les entreprises ferroviaires et le gestionnaire. Dans le cas d'un système d'amélioration des performances, les défauts dus à la congestion seront traités comme des défauts de performance. Ils mènent les parties prenantes soit à investir dans de meilleurs systèmes (suivi des trains, matériel roulant, etc.), soit à réaliser des transferts financiers pour s'acquitter de leurs pénalités de retard. Autrement dit, le traitement de la congestion dans la phase amont devient un moteur d'amélioration des performances pour les parties prenantes dans la phase d'exploitation.

On identifie donc deux sources de coûts introduits par une situation de tension entre offre et demande : le coût de négociation dans la phase amont et le coût d'amélioration des performances dans la phase aval. On considère ainsi que le risque de congestion est traité dès la phase amont et se transforme en un problème de performance dans la phase aval ce qui incite les parties prenantes à investir dans une meilleure gestion de leurs actifs. Néanmoins, ce système ne peut fonctionner que dans le cas où un système d'amélioration des performances est mis en place.

Conclusion

On retient que la congestion ferroviaire se caractérise par les différentes phases de la production de capacité. La première phase déconnecte l'expression de la demande de la capacité réelle de l'infrastructure. Elle permet d'anticiper le phénomène de congestion et de résoudre l'essentiel des conflits par la négociation. La seconde phase déconnecte la contrainte de capacité de l'expression de la demande. Dans ce cas, la demande est figée et le plan de transport tracé théoriquement est confronté à la réalité de l'infrastructure et du comportement des acteurs. On ne parle plus alors de congestion mais de performance animée par la capacité à tenir le plan de transport prédéfini. Par conséquent, les externalités produites par la congestion dans la phase amont se révèlent à contre coup dans la phase aval et deviennent un moteur pour l'amélioration des performances.

Il paraît donc difficile de mettre en place une tarification de la congestion ferroviaire autre que des *mark-ups* en période de pointe, dans la mesure où les principaux coûts sont déjà internalisés. Les coûts de négociation sont directement subis par les entreprises ferroviaires tandis que le système d'amélioration des performances prévoit un bonus-malus et incite les parties prenantes à investir pour réduire les malus.

Néanmoins, une piste d'optimisation persiste dans les méthodes d'allocation de la capacité sur le principe de la vente aux enchères des droits d'accès (Brewer et Plott, 1996 ; Nilsson, 2002). L'idée serait de baisser le coût d'attribution de la capacité notamment en permettant une meilleure circulation de l'information et en réduisant potentiellement le coût des négociations. Ce système permettrait en effet de réduire naturellement les demandes concurrentes en obligeant les entreprises à révéler leur préférence réelle. Mais pour l'instant, Perennes (2012a) montre que malgré toutes ses vertus, cette méthode reste techniquement limitée. Selon l'auteure, n'importe quelle combinaison d'allocation de capacité de plus de 265 sillons requière de la part des entreprises un nombre d'enchères supérieur au nombre d'atomes dans l'univers (10^{80}). Ainsi, il est peu probable de voir se développer ce genre de système notamment en raison de la puissance de calcul et de l'énergie nécessaire.

2.3. Mesurer le taux d'utilisation d'une infrastructure ferroviaire, application au cas de la LGV Paris-Lyon

L'expression de la rareté nécessite de préciser les concepts de capacité et de saturation. La Commission européenne définit la capacité comme *« la possibilité de programmer des sillons sollicités pour un élément de l'infrastructure pendant une certaine période »* (Directive 2012/34/UE). La capacité est par conséquent saturée lorsqu'il n'est plus possible de programmer un sillon supplémentaire. Cette approche est en cohérence avec la littérature développée sur le sujet par l'ingénierie ferroviaire. Krueger (1999) propose la définition suivante : *"Capacity is a measure of the ability to move a specific amount of traffic over a defined rail line with a given set of resources under a specific service plan"* (p1195).

L'approche classique prend pour référence l'organisation du graphique horaire et teste les principaux déterminants qui impactent cette organisation (Petersen, 1974 ; Kraft, 1982 ; Krueger, 1999 ; Burdett et Kozan, 2006 ou encore Landex et al, 2006 et Abril, *et al.*, 2008). Les études sont nombreuses et ont connu une recrudescence à partir des années 90. Un retour sur cette littérature sera proposé dans la suite du document mais au préalable, nous formulerons trois observations qui ont vocation à justifier l'approche choisie dans cette dernière section.

En un premier lieu, ces travaux reposent sur l'hypothèse que la demande en trains exprime fidèlement la demande en voyageurs. Par conséquent, les études se limitent en général à l'analyse d'un faisceau de sillons (rapport entre capacité de l'infrastructure et demande exprimée en nombre de trains équivalent sillons).

En second lieu, la plupart des travaux ont été réalisés dans le cadre d'un réseau en particulier voire d'une ligne spécifique. Comme pour les circulations, l'interopérabilité des modèles est rarement garantie et si les caractéristiques sont identiques, leur agencement et leur paramétrage peuvent varier fortement d'un réseau à un autre.

Enfin, quelques tentatives ont eu lieu pour élaborer une méthode universelle. On retient notamment la proposition de standardisation de l'UIC (UIC 406, 2004). Mais les différentes applications ont montré que des adaptations étaient toujours nécessaires selon les réseaux (Prinz & Höllmüller, 2006 ; Landex, *et al.*, 2006) et qu'elle ne permettait pas d'aboutir à un modèle standard similaire au routier (Abril, *et al.*, 2008).

Ces trois points ont orienté notre démarche vers la définition d'une méthode d'analyse de la capacité propre à la spécificité française des Lignes à Grande Vitesse (LGV). Par ailleurs, la demande en capacité est considérée à partir du nombre de voyageurs et non du plan de transport de l'entreprise ferroviaire.

L'étude est appliquée au cas spécifique de la LGV Paris-Lyon qui présente l'intérêt d'être relativement simple à traiter d'un point de vue technique (homogénéité des vitesses) et d'être particulièrement sensible d'un point de vue socio-économique (risque identifié de saturation).

Pour autant, l'objectif de cette section n'est pas de réaliser une analyse fine et fidèle de la capacité d'une LGV mais de proposer une méthode d'évaluation utile au développement d'une réflexion socio-économique.

On propose dans un premier temps de préciser les concepts de capacité et de saturation puis de formuler le rapport entre offre et demande et enfin de tester la méthode sur le cas spécifique de la LGV Paris-Lyon.

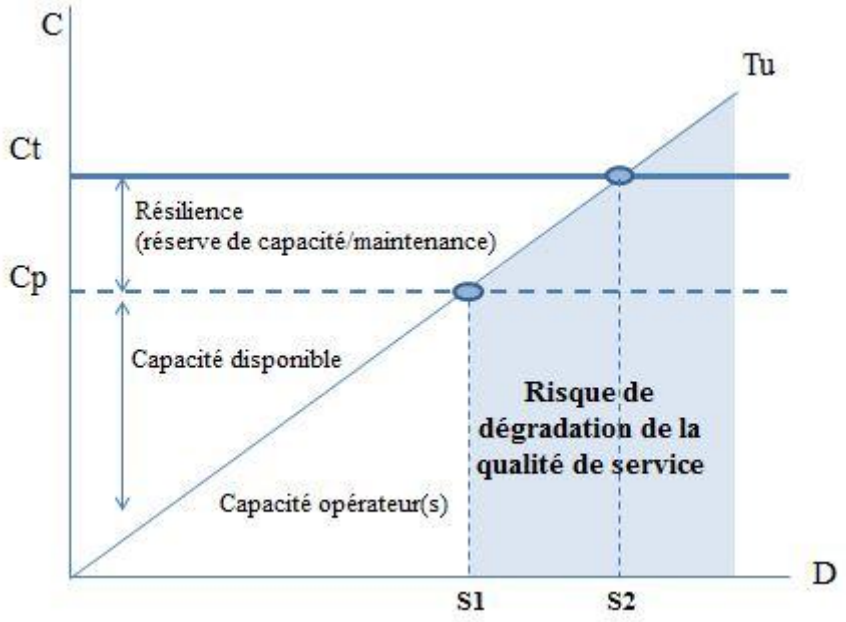
2.3.1. Interprétation simplifiée de la capacité et de la saturation

Cette section propose une formalisation générale de la notion de capacité en vue de sa modélisation dans le cas d'une LGV.

2.3.1.1. Interprétation de la capacité

La capacité n'est pas considérée à partir du plan de transport (ou grille horaire). Le plan de transport pouvant être organisé de différentes façons selon les spécificités du marché, on ne s'intéresse qu'aux grands équilibres à savoir la demande exprimée en voyageurs et traduite en trains (D) et la capacité (C) offerte par l'infrastructure en nombre de sillons (équivalent train) sur un temps donné. Cet équilibre est exprimé par le taux d'utilisation d'une ligne ferroviaire (Tu).

Figure 25 : Taux d'utilisation et notion de capacité



Source : Laroche, 2014

La représentation graphique considère une demande dynamique par rapport à une capacité fixe, d'où un accroissement du taux d'utilisation. Dans le cas où la capacité disponible évoluerait au même rythme que l'accroissement de la demande, le taux d'utilisation resterait *a priori* constant. Par

conséquent, bien que le système ferroviaire soit traditionnellement considéré comme une activité à rendements croissants il est intéressant de noter que dans un temps donné, la capacité peut être limitée.

La littérature distingue deux types de capacité. La capacité « théorique » (Ct) ou « absolue » équivaut au nombre maximal de sillons défini sur une ligne en un temps donné (Kraft, 1982 ; Burdett et Kozan, 2006). Elle se distingue de la capacité « pratique » ou « commerciale » (Cp) qui équivaut au nombre de sillons disponibles pour la commercialisation (Kraft, 1982 ; Liotta, Rondinone, & De Luca, 2009).

L'écart entre les deux types de capacité renvoie à la notion clef de « souplesse » du système (ou de « résilience ») pour une activité planifiée. L'écart peut être formalisé sous la forme d'un coefficient de « souplesse » appliqué à la capacité théorique pour déterminer la capacité pratique. Il traduit essentiellement la capacité mise en réserve pour prévenir les situations perturbées et limiter les retards en cascade (Sétra, 2009). L'importance de cette réserve est déterminée par les composantes « exploitation » (performance du système d'exploitation) et « gestion de trafic » (capacité à traiter les perturbations). Par ailleurs, ce coefficient doit être distingué du coefficient ε présenté dans la section 2.2.2. Le coefficient ε prend en compte le risque d'écart entre l'horaire théorique et l'horaire effectif pour un même train tandis que le coefficient de souplesse considère le risque pour un train de s'écarter de son créneau horaire imparti et la capacité du système à adapter l'organisation du plan de transport pour lui permettre de maintenir son créneau horaire en cas de perturbation. Bien entendu, la résilience du système est *a priori* meilleure lorsque l'infrastructure n'est pas saturée ou occupée par des travaux. Elle offre en ce cas des sillons dits de « respiration » qui permettent de compenser le retard pris par un train.

La capacité commerciale peut être déterminée selon le taux d'irrégularité acceptable par le gestionnaire d'infrastructure et les entreprises ferroviaires. Les analyses économétriques présentées ci-dessus ont montré un accroissement sensible du risque de non-respect du créneau horaire en fonction de la densité de trafic. Ce phénomène peut se traduire par une baisse de la qualité et par des retards plus importants que la moyenne en cas de perturbation. Selon le DRR 2015, le seuil est fixé en France à un retard moyen inférieur ou égal à 10 minutes en cas de perturbation (RFF, 2014). Ce seuil dépend directement du choix du gestionnaire d'infrastructure, de sa sensibilité au risque et de la pression exercée par la demande (Gibson et al, 2002 ; Cambridge Systematics, 2007 ; Brunel, *et al.*, 2013).

En conséquence, définir le coefficient de « souplesse » d'un réseau, c'est évaluer pour partie sa performance technique mais aussi économique.

Pour finir, Brunel, *et al.* (2013) distinguent la capacité intra-train (dans les trains) de la capacité inter-train (entre les trains). Cette capacité dépend directement des choix en matière de services réalisés par les entreprises ferroviaires (fréquence, matériel roulant, etc.). Elle situe également les entreprises au cœur du système entre la demande effective et la capacité offerte par l'infrastructure. Autrement dit, on considère le comportement des entreprises ferroviaires comme une variable d'ajustement clef de la capacité ; notion pas toujours considérée dans la littérature.

2.3.1.2. Interprétation de la saturation

Considérons maintenant le concept de saturation. Selon la définition classique, il y a saturation lorsque le plan de transport ne peut plus accepter une circulation supplémentaire sur une période de temps donnée. Cette définition est en premier lieu très variable selon l'organisation de la grille horaire.

Notre approche suppose une grille horaire optimisée et met en évidence deux seuils de saturation. La saturation est lue à partir du taux d'utilisation selon la capacité théorique de l'infrastructure.

Le seuil S2 dépend de la capacité théorique. Au-delà de ce seuil, l'infrastructure est déclarée saturée (taux d'utilisation supérieur à 100%). Selon la procédure européenne, un plan de renforcement de la capacité peut-être mis en place pour relever la contrainte. On considère cette capacité comme structurelle en raison de ses fortes limites physiques et des investissements qu'elle nécessite (ligne nouvelle, nouveau système de signalisation, etc.).

Le seuil S1 dépend de la capacité « commerciale ». Il peut être amené à évoluer à la hausse ou à la baisse selon l'arbitrage réalisé par le gestionnaire d'infrastructure entre densité de trafic et taux d'irrégularité. Cette capacité peut être considérée comme celle du « quotidien ». Elle dépend notamment de la capacité des entreprises ferroviaires à tenir leurs horaires (performance du matériel roulant, de l'organisation, etc.) et du gestionnaire à organiser les circulations (gestion des trafics, transmission des informations, etc.). Ce seuil dépend donc plus des choix et de la performance des acteurs que de contraintes physiques du système.

Enfin, un troisième seuil peut être mentionné. Il concerne les entreprises ferroviaires et la capacité à bord des trains. Contrairement à l'infrastructure, cette capacité est très relative dans sa définition. Elle dépend essentiellement du niveau de concentration des voyageurs et du mode de réservation retenu par l'entreprise (obligatoire ou non). Pour exemple, il n'est pas rare d'obtenir des taux de remplissage supérieurs à 100% dans des trains sans réservation obligatoire (type trains intercités) alors que les trains à réservation ne peuvent *a priori* pas dépasser le nombre de places assises disponibles (type TGV). Cette nuance impacte directement le confort des usagers pour lesquels un siège n'est pas garanti dans le cas de services sans réservation obligatoire. L'entreprise aurait donc au moins trois leviers pour gérer la saturation à savoir les conditions de tarification, la capacité des trains et leur fréquence.

Par conséquent, les concepts de capacité et de saturation sont variables et dépendent d'une forte interaction entre entreprises ferroviaires et gestionnaire d'infrastructure. La littérature anglo-saxonne parle de *« misalignment »* pour caractériser ces interactions (van de Velde, *et al.*, 2012). Ce terme comprend en français l'ensemble des inadéquations qui peut exister entre la stratégie des entreprises ferroviaires et celle du gestionnaire d'infrastructure. Cet ensemble peut mener à une augmentation des coûts de transaction, source pour van de Velde, *et al.* (2012) de désutilité. La modélisation dans le point suivant tente de prendre en compte ces interactions complexes.

2.3.2. Formalisation de la méthode

La méthode vise à évaluer le taux d'utilisation de la capacité d'une infrastructure à un moment donné. Elle est calibrée pour une LGV dont on rappelle dans un premier temps les principales caractéristiques.

2.3.2.1. Spécificités d'une LGV

La grande vitesse ferroviaire a été conçue en France sur la base d'une technologie de voie et de matériel roulant en rupture avec les systèmes classiques (De Tilière, 2002). La grande vitesse a notamment été la base d'un ensemble d'innovations (couple caténaire-captage), point de départ d'une grande épopée industrielle (Dupuy, 2011). Cependant, la capacité des TGV à circuler sur le réseau classique relativise la dimension de rupture totale du système.

La grande vitesse se distingue du réseau classique par la composition technique de sa voie, le système de signalisation, l'organisation des grilles horaires, l'orientation des services et le matériel roulant. L'infrastructure diffère sensiblement d'une ligne classique. Pour porter la vitesse au-delà de 260km/h les composants de voie ont été renforcés (caténaire, pantographe, ballast…). Les courbes et les pentes ont été adaptées.

La signalisation se distingue fondamentalement du système classique. Jusqu'à présent, elle était assurée par des installations latérales à la voie sur le modèle des signaux routiers (feux de croisement, etc.). Dans le cas du TGV, la grande vitesse pose des problèmes d'attention et de réactivité de la part des conducteurs. Le choix a été fait de réaliser une transmission directement en cabine (transmission voie-machine, TVM), d'allonger les cantons à 1500 mètres et de supprimer la signalisation latérale. Les cantons restent symbolisés par un marquage latéral. Il existe deux types de TVM, la version d'origine (TVM 300) et une plus récente (TVM 430).

Concernant le matériel roulant, un TGV peut rouler sur tous types de lignes à condition de bénéficier d'une électrification. L'option de la turbine à gaz, sur le modèle de l'aérotrain, a été envisagée à l'origine, mais la traction électrique a finalement été préférée pour des raisons logistiques et énergétiques (Dupuy, 2011). Les TGV sont aptes à la grande vitesse uniquement sur LGV. Ils ont pour caractéristique de se présenter sous la forme de rames associables les unes aux autres. La composition des trains varie en général entre 1 et 2 rames maximum. Par ailleurs, le matériel roulant est en grande partie adapté aux lignes qu'il dessert (Dupuy, 2011). Un TGV Atlantique ne peut circuler sur l'axe Paris-Lyon en raison de la longueur des quais (limités à 400m) tandis qu'un Duplex ne peut circuler entre Paris et Rennes en raison du gabarit limité des tunnels à l'entrée de Paris.

Tableau 6 : Principales séries de TGV circulant sur le réseau LGV

Série	Affectation	Longueur	Nombre de places	Vitesse homologuée
Rame Sud-Est	Sud-Est	200m	342 – 350	300km/h
Rame Atlantique	Atlantique	238m	459	300km/h
Rame POS	Service Lyria (Suisse)	200m	361	320km/h
Rame réseau	LGV Est et reste du réseau	200m	353-361	320km/h
Rame Duplex	International (Allemagne, Suisse via Bâle) et Sud-Est	200m	509	320km/h

Source : SNCF, 2014a

Pour finir, l'organisation des graphiques sur LGV est *a priori* simplifiée par rapport aux lignes classiques. D'une part, l'homogénéité du matériel roulant sur le plan technique (caractéristiques de freinage et d'accélération similaires) permet de réduire le coefficient entre le tracé théorique et la performance effective. D'autre part, l'homogénéité des vitesses réduit l'hétérogénéité des circulations et augmente le nombre de sillons disponibles. Enfin, le choix de la vitesse a contraint les exploitants à réduire le nombre d'arrêts intermédiaires ce qui simplifie le plan de desserte et renforce encore le parallélisme des sillons.

Par ailleurs, on note que jusqu'à présent seules les circulations voyageurs sont réalisées sur LGV. Le fret en est totalement exclu excepté six rotations quotidiennes de La Poste sur l'axe Sud-Est. Ces trafics avaient lieu de nuit mais devraient être arrêtés dès 2015 en raison de la baisse du volume de courrier. Le nombre de rotation avait déjà été porté de 8 à 6 en 2009.

Par conséquent, l'analyse de la capacité pour une LGV se rapproche d'un scénario idéal où les sillons sont parallèles et où l'hétérogénéité du système est réduite à son strict minimum.

2.3.2.2. Méthode

La méthode est calibrée pour une ligne de type LGV. Les trafics sont considérés homogènes en termes de vitesse et de service. On raisonne selon une logique de goulot d'étranglement (*bottleneck*) avec une entrée et une sortie (homogénéité de la grille horaire).

L'objectif est de confronter les demandes réelle et projetée à l'offre pour évaluer les besoins en capacité. Par conséquent, l'indicateur recherché est le taux d'utilisation (Tu). Il est calculé selon le rapport entre la demande en voyageurs et l'offre en capacité exprimée en trains (équivalent voyageurs).

La demande (D) est définie selon le nombre de voyageurs (V) pondéré par le coefficient de concentration (ϕ). Ce coefficient permet de raisonner en heure de pointe. Il évalue le différentiel moyen de concentration de la demande entre l'heure de pointe et l'heure creuse.

$$D = V * \phi \qquad (1)$$

L'offre en capacité est définie selon le nombre de places disponibles par train (T) et le nombre de sillons (équivalent trains) disponibles par heure (S) sur la ligne (capacité commerciale).

T est obtenu en pondérant la capacité par rame (Cr) par le taux de remplissage (θ) qui révèle sa véritable utilité sociale et le taux d'unité multiple (μ). Le taux d'unité multiple correspond à la composition des TGV qui peut être constituée d'une ou deux rames.

$$T = (Cr*\theta)*\mu \qquad (2)$$

S est obtenu en pondérant la capacité théorique (Ct) de l'infrastructure par le coefficient de souplesse (κ).

$$S = Ct*\kappa \qquad (3)$$

L'équation générale s'écrit de la manière suivante, où h exprime l'amplitude horaire de mise à disposition de l'infrastructure pour les opérations commerciales sur une journée.

$$Tu = D / [T*(S*h)] \qquad (4)$$

Cette équation permet de tester la sensibilité du taux d'utilisation par rapport à l'évolution de la demande dans le temps selon différents paramètres. On peut dans ce cas évaluer l'horizon de saturation d'une infrastructure.

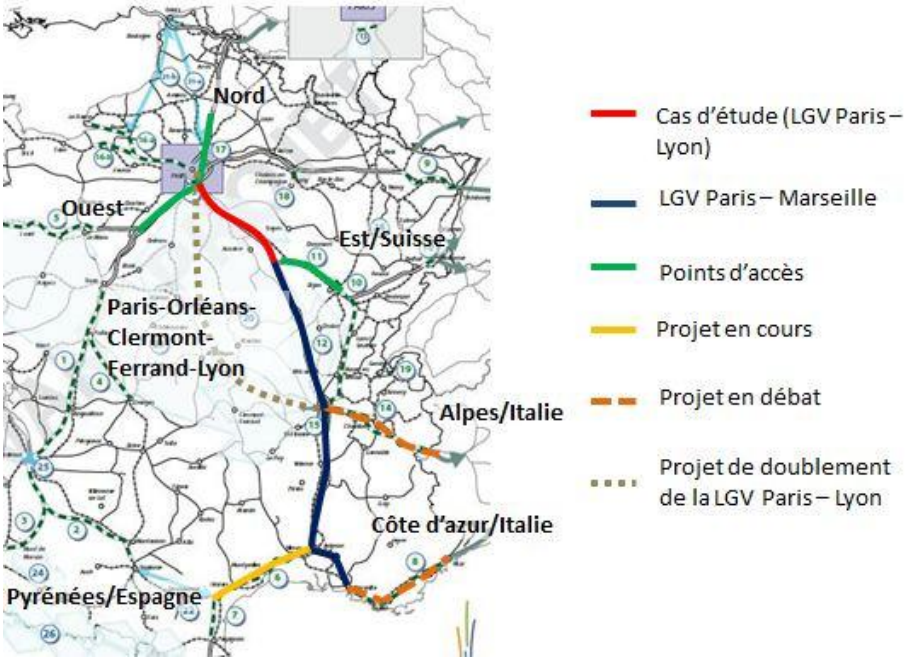
2.3.3. Hypothèses et résultats

Le cas d'étude concerne la LGV Paris-Lyon. La situation de *bottleneck* est identifiée sur la section allant jusqu'au point de bifurcation de Pasilly indiqué en rouge sur la carte. Cette ligne présente un intérêt particulier dans la mesure où elle a été la première LGV mise en service en France (1981) et où elle semble aujourd'hui victime de son succès. En effet, la SNCF a alerté dès 2007 les pouvoirs publics sur le risque de saturation de la ligne (Leboeuf, 2014) tandis que RFF a identifié en 2011 un risque de saturation à l'horizon 2020 notamment en raison de l'augmentation continue des trafics mais aussi sous l'effet de la mise en service d'un ensemble de lignes dans l'axe Sud-Est (Nîmes Montpellier, Lyon-Turin, Rhin-Rhône, etc.). Il ne s'agit pas ici de discuter de la pertinence de ces perspectives de croissance mais de tester la méthode sur ce cas pratique.

2.3.3.1. Hypothèses de demande : extension du réseau LGV

La situation de *bottleneck* est identifiée sur la section allant jusqu'au point de bifurcation de Pasilly indiquée en rouge sur la carte.

Figure 26 : Périmètre d'étude de la LGV Paris-Lyon et projets afférents



Source : SNIT, 2011

La demande est considérée selon les perspectives de trafic fournies par RFF dans l'étude réalisée sur le POCL (« Perspectives de trafic et de circulation sur l'axe Sud-Est : LGV Paris-Lyon et LGV POCL », RFF, 2011b). Les perspectives de trafic à l'horizon 2050 sont les suivantes.

Tableau 7 : Perspectives de trafic au point de passage de Pasilly à l'horizon 2050

Année	**2008**	**2025**	**2035**	**2050**
Trafic (en millions de voyageurs)	38	57	66	83

Source : RFF, 2011b

On utilise les perspectives de trafic proposées par RFF dans l'étude réalisée sur le POCL (RFF, 2011b) pour définir la demande à l'horizon 2050. La demande en voyageurs observée en 2008 est de 38 millions de voyageurs pour le point de passage de Pasilly. Elle devrait être de 83 millions en 2050 (+115%) et mener à la saturation de la ligne à l'horizon 2025. Cette croissance s'explique par un rapport positif entre demande en vitesse et PIB, bien que dégradé sous l'effet de la crise économique jusqu'en 2025, et par une augmentation de la taille du réseau LGV du fait des développements attendus pour l'axe Sud-Est par le Schéma National des Infrastructures de Transport (SNIT, 2011).

Tableau 8 : Principales hypothèses retenues par RFF

	2009-2025	2026-2050
Hypothèses PIB	+ 1,45%	+ 1,8%
Hypothèses réseau (projet SNIT, 2011)	CNM LGV Montpellier-Perpignan LGV PACA LGV Rhin-Rhône (Sud, Ouest et Est) Interconnexion Sud IDF Lyon-Turin CFAL	LGV POCL

Source : RFF, 2011b

Il est intéressant de noter que l'essentiel du gain de trafic à l'horizon 2025 dépend de la réalisation des projets du SNIT (en partie présentés sur la carte ci-dessus). Le gain en voyageur est estimé à 18 millions entre 2008 et 2025 et peut être ventilé de la manière suivante : 5,4 millions de voyageurs sont induits par la croissance économique tandis que 13 millions résultent de l'effet SNIT. Par conséquent, la LGV Paris-Lyon devient une pierre angulaire de l'axe Sud-Est et la section Paris-Pasilly le principal goulot d'étranglement. Pour RFF comme pour la SNCF, l'accroissement des dessertes devrait accroître les trafics et saturer dès 2025 la LGV Paris-Lyon. Il convient donc de réaliser une ligne supplémentaire pour dédoubler l'axe Paris-Lyon. Le projet du POCL s'inscrit entièrement dans cette logique et a été présenté comme solution à la saturation dès 2007 par la SNCF. Nous reviendrons dans le Chapitre III sur la pertinence de ce choix.

Pour finir, l'analyse des trafics est ventilée par principales O-D. On compte 8 O-D :

- Paris – Lyon – Saint Etienne ;
- Paris – Genève ;
- Paris – Savoie ;
- Paris – Grenoble ;
- Paris – PACA ;
- Paris – Languedoc Roussillon ;
- Paris – Dijon – Suisse ;
- Intersecteurs.

2.3.3.2. Hypothèses d'offre selon la situation de référence (2008)

Les hypothèses d'offre reposent sur une analyse des données produites par RFF et la SNCF pour l'année de référence 2008. Les hypothèses tiennent compte des caractéristiques de chacune des O-D et ont été calculées selon l'heure de pointe du vendredi soir au point de bifurcation de Pasilly.

L'heure de pointe est définie selon le DRR 2015 (RFF, 2014) : de 7h à 9h le matin et de 17h à 19h le soir.

Capacité par rame :

La capacité par rame varie selon les dessertes effectuées de 350 places (Lyria) à 516 places (Paris-Lyon). Le nombre moyen de places dans une rame est obtenu en tenant compte du poids de chacune des dessertes en termes de volume. Le résultat est de 447 places arrondi à 450 places par rame.

Taux d'unité multiple :

Le taux permet d'estimer le coefficient moyen de trains circulant en rame double. Il a été calculé sur le même principe que la capacité par rame à savoir une moyenne pondérée par le poids de chacune des dessertes. Le taux moyen obtenu est de 1,3 pour l'ensemble des circulations. Il varie selon les dessertes de 1,04 (Paris-Alpes) à 1,65 (Paris-Lyon).

Taux de remplissage :

Le taux de remplissage moyen proposé par RFF en heure de pointe le vendredi soir dans les deux sens est de 82%. On retient un arrondi à 80%. Il varie de 72% (Paris-Grenoble) à 94% (Paris-Savoie).

Opérabilité :

La ligne est ouverte aux relations commerciales de 5h30 à 23h30, soit 18 heures par jour et 6570 heures par année.

Capacité théorique :

Comme indiqué dans la section 2.2., la capacité de l'infrastructure est difficile à déterminer et peut porter à débat. Elle dépend notamment des conditions de tracé des sillons et de la performance de l'exploitation. On propose de raisonner par induction en partant de la capacité commerciale. Cette capacité est connue à 12 sillons/h (Delaborde, 2012). Si on applique un coefficient de souplesse moyen de 75%, on obtient environ 16 sillons/h en termes de capacité absolue. Ces résultats sont obtenus à partir des analyses économétriques menées sur le réseau par Brunel, *et al.* (2013).

Coefficient de concentration :

Le calcul considère la demande sur une année en millions de voyageurs. Il permet de simuler la demande sur une heure de pointe dans l'année en considérant le différentiel entre heure creuse et heure de pointe. Le résultat obtenu est de 1,5 et a été calculé à partir de la concentration moyenne des trains

aux heures creuses et de pointes. Il pose pour hypothèse que le différentiel de la demande en millions de voyageurs équivaut à celui du nombre de train en circulation. Dans le cas du TGV, on note qu'il ne peut y avoir sur-remplissage des trains, la réservation étant obligatoire.

Tableau 9 : Hypothèses d'offre selon la situation de référence (2008)

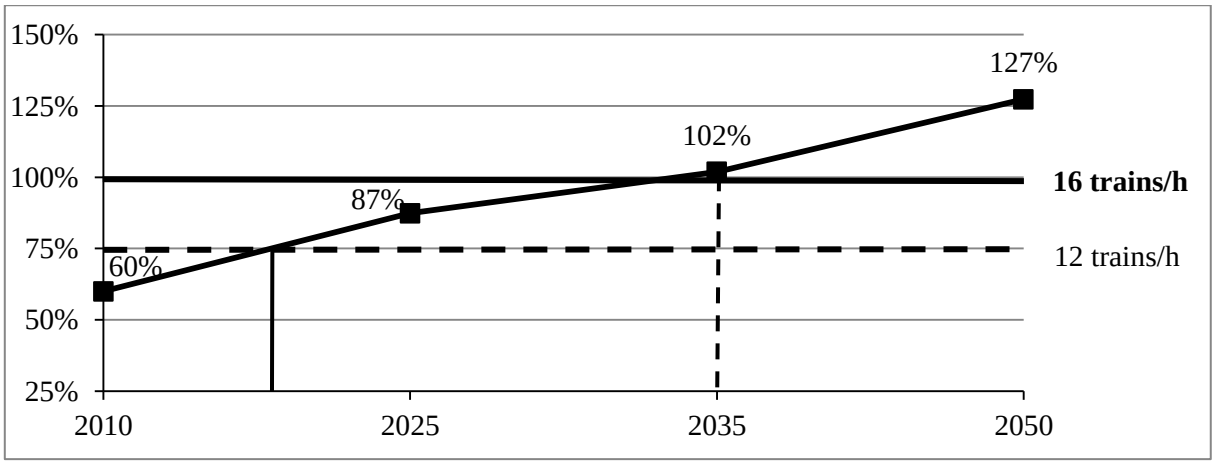
	Situation de référence (2008)
Capacité par rame (Cr)	450
Taux UM (UM)	1,3
Taux remplissage (TR)	80%
Opérabilité (O)	18h
Capacité théorique (Ct)	16
Coefficient de souplesse (Cs)	75%
(Capacité commerciale)	*(12)*
Coefficient de concentration (CCo)	1,5

Source : Laroche, 2014

2.3.3.3. Résultats : vers une saturation de l'infrastructure à horizon 2020 - 2025

Le graphique suivant montre l'évolution du taux d'utilisation de la capacité aux conditions d'exploitation de 2008. La variation du taux d'utilisation dépend essentiellement de la demande exprimée en voyageurs (traduite en trains dans le graphique).

Figure 27 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon situation observée sur le réseau en 2008



Source : Laroche, 2014

Deux types de capacité sont identifiés, la capacité théorique (trait continue) et la capacité commerciale (trait discontinue). Le taux d'utilisation est calculé par rapport à la capacité théorique. Par conséquent, la saturation totale de l'infrastructure est effective lorsque la courbe est égale ou supérieure à la capacité théorique.

Dans le cas de la LGV Paris-Lyon, la capacité théorique est de 16 trains/h et la capacité commerciale de 12 trains/h. En 2008-2010, le taux d'utilisation de la capacité théorique était donc de 60% et restait en deçà de la capacité commerciale.

Selon le graphique, la capacité commerciale devrait être atteinte et dépassée d'ici à 2025, conformément aux prévisions de RFF (2011b). La capacité théorique devrait quant à elle être dépassée à l'horizon 2030 – 2035 d'où la nécessité d'anticiper un dédoublement de la ligne à partir de 2025 (SNIT, 2011).

Conclusion

Pour conclure cette section, la méthode et le résultat présentés conduisent à deux remarques. D'une part, l'utilisation à 100% de la capacité commerciale ne signifie pas saturation de l'infrastructure. Le seuil de capacité pourrait être relevé jusqu'à la capacité théorique mais entrainerait en contrepartie une augmentation du risque de retard lié à une réduction de la marge d'erreur vis-à-vis du tracé théorique du sillon. Il appartient donc au gestionnaire d'infrastructure d'arbitrer entre capacité et qualité de service à conditions d'exploitation et de performance constantes.

D'autre part, la solution du dédoublement, proposée dans le SNIT, interroge sur les solutions de désaturation. N'y a-t-il pas d'autres options envisageables ? Quel gain réel en capacité attendre du dédoublement ?

Conclusion du chapitre

Ce chapitre rappelle la nécessité de spécifier la capacité ferroviaire. Elle dépend à la fois d'une stricte réglementation, de la sensibilité des acteurs au risque ou encore de leur exigence en matière de qualité de service. Elle dépend également de la performance des acteurs, des réalités physiques et des conditions économiques. Interroger la capacité revient finalement à questionner un système complexe dont les interactions entre chaque sous-système sont fortes et multiples.

Si on retrace le raisonnement de ce chapitre, on a montré dans un premier temps que la question de la capacité ferroviaire ne se pose pas d'elle-même. Elle s'est imposée sous le double effet de la libéralisation du secteur et de la remise en cause des entreprises verticalement intégrées par la Commission européenne. Par ailleurs, l'enjeu lié à sa caractérisation a été consigné dans la directive 2001/14/CE. Les travaux menés sur ce sujet ont permis de mettre en évidence des différences fondamentales dans l'approche du phénomène de congestion entre le club routier et le club ferroviaire (Gibson, *et al.*, 2002, Brunel, *et al.*, 2013).

Contrairement au routier, la congestion ferroviaire ne peut être caractérisée aisément par une perte de temps. Trois observations vérifient cette assertion. En premier lieu, la capacité ferroviaire est planifiée selon une procédure définie par les textes européens. Cette procédure repose sur le principe de répartition des capacités au préalable de l'exploitation et de négociation en cas de conflit au cours du processus de répartition. Par conséquent, une nouvelle grille horaire ne peut être mise en service qu'une fois l'ensemble des conflits résolus (grille opérationnelle et fiabilisée). En second lieu, les analyses économétriques montrent que l'augmentation des trafics n'entraine pas forcément une augmentation du taux d'irrégularité. Enfin, le principe de tracé d'un sillon intègre *a priori* le risque de non-respect du tracé théorique (conducteur, gestionnaire, etc.).

Par conséquent, le système ferroviaire se distingue très nettement du routier en régulant l'ensemble de la demande en amont de l'exploitation. Il n'y a donc pas de perte de temps et le taux d'irrégularité peut être utilisé comme indicateur pour mesurer la performance du système (capacité à intégrer et gérer le risque de retard).

Le second point met en perspective les limites de la définition économique de la congestion dans le ferroviaire. La planification des circulations et la procédure de négociation tend *a priori* à déplacer le problème de l'aval vers l'amont. On propose donc de parler de congestion ferroviaire en amont de la production de capacité (grille horaire) et de parler de performance en aval (exploitation).

La congestion se manifeste par la multiplicité des demandes sur une période horaire et son coût équivaut aux coûts induits par la négociation entre des entreprises ferroviaires concurrentes et le gestionnaire d'infrastructure (ou coûts de transaction).

La performance se manifeste en aval une fois la grille horaire fixée. Le gestionnaire d'infrastructure et les entreprises s'engagent alors à respecter les horaires fixés et à améliorer la robustesse des trafics. Le système d'amélioration des performances mis en place ou encore la définition du seuil de retard

moyen maximal à 10 minutes (RFF, 2014) caractérise ces objectifs de performance sur le réseau français.

Enfin, la troisième section a proposé une application de cette démarche au cas de la LGV Paris-Lyon. Une méthode d'analyse de la capacité a été proposée sur la base du taux d'utilisation. Contrairement aux analyses classiques où la demande est considérée selon le plan de transport des entreprises ferroviaires, on considère ici la demande à partir des voyageurs. Les entreprises deviennent ainsi à la fois actrices de la capacité et intermédiaires entre le gestionnaire d'infrastructure et la demande effective en voyageurs.

Les résultats montrent que la LGV Paris-Lyon devrait atteindre son niveau de saturation à l'horizon 2020-2025. Néanmoins, ce résultat suppose que les conditions d'exploitation restent inchangées en l'espace de 10 ans et que la demande soit au rendez-vous.

Dans cette perspective, les contraintes inhérentes à un système planifié apparaissent évidentes. Il s'agit en premier lieu d'être capable d'anticiper à la fois la demande et la capacité et en second lieu de réaliser les bons choix en matière de capacité. Ce sont ces deux derniers points qui seront discutés dans le Chapitre III. La discussion portera notamment sur le cas de la ligne Paris-Lyon, la pertinence des prévisions de demande et la pertinence des choix à réaliser en matière de capacité.

Chapitre III – Le TGV, de l'enfance à la maturité ?

L'évocation du problème de saturation trouve traditionnellement deux types de réponses dans le débat public. La première, et certainement la plus répandue, consiste à doubler l'infrastructure (Goodwin, 1989). Elle est particulièrement appréciée des aménageurs et des élus locaux qui y voient un atout pour leur territoire en matière d'accessibilité et de développement économique. La seconde fait moins l'unanimité mais se trouve souvent préférée par les économistes et l'Etat en tant qu'investisseur. Elle consiste à doter l'infrastructure d'une tarification adaptée dans la tradition de Vickrey (1969) pour internaliser les externalités négatives (phénomène de congestion). Cette approche peut être complémentaire à un projet de doublement dans la mesure où de nombreux économistes ont montré qu'une tarification de la congestion pouvait permettre le financement d'investissements en capacité (Morhing et Hartwitz, 1962 ; Verhoef, 2010).

Une troisième voie existe entre ingénierie et économie (modèle économique). Elle fait toutefois l'objet de peu d'exposition politique dans la mesure où elle est fortement intégrée dans la stratégie de production de l'entreprise. Cette tendance est d'autant plus forte quand le secteur s'organise autour d'un monopole verticalement intégré. Dans cette situation, l'entreprise dispose de sa propre stratégie et s'adresse aux partenaires publics lorsqu'elle estime être dans l'impossibilité technique ou financière d'améliorer en capacité son outil de production. Dans le premier cas, la solution du doublement peut être proposée tandis que dans le second c'est une aide à l'implémentation d'un nouvel équipement qui peut être requise.

Ce chapitre propose d'approfondir la question de la saturation à travers une exploration des solutions de désaturation ou de régulation pour le cas du transport ferroviaire. La saturation n'est pas seulement perçue comme un rapport entre l'offre et la demande mais aussi comme le révélateur d'une inadéquation de l'activité à l'évolution de son environnement économique, social et technologique. Une telle approche permet notamment de se démarquer du traitement technique de la saturation tel que décrit dans la directive 2001/14/CE. On propose de poser les questions suivantes en cas de saturation : l'infrastructure est-elle limitée face à un accroissement continu et non maîtrisé de la demande ou bien le fonctionnement est-il obsolète face à de nouveaux usages et modes de vie ? Dans le premier cas, le doublement de l'infrastructure ou la régulation de la demande sont *a priori* justifiés. Dans le second cas, il convient plutôt de s'interroger sur la performance de l'outil productif (ou plus généralement modèle économique) et sur son habilité à évoluer.

Répondre à ces questions suppose de commencer par analyser l'activité ferroviaire sous le prisme de la production de capacité. Le champ d'introspection est circonscrit, dans la mesure des données disponibles, au cas de la LGV Paris-Lyon.

Une première section sera consacrée à la description du modèle économique tel qu'il s'est construit entre 1981 et 2007. Cette période fait référence à l'expansion du modèle TGV en France.

Dans un second temps, on s'intéressera à la manière dont la crise économique est venue mettre un coup d'arrêt à « l'âge des succès » pour plonger le système dans le « temps des doutes » (Crozet, 2010). Pour autant, on montrera que la crise n'explique pas tout et que des tensions internes au modèle sont également responsables.

Enfin, nous nous intéresserons aux solutions d'adaptation du modèle. Ces solutions seront analysées selon leur impact sur l'offre en termes de capacité. Un bilan socio-économique pour chacune d'entre-elle sera dressé. L'objet de cette dernière section est de montrer qu'il existe des marges importantes de gains en productivité à condition de modifier les principaux paramètres du modèle actuel.

3.1. TGV, le temps des succès

La période 1981 – 2007 a été marquée par une expansion quasi continue du réseau LGV en France et de sa fréquentation. La capacité des infrastructures comme le modèle économique se sont constitués et adaptés sur la base de cette dynamique. Il convient dans cette première section de décrire ce phénomène dont l'origine repose en grande partie sur le succès de la LGV Paris-Lyon.

On s'intéresse au développement de l'activité jusqu'aux premières manifestations de la crise économique. Le champ d'étude est centré sur la LGV Paris-Lyon bien que des données relevant de l'ensemble de l'activité puissent être utilisées lorsque qu'elles n'existent pas pour le cas d'étude. On considère que le modèle économique de la LGV Paris-Lyon équivaut, dans ses principes, à celui de l'activité TGV dans son ensemble.

Un premier point propose de caractériser le modèle économique de la LGV Paris-Lyon selon une rétrospective des trafics. Un second point s'intéressera à son évolution en capacité tandis que nous reviendrons sur les raisons de sa saturation selon SNCF et RFF dans un dernier temps. On décrira en particulier le projet SNIT (2011) et son impact sur l'évolution du besoin en capacité.

3.1.1. L'expansion des trafics et de l'offre

3.1.1.1. L'arrivée du TGV : un regain de compétitivité pour le ferroviaire

La LGV Paris-Lyon s'inscrit historiquement dans l'axe de transport le plus densément utilisé en France.

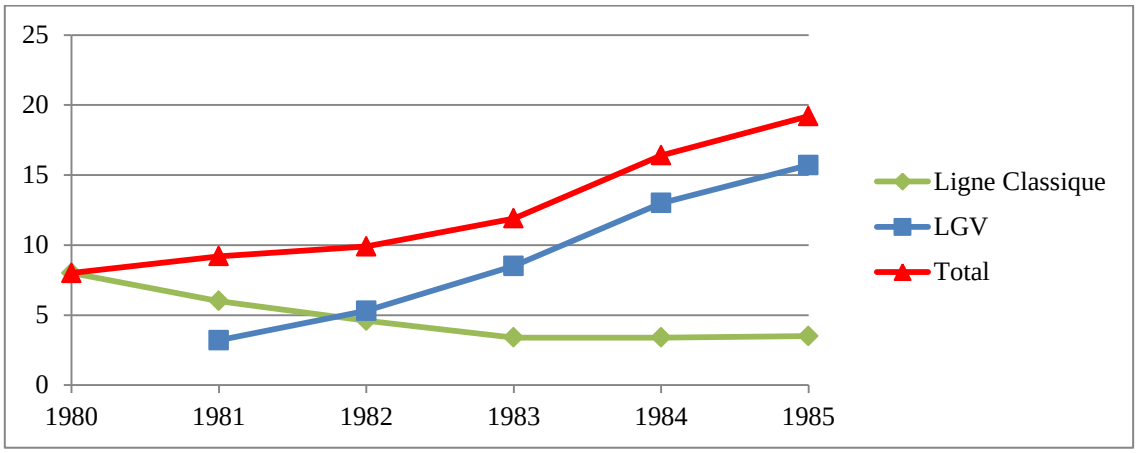
C'est d'ailleurs le risque de saturation de la ligne historique (Paris – Lyon – Marseille, PLM) durant les années 70 qui a incité la SNCF à penser une ligne nouvelle (Dupuy, 2011). La concurrence croissante du transport aérien et le développement du réseau autoroutier ont contribué à orienter les recherches vers un nouveau type de service fondé sur la vitesse (gain de temps).

En conséquence, la première LGV est née d'une double contrainte, à la fois interne (risque de saturation) et externe (besoin de vitesse) au secteur ferroviaire. Le dénominateur commun pouvait se résumer par une perte de compétitivité et une baisse en part de marché du mode ferroviaire.

La ligne nouvelle s'est avant tout traduite par un gain de temps notable sur la liaison Paris-Lyon. Avant 1981, le meilleur temps de parcours entre les deux villes était de 3h44 grâce au service « Mistral » dont la vitesse était limitée à 160km/h (Rochefort, 1995).

La mise en service de la LGV en 1981 a permis dans un premier temps de porter le temps de parcours à 2h40 puis à 2h dès 1983 avec la mise en service du tronçon « Nord » (Delaborde, 2012).

Figure 28 : Evolution des trafics sur l'axe Sud-Est en millions de voyageurs entre 1980 et 1984



Source : Leboeuf, 2014

La barre des 2 heures a marqué un vrai gain de compétitivité pour la grande vitesse à la fois vis-à-vis de la ligne classique (PLM) mais aussi vis-à-vis de l'aérien.

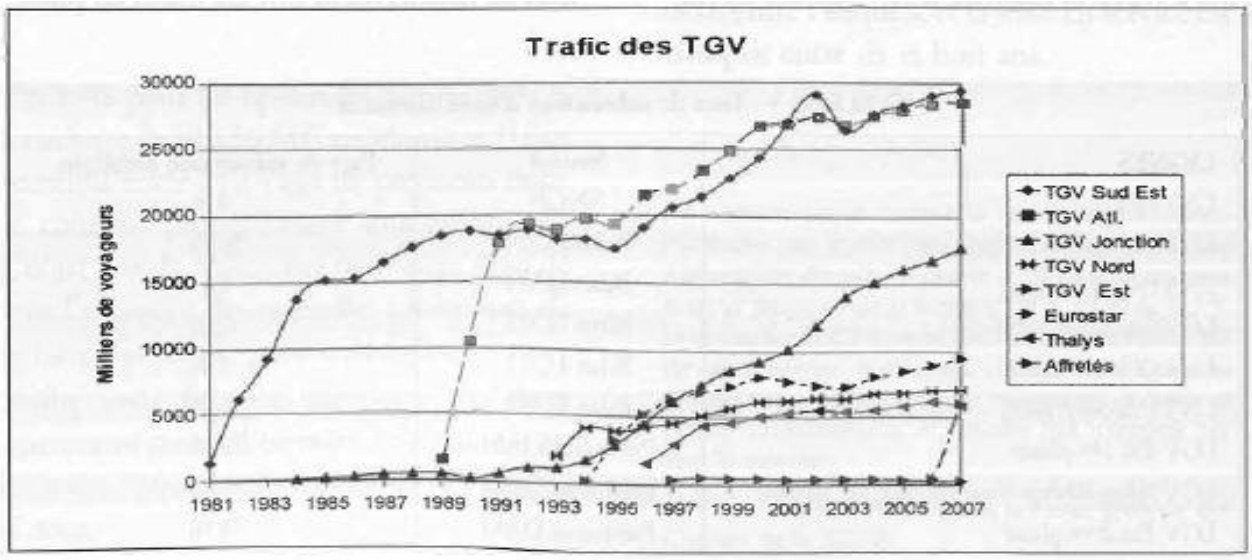
La reconquête du marché par le ferroviaire a été concomitante à la baisse en compétitivité de l'aérien sur les liaisons intérieures (renforcement progressif des règles de sécurité). La suprématie du TGV sur l'axe Paris-Lyon est devenue incontestable en 1990 avec l'abandon de la ligne par Air Inter lors de son intégration dans Air France (Dupuy, 2011). De nombreuses liaisons proposent aujourd'hui le service Tgvair vendu par la compagnie aérienne (principalement Airfrance) pour un acheminement à l'aéroport via TGV.

Le résultat a été une augmentation quasi continue des trafics entre 1981 et 2007 pour l'axe Sud-Est (en moyenne +8,3%/an) comme pour l'ensemble des liaisons.

3.1.1.2. Des solutions de continuité dans l'évolution des trafics

Le graphique suivant montre des solutions de continuité et distingue trois phases de croissance.

Figure 29 : Evolution des trafics TGV entre 1981 et 2007



Source : Chapulut & Taroux, 2010

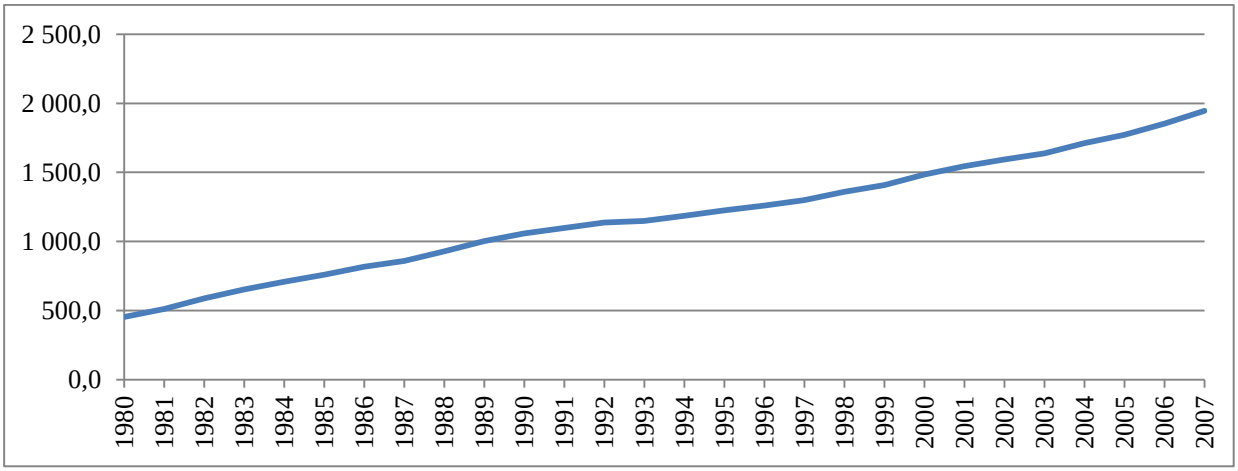
Une première phase de croissance est identifiable sur la période 1981 – 1989. Elle se caractérise par une croissance forte (multiplication par 6 des voyageurs) qui correspond à la phase d'expansion de l'innovation. Le report des trafics vers la grande vitesse ferroviaire a été massif sur la période avec cependant une nuance entre 1985 et 1987 où des mouvements sociaux semblent avoir porté un coup d'arrêt à la croissance exponentielle des trafics. Cependant, la reprise modérée de la croissance à partir de 1987 et jusqu'en 1989 montre une relative consolidation du marché sur l'axe Paris-Lyon (multiplication par 1,2 des trafics).

L'année 1989 marque le basculement d'une période d'euphorie à une première période de doutes. Elle se caractérise par une stagnation jusqu'en 1996 avec un point bas lors du mouvement social de 1995 contre le « plan Juppé ». Ce ralentissement peut s'expliquer en partie par la crise des cadres au début des années 90 (Pochic, 2001) mais aussi par des facteurs internes à l'entreprise. On retient notamment une politique de tarification fondée sur le principe du calendrier tarifaire « bleu-blanc-rouge » devenue inadaptée à l'heure de pointe. Il excluait automatiquement pour certains trains des clients bénéficiant de réductions contribuant ainsi à sous optimiser le taux de remplissage des trains (Dupuy, 2011). On retient également une offre encore incomplète et soumise à une régularité médiocre (Moreau, 1994). Moreau fait état dans les Echos en 1994 d'une nouvelle politique commerciale de la SNCF orientée vers le client et le volume. Il est décidé de s'abstraire progressivement du principe de barème kilométrique ouvrant la voie au *yield management*. Dans les faits, cela doit se traduire par une réduction de certains tarifs de base et un accroissement de l'offre avec de nouvelles dessertes (Marne-la-Vallée Euro Disney). L'introduction en 1996 de rames à plus grande capacité (Duplex) et la mise en service de la LN4 ont concrétisé cette politique de relance.

Son effet s'est pleinement fait ressentir à partir de 1996. Le trafic de voyageurs est passé de 19 millions à près de 30 millions par an en 2007 avec un premier pic en 2002 suite à la mise en service de la LN5 Méditerranée en 2001. Cette phase est stoppée net en 2003 par le mouvement social qui opposa les syndicats de la SNCF au plan de réforme des retraites. Le pic de 2002 n'a été que progressivement retrouvé à partir de 2007.

Par conséquent, trois facteurs semblent expliquer l'évolution des trafics. En premier lieu, la mise en service de nouvelles dessertes est indubitablement source de croissance. En second lieu, la croissance du PIB a pu avoir un effet positif ou négatif selon l'état de ses variations. Néanmoins son impact semble plus marginal si on compare l'évolution des trafics à la courbe du PIB dans le graphique suivant.

Figure 30 : Evolution du PIB (en valeur) en France entre 1980 et 2007

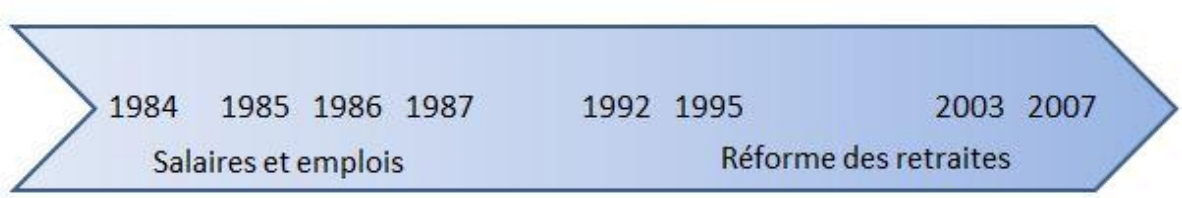


Source : INSEE, 2014b

On constate effectivement un ralentissement au début des années 90. Pour autant, l'évolution de la courbe ne permet pas d'expliquer les coûts d'arrêt de 1985 – 1987, 1995 et 2003

En troisième lieu, les mouvements sociaux semblent avoir un impact particulièrement marqué sur l'activité.

Figure 31 : Chronologie des principaux mouvements sociaux à la SNCF entre 1981 et 2007



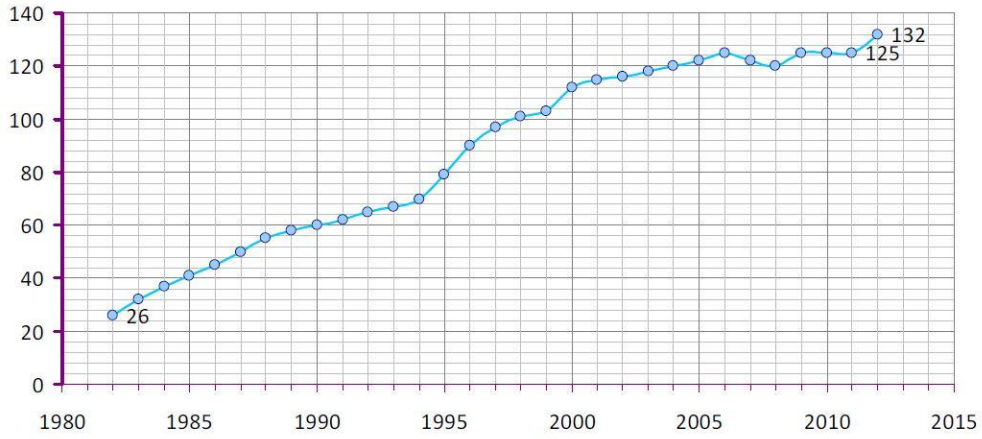
Source : Auteur

L'historique des principaux mouvements ci-dessus correspond aux coûts d'arrêt précédemment décrits de 1985 – 1987, 1995 et 2003.

3.1.1.3. Une croissance continue de l'offre sans solution de continuité

Le nombre de trains quotidiens par sens sur la LN1 est passé de 26 à 122 entre 1981 et 2007 (Delaborde, 2012). Le graphique suivant retrace précisément cette évolution.

Figure 32 : Nombre de trains quotidiens par sens sur la LN1



Source : Delaborde, 2012

La courbe d'évolution du nombre de train par jour sur l'axe Paris-Lyon montre que l'offre globale s'est accrue de 369% avec une progression annuelle moyenne de +6% entre 1981 et 2007. La période post 2007 sera analysée dans la section 3.2.

Le profil de la courbe met en évidence une période de croissance continue de l'offre entre 1981 et 2006 (+380%). Elle se structure autour de deux moments clefs.

Le premier est marqué par l'inflexion de la courbe entre 1994 et 1996 (+ 28,5%) suite à la mise en service de la LN4 Rhône-Alpes. Cette extension a permis un gain de temps vers la Méditerranée (Marseille) et les Alpes (Grenoble) grâce au contournement par l'Est de la région lyonnaise. La conséquence en a été l'augmentation notable de la fréquence sur la LN1 révélant une relation positive entre gain de temps et fréquence (meilleure rotation du matériel roulant).

Le second fait suite à la mise en service de la LN5 Méditerranée en 2001. Néanmoins, on observe que son effet a été plus faible que celui de la LN4 avec une progression de l'offre de seulement 10%. Ce résultat est en partie contre intuitif dans la mesure où le gain de temps procuré par la LN5 a été supérieur à celui de la LN4 (respectivement 60 min contre 20 min) et où le gain en trafic a été équivalent (respectivement 4,5 millions de voyageurs contre 4,3). L'introduction d'un matériel roulant à plus grande capacité (Duplex) à partir de 1996 a pu contribuer à atténuer la progression du volume de l'offre en transport au regard de la demande.

Si on confronte maintenant l'évolution de la demande à celle de l'offre, on observe trois faits majeurs dans la conceptualisation du plan de transport.

En premier lieu, les périodes de stagnation observées pour la demande en voyageurs ne se traduisent pas directement par une stagnation ou une réduction du volume de train. Au contraire, on observe sur la période 1990 – 1994 une augmentation de 13% du volume de trains alors même que la demande a baissé d'environ -10%. Un constat similaire est observable pour 1985 – 1987 et 2003. Cette

divergence peut s'expliquer soit par un manque de flexibilité de l'offre, soit par un fort effet d'anticipation. Dans tous les cas, elle s'est très certainement traduite par des pertes économiques pour la SNCF.

En second lieu, la mise en service d'une ligne nouvelle a été chaque fois précédée d'une augmentation nette et systémique du plan de transport (effet réseau). Cet effet est particulièrement visible en 1995 en prévision de la mise en service complète de la LN4 (1996) et en 2000 en prévision de la mise en service de la LN5 (2001).

Enfin, l'évolution globale de la demande a été supérieure à l'offre. La demande en voyageurs a été multipliée par 9 entre 1981 et 2007 tandis que l'offre a été multipliée par 4,6 sur la même période. Ainsi, en dépit des variations de la demande en voyageurs, des gains de productivité ont été réalisés et la capacité de l'axe a été adaptée en conséquence.

Il convient donc dans le point suivant d'analyser les conditions de montée en puissance de la LGV Paris-Lyon.

3.1.2. Une adaptation progressive de la capacité et des méthodes de production

L'évolution de la capacité sur l'axe Paris-Lyon a été concomitante à l'évolution de la demande et du volume de train. Elle peut être analysée selon deux types de critères : le nombre de train par heure sur la ligne et le nombre de passagers par train. La capacité libérée dépend des objectifs donnés pour chacun de ces critères et des contraintes effectives.

3.1.2.1. Développer la fréquence : le débit de la ligne

L'objectif initial pour la ligne Paris-Lyon était d'atteindre un débit théorique de 12 trains/heure/sens. L'enjeu était de garantir une fréquence minimale pour les principales dessertes.

Le système de signalisation et la gestion des trafics ont constitué les deux premières variables clefs côté infrastructure. L'espacement entre chaque circulation était de 5min et le débit commercial de 10 trains/heure/sens. Malgré l'installation de la TVM 300, la vitesse effective est restée limitée jusqu'en 2001 à 270km/h. Cette limitation a été principalement due au temps d'adaptation de l'exploitation à la grande vitesse et aux caractéristiques particulières de la ligne (pentes de 35‰). La mise en service de la LN5 Méditerranée a introduit un double objectif, à savoir le relèvement de la vitesse pour relier Paris à Marseille en trois heures et l'augmentation de la capacité en nombre de trains pour renforcer la fréquence.

En conséquence, la vitesse a été relevée à 300km/h en 2001 et le temps d'espacement entre deux circulations a été réduit à 4min. Le débit théorique obtenu est passé à 15 trains/heure/sens et le débit commercial à 12 trains/heure/sens. Ce gain en capacité a été permis grâce à un renforcement électrique de la ligne, à une adaptation du système TVM 300 et à l'amélioration des performances de freinage et

d'accélération du matériel roulant (Delaborde, 2012). L'introduction d'un sillon supplémentaire de respiration (3 au lieu de 2) a contribué à garantir la régularité des circulations.

L'adaptation du mode de gestion des trafics a également été une condition d'accroissement de la capacité. L'ensemble des postes de contrôle de la circulation dédiés à la ligne ont été regroupés dans un même poste central appelé PAR : Poste d'Aiguillage et de Régulation (Peigné, 2014). Dupuy (2011) note que cette organisation a ensuite été reprise pour les autres LGV puis a été étendue à l'ensemble du réseau. Elle permet notamment une meilleure coordination entre les services en cas de perturbation et a certainement contribué à améliorer la résilience du réseau.

Ainsi, la modernisation de la signalisation et la réorganisation des unités de régulation du trafic ont permis de porter la capacité commerciale de la ligne de 10 trains/heure/sens à 12 trains/heure/sens pour répondre aux impératifs de fréquence.

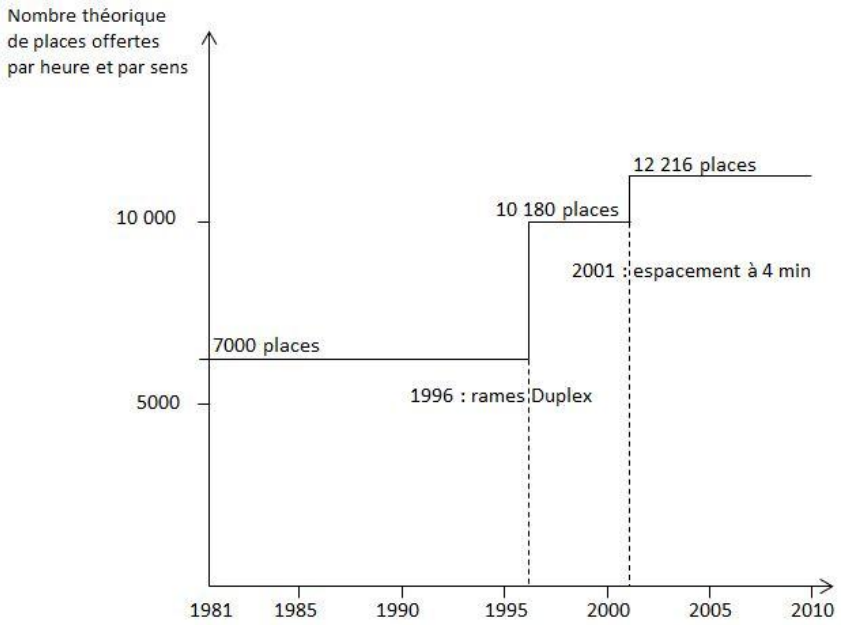
3.1.2.2. Massifier le transport : capacité des trains et politique commerciale

Dans un contexte de développement de la demande et sous contrainte de l'infrastructure, le second objectif s'est orienté sur l'accroissement de la capacité offerte pour chaque circulation. Il a été poursuivi par la SNCF au moyen d'une adaptation du matériel roulant (rendements croissants) et d'une optimisation de la tarification (maximisation des recettes et du remplissage). Dupuy (2011) qualifie cette orientation de « politique de volume » en lien avec une volonté de « démocratisation » de la grande vitesse. A titre d'illustration, la première livrée de rames TGV en 1981 a été constituée de 6 rames uniquement 1ère classe dans l'esprit du train « Mistral » Paris-Dijon-Lyon. Elles ont rapidement été modifiées selon les standards du reste du parc avec l'introduction de voitures de 2nde classe (3 voitures 1ère classe et 4 voitures 2nde classe).

L'adaptation du matériel roulant s'est faite en deux temps. Les premières rames, de type Sud-Est, offraient une capacité de 342 à 350 passagers en rame simple. L'accouplement de deux rames a constitué une première variable d'ajustement en doublant la capacité pour chaque circulation. La mise en service de la LN4 s'est accompagnée d'une augmentation notable de la capacité avec l'introduction des rames Duplex (509 places par rame). Elles ont constitué une seconde variable d'ajustement non négligeable à fréquence constante. En 2007, le taux de rames Duplex sur la liaison Paris-Lyon est de 100% (RFF, 2011b).

Si on associe les gains de capacité réalisés en termes d'infrastructure et d'exploitation, on obtient la courbe suivante.

Figure 33 : Evolution du nombre théorique de places sur la LN1



Source : Auteur

L'estimation du nombre de places disponibles tient compte de la capacité commerciale de l'infrastructure et du nombre maximal de places par train[11]. Le calcul s'applique pour une heure de service et dans un sens. Cette évaluation est purement théorique mais elle permet de décomposer les grandes étapes de l'évolution en capacité de la LN1 qui confirment la recherche des deux objectifs : fréquence et massification.

L'optimisation tarifaire a permis de consolider cet accroissement de la capacité en donnant à l'entreprise les moyens d'améliorer ses taux de remplissage et de maximiser ses recettes par train.

3.1.2.3. Garantir l'offre par la tarification : le yield management

L'introduction du *Yield management*, hérité du transport aérien, a remis en cause la tarification classique de la SNCF fondée sur le rapport entre la distance parcourue et le prix au kilomètre[12].

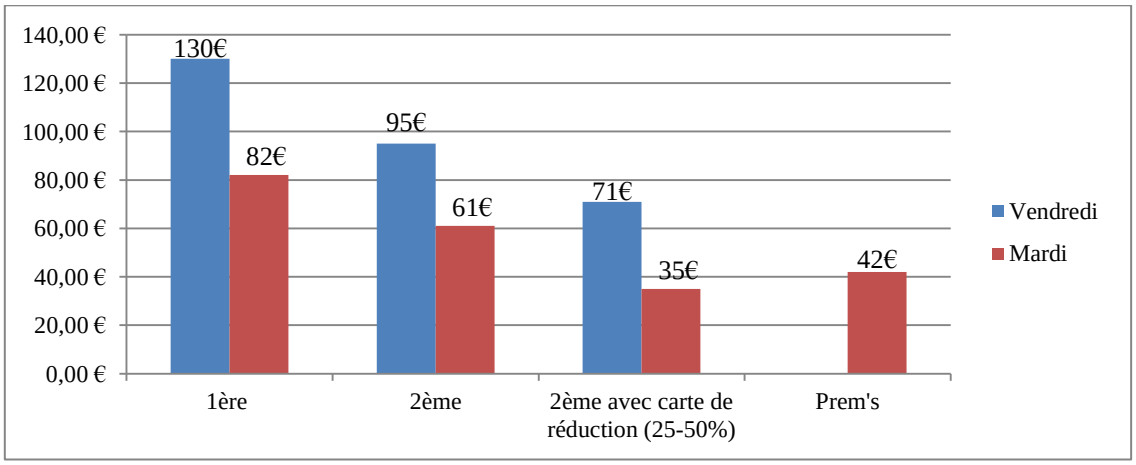
Cette pratique tarifaire consiste à discriminer la clientèle en élargissant la gamme de prix (captation des surplus) et en faisant varier les prix en fonction de la période de circulation et de la dynamique de remplissage du train (limité par le principe des quotas). Ainsi, les prix augmenteront plus vite pour un train circulant en heure de pointe et soumis à une forte dynamique de demande que pour un train circulant en heure creuse. Le graphique suivant illustre sur la base d'un cas pratique ce principe.

[11] Les hypothèses retenues sont :

- 1981 : rames doubles, 350 places par rame et 10 sillons/heure ;
- 1996 : rames doubles, 509 places par rame et 10 sillons/heure ;
- 2001 : rames doubles, 509 places par rame et 12 sillons/heure.

[12] Plein tarif = C + d x p où C est une constante, d la distance parcourue et p un prix kilométrique (Leboeuf, 2014)

Figure 34 : Comparaison des prix à trois mois selon les principaux segments tarifaires pour le train de 18h28 entre Paris et Lyon (en euros)



Source : Auteur

Le relevé des prix à trois mois[13] pour une circulation à 18h28 au départ de Paris et à destination de Lyon permet de mettre en évidence à la fois la distinction tarifaire selon la densité de la demande et selon le profil des clients.

La discrimination tarifaire s'applique à quatre grands types de segment : la 1ère classe, la 2nde classe, la 2nde classe avec réduction[14] et les billets Prem's mis sur le marché depuis 2003. Il existe en réalité autour de cette structure de base un grand nombre de nuances selon le profil de la clientèle (pro, loisir, etc.). De plus, de nombreuses conditions sociales existent et donnent lieu à différents types de réduction (pour les militaires, invalides, etc.). L'objet ici n'est pas de détailler l'ensemble de l'offre mais de s'intéresser à la variation des prix selon les segments de marché.

En premier lieu, on observe une hiérarchie bien établie dans la répartition des prix. Que ce soit le vendredi ou le mardi, la 1ère classe est tarifiée plus cher que la 2nde classe sans carte de réduction[15]. La possession d'une carte de réduction permet de s'assurer un prix plus bas et qui, dans certains cas, peut être inférieur aux billets prem's. Les cartes de réduction s'adressent essentiellement aux moins de 28 ans (carte jeune) et aux plus de 60 ans (carte senior) hors familles nombreuses et abonnements fréquence.

Les billets prem's se distinguent du reste de l'offre notamment par leurs conditions de vente. Introduits en 2003, ils sont issus du modèle aérien. Ils ne sont ni échangeables, ni remboursables et s'adressent principalement à des personnes ne bénéficiant pas de cartes de réduction (28 – 59 ans). Ils présentent l'intérêt de proposer les meilleurs prix par rapport au tarif normal en 2nde classe mais sont vendus en quantité limitée.

En second lieu, on observe que la période horaire et surtout la dynamique de réservation font fortement varier les prix. Dans les deux cas, la réservation est effectuée en période de pointe. Les prix sont donc mécaniquement plus élevés qu'en période creuse. La différence entre le vendredi et le mardi

[13] Réservation mi-juillet pour une circulation fin septembre

[14] Ce principe s'applique également à la 1ère classe.

[15] Il est néanmoins possible de manière exceptionnelle de trouver un billet de 1ère classe avec carte de réduction moins cher qu'un billet de 2nd.

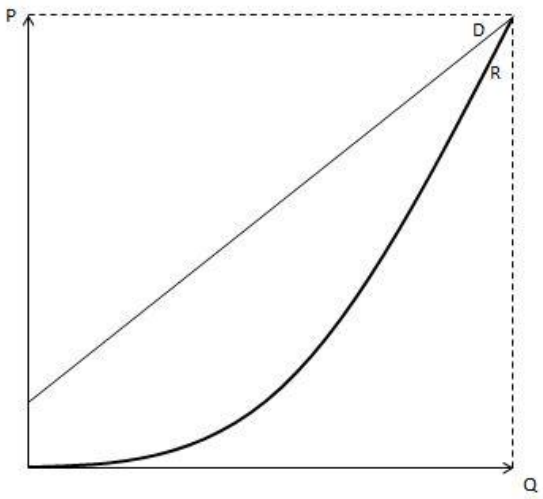
repose donc sur la dynamique de la demande, plus forte à la veille du week-end. Elle est perceptible à la fois par le prix des billets (+58% pour la 1ère classe, +55% pour la 2nde classe) mais aussi par la disponibilité des billets prem's. Deux options expliquent l'absence de prem's. Soit l'ensemble du stock réservé a été vendu, soit aucun prem's n'est mis en vente. Le premier cas rappelle une subtilité importante du *yield management* qui se traduit également par une gestion optimisée du stock de places par train. Ainsi, les différentes tranches de tarification sont soumises à une logique de quota que ce soit pour les billets prem's ou les autres types de billets.

Le *yield management* se caractérise donc par un ajustement des prix selon le profil des clients, la période de circulation et la dynamique de réservation. En conséquence, la capacité disponible est optimisée grâce à une meilleure répartition de la demande sur la journée et à un meilleur taux de remplissage des trains. Dupuy (2011) note que l'instauration de la réservation obligatoire a contribué à faciliter la mise en place de cette tarification et son optimisation.

Néanmoins, Pérennes (2014) rappelle que la tarification des TGV reste ambivalente. L'activité TGV est juridiquement définie comme une activité de nature commerciale mais le plafond maximal de tarification reste fixé par décret. Cette subtilité peut représenter une contrainte dans l'optimisation tarifaire du service dans la mesure où une partie du surplus des clients les plus fortunés ne peut être captée.

Le graphique suivant propose une schématisation du principe de *yield management* selon les contraintes de prix et de capacité.

Figure 35 : Schéma du principe de tarification d'un train et des contraintes liées



Source : Auteur

Ainsi, plus il y a de demande (D) et plus les prix (P) augmentent pour chaque segment de clientèle. Les prix sont contraints par le plafond fixé par décret et la quantité (Q) est contrainte par le nombre de places disponibles dans le train. Selon ces contraintes, le *yield management* permet la maximisation du revenu (R) et l'optimisation du taux de remplissage.

Concrètement, cette tarification se traduit par une marge opérationnelle de l'activité TGV plus élevée que le reste des activités du groupe SNCF. Elle était de 1,1 milliards d'euros en 2007 soit +18% du

CA. Il faut également noter que ces performances exceptionnelles ont pu être réalisées grâce au faible niveau de péages appliqué jusqu'en 1997 par la SNCF (internes à l'entreprise) et après 1997 par RFF. Néanmoins, leur niveau à progressivement augmenté à partir des années 2000 dans le but d'atteindre la couverture de l'infrastructure au coût complet. Cette évolution pourrait remettre en cause l'équilibre de l'activité et sera plus amplement développée dans la section 3.2.

3.1.3. Quel avenir pour l'activité TGV ? Le scénario optimiste

Le succès de l'axe Sud-Est et des lignes suivantes a contribué à créer un enthousiasme général autour du modèle TGV à la fois au sein du monde ferroviaire mais aussi du monde politique et économique (Crozet, 2010). Les gains de temps apportés par la grande vitesse aux territoires desservis n'ont pas échappé aux élus locaux, créant un sentiment de frustration pour les territoires non desservis.

3.1.3.1. Le SNIT, un schéma ambitieux

Le schéma national des infrastructures ferroviaires (SNIT, 2011) traduit en partie ces espoirs. Il propose un plan d'application de la loi Grenelle 1 (n°2009-967) en matière de grande vitesse. L'article 12 prévoit la création de 2000km de lignes supplémentaires à l'horizon 2020 supportées par une dotation de l'Etat de 16 milliards d'euros. On rappelle que le Grenelle de l'environnement, à l'origine de ce plan, s'est tenu en 2007 dans la continuité des succès précédemment décrits. Le modèle TGV paraissait encore durable et la crise économique restait cantonnée au secteur financier. On propose ici de raisonner selon la logique du Grenelle. La critique apportée par la commission « Mobilité 21 » sera analysée dans la section 3.2.3.

Selon l'esprit de 2007, le réseau LGV devait passer de 2037 km de lignes en 2011 à environ 6000 km en 2050 (+200%). L'axe Sud-Est devait ainsi bénéficier de 39% des 4000 km de lignes prévus (1576 km).

Tableau 10 : Liste des projets de LGV concernant l'axe Sud-Est

	Longueur *(en km)*	**Coût** *(en millions d'euros)*
Avant 2020		
Contournement Nîmes-Montpellier	61	1644
LGV Montpellier-Perpignan	155	5000 à 6000
LGV PACA	200	15000
LGV Rhin-Rhône branche Est 2nde phase	50	896
LGV Rhin-Rhône branche Ouest	94	2317
LGV Rhin-Rhône branche Sud	165	3452
Interconnexion Sud Ile-de-France	31	1400 à 3300
LGV Lyon-Turin	270	12000
Après 2020		
POCL	550	12000 à 14000
Total	1576	41709 à 46609

Source : SNIT, 2011

Dès 2007, cet objectif a provoqué deux types de réaction. Des réserves ont été exprimées sur la faisabilité d'un tel plan (Crozet, 2010) et le risque de saturation de la LGV Paris-Lyon a été mis en évidence (Leboeuf, 2014). La question de la faisabilité en particulier financière du SNIT sera traitée dans la section 3.2.3.1.

Concernant le risque de saturation, Michel Leboeuf (alors directeur des Grands projets et de la prospective à SNCF Voyages) a présenté en 2007 un plan de désaturation de la LGV Paris-Lyon en prévision de l'extension du réseau Sud-Est. Le plan consistait à créer une LGV nouvelle via le centre de la France jusque-là laissé pour compte de la grande vitesse (Paris – Orléans – Clermont-Ferrand – Lyon, POCL). Il avait pour vertu de combiner objectif technique (désaturation) et aménagement du territoire (désenclavement).

Le projet a reçu le soutien des élus locaux et régionaux (dont Brice Hortefeux) et a été intégré à la loi Grenelle (2009-967) pour une réalisation après 2020. Leboeuf (2014) le considère comme une pierre angulaire pour l'axe Sud-Est dans sa capacité à répondre à l'augmentation de la demande. Le projet a été soumis au débat public entre le 3 octobre 2011 et le 31 janvier 2012. Les travaux rendus ont fait état d'un risque de saturation de la LGV Paris-Lyon.

3.1.3.2. Détail du risque de saturation de l'axe Sud-Est par O-D

Le constat de saturation de la LGV Paris-Lyon à horizon 2020 – 2025 a déjà été présenté dans le Chapitre II. Il convient de préciser ici les causes de cette saturation et les limites du système actuel. On pose pour hypothèse que l'ensemble des projets annoncés seraient réalisés.

Pour rappel, les projections de RFF donnent en 2025 environ 57 millions de voyageurs, 66 millions en 2035 et 83 millions en 2050 sur l'axe Sud-Est. Dans le graphique suivant, on propose une décomposition par OD de l'évolution de l'offre en trains.

Tableau 11 : Perspectives d'évolution de l'offre en train (en %) sur les principales OD de l'axe Sud-Est entre 2008 et 2050 en TMJA et dans les deux sens

	LYO-STE	GEN	SAV	GRE	PACA	LR	DIJ/CH/NE	INT	Total
2025/08	8%	69%	47%	12%	-4%	20%	81%	50%	29%
2035/25	2%	0%	4%	0%	0%	0%	2%	6%	2%
2050/35	16%	0%	8%	5%	4%	7%	4%	26%	11%

Source : RFF, 2011b

Les OD sont au nombre de 8. Les OD historiques sont Paris – Lyon – Saint-Etienne (LYO-STE), Paris – Genève (GEN) et Paris – Dijon – Suisse (DIJ/CH/NE). La mise en service de la LN4 a permis le développement des OD Paris – Savoie (SAV) et Paris – Grenoble (GRE) tandis que l'achèvement de l'axe jusqu'à Marseille a renforcé les OD Paris – PACA (PACA) et Paris – Languedoc-Roussillon (LR). Pour finir, le trafic des intersecteurs (INT) s'est renforcé sous l'effet de l'extension du réseau LGV et de l'interconnexion des LGV notamment en île de France.

La projection des circulations à l'horizon 2050 montre une augmentation disparate dans le temps des besoins. Le besoin total en sillon devrait connaître deux phases d'expansion. La plus importante (+29%) concerne la période 2008 – 2025. Elle correspond dans le SNIT à la mise en service, avant 2020, des lignes suivantes :

- LGV Rhin-Rhône branche Ouest et Sud pour l'OD GEN (+69%) ;
- LGV Lyon-Turin pour l'OD SAV (+47%) ;
- Contournement Nîmes-Montpellier et LGV Montpellier Perpignan pour l'OD LR (+20%) ;
- LGV Rhin-Rhône Ouest et 2nde phase branche Est pour l'OD DIJ/CH/NE (+81%) ;
- Interconnexion Sud Ile de France et reste du réseau pour l'OD Intersecteurs (+50%).

Seule l'OD PACA réalise un résultat contre-intuitif. Elle verrait son trafic stagner alors même que la LGV PACA serait mise en service avant 2020. La haute densité de circulation déjà existante sur l'OD peut expliquer cette faible variation (54 trains dans les deux sens/jour en 2008). De la même manière, le nombre de circulations évoluerait peu pour l'OD Paris-Lyon, déjà cadencée à un train toutes les demi-heures en heure de pointe.

La première période (2008 – 2025) montre que le gain de trafic proviendrait essentiellement de la mise en service de nouvelles LGV. On considère la croissance de l'OD Paris-Lyon comme l'évolution naturelle des trafics selon les hypothèses de PIB (*cf.* Chapitre II).

Cette règle se confirme pour la période 2025 – 2035 où la croissance des trafics devrait être faible et où peu de nouvelles infrastructures sont attendues sur l'axe.

Enfin, la mise en service après 2035 du POCL conduirait à redynamiser les trafics sur l'OD Paris-Lyon (+16%) et à accroître la part des intersecteurs (+26%). Ainsi, le besoin en 2050 serait de 349 trains par jour sur la LGV Paris-Lyon contre 239 en 2008 (+ 46%).

3.1.3.3. Des marges de capacité trop faibles ?

L'évaluation du taux d'utilisation de la LGV Paris-Lyon dans le Chapitre II a montré que la saturation de la capacité commerciale serait atteinte entre 2020 et 2025. Cette estimation corrobore l'évaluation menée par la SNCF et RFF. L'histoire de la capacité et des trafics a montré que jusqu'à présent l'ingénierie et la logique commerciale avaient suffi à compenser le besoin en capacité grâce à l'augmentation progressive de la capacité de l'infrastructure ou des trains.

Pour Lebeouf (2013), ces leviers ont atteint leurs limites sur la LGV Paris-Lyon. Il affirme que :

> *« Ces mesures ne peuvent être indéfiniment « rejouées ». Sauf à rendre le train très cher. » (Leboeuf, 2014, p.620).*

Selon lui, la capacité maximale par train a été atteinte avec le Duplex et le principe de rame double. La limite de 510 sièges par rame ne semble pas extensible. En second lieu, il considère que le principe du *yield management* pourrait difficilement être amélioré, le taux de remplissage des trains en heure de pointe atteignant déjà 80%. Enfin, les possibilités offertes par le nouveau système de signalisation (ERTMS) ne suffiraient pas à compenser le besoin en sillons à l'horizon 2020 d'où la nécessité, en conclusion, d'une infrastructure nouvelle.

Nous reviendrons sur chacune de ces affirmations dans la section 3.3. On cherchera notamment à identifier et à quantifier leurs avantages possibles en matière de capacité. Une analyse coût-bénéfice permettra également de revenir sur l'affirmation selon laquelle la recherche de nouveaux rendements croissants sur la ligne existante rendrait le « train plus cher ».

Conclusion

En conclusion de cette section, l'activité TGV, selon le cas privilégié de la LGV Paris-Lyon, peut être caractérisée de la manière suivante. En premier lieu, elle est devenue une activité majeure du système ferroviaire en l'espace de trente ans à la fois du point de vue des trafics et des revenus. En second lieu, sa croissance provient de l'évolution économique mais aussi de l'effet réseau. Le renforcement progressif de l'axe Sud-Est a contribué à augmenter la densité de circulation. Enfin, cette activité est porteuse d'espoirs et génère des investissements massifs. Selon cette description, on propose de s'interroger dans la section 3.2. sur la durabilité du modèle.

3.2. « TGV, le temps des doutes » [16]

L'année 2007 marque une solution de continuité dans la croissance historique de l'offre sur l'axe Paris-Lyon. Pour la première fois depuis sa mise en service, l'axe Sud-Est connait une baisse du volume de train sur deux années consécutives (2007 et 2008). Faut-il y voir le simple fait de la crise économique ou bien une remise en cause plus profonde du modèle économique de l'activité TGV ?

Cette section reprend le titre d'un article d'Yves Crozet paru en 2010 dans la revue Transport et propose d'en actualiser les données. En 2010, il dresse un constat en demi-teinte de l'avenir du TGV en France. Il interroge en premier lieu l'opportunité de l'extension du réseau LGV et rappelle le coût croissant des projets d'infrastructure. En second lieu, il évoque les moins bonnes performances de l'activité TGV sur la période 2008-2009 qu'il attribue à la conjoncture économique (stagnation des trafics) et au débat entre RFF et SNCF sur la question du niveau des péages (tendance à la hausse). Il montre néanmoins que la SNCF peut avoir tout intérêt à voir les péages augmenter en perspective de l'ouverture à la concurrence (augmentation du coût d'accès).

Cette analyse associée au récent rapport produit par la commission « Mobilité 21 » (2013), dans le cadre du réaménagement du SNIT, nous engage à questionner le scénario de développement de l'axe Sud-Est proposé par RFF (2011b).

L'objectif est de distinguer ce qui relève de la crise économique ou des limites du modèle économique de l'activité TGV dans le retournement de 2007 (conjoncturel ou structurel).

Dans un premier temps on s'intéressera au modèle économique de l'activité TGV propre à l'entreprise puis on posera la question de son interaction avec celui du gestionnaire d'infrastructure (question des péages). Enfin, on montrera qu'il existe une tension très forte concernant les perspectives d'évolution du modèle économique. Cette tension se traduit notamment par le décalage qui existe entre la vision du SNIT et celle proposée par le rapport de la commission « Mobilité 21 ».

3.2.1. Crise économique ou limites du modèle économique ?

Krugman (2000) rappelle en introduction de son essai « vertus et limites du libre-échange » qu'il est au moins aussi difficile pour les économistes d'expliquer une situation de crise économique que de croissance. En conséquence, la crise peut être un facteur explicatif du ralentissement d'une activité. Mais elle peut également agir comme un révélateur dans le cas où l'offre ne correspond plus à la demande ou la demande à l'offre.

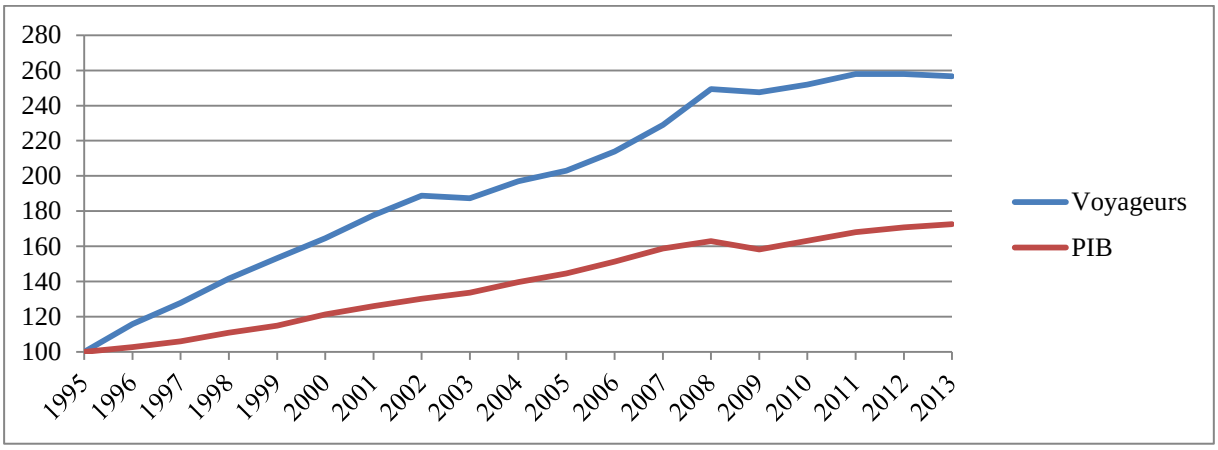
On propose dans ce point de s'intéresser à l'évolution de l'activité TGV depuis 2007, au contact de la crise économique.

[16] Titre d'article d'Yves Crozet paru dans le numéro 460 de la revue Transport.

3.2.1.1. Une stagnation des trafics depuis 2011

Le graphique suivant compare les trafics TGV sur l'ensemble du réseau ferroviaire français à l'évolution du PIB. Les trafics TGV sont exprimés en nombre de voyageurs (CGDD, 2014) sur la base de l'année 1995.

Figure 36 : Evolution comparée des trafics TGV (en nombre de voyageurs) et du PIB français (en valeur) entre 1995 et 2013 (indice base 100 : 1995)



Source : Compte des Transports, série longue, 2014

Le rapport entre PIB et nombre de voyageurs confirme deux tendances. D'une part, l'évolution de la demande en grande vitesse est relativement corrélée à l'évolution du PIB. On observe des points d'inflexions similaires dans les courbes, excepté dans le cas de 2003 où le mouvement social a perturbé l'évolution de l'activité sans lien direct avec le PIB. Autrement, on note un retournement de situation commun aux deux courbes en 2008 avec un point bas en 2009 et une reprise dès 2010 suivie d'une phase de stagnation. D'autre part, la demande évolue de manière positive par rapport au PIB avec un gain de fréquentation plus que proportionnel pour un point supplémentaire de PIB. Ainsi, le nombre de voyageurs a été multiplié 2,5 entre 1995 et 2013 contre 1,6 pour le PIB. Ce différentiel confirme l'élasticité de la demande à la richesse mais aussi l'impact de l'effet réseau comme en témoigne le pic de fréquentation en 2008 suite à la mise en service de la LGV Est (+8,9%).

Pour autant, on observe que la mise en service de la LGV Rhin-Rhône a eu un effet très réduit sur le nombre de voyageurs (+0% en 2012) en comparaison avec les extensions précédentes. On relève + 15,8% en 1996 suite à la LN4, +8% en 2001 suite à la LN5 et +8,9% suite à la LGV Est. La croissance du PIB français ne permet pas d'expliquer à elle seule cette contre-performance. Elle a été, selon l'INSEE (2014b) de +1,5% en valeur en 2011 et de +0,3% en volume. Par ailleurs, l'hypothèse d'une sous-représentation du nouvel itinéraire dans les données agrégées ne paraît pas pertinente. L'augmentation du volume de train sur l'axe Sud-Est a été de seulement 5,6% en 2011 contre 12,5% pour la LN4 et 10% pour la LN5. Que déduire de ce résultat ?

On retient dans le cas de l'axe Sud-Est que la mise en service de la LN4 s'était accompagnée d'une augmentation de la capacité (rames Duplex) et d'une évolution tarifaire. La LN5 a été suivie d'un relèvement de la vitesse sur l'axe Paris-Lyon et d'un accroissement de la capacité commerciale à 12 trains/heure/sens. Pour ce qui concerne la LGV Rhin-Rhône les évolutions ont été plus modestes.

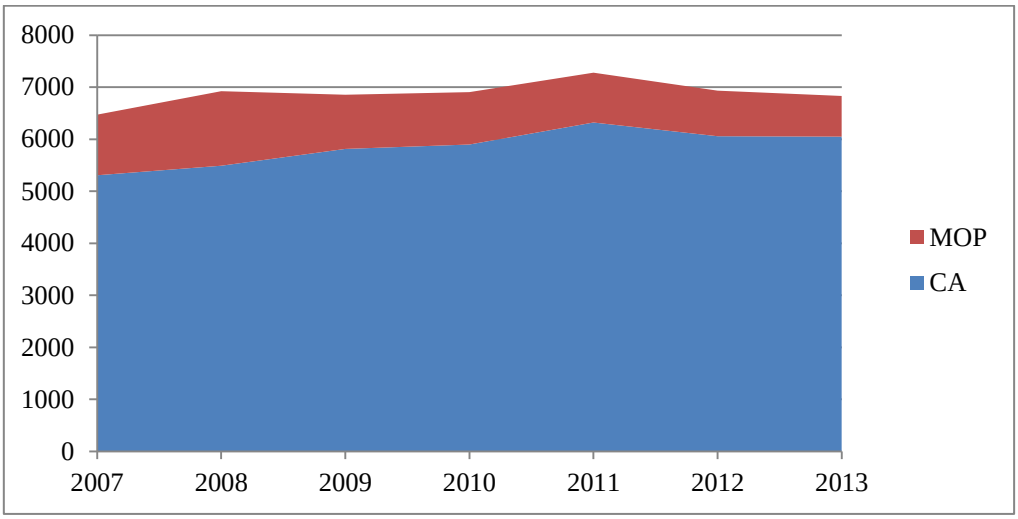
Delaborde (2012) montre que le principal gain résulte d'une optimisation de la grille horaire pour porter la capacité de la ligne à 12,5 sillons sur deux heures de pointe le vendredi soir. Plus simplement, on retient que l'optimisation a permis l'introduction d'un sillon supplémentaire portant à 13 sillons/heure/sens la capacité de la LGV Paris-Lyon. Ce sillon est exceptionnel et ne pourrait être reproduit à large échelle aux conditions d'exploitations actuelles de la ligne.

Par conséquent, le faible impact de la LGV Rhin-Rhône sur la demande et la contrainte de capacité semblent mettre en évidence une situation propre au secteur dont la crise économique n'est pas l'unique facteur.

3.2.1.2. Une réduction de la marge opérationnelle depuis 2007

Une autre manifestation est la réduction rapide de la marge opérationnelle (MOP) de l'entreprise pour sa branche TGV (SNCF voyages). Alors même que son chiffre d'affaire (CA) a progressé de 3% entre 2007 et 2013, sa MOP s'est contractée de -33% en valeur. Elle représentait en 2007 18% du CA contre seulement 11,4% en 2013 (SNCF, 2014). Le graphique suivant a été obtenu à partir d'une compilation des données contenues dans les rapports d'activité de la SNCF entre 2009 et 2014.

Figure 37 : Evolution de la marge opérationnelle de la branche SNCF voyages de la SNCF entre 2007 et 2013 (en millions d'euros)



Source : Résultats annuels de la SNCF (2010, 2011, 2012, 2013 et 2014b)

Une telle situation ne peut se traduire que par une remise en cause partielle du modèle économique. En 2010, D. Azéma, Directeur Général délégué Stratégie et finances à la SNCF alertait les pouvoirs publics sur la dégradation de la MOP qui représentait alors 14,6% du CA (Dumont, 2010). Pour lui, le modèle se trouvait en danger en deçà d'une MOP de 19%. Dans un article de 2011, Crozet & Raoul s'interrogeaient sur la nécessité pour un groupe public d'une MOP aussi élevée : *« On est bien sûr en droit de s'interroger sur cette marge de 19% pour un Etablissement public. 19% pour faire quoi ? Subventionner par péréquation les activités déficitaires ? »*. La question peut toujours être posée mais les péripéties rencontrées lors des négociations concernant la levée d'option sur une commande de 40

nouvelles rames TGV en 2013 ont montré que le premier poste impacté serait celui des investissements. La SNCF a finalement levée son option (1,2 milliards d'euros) suite à l'intervention de l'Etat (unique actionnaire) et pour le plus grand bien d'Alstom qui aura à produire des Euroduplex jusqu'en 2019.

Si cette situation résulte de la crise économique, ses conséquences pourraient remettre en cause le modèle économique du TGV. En 2014, 480 rames TGV ont été dépréciées de 1,4 milliards d'euros en raison du vieillissement du parc et de la situation de surcapacité. Pourtant, le besoin de renouvellement existe et repousser cette nécessité pourrait conduire à une augmentation des coûts de fonctionnement. D'une part, le parc de matériel roulant de type PSE arrive à sa deuxième rénovation après 30 ans d'exploitation. Il représente 104 rames à renouveler. D'autre part, les nouvelles rames Euroduplex proposent une meilleure durabilité des composants et un gain de place de 10% (560 places) par rapport à une rame Duplex classique (512 places).

3.2.1.3. Un modèle économique déséquilibré

La situation de crise économique révèle au-delà d'une activité en difficulté, une activité dont le modèle économique ne pouvait perdurer que dans la situation de profits importants. Ces profits ont été possibles un temps dans le cas d'une expansion continue du système. Mais il n'est pas sûr qu'ils se reproduisent à l'avenir en particulier dans le cas d'une ouverture à la concurrence. L'effet réduit de la LGV Rhin-Rhône sur le trafic semble confirmer cette tendance.

Face à cette situation, on identifie deux orientations parmi les déclarations récentes de la SNCF. En premier, une économie de 700 millions d'euros a été annoncée sur les frais de structure d'ici à 2015. Elle devrait être portée à 1,3 milliards d'euros à l'horizon 2018 (Damour, 2013). En second, la nouvelle offre « Ouigo » fondée sur le principe du low cost aérien peut être perçue comme un test par la SNCF pour mettre en pratique de nouvelles méthodes de commercialisation et de production des TGV. Elle se traduit notamment par une augmentation de la capacité par train et une baisse de 30 à 40% du coût de fonctionnement (Charlier, 2013).

Ainsi, Barbara Dalibard déclarait en octobre 2013 :

> *"Des éléments du modèle de Ouigo, comme la gestion de la maintenance, pourraient, par exemple, être appliqués pour les TGV classiques" (Damour, 2013, p3).*

L'évolution vers la recherche d'un modèle économique plus performant et source de nouveaux gains de productivité semble être une condition *sine qua non* pour consolider l'activité dans son aire de pertinence. Les menaces sont nombreuses : la concurrence directe d'un nouvel entrant, le déplacement de la clientèle d'affaire de la 1ère classe vers la 2nde classe[17] ou encore le regain en compétitivité de l'aérien grâce au low-cost et de l'automobile avec le covoiturage.

Le patron de BlaBlaCar, Frédéric Mazzella, assure que l'érosion des trafics TGV est directement due au développement du covoiturage. Il estime son nombre clients mensuels à 1 million ce qui équivaut à

[17] Il est intéressant de relever que les cadres du groupe Axa des sites de Lyon et Marseille n'ont plus la possibilité de se déplacer vers Paris en 1ère classe.

environ 2000 rames pleines (Steinmann, 2014). L'effet réel de ces nouvelles pratiques sur les trafics TGV est encore trop récent pour être correctement identifié. Néanmoins, il semble évident qu'elles exercent une pression sur son modèle économique et impacte particulièrement les prix et les conditions de vente. Sur ce dernier point, BlaBlaCar déclare offrir des prix équivalents à des billets prem's (30€ pour un Paris-Lyon) et qui ne varient pas selon la date de réservation.

3.2.2. Un nouveau venu dans le modèle économique du TGV, les péages

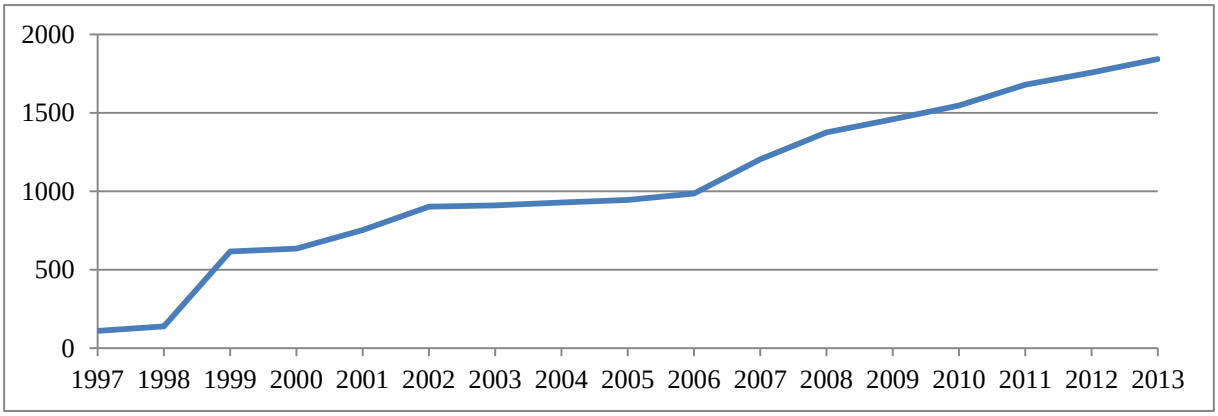
L'accroissement progressif de la part des droits d'accès au réseau dans la structure de coût de l'activité TGV constitue un autre facteur explicatif de déséquilibre du modèle.

3.2.2.1. Bref historique des péages et désaccords entre RFF et la SNCF

Pour les années 1997 – 1998, Dehornoy, Saint-Pulgent, & Chapulut (2007) considèrent que le montant des redevances était égal au coût marginal des circulations tel que calculé auparavant par la SNCF. Dès 1999 une première réforme est intervenue pour accroître la part des usagers dans les recettes de RFF. Crozet (2010) rappelle que le niveau des péages varie selon le coût d'opportunité des fonds publics. Dans la situation de 1999, Dehornoy, Saint-Pulgent, & Chapulut (2007) notent que les craintes portaient sur une requalification de la dette de RFF en dette publique au sens du Traité de Maastricht dans le cas où les recettes commerciales n'auraient pas couvert au moins 50% des charges d'exploitation courantes de RFF.

La période 2003 – 2006 a été marquée par une progression continue et stable des redevances suite à la définition d'un cadre pluriannuel d'évolution des péages.

Figure 38 : Evolution des péages en millions d'euros perçus par RFF pour l'activité TGV entre 1997 et 2013



Source : Dehornoy, Saint-Pulgent, & Chapulut, 2007 et SNCF, 2014

Côté gestionnaire d'infrastructure, l'augmentation des péages est perçue comme un réajustement structurel du système ferroviaire. Un signal prix est envoyé aux entreprises ferroviaires sur le coût d'usage du réseau tandis que les comptes du gestionnaire sont rééquilibrés.

Côté SNCF, cette évolution est considérée comme responsable de l'érosion des marges de l'activité TGV. Elle est passée d'un montant dérisoire dans la structure de coût de l'activité TGV en 1997 à 37% en 2013 (Steinmann, 2013) et près de 40% en 2014. La présentation des résultats du groupe SNCF de 2014 porte directement pour responsable la crise économique et la hausse des péages dans la dégradation de ses résultats sur la période 2007 – 2013 :

> *« [La] rentabilité de l'activité TGV [est] affectée par la crise depuis 2008 [et] aggravée par la hausse continue des péages » (SNCF, 2014, p17).*

L'effet est mécanique. Sans gains de productivité, l'évolution des péages réduit d'autant la marge de l'activité en augmentant les coûts de production.

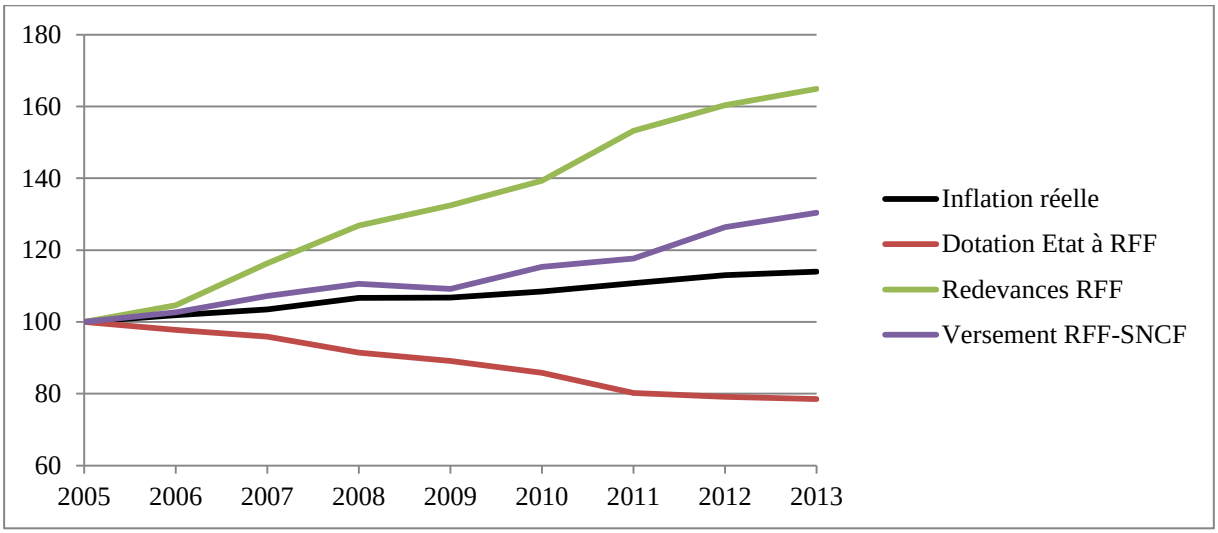
3.2.2.2. Les ingrédients de « l'inflation ferroviaire »

Une rupture est observée à partir de 2007. L'analyse de cette période est en général caractérisée par le nom « d'inflation ferroviaire ». Elle résulte de trois facteurs. En premier lieu, le désengagement progressif de l'Etat s'est traduit par une baisse de la dotation de -18,1% entre 2007 et 2013 (Loi de finance, 2013). En second lieu, le taux de couverture de l'activité TGV est passé du coût marginal à une couverture quasi complète des coûts. Le taux est de 80% en 2014 par train.km (RFF, 2014).

Le troisième facteur implique l'évolution des versements effectués par RFF à la SNCF au titre de la convention de gestion de l'infrastructure qui définit la SNCF comme gestionnaire d'infrastructure délégué pour les missions d'entretien du réseau (SNCF infra) et de gestion des trafics (DCF). Le versement global de RFF à la SNCF a évolué dans une moindre mesure que les péages entre 2007 et 2013 pour l'ensemble du réseau (respectivement +22% et +42%). Pour autant, cette évolution a été supérieure à celle de l'inflation réelle alimentant ainsi la polémique autour de « l'inflation ferroviaire ».

Le graphique suivant propose une projection de l'inflation ferroviaire au regard de l'inflation réelle sur la période 2005 – 2013.

Figure 39 : Evolution comparée de « l'inflation ferroviaire » à l'inflation réelle observée en France sur la période 2005 – 2013 (Base 100 : 2005)



Source : Eurostat, 2014 et Loi de finances, 2013

Les données proposées s'appliquent à l'ensemble du réseau, la segmentation par type de service n'étant pas disponible. Le rôle joué par les dotations de l'Etat semble être majeur dans l'évolution des péages selon l'hypothèse de Crozet (2010).

Dehornoy, Saint-Pulgent, & Chapulut (2007) ont mis en évidence l'impact des coûts d'entretien du réseau sur l'évolution des redevances et la nécessité de les maîtriser. Leurs recommandations ont donné lieu en 2010 à une réforme de la tarification dans le sens d'une plus grande maîtrise de l'inflation ferroviaire. La solution retenue a été d'indexer l'évolution des péages sur celle des coûts d'entretien du réseau dans l'objectif de :

- Corriger un biais de la séparation : tout gain réalisé par SNCF infra devrait être, *a priori*, bénéfique à SNCF opérateur sur le même principe que dans une structure intégrée ;
- Inciter SNCF infra à maîtriser l'évolution de ses coûts en permettant à SNCF opérateur de bénéficier directement des gains de productivité.

Le résultat de cette réforme paraît étonnamment contre intuitif 4 ans après sa mise en place. On observe en effet une dérive amplifiée des coûts de maintenance sur la période 2010 – 2013 (+13%) suivie d'une augmentation des péages de +18% alors même que l'inflation n'a été que de +6,5% et la baisse en dotation de l'Etat de -9%.

3.2.2.3. Les péages comme arme anti-concurrence ?

Il y a lieu de s'interroger sur la sensibilité réelle du groupe SNCF à la dérive des coûts de maintenance et par extension aux péages (Crozet, Herrgott, Laroche, & Perennes, 2014). Car, si la branche SNCF voyages voit sa marge réduite, dans l'ensemble le groupe reste en situation de monopole sur la majorité du marché ferroviaire. Le marché de voyageurs représente 86% des trains-km en 2013 (RFF, 2013a) dont une majeure partie est conventionnée (58% des trains-km) et s'exerce dans le cadre du

monopole (excepté quelques trafics internationaux depuis 2010). Le marché fret, seul marché ferroviaire véritablement ouvert à la concurrence et où les nouveaux entrants représentent plus de 30% des trafics en 2014, représente 14% des trains-km. De facto, le monopole établi du groupe SNCF sur l'essentiel du marché implique, *a priori*, une sensibilité de son modèle économique moins forte aux péages que celle de nouveaux entrants potentiels. D'autre part, la réforme de la tarification de 2010 rend la position du groupe ambivalente en lui attribuant indirectement, via sa branche infra, un levier sur l'évolution des péages. Depuis 2010, ce levier ne semble pas avoir été mis à profit pour réduire les coûts.

La préparation à l'ouverture à la concurrence passerait-elle donc par une « guerre » des péages ? On note que dans le cas du fret ferroviaire, le montant des péages est évalué selon le coût marginal de la circulation. En 2014, le taux de couverture du coût global est de 10%. Une telle politique a été appliquée en Suède pour favoriser l'entrée sur le marché de nouveaux acteurs notamment sur les marchés non conventionnés (Abraham, 2011).

Crozet (2010) rappelle les enseignements apportés par l'expérience anglais (Preston ,2009 ; Nash, 2009) :

> *« Il existe donc une troisième fonction du péage, peu connue en France mais qui a été rappelée récemment par J. Preston et C. Nash […]. Ces auteurs nous rappellent que plus les péages sont élevés et moins il est probable de voir arriver des concurrents sur une ligne LGV » (Crozet, 2010, p5).*

En conséquence, comment faut-il interpréter l'inflexion dans l'évolution des coûts de maintenance et des péages depuis 2010 ? Sans pouvoir établir directement une corrélation entre la stratégie de la SNCF et l'évolution des péages, il paraît néanmoins évident que l'entreprise se prépare à l'ouverture de la concurrence dans l'activité TGV. L'offre low-cost Ouigo peut être perçue comme un laboratoire d'expérimentation en perspective de gains de productivité tandis que la couverture des péages au coût complet constitue toujours un coût supplémentaire d'accès au réseau pour de nouveaux entrants. Il reste cependant à la SNCF à adapter son modèle économique de manière à absorber l'augmentation des péages et à trouver de nouveaux gisements de croissance autre que l'extension des dessertes.

3.2.3. La Commission mobilité 21, vers une nouvelle ère ?

Après avoir émis des doutes sur la durabilité du modèle TGV tel qu'il existe aujourd'hui, c'est au tour de l'infrastructure de subir la critique.

3.2.3.1. Dette publique et remise en cause du SNIT

La base de référence est le SNIT présenté dans la section 3.1.3.1. Pour rappel ce schéma est l'aboutissement des orientations données par le Grenelle de l'environnement (2007) et inscrites dans la loi Grenelle (2009-967). Lors de sa publication en 2011, il a été accueilli comme un anachronisme (Blanchet, Chapulut & Paul-Dubois-Taine, 2012 ; Crozet, 2012) tant la situation économique s'est

dégradée entre 2007 et 2011. La capacité de l'Etat français à financer 166 Mds d'euros de nouveaux investissements dans les transports à l'horizon 2030, dont 62% destinés au ferroviaire et à l'extension du réseau LGV (+ 4000km de LGV), paraît plus qu'ambitieuse.

Un premier apport critique a été produit par le Cercle des Transports en 2012, « Transports et dette publique ». Blanchet, Chapulut & Paul-Dubois-Taine proposent une analyse prospective de l'évolution de la dette publique selon deux scénarios de politique publique à horizon 2030. En 2010, le déficit des transports est estimé à 24Mds d'euros pour une dépense publique globale (Etat et collectivités) de 40Mds d'euros (fonctionnement et investissement).

Le premier scénario considère une évolution au « fil de l'eau ». Il prend en compte la réalisation de l'ensemble du SNIT et n'anticipe pas de modification structurelle dans l'évolution des dépenses de fonctionnement. Le déficit cumulé sur la période serait de -131Mds d'euros selon les auteurs. Le second scénario privilégie la frugalité. Le SNIT est revisité en profondeur et seules quelques infrastructures essentielles sont conservées, les ressources étant réallouées vers la régénération et la modernisation des réseaux. Par ailleurs, des économies de 20 à 30% sont réalisées en dépense d'exploitation grâce à des gains de productivité. Le résultat est inverse au scénario précédent avec un bénéfice pour le secteur de +110Mds d'euros en 20 ans ce qui allège d'autant son déficit.

Les auteurs évaluent l'écart entre les deux scénarios à 240Mds d'euros. La réalisation du SNIT et l'absence de gains de productivité dans le fonctionnement des services expliquent ce différentiel. D'après ce résultat, les auteurs ont recommandé une évaluation économique du SNIT et une hiérarchisation des projets en tenant compte du coût d'opportunité des fonds publics.

Le souhait exprimé d'une évaluation rigoureuse et indépendante des projets du SNIT a été réalisé avec la mise en place en 2012 de la commission « Mobilité 21 » sur demande du ministre des transports. Sa mission consistait à produire un « schéma national de mobilité durable » fondé sur une approche nouvelle de la politique des transports. La priorité n'est plus forcément donnée à l'infrastructure mais à des solutions *« permettant d'améliorer à court terme le service rendu aux usagers »* (Lettre de mission *in* rapport « Mobilité 21 », 2013, p77). Par ailleurs, l'objectif d'investissement déclaré dans le SNIT est reconnu comme non soutenable pour l'économie et doit être révisé à la baisse.

3.2.3.2. Commission « Mobilité 21 » : nouvelle hiérarchisation des projets

Alors que l'évaluation des projets dans le SNIT reposait essentiellement sur les espoirs agrégés des élus locaux, les membres de la commission « Mobilité 21 » ont choisi de hiérarchiser les projets selon une évaluation multicritère non pondérée tout en tenant compte du coût d'opportunité des fonds publics.

Les principaux critères ont été classés en quatre thèmes à savoir l'apport macroéconomique du projet, sa performance écologique, sa performance sociétale (contribution à l'aménagement du territoire, réduction des nuisances, etc.) et sa rentabilité socio-économique (Valeur Actualisée Nette, VAN).

La contrainte budgétaire a été prise en compte de trois manières. En premier lieu, la temporalité du programme d'investissement a été étendue. Elle était constituée de deux périodes dans le SNIT (2020 et 2030). La Commission recommande de distinguer trois périodes sur un horizon étendu au-delà de

2050. Les projets de première priorité seraient réalisés avant 2030 tandis que ceux de seconde priorité le seraient entre 2030 et 2050. Les autres ne seraient pas à envisager avant 2050. En deuxième lieu, la somme des projets pour chaque niveau de priorité doit être globalement compatible avec les ressources attendues. Enfin, il est proposé de séquencer les projets pour provisionner les investissements et garantir les financements. La définition d'une tarification adaptée constitue un enjeu clef de cette approche.

Pour finir, un statut à part a été donné aux infrastructures menacées de saturation. La Commission a recommandé la mise en place d'observatoires de la saturation pour les lignes les plus sensibles. La LGV Paris-Lyon fait partie des lignes à surveiller.

Les orientations ont été rendues sous la forme de deux scénarios. Le scénario 1 repose sur l'hypothèse d'un marasme économique persistant d'ici à 2030 et se limite à une enveloppe globale d'investissement comprise entre 8 et 10Mds d'euros pour tous les modes. *A contrario*, le scénario 2 est plus optimiste et tient compte d'une amélioration de la conjoncture. L'enveloppe d'investissement est comprise entre 28 et 30Mds d'euros. Ces deux scénarios sont en rupture totale avec les prévisions du SNIT qui évaluaient à 103 Mds d'euros l'enveloppe financière à destination des investissements ferroviaires à l'horizon 2030.

Dans les deux cas, les conditions actuelles de financement (ressources de l'AFITF) ne permettent pas de nouveaux projets avant 2018 au regard des ressources déjà mobilisées pour les projets actuels de LGV et de transport urbain. La révision de l'écotaxe au printemps 2014 n'a pas contribué à améliorer les perspectives de financement. A ce titre, la Commission recommande de procéder à une réévaluation de ces résultats tous les 5 ans en tenant compte de l'évolution des conditions économiques et des besoins[18].

Par ailleurs, les deux scénarios valorisent fortement les solutions visant à améliorer les outils de production et les modes de financement pour garantir un développement durable des activités. Une illustration d'ensemble de cette approche sera proposée dans la section 3.3.

Les projets d'infrastructure ne représentent finalement plus qu'une partie réduite du schéma proposé par la commission « Mobilité 21 ».

[18] On note que cette recommandation s'inscrit dans la droite ligne de la directive 2012/34/UE (transposition en 2015) qui engage les Etats à mettre en place une « *stratégie indicative de développement de l'infrastructure ferroviaire visant à répondre aux futurs besoins de mobilité en termes d'entretien, de renouvellement et de développement de l'infrastructure et reposant sur un financement durable du système ferroviaire* » sur une « *période d'au moins cinq ans* » (Article 8.1).

Tableau 12 : Classement des projets ferroviaires par la commission « Mobilité 21 » (2013)

	Scénario 1	**Scénario 2**
1ère priorité	Electrification Gisors-Serqueux Traitement des nœuds ferroviaires : Gare de Lyon, Lyon, Marseille, Saint-Lazare Provisions pour interventions sur secteurs ferroviaires à enjeux (Bordeaux, Toulouse, Strasbourg, etc.) Liaison Roissy – Picardie	Idem Idem + Nice et Rouen Idem Idem Provision pour premiers travaux LGV POCL, Interconnexion Sud Ile-de-France, GPSO Bordeaux-Hendaye, LN Perpignan-Montpellier et CFAL GPSO Bordeaux-Toulouse
Coût (M€)	8 360	23 360
2nde priorité	Accès français Lyon-Turin Contournement Ferroviaire Agglomération Lyonnaise (CFAL) LGV POCL Interconnexion Sud Ile-de-France GPSO Bordeaux-Hendaye/Bordeaux-Toulouse LN Perpignan-Montpellier LGV Rhin-Rhône branche Est 2nde phase LGV SEA Poitiers – Limoges LN Ouest Bretagne – Pays de la Loire Poursuite du traitement des nœuds ferroviaires	
Coût (M€)	Entre 58 450 et 75 350	

Source : Commission « Mobilité 21 », 2013

Pour commencer, il est important de rappeler que les projets du Lyon-Turin (hors accès français) et du contournement Nîmes-Montpellier ont été exclus du champ d'étude. Le premier relève d'accords binationaux tandis que le second est considéré comme engagé.

Concernant les projets, on remarque que les deux scénarios s'opposent à moyen terme (horizon 2030) mais pas sur le long terme où l'ensemble des lignes reportées devraient être réalisées. Ce choix est une manière pour la Commission de montrer la nécessité de réévaluer régulièrement l'opportunité des projets d'infrastructures.

Dans le cas des premières priorités, le scénario 1 ne retient que les besoins essentiels du réseau tandis que le scénario 2 propose des interventions plus étendues. Pour autant, ils s'inscrivent tous deux dans une même logique. Conformément à la lettre de mission du ministre, l'effet recherché est d'améliorer le réseau du quotidien en traitant les points de saturation de manière ciblée. Par conséquent, les principaux nœuds ferroviaires sont privilégiés (Paris, Lyon, Marseille) et les projets d'extension du réseau LGV sont reportés en 2nde priorité excepté le GPSO Bordeaux-Toulouse dans le scénario 2.

Enfin, la prise en compte de la contrainte financière introduit le principe de provisions dans un schéma d'investissement pour des travaux majeurs d'infrastructure.

Ce rapport montre de manière intéressante le renversement de perspectives pour l'avenir du réseau LGV en l'espace de 7 ans (2007-2014). Le doute a pris le pas sur l'optimisme remisant de manière

habile les espoirs à l'horizon 2030-2050. Mais le plus important réside dans la prise de conscience de la nécessité de rechercher les gains de croissance dans le système lui-même à travers la modernisation de l'existant (introduction des nouvelles technologies) et le traitement des points spécifiques de saturation (traitement des nœuds ferroviaires).

3.2.3.3. Quel nouvel horizon de saturation ?

Test de sensibilité de la demande

On propose de réévaluer les perspectives de demande produites par RFF (2011b) dans le cas de l'axe Sud-Est selon les recommandations rendues par la commission « Mobilité 21 ».

Tableau 13 : Détail des hypothèses retenues pour la demande

	Hypothèses PIB	**Hypothèses Réseau**
Scénario RFF initial (2011) SI	+ 1,45%/an pour 2009 – 2025 *Elasticité vitesse/PIB : 0,6* +1,8%/an pour 2026 – 2050 *Elasticité vitesse/PIB : 0 ,9*	Réalisation des projets du SNIT pour l'axe Sud-Est en 2025 : Lyon-Turin, LGV PACA, Contournement Nîmes-Montpellier, LN Montpellier-Perpignan, LGV Rhin-Rhône (branche Est 2nde phase, Ouest et Sud), interconnexion Sud Ile-de-France, CFAL, POCL
Scénario corrigé (2013) SC	Maintien du coefficient d'élasticité vitesse/PIB à 0,6 pour 2026 – 2050	Réalisation des projets pour l'axe Sud-Est en 2025 : Contournement Nîmes-Montpellier, LGV Rhin-Rhône branche Est (mise en service en 2011)

Source : Auteur selon RFF, 2011b

Le scénario initial reprend les hypothèses présentées dans le Chapitre II.

Le scénario « corrigé » teste la sensibilité de la demande aux deux variables clefs du scénario initial : élasticité vitesse/PIB et effet réseau. Les tests sont réalisés sur deux périodes distinctes.

Le test « effet réseau » s'applique à la période 2008 – 2025 tandis que le test de l'élasticité vitesse/PIB s'applique à la période 2026 – 2050. On considère notamment que les recommandations de la commission « Mobilité 21 », en termes d'infrastructure, au-delà des objectifs de première priorité ne sont pas suffisamment consolidées pour être considérées. D'autre part, l'objectif n'est pas ici de présenter des perspectives précises de trafic mais plutôt d'évaluer la sensibilité des principaux paramètres testés.

La sensibilité de la demande à l'effet réseau est testée sur le principe des recommandations de la commission « Mobilité 21 » à l'horizon 2030 et appliquées à l'axe Sud-Est. Seul le projet de contournement Nîmes-Montpellier est conservé. L'impact de la mise en service de la branche Est de la LGV Rhin-Rhône est également pris en compte. Son apport en trafic estimé par RFF n'est pas remis en cause et devrait être de 2,5 millions de voyageurs en régime de croisière.

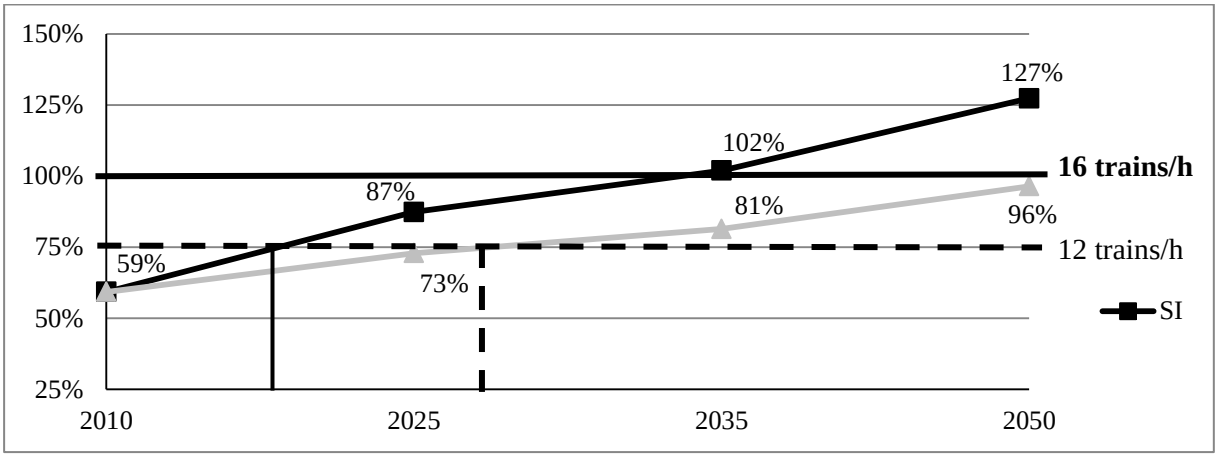
Le coefficient d'élasticité est maintenu à un niveau dégradé (0,6) alors qu'il devrait être, selon la littérature, proche de 1 (Schafer, 2000 ; Becker, *et al.*, 2013). On pose l'hypothèse qu'un découplage pourrait être progressivement obtenu sous l'effet, dans un premier temps, de la crise économique puis

rendu durable par le développement de nouvelles pratiques liées aux technologies numériques (téléconférence, etc.) ou à de nouvelles habitudes de mobilité (covoiturage, etc.). Par ailleurs, ce coefficient peut également être interprété comme un indicateur de performance du modèle TGV. Un résultat proche de 1 signifierait une plus grande attractivité car une meilleure sensibilité au PIB.

Résultat : un horizon de saturation au-delà de 2025

Le résultat montre un horizon de saturation pour la LGV Paris-Lyon repoussé au-delà de 2025 contre 2020 dans le scénario initial de RFF.

Figure 40 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon situation observée sur le réseau en 2008



Source : Auteur

Plus en détail, le gain de trafic est de 18 millions de voyageurs à l'horizon 2025 dans le scénario initial. Il résulte à 29% de la croissance économique et à 71% de l'effet réseau (extension).

A contrario, le gain en voyageur est réduit de moitié dans le scénario corrigé (9,5 millions de voyageurs). Le report de la quasi-totalité des projets après 2030 réduit l'effet réseau à 40% des gains en trafic contre 60% pour la croissance.

Tableau 14 : Comparaison des sources de gain de trafic à l'horizon 2025 selon les scénarios

	Croissance économique	**Effet réseau**
Scénario initial	30%	70%
Scénario corrigé	60%	40%

Source : Auteur

Une telle inversion des sources de trafics entre le scénario initial et le scénario corrigé constitue un argument de plus en faveur de la reconfiguration du modèle économique de l'activité TGV pour la SNCF. En effet, il y a de fortes chances pour que les principales sources de croissance se reportent sur des facteurs internes au système. La sensibilité de la demande aux variations du coefficient d'élasticité tend à renforcer ce constat. La différence de progression des trafics entre 2030 et 2050 est de 35% dans le cas d'un découplage durable (0,6) par rapport à un retour aux valeurs « classiques » (0,9).

L'effort en termes d'attractivité devrait donc être un élément clef de réussite, notamment dans une situation de concurrence.

Conclusion

Les orientations données par la commission « Mobilité 21 » associées à l'analyse de l'activité TGV engagent à réévaluer dans leur totalité les perspectives d'évolution des trafics ferroviaires produites par RFF en 2011. L'évaluation proposée dans le dernier point montre que la demande pourrait être inférieure au scénario de RFF de 17% en 2025 et de 27% en 2050. L'horizon de saturation de la capacité commerciale de la LGV Paris-Lyon se trouve ainsi repoussé de 2020 à 2025 tandis que les trafics progressent plus lentement. Une telle situation où les gains de trafics ne proviendraient plus de l'extension du réseau mais de la seule croissance économique contribue à renforcer la nécessité pour la SNCF d'améliorer le modèle économique de son activité TGV. L'un des enjeux clefs semble résider dans l'inversion de la tendance au découplage entre vitesse et PIB. Ainsi, contrairement aux affirmations de Leboeuf (2014), nous pensons que la progression des trafics passe plus que jamais par la réinvention du modèle TGV. Elle constitue une condition *sine qua non* pour trouver de nouveaux gisements de capacité dans le but de gagner en performance et en productivité.

3.3. Repousser les limites ?

Un modèle en crise doit-il être dupliqué ? C'est en définitive ce que proposent les tenants d'une ligne nouvelle pour désaturer la LGV Paris-Lyon. La section 3.2. a rappelé qu'au-delà du problème de capacité, c'est le modèle TGV qui se trouve mis à rude épreuve depuis 2007. La crise économique est une réalité mais l'incapacité du système à se renouveler en deçà d'une marge opérationnelle de 19% laisse supposer sur ses marges de manœuvre. Par conséquent, la crise économique serait le révélateur d'un modèle en fin de vie marqué par le problème de saturation.

Cette partie propose d'interroger les conditions d'évolution de l'activité au regard de la capacité. Dans le cas de la LGV Paris-Lyon, un tel questionnement se traduit par l'exploitation de nouveaux gisements de capacité.

Dans un premier temps, nous reviendrons sur les différents éléments clefs de la capacité ferroviaire. Leur caractérisation sera utile pour décrire dans un second temps les différentes pistes d'adaptation possibles. Des tests seront effectués sur la sensibilité du système aux évolutions proposées. Enfin, nous montrerons que la clef d'adaptation d'une activité ne réside pas dans l'optimisation d'un paramètre en soi mais plutôt dans l'évolution de l'ensemble de ses paradigmes (repenser l'activité).

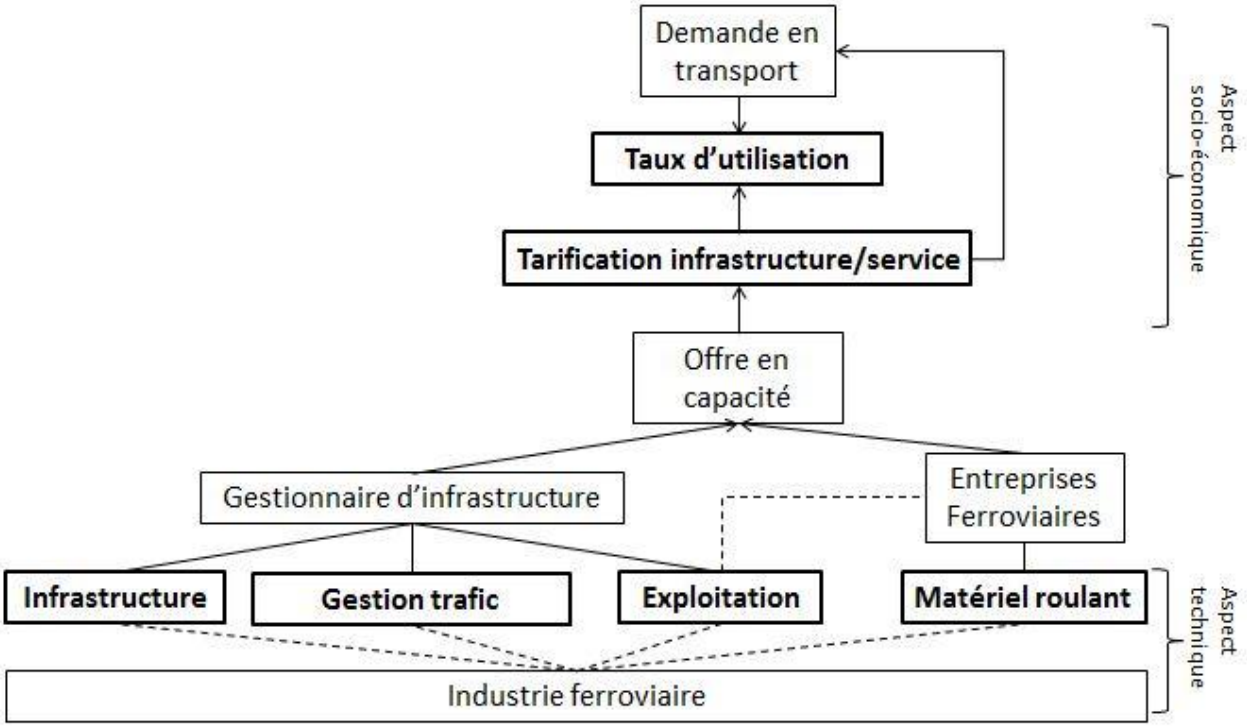
3.3.1. Quelles pistes d'adaptation pour accroître la capacité ?

On propose de définir dans un premier temps les composantes clefs de la capacité ferroviaire puis de les caractériser à partir des paramètres retenus dans l'équation de capacité présentée au Chapitre II. Cette méthode rend possible la mise en évidence de pistes ou leviers possibles d'adaptation de la capacité ferroviaire.

3.3.1.1. Schématisation des composantes essentielles de la capacité

Le schéma suivant propose une lecture simplifiée de la capacité en tenant compte de la logique économique et des spécificités techniques propres au système ferroviaire. Le nœud central de cet ensemble réside dans l'évaluation du taux d'utilisation.

Figure 41 : Composantes clefs de la capacité ferroviaire



Source : Auteur

La dimension économique de la capacité ordonne celle technique et illustre l'interaction directe entre l'offre et la demande en transport. La composante tarification reflète à la fois les conditions économiques de réalisation du service et la dynamique de la demande. On distingue en particulier la tarification de l'infrastructure, définie par le gestionnaire d'infrastructure à destination des entreprises ferroviaires, de celle du service de transport, produite par les entreprises ferroviaires à destination du client final.

La dimension technique représente l'essentiel du système ferroviaire et de sa culture (Dupuy, 2011). On identifie quatre composantes clefs :

- L'infrastructure pour tout ce qui concerne la voie ferrée (courbure, pente, etc.) ;
- La gestion de trafic comprend les techniques de régulation des trafics (postes de contrôle-commande, d'aiguillage, etc.). Elle détermine en partie la capacité quotidienne ;
- L'exploitation concerne uniquement le système de contrôle-commande (signalisation) implémenté sur l'infrastructure. Elle détermine en partie la capacité structurelle ;
- Le matériel roulant ne comprend que le nombre de place d'un train. Les capacités techniques sont supposées intégrées par le système d'exploitation et de gestion des trains.

Une cinquième composante pourrait être ajoutée concernant le plan de transport. Pour autant, le choix a été fait d'exclure cette composante dans la mesure où la partie étudiée de la LGV Paris-Lyon (point de Pasilly) présente une homogénéité quasi parfaite des circulations (parallèles).

3.3.1.2. La capacité : un jeu d'acteur spécifique

A ces composantes s'ajoute le jeu d'acteur propre au ferroviaire. On considère ici la répartition des rôles selon la vision européenne de la gouvernance ferroviaire.

Le gestionnaire d'infrastructure regroupe les fonctions supports à l'infrastructure (gestion, exploitation et infrastructure) considérées comme parties intégrantes du monopole naturel.

La responsabilité des entreprises ferroviaires est limitée au matériel roulant. Néanmoins, elles conservent un droit de regard sur les différentes composantes de l'infrastructure dont l'exploitation. Cette relation traduit la spécificité du mode ferroviaire en tant que système de transport guidé. Le système d'exploitation embarqué doit effectivement correspondre au système implanté sur voie pour permettre la circulation d'un train[19].

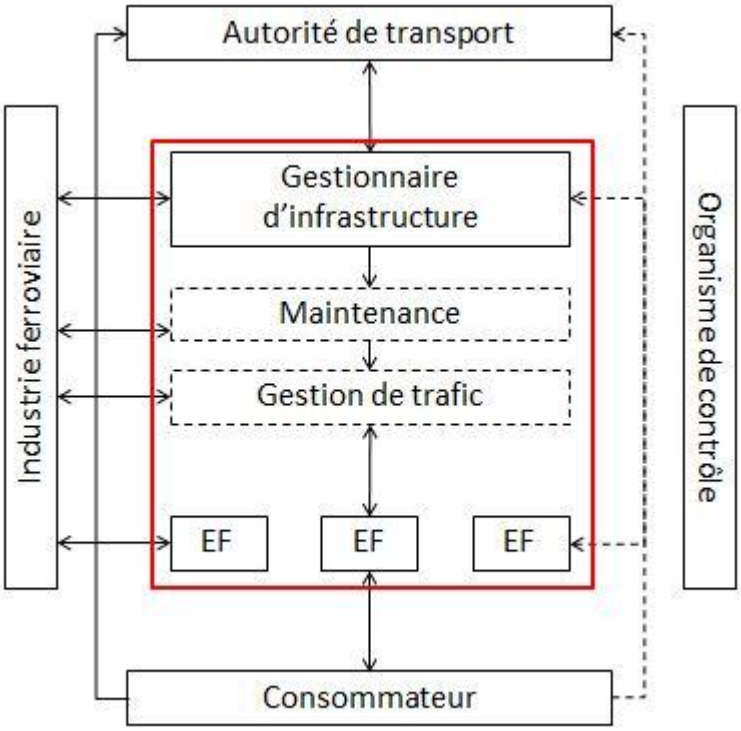
Transversaux à ce système, on trouve l'organisme de contrôle et les acteurs de l'industrie ferroviaire (producteurs de biens). Ces derniers font souvent figure d'absents des analyses économiques. Ils sont pourtant des acteurs de plus en plus importants. Si pendant longtemps la SNCF a concentré les fonctions d'ingénierie et de recherche et développement, sa normalisation en tant qu'entreprise ferroviaire devrait progressivement relocaliser les savoir-faire dans les usines. Par ailleurs, cette dynamique devrait être d'autant plus forte que les anciens marchés nationaux s'ouvrent lentement aux concurrents mais aussi à d'autres clients remettant en cause la situation de monopsone traditionnelle du secteur.

Enfin, on peut intégrer les acteurs en amont si on considère les autorités publiques de transport et en aval si on tient compte des consommateurs et de leur comportement.

Le schéma suivant propose une projection simplifiée des acteurs du ferroviaire selon le modèle en trois couches de Curien (2000).

[19] La même remarque pourrait être faite sur les gabarits de l'infrastructure au regard de « l'affaire des quais trop larges » (2014) qui a bien rappelé cette spécificité ferroviaire.

Figure 42 : Schéma simplifié du jeu d'acteur pour le secteur ferroviaire



Source : Auteur selon Curien, 2000

Le périmètre du modèle de Curien apparaît en rouge. Il comprend les acteurs spécifiques aux trois couches que sont le gestionnaire d'infrastructure pour la « couche basse » (infrastructure) et la « couche médiane » (infostructure) du réseau et les entreprises ferroviaires pour la « couche haute » (services finals). On propose dans le schéma d'affiner cette représentation des réseaux en tenant compte de l'environnement externe. Cet environnement peut être caractérisé par deux couches transversales (régulation et industrie) et une couche supplémentaire aux deux extrémités (consommateur et politiques publiques).

A travers ce schéma, on perçoit le risque de « *misalignment* » défini par le rapport EVES (van de Velde, et al., 2012). Le binôme entre gestionnaire d'infrastructure et entreprises ferroviaires peut mener au blocage en cas de points de vue divergents. Cette situation est d'autant plus sensible en cas de séparation verticale (plus grande transparence) et/ou d'une entreprise en situation de monopole (rapport de force).

3.3.1.3. Paramétrage des composantes de la capacité

Pour finir, les cinq composantes peuvent être formalisées selon les paramètres de l'équation présentée au Chapitre III : $Tu = (D*\phi) / [((Cr*\theta)*\mu)*((Ct*\kappa)*h)]$

Tableau 15 : Formalisation des composantes de la capacité

	Situation de référence (2008)	**(S1) Infrastructure**	**(S2) Matériel roulant**	**(S3) Gestion de trafic**	**(S4) Exploitation**	**(S5) Tarification**
Capacité par rame (Cr)	450					
Taux UM (UM)	1,3					
Taux remplissage (TR)	80%					
Opérabilité (O)	18h					
Capacité théorique (Ct)	16					
Coefficient de souplesse (Cs)	75%					
(Capacité commerciale)	*(12)*					
Coefficient de concentration (CCo)	1,5					

Source : Auteur

Le tableau se lit d'après la situation de référence. Les paramètres attribués à chacune des composantes sont indiqués en gris sombre. Selon ce tableau, chaque composante devient un levier d'adaptation de la capacité.

La composante infrastructure est uniquement formalisée par le paramètre fixant la capacité théorique. Les autres paramètres restent *a priori* inchangés en cas d'un doublement de l'infrastructure.

La composante matériel roulant est décrite par les paramètres liés au taux de remplissage, au nombre maximal de places par train et au taux d'unité multiple.

La composante gestion de trafic est formalisée par le nombre d'heures d'ouverture du réseau aux circulations commerciales (conditionne la concentration des circulations) et au coefficient de souplesse du système (capacité à gérer les trafics et situations perturbées).

La composante exploitation est caractérisée par les paramètres liés à la capacité théorique et au coefficient de souplesse. Ce coefficient dépend pour partie des possibilités offertes par le système de contrôle-commande.

Enfin, la composante tarification est décrite par le coefficient de remplissage des trains pour ce qui concerne les choix de l'entreprise et par le coefficient de concentration des circulations dans le cas du gestionnaire d'infrastructure.

On propose dans le point suivant de faire varier chacun de ces paramètres pour tester la sensibilité de la capacité à ces différentes composantes.

3.3.2. Test des pistes d'adaptation (composantes) sur la capacité de la LGV Paris-Lyon

Les pistes d'adaptation proposées dans ce point se fondent pour chacune des composantes de l'activité sur des expérimentations actuellement menées. On pose l'hypothèse qu'elles pourraient être à moyen terme étendues à l'ensemble des services rendus sur l'axe Sud Est. Une analyse coût-bénéfice est proposée pour chacune des pistes.

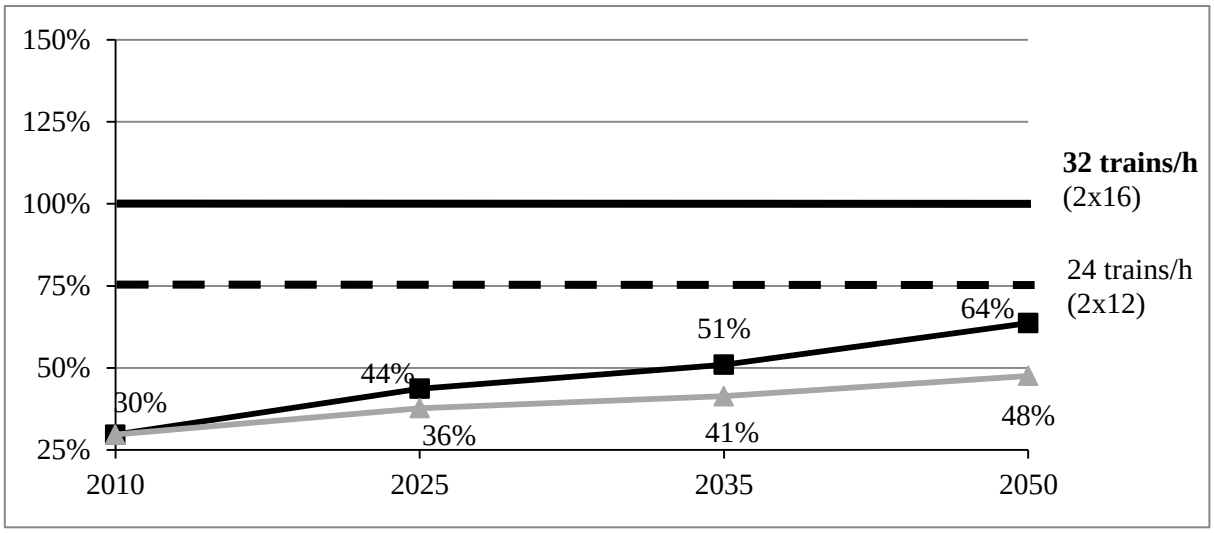
3.3.2.1. Test « infrastructure » : la piste du dédoublement de l'infrastructure

Le dédoublement de l'infrastructure est le scénario privilégié par les acteurs ferroviaires (gestionnaire d'infrastructure et opérateur historique). La solution envisagée est la réalisation d'une ligne nouvelle entre Paris – Orléans - Clermont-Ferrand – Lyon pour un coût de 14 Mds d'euros (Mobilité 21, 2013).

Le gain attendu en capacité commerciale est de 100% à conditions d'exploitation, de gestion et d'offre commerciale identiques. L'horizon de saturation est reporté au-delà de 2050 pour une mise en service à horizon 2025.

Outre son coût élevé, ce scénario présente le risque d'un report de la saturation de la ligne vers les nœuds ferroviaires. Il est donc fortement probable que des aménagements lourds soient à réaliser en annexe du projet dans les principales gares d'interconnexion. Ce coût induit peut se révéler important notamment sous la contrainte urbanistique (création d'un tunnel à Lyon Part-Dieu?).

Figure 43 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon « infrastructure »



Source : Auteur

3.3.2.2. Test « matériel roulant » : la piste du TGV « haute densité »

Une piste d'évolution considérée pour le matériel roulant est la définition de TGV à « haute densité » (Charlier, 2013). Ce scénario fait l'hypothèse de la diffusion d'une solution de type « Ouigo » (TGV low cost) à l'ensemble de l'offre commerciale active sur la ligne Paris-Lyon à horizon 2025. La capacité théorique moyenne des rames est portée à 600 places. Cette hypothèse prend en compte l'évolution des rames Duplex de 512 places vers 634 places et le remplacement des rames réseau de 377 places par des rames de type AGV 10 de 462 places. L'augmentation en capacité des rames Duplex est essentiellement obtenue par la diffusion du standard seconde classe à l'ensemble des voitures. Le taux de rame double est porté à 2 sous l'effet d'une optimisation de la gestion du matériel roulant tandis que le taux de remplissage est optimisé grâce à une plus grande discrimination tarifaire et une optimisation de la gestion de la vente et des réservations de billets.

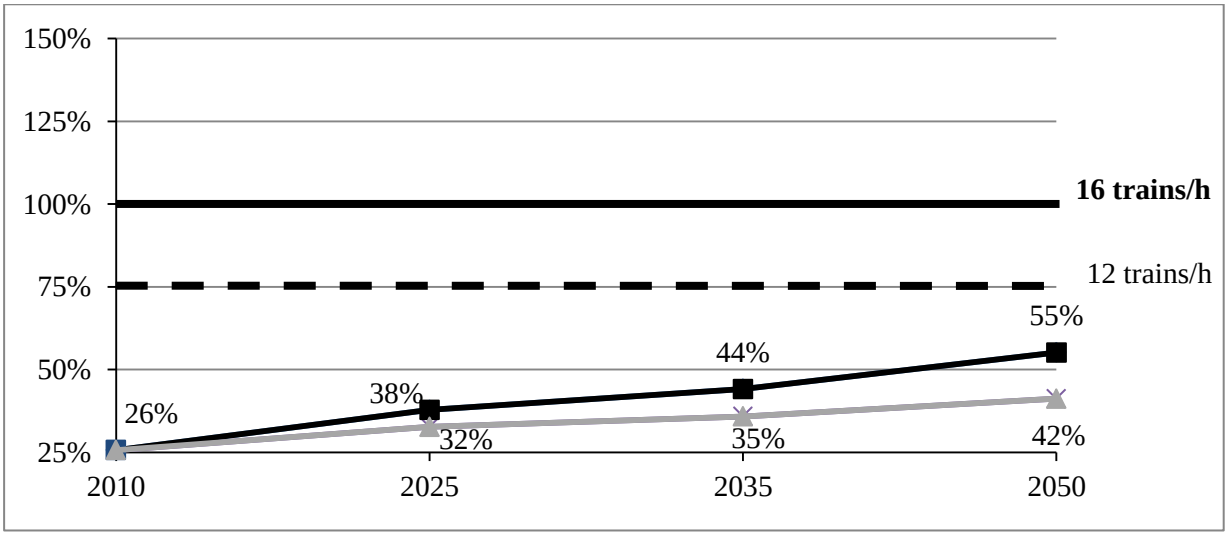
Ce scénario permet un gain en capacité de 131% par rapport à la situation en 2008. Il repousse l'horizon de saturation au-delà de 2050 sans modification des conditions d'exploitation et de gestion.

Le coût lié à cette migration du matériel est *a priori* réduit et peut s'inscrire dans le cycle de vie du matériel. Les rames Duplex mises en service en 1997 devront être réhabilitées progressivement tandis que les rames réseaux en circulation depuis les débuts du TGV (1981) devraient être renouvelées.

Néanmoins, si ce scénario apparaît crédible d'un point de vue technique, il interroge sur la capacité à évoluer du modèle économique jusque-là fondé sur la première classe et l'espacement confortable des sièges. Dans ce cadre, l'évolution de l'offre vers le standard seconde classe peut induire des problèmes d'acceptation sociale et de rentabilité économique. Plus généralement, c'est la conception de la grande vitesse et des services associés qui est remise en question : quelle évolution du service rendu à l'usager et quelle tarification pour compenser la « perte » de confort ?

Pour finir, le résultat doit être relativisé en cas de concurrence. On réfléchit ici en situation de monopole. Il n'est pas certain que l'effet de différentes politiques commerciales puisse être le même. Il reste à tester selon les conditions d'ouverture à la concurrence (franchise, open access).

Figure 44 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon « matériel roulant »



Source : Auteur

3.3.2.3. Test « gestion des trafics » : la piste de l'optimisation de la gestion des trafics

Ce scénario teste une adaptation à la marge la capacité quotidienne. C'est une solution de court terme mais qui peut se révéler utile dans la gestion de la demande.

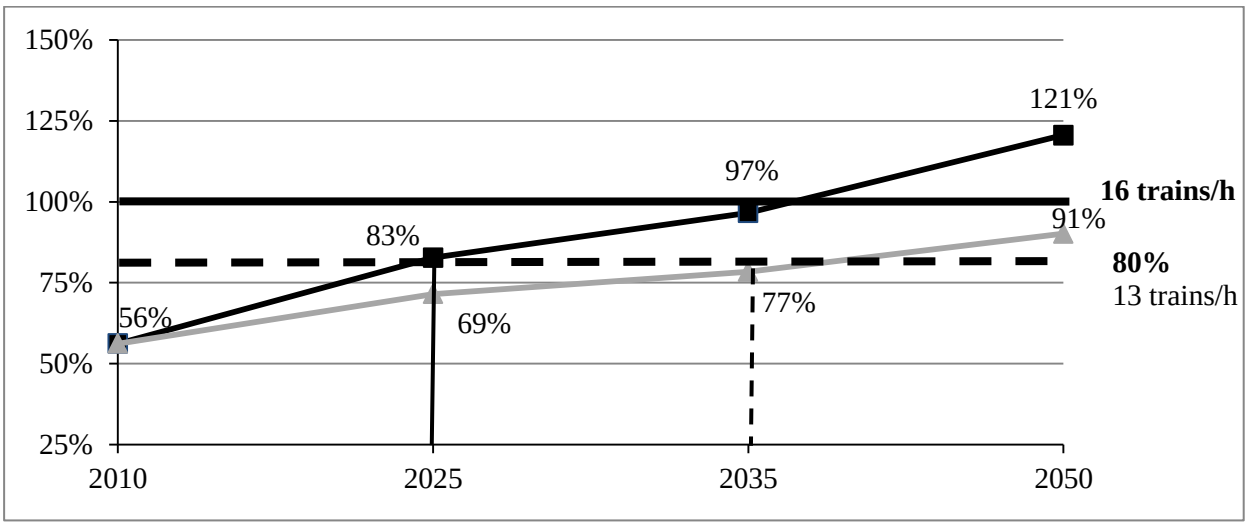
Le scénario s'inspire de la nouvelle grille horaire définie par RFF en 2013 suite à la mise en service de la LGV Rhin-Rhône (Delaborde, 2012). La capacité commerciale est portée à 80% de la capacité théorique un jour par semaine (vendredi soir) et pour une heure (13 trains). L'hypothèse retenue est une généralisation de cette solution à l'ensemble des heures de pointe.

Le gain en capacité est de 13% et l'horizon de saturation est reporté de 5 à 15 ans. Ce résultat peut être obtenu par une meilleure robustesse de la grille de circulation, une meilleure gestion du flux TGV en temps réel et par un meilleur respect des règles de conduite de la part des conducteurs.

Néanmoins, ce résultat induit une dégradation potentielle de la qualité de service. Le relèvement de la capacité commerciale sans évolution réelle des méthodes de production (gestion de trafic) peut accroître le risque d'irrégularité.

Il est donc important de définir ici ce que l'on attend en termes de fiabilité du service pour fixer le coefficient de souplesse optimal.

Figure 45 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon « gestion des trafics »



Source : Auteur

3.3.2.4. Test « exploitation » : la piste du système de contrôle-commande ERTMS 2

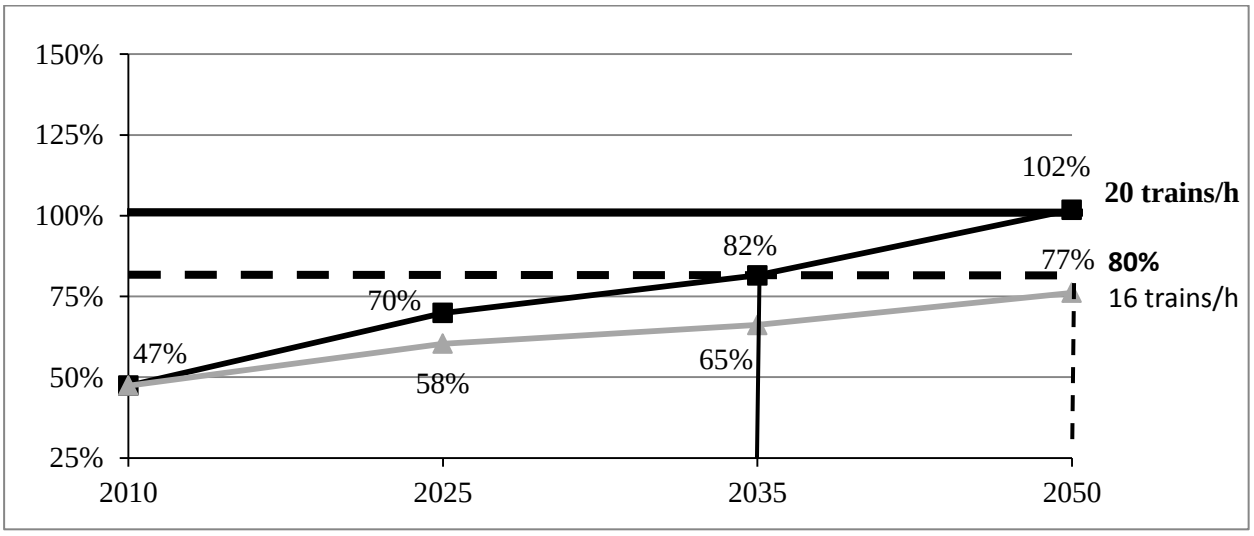
Le scénario exploitation teste l'effet d'un relèvement de la capacité théorique par l'introduction d'une innovation de rupture. Cette innovation consiste à implémenter sur la ligne le nouveau système de signalisation européen ERTMS niveau 2 en lieu et place du système existant (TVM 300). Ce système est réputé permettre une gestion plus fine des circulations en réduisant l'intervalle entre chaque circulation de 4min à 3min, c'est – à – dire 20 trains par heure en théorie pour 16 trains par heure en pratique (Delaborde, 2012 ; Lacôte, 2012). Le coefficient de souplesse est aussi amélioré (80%).

Le gain en capacité est de 33% et l'horizon de saturation est reporté de 15 à 25 ans. Ce scénario permet une plus grande capacité sur la ligne sans optimisation particulière de l'offre de la part de l'entreprise ferroviaire.

Néanmoins, il nécessite une coordination des investissements. Le système de signalisation installé sur les voies doit correspondre au système de signalisation en cabine pour être opérationnel. Le choix du gestionnaire d'infrastructure doit donc être suivi par l'exploitant. Or il a été montré qu'il peut exister de nombreuses barrières à la migration dans le cas où l'opérateur historique ne s'aligne pas sur le choix du gestionnaire d'infrastructure (Guihéry & Laroche, 2013). On observe que c'est en général sur les lignes les plus ouvertes à la concurrence que la migration est la plus réussie comme aux Pays-Bas avec la Betuwe line aux Pays-Bas ou en suisses avec les tunnels (Guihéry & Laroche, 2013).

Le coût estimé de ce scénario est de 500 millions d'euros pour la LGV Paris-Lyon (Leboeuf, 2014). La répartition est égale entre le gestionnaire et l'entreprise dominante pour laquelle la migration du matériel roulant peut être réalisée progressivement selon le principe du cycle de vie des rames.

Figure 46 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon « exploitation »



Source : Auteur

3.3.2.5. Test « tarification » : la piste de l'économie de la congestion ferroviaire

Le scénario tarification adopte le principe d'une économie de la congestion ferroviaire (Brunel, *et al.*, 2013) défendu par RFF dans sa proposition de tarification de la congestion en 2012.

La saturation de la capacité commerciale en heure de pointe entraine une augmentation du prix du sillon (tarification de la rareté) qui se traduit par une réduction du coefficient de concentration (1,3). Cette évolution « idéale » pour le gestionnaire d'infrastructure produit une meilleure répartition des circulations entre heure de pointe et heure creuse. Le taux choisi est inspiré du modèle japonais où le différentiel en matière d'offre entre heure de pointe et heure creuse est de 1,3 sur la ligne Tokyo – Osaka en 2013.

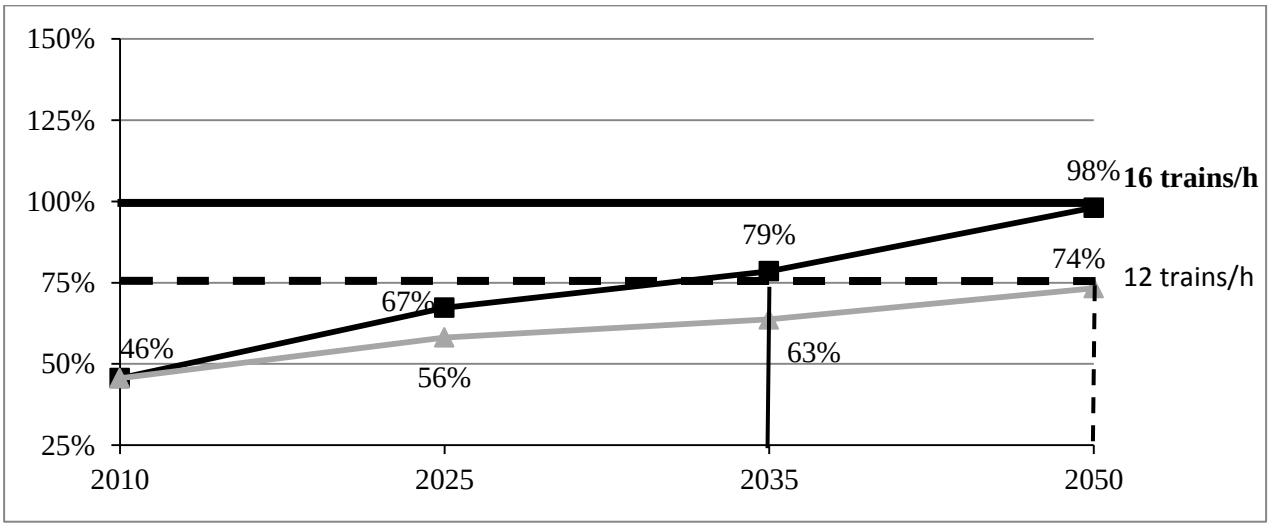
Côté entreprise ferroviaire, on suppose que le signal prix émis par le gestionnaire d'infrastructure est répercuté dans la politique tarifaire (effet rareté) qui se traduit en heure de pointe par un taux de remplissage optimisé (90%) sans évolution particulière de l'offre en capacité (paramètre inchangés). Pour autant, l'hypothèse d'une bonne transmission du signal prix entre le gestionnaire d'infrastructure et le voyageur reste à vérifier.

Le gain en termes de capacité est d'environ 30% et l'horizon de saturation est reporté de 10 à 25 ans. Le coût représenté par un tel scénario peut se traduire par un gain financier en optimisant la valeur d'usage du réseau (maximisation des surplus).

Cependant, le scénario pose un vrai problème en matière d'acceptabilité sociale (désheurage, discrimination tarifaire) et peut s'avérer être négatif pour la collectivité dans le cas où le gestionnaire ne réinvestirait pas le produit des surplus dans des projets capacitaires.

Pour finir, il est intéressant de rappeler que la réalisation d'un tel scénario serait aujourd'hui très certainement limitée par la régulation tarifaire du prix des billets (Perennes, 2012b) et par le développement de la concurrence intermodale.

Figure 47 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 « tarification »



Source : Auteur

Pour conclure, cette série de tests montre qu'il n'existe pas de solution idéale sans inconvénient.

La piste la plus prometteuse (TGV haute densité) présente de forts risques d'inconfort pour les passagers quotidiens tandis que celle du doublement paraît à l'heure actuelle financièrement irréaliste. Quant aux autres, elles n'apporteraient qu'une solution temporaire au problème de saturation. C'est pourquoi on propose de simuler une action simultanée sur l'ensemble de ces leviers.

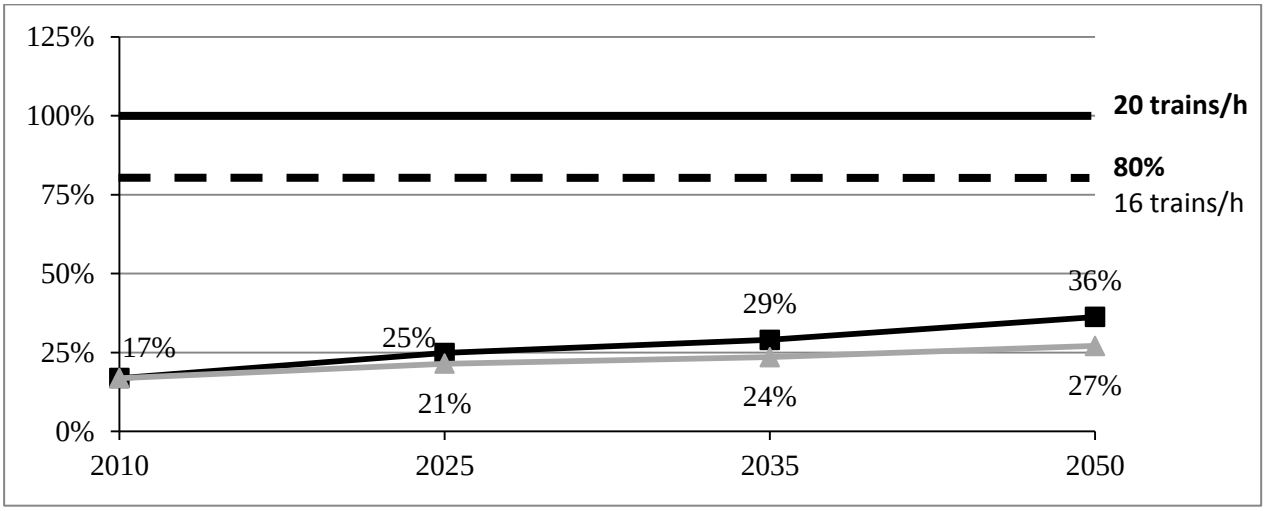
3.3.3. Discussion : test « d'optimisation générale »

En définitive, deux options se dessinent face au problème de saturation. La création d'une nouvelle infrastructure au prix d'un lourd investissement ou l'évolution des outils et méthodes de production dans une logique de rendements croissants.

3.3.3.1. Changer de paradigmes pour gagner en capacité

Ce scénario, synthèse des différents leviers (hors infrastructure), pose deux hypothèses. Premièrement, l'effet produit peut être au moins aussi efficace que le doublement de l'infrastructure. Deuxièmement, la combinaison des leviers pourrait réduire leurs effets négatifs (principe de modération).

Figure 48 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon un scénario « d'optimisation générale »



Source : Auteur

Le gain en capacité permettrait de plus que doubler la capacité existante. Son coût pourrait être optimisé notamment en réduisant l'impact de l'immobilisation des rames grâce à une mutualisation entre leur migration vers ERTMS N2 et leur réaménagement vers plus de capacité. La tarification de la congestion pourrait permettre le financement de ces investissements tout en rationnalisant la demande tandis que l'amélioration de la gestion des trafics pourrait améliorer la régularité du système et accroître son activité.

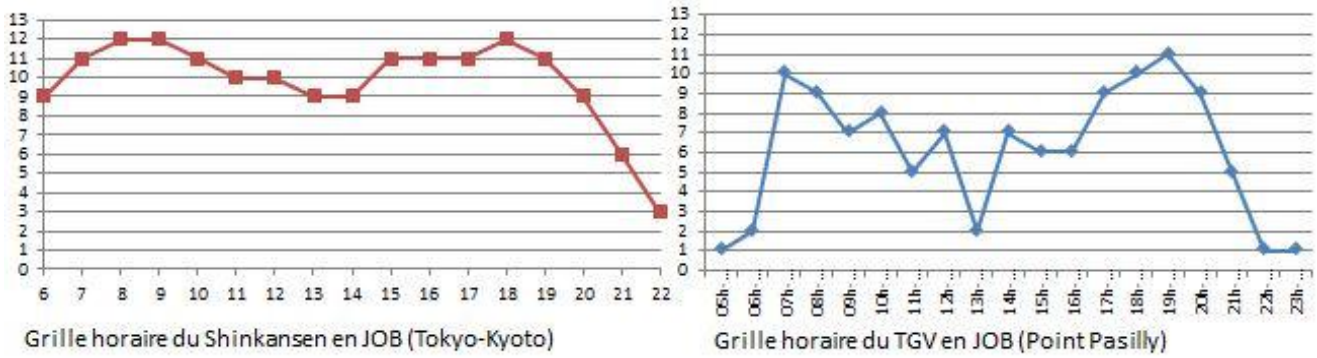
Néanmoins, cette dynamique vertueuse présente la particularité de concentrer l'ensemble des risques et obstacles liés à l'évolution des outils et méthodes de production. Elle suppose en effet pour l'entreprise de repenser l'offre commerciale en grande vitesse, d'intégrer de nouvelles conditions d'exploitation (ERTMS) et pour le gestionnaire d'infrastructure de trouver le bon signal prix pour favoriser la prise en compte de la rareté par l'entreprise et l'inciter à investir sans pour autant mettre en danger son activité.

Un tel scénario nécessite donc de repenser l'ensemble du modèle TGV voir du système ferroviaire. Il requiert en particulier de la part du gestionnaire d'infrastructure la capacité à orienter l'entreprise dans ses choix stratégiques. Cet aspect sera d'autant plus important à prendre en compte lors de l'ouverture à la concurrence en 2019.

3.3.3.2. Quelques exemples de massification : le Shinkansen japonais et le cadencement suisse

On propose d'illustrer notre propos par une comparaison des graphiques horaires entre le Shinkansen japonais sur l'axe Tokyo-Kyoto et le graphique du TGV français sur l'axe Paris-Lyon. Les données côté japonais ont été recueillies à partir des grilles horaires fournies par le site http://www.hyperdia.com/en/ et s'appliquent à l'année 2013.

Figure 49 : Comparaison des grilles horaires en JOB du Shinkansen et du TGV

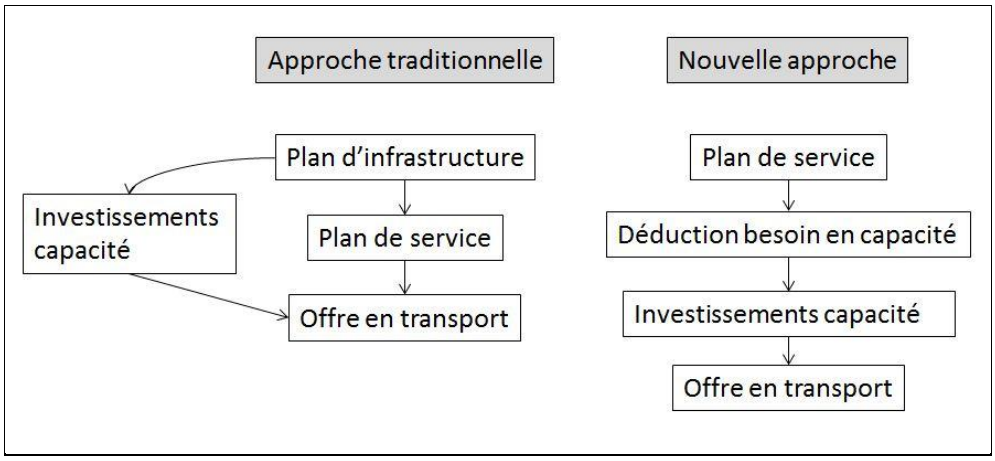


Source : Auteur selon RFF, 2011b et www.hyperdia.com (2013)

Ce que nous appelons maturité pourrait correspondre à la forme de la grille horaire japonaise. Un service quasi constant et massifié est proposé tout au long de la journée. Les trains en circulation offrent en moyenne 1300 places et réalisent plusieurs types de mission (de l'omnibus au direct) sur une même infrastructure. Un omnibus peut réaliser jusqu'à 14 arrêts intermédiaires entre Tokyo et Kyoto. Par conséquent, là où la LGV Paris-Lyon bénéficie d'une forte homogénéité, le Shinkansen est confronté à une forte hétérogénéité avec des vitesses moyennes variant selon les plans de desserte de 136km/h (omnibus) à plus de 250km/h (direct).

Par ailleurs, le système japonais rappelle par certains aspects le système suisse. La Suisse a réalisé le choix au début des années 80 d'accroître son offre en transport ferroviaire pour favoriser le report modal (Crozet, Herrgott, Laroche, & Perennes, 2014). Cette politique, toujours suivie en 2014, présente une double particularité. D'une part, elle a été menée sur la base d'un plan de renforcement de l'infrastructure et non d'extension. D'autre part, l'augmentation de l'offre n'a eu lieu que de manière marginale aux heures de pointe privilégiant les heures creuses. Cette politique a été possible grâce à une inversion du mode de pensée comme le montre Tzieropoulos (2012). Elle s'est traduite par un accroissement global de la fréquentation en voyageurs-km de + 51,9% entre 1982 et 2012.

Figure 50 : Nouvelle approche de la définition de l'offre en transport ferroviaire en Suisse



Source : Tzieropoulos, 2012

Conclusion

Ces deux derniers exemples montrent dans le cas de la LGV Paris-Lyon que de nombreux gains de productivité restent à valoriser. Néanmoins ils ne pourront être actionnés si le modèle économique du TGV continue de fonctionner sur la satisfaction des périodes de pointe. Il est frappant de constater que dans le cas suisse comme japonais, les gains de productivité sont venus de la massification des périodes creuses et d'une concentration des moyens sur l'existant.

Conclusion du chapitre

Les cas japonais et suisse montrent le chemin restant à parcourir pour l'activité TGV en France. La première section du chapitre a rappelé les fondements du succès du TGV. Le modèle économique est fondé depuis 1981 sur une logique d'expansion continue du réseau et des dessertes. Ce n'est pas un hasard si les grandes périodes de progression de la fréquentation ont toujours suivi la mise en service d'une infrastructure.

La seconde section a décrit les principales difficultés rencontrées par le modèle TGV depuis 2007. Si la crise économique peut expliquer en partie la réduction des marges, la croissance des péages et la remise en cause des grands projets d'investissement marque une rupture plus profonde dans le modèle économique. La production dans un temps réduit de deux rapports antinomiques illustre cette tension. D'un côté, le SNIT promet la poursuite de l'âge d'or avec 4000km de lignes nouvelles à l'horizon 2030 tandis que la commission « Mobilité 21 » prône la rigueur avec quelques actions ciblées sur l'amélioration de l'existant. Il existe un fossé entre ces deux approches dont l'activité TGV va devoir s'extraire. L'une des pistes de sortie pourrait être la solution proposée en dernière section. Des gains de productivité sont encore possibles sur la LGV réputée la plus chargée de France. Pour autant, ils ne semblent accessibles qu'au prix d'une évolution radicale du modèle économique dans la mesure où les trafics ne résulteraient plus de son expansion mais de son organisation et de sa performance.

Pour conclure, on retient trois enjeux pour l'activité TGV. En premier lieu, le débat reste à trancher entre extension (SNIT) ou consolidation du réseau (commission « Mobilité 21 »). Il oppose principalement le politique, en faveur de la grande vitesse pour tous, à l'économiste garant de l'équilibre économique. En second lieu, le système ferroviaire doit intégrer ce débat et se positionner. La stratégie à mener dans une situation de conquête n'est pas identique à celle qui devrait être adoptée en situation de consolidation. Cela nécessite une redéfinition du modèle économique du TGV notamment du côté de l'entreprise ferroviaire. Enfin, le gestionnaire d'infrastructure représente un enjeu pour le secteur ferroviaire à lui seul. Relativement nouveau en France et en Europe, il semble nécessaire pour lui de renforcer son modèle économique pour envoyer d'une part les bons signaux aux entreprises ferroviaires et d'autre part mener les investissements nécessaires à la consolidation de l'ensemble.

La question des investissements en infrastructure paraît essentielle pour définir les contours du modèle économique. Cette question se pose en particulier dans le cas d'un investissement visant à accroître la capacité (ou désaturer) une infrastructure. Il a été montré dans le Chapitre III que contrairement au mode routier où tout investissement peut être justifié par des gains de temps, ce type d'investissement ne se traduit pas par des gains de temps mais par une meilleure performance. Par conséquent, on propose de s'interroger dans le Chapitre IV sur la définition et la prise en compte de la performance dans le calcul économique.

Chapitre IV – Quels enseignements retenir de la saturation ferroviaire ?

La présentation détaillée du Chapitre III sur l'activité TGV et le cas de la LGV Paris-Lyon ont mis en évidence la place centrale occupée par la problématique de la capacité dans le système ferroviaire. Contrairement au routier, on ne peut pas affirmer que l'introduction d'un train supplémentaire pénalise le reste des circulations dans la mesure où on raisonne dans un système planifié. *A priori*, chaque paramètre est maîtrisé et l'infrastructure est déclarée saturée lorsque l'on ne peut insérer une circulation supplémentaire selon les consignes de sécurité retenues et le niveau de qualité de service exigé. En conséquence, l'ensemble des circulations planifiées doivent se réaliser selon la grille horaire prévue et sans incident. La régulation de la congestion s'exerce en amont, lors de la procédure d'attribution des capacités. Il a été montré que des demandes concurrentes en capacité peuvent accroître d'autant le coût d'attribution d'un sillon en raison d'une immobilisation de temps et de moyens utile aux négociations d'attribution. La saturation d'une infrastructure ferroviaire se distingue donc fondamentalement de celle routière dans la mesure où elle est négociée et orchestrée.

Dans le cas de la LGV Paris-Lyon, le Chapitre III a montré que, jusqu'à présent, le problème de capacité avait été géré en interne par la SNCF puis par le duo SNCF-RFF. Face à l'aveu d'échec pour repousser une nouvelle fois les limites de capacité, on s'est posé une première question concernant les marges de manœuvre réelles de chacun des acteurs en matière de capacité. Les résultats ont montré qu'une évolution radicale de l'activité TGV pouvait offrir de nouveaux rendements.

Dans ce dernier chapitre on s'interroge sur le cas où les deux acteurs ne coopèrent pas. Dans une telle situation, la position de l'autorité publique est délicate pour plusieurs raisons. En premier lieu, les investissements en capacité relèvent *a priori* du strict cadre de l'entreprise (process de production). Cette réalité était d'autant plus forte que la SNCF conserve sa tradition d'entreprise intégrée et garante de l'expertise ferroviaire. En second lieu, l'Etat n'a pas forcément les outils pour contrôler et évaluer les besoins réels ou marges de manœuvre en capacité.

Il convient donc dans un premier temps de montrer que la notion de saturation d'une infrastructure pose directement celle de la performance du système. L'irrégularité provoquée par la saturation d'une grille horaire ne serait pas due au nombre de trains mais à la capacité du système à gérer ces trains. On considère ici le système ferroviaire comme un outil de production industrielle.

Dans un second temps, si on rapproche la saturation de la performance alors la capacité d'une infrastructure devient un objectif central en matière de régulation. L'organisme de contrôle ne doit plus seulement s'assurer de la non-discrimination mais il doit également vérifier la bonne valorisation des potentiels de l'infrastructure et surtout de leur évolution. On reviendra dans cette section sur le rôle que pourrait jouer la régulation incitative dans le développement des capacités face au monopole naturel du gestionnaire d'infrastructure.

Enfin, la dernière section s'intéressera aux moyens dont dispose la puissance publique pour évaluer la saturation et les investissements nécessaires. Dans le Chapitre III, on a remarqué que le calcul

économique avait été fortement influencé par le système routier depuis Dupuit (1844). La surreprésentation des gains de temps dans la rentabilité socio-économique d'un projet d'infrastructure ne semble pas s'appliquer dans le cas d'un projet de désaturation ferroviaire. Il convient donc de proposer d'autres éléments d'évaluation.

4.1. La saturation, un indicateur clef de performance du système ferroviaire

L'analyse de la saturation ferroviaire ouvre un premier champ d'étude en questionnant les notions de performance, de productivité et de compétitivité du système ferroviaire. Le Chapitre II a montré que la congestion ferroviaire est protéiforme. Orchestrée dans la phase de production en amont, elle s'exprime dans la phase d'exploitation à travers des problèmes de performance (capacité à tenir le plan de transport). Il convient donc de distinguer, pour une infrastructure saturée, ce qui relève des limites techniques et organisationnelles de ce qui relève d'insuffisances dans les outils de production, leur organisation ou encore leur utilisation. L'évaluation des méthodes de production paraît d'autant plus complexe mais nécessaire dans la mesure où le gestionnaire d'infrastructure se trouve en situation de monopole. Il appartient en particulier à l'autorité de tutelle de définir des indicateurs d'évaluation des méthodes de production.

On distinguera ce qui relève de la performance, de la productivité et de la compétitivité.

- La performance correspond à la capacité du système à produire le résultat attendu (régularité).
- La productivité fait référence à l'utilisation des ressources, l'objectif étant de faire plus avec moins de ressources (nombre de train/heure).
- La compétitivité est le résultat combiné de la productivité et de la performance. Elle considère la dynamique de l'activité et sa capacité à s'adapter aux évolutions économiques (élasticité transport ferroviaire/PIB).

Dans un premier temps, on verra que ces notions s'invitent progressivement dans les relations entre Etat et gestionnaire d'infrastructure. De nombreux pays européens ont en effet passé des contrats de performance avec leur gestionnaire d'infrastructure tandis que le droit européen se précise progressivement.

Dans un second temps, on s'intéressera plus particulièrement aux travaux réalisés en France. Un premier contrat de performance a été défini en 2007 suite au Grenelle de l'environnement pour la période 2008-2012. Un nouveau contrat est en cours d'instruction pour la période 2013-2017.

Enfin, un troisième point proposera de mettre en perspective ces différents engagements au regard des faits. Dans le cas français, certaines divergences peuvent être observées entre les objectifs et les réalisations. Ce sera l'occasion de rappeler les limites qui peuvent s'appliquer à ces contrats et à leur bonne réalisation.

4.1.1. Le temps de la performance : une définition en cours de construction en Europe

Les notions de performance et d'efficacité sont au cœur du processus réformateur européen. Dans cette section, on s'intéresse à leur définition qui peut être précisée, notamment dans la situation du monopole naturel du gestionnaire d'infrastructure. Les mesures d'incitation seront traitées dans la section 4.2.

4.1.1.1. Directive 91/440/CEE : principes d'efficacité et de compétitivité

La lecture des considérants de la directive 91/440/CEE rappelle les motivations fondatrices qui ont poussé l'Europe à réformer le secteur : *« il importe d'améliorer l'efficacité du réseau des chemins de fer afin de l'intégrer dans un marché compétitif »* (considérant 2), *« rendre les transports par chemin de fer efficaces et compétitifs par rapport aux autres modes de transport »* (considérant 3), *« une exploitation efficace du réseau ferroviaire »* (considérant 4), *« stimuler la concurrence dans le domaine de l'exploitation des services de transport en vue de l'amélioration du confort et des services rendus aux usagers »* (considérant 5), etc.

L'objectif est double : gagner en efficacité et en performance pour améliorer la compétitivité du mode par rapport aux autres modes de transport.

Pour autant, ces objectifs n'ont pas été tout de suite développés. Pour la Commission européenne, l'organisation institutionnelle du secteur a représenté une première garantie d'efficacité dans le système ferroviaire. Dans les considérants 3 et 4, l'efficacité et la compétitivité passent par la séparation comptable et organisationnelle entre les entreprises ferroviaires et le gestionnaire d'infrastructure. La performance des entreprises est *a priori* garantie par son introduction progressive dans une économie de marché (principe de concurrence) tandis que celle du gestionnaire d'infrastructure est assurée par l'Etat qui reste garant du développement de l'infrastructure ferroviaire.

4.1.1.2. Directive 2001/14/CE : mise en place d'outils

La directive 2001/14/CE développe le principe de performance du système ferroviaire. Dans ses considérants, elle commence par rappeler l'intérêt du marché pour améliorer l'efficacité des entreprises ferroviaires : *« Un secteur fret efficace, surtout à l'échelon transfrontalier, nécessite des mesures d'ouverture du marché »* (considérant 8).

Par ailleurs, elle met en évidence l'utilité d'une tarification pertinente pour améliorer l'utilisation de l'infrastructure : *« des signaux clairs et cohérents permettant aux entreprises ferroviaires de prendre des décisions rationnelles »* (considérant 13). La question de l'incitation à la performance sera plus amplement traitée dans la section 4.2.

La principale évolution réside dans la reconnaissance de l'infrastructure ferroviaire en tant que « monopole naturel ». Il convient par conséquent de développer une méthode pour *« inciter, par des mesures d'encouragement, les gestionnaires de l'infrastructure à réduire les coûts et à gérer leur infrastructure de manière efficace »* (considérant 14).

Si la méthode fera l'objet de la section 4.2., elle nécessite au préalable de définir les critères de performance du gestionnaire d'infrastructure.

Dans cette perspective, deux pistes sont envisagées :

- La définition d'un régime de performance entre entreprises ferroviaires et gestionnaire d'infrastructure sur la base d'objectifs préétablis : *« Il est souhaitable que les entreprises ferroviaires et le gestionnaire d'infrastructure soient encouragés à réduire au minimum les défaillances et à améliorer les performances du réseau ferroviaire »* (considérant 15) ;
- Le suivi de la gestion de l'infrastructure par le gestionnaire notamment lorsqu'une infrastructure est déclarée saturée : « La position de monopole détenue par les gestionnaires d'infrastructure rend souhaitable un examen des capacités de l'infrastructure disponibles et des méthodes de renforcement de celles-ci lorsque la procédure de répartition des capacités n'est pas à même de répondre aux besoins des utilisateurs » (considérant 29).

Plus en détail, ces considérants sont formalisés en deux articles.

L'article 6 (« coût de l'infrastructure et comptabilité ») propose la mise en place d'un contrat liant le gestionnaire à l'autorité compétente pour une durée minimale de 3 ans. Il définit les responsabilités du gestionnaire face à son Etat membre d'après deux types d'objectifs :

- L'équilibre des comptes du gestionnaire d'infrastructure entre recettes (commerciales et subventions) et dépenses ;
- La politique du gestionnaire en matière de réduction des coûts de fourniture de l'infrastructure.

Pour autant, ces objectifs ne sont pas plus détaillés et la mise en place d'un contrat n'est pas clairement définie comme obligatoire (*« Les Etats membres veillent à ce que la disposition prévue […] soit mise dans le cadre d'un contrat conclu, […], soit par l'établissement de mesures réglementaires approprié »* (article 6). Cet article fait plus figure de principe que de normalisation d'un rapport entre Etat et gestionnaire.

Par ailleurs, l'article 11 élabore les principes d'un « système d'amélioration des performances ». Il tient particulièrement compte de l'interaction complexe entre le gestionnaire d'infrastructure et les entreprises ferroviaires dans la définition de la performance. Par conséquent, il propose la mise en place d'un système de bonus-malus selon la performance de chacun des acteurs. Leurs résultats sont évalués à partir d'objectifs fixés au préalable. En cas de dépassement, une prime est versée tandis qu'en cas de défaillance, un malus doit être versé pour compensation (compensation des externalités négatives). Néanmoins, on relève que les critères utiles à la définition de la performance ne sont pas détaillés et laissés à la libre appréciation des parties prenantes.

4.1.1.3. Directive 2012/34/UE : normalisation et harmonisation des approches

La Directive 2012/34/UE renforce et précise considérablement ces deux articles. Si la directive précédente a fixé les principes, sa refonte propose une normalisation des critères.

L'article 6 de la directive 2001/14/CE devient l'article 30. La procédure est légèrement modifiée. D'une part, le contrat est rendu obligatoire au plus tard lors de l'application de la présente directive le 16 juin 2015. D'autre part, ses termes sont précisés avec un renvoi vers une annexe (numéro V). Enfin, la durée minimale du contrat est étendue à 5 ans au lieu de 3 pour une meilleure planification de l'infrastructure.

La principale évolution est apportée par l'annexe V. Elle définit le cadre général d'appréciation de la performance du gestionnaire d'infrastructure.

En premier lieu, le champ d'application est précisé. Il concerne l'ensemble des fonctions du gestionnaire d'infrastructure. Les versements et fonds alloués sont identifiés pour chacune de ses fonctions. L'entretien et le renouvellement de l'infrastructure sont pris en compte. La construction de nouvelles infrastructures peut également être intégrée.

En second lieu, des paramètres de performance sont précisés et doivent être formalisés sous la forme d'indicateurs. La directive propose de retenir :

Les performances des trains (rapidité, fiabilité et satisfaction de la clientèle) ;

- La capacité du réseau ;
- La gestion des actifs ;
- Les volumes d'activité ;
- Les niveaux de sécurité ;
- La protection de l'environnement.

Ces 6 éléments peuvent être considérés comme une première définition de la performance du gestionnaire d'infrastructure. Celle-ci prend en compte à la fois des objectifs techniques, économiques et environnementaux. Néanmoins, on remarque que la marge de manœuvre reste importante pour la définition des indicateurs à retenir.

L'article 11 de la directive 2001/14/CE devient l'article 35 et se trouve complété par l'annexe VI qui précise son mode de fonctionnement.

La performance est mesurée à partir des retards. Un objectif de ponctualité (taux de trains à l'heure) est fixé entre le gestionnaire d'infrastructure et les entreprises ferroviaires. Le système de bonus-malus repose sur le respect de cet objectif et attribue une valeur aux retards (malus) ou à la ponctualité (bonus). Ce système nécessite d'identifier l'ensemble des causes de retard et d'être en mesure de pouvoir attribuer à l'un des deux acteurs la responsabilité. L'annexe propose 9 catégories de retard elles-mêmes subdivisées en 46 sous-catégories.

Le niveau de ponctualité attendu est laissé à l'appréciation des acteurs concernés et ne doit pas remettre en cause « la viabilité économique d'un service ». Ce suivi donne lieu à un rapport annuel de

la part du gestionnaire d'infrastructure sur la performance de chaque entreprise ferroviaire. En cas de litige, l'organisme de contrôle est mandaté pour intervenir.

Pour finir, on peut mentionner l'ajout de l'article 15 où la Commission se réserve un droit de contrôle direct sur les systèmes ferroviaires européens et en particulier sur les gestionnaires d'infrastructure. Elle précise que sa mission vise à informer le parlement et le conseil européen de leur performance dans un rapport biannuel et qu'elle ne vient pas se substituer aux Etats membres et aux missions de leur organisme de contrôle. Cette évolution marque en soi une rupture fondamentale dans la politique commune de transport en Europe, dans la mesure où la Commission européenne devrait se doter progressivement de compétences suffisantes pour évaluer directement la performance des gestionnaires d'infrastructure. Cette tâche relève jusqu'à présent du domaine exclusif des Etats membres.

> *« La Commission surveille l'utilisation des réseaux et l'évolution des conditions-cadres dans le secteur du rail, en particulier la tarification de l'infrastructure, la répartition des capacités, les investissements dans l'infrastructure ferroviaire, l'évolution des prix, la qualité des services de transport ferroviaire et des services de transport ferroviaire couverts par des contrats de service public, le système d'octroi de licences et le degré d'ouverture du marché et d'harmonisation entre États membres, l'évolution de l'emploi et des conditions sociales dans le secteur du rail. Ces activités de contrôle sont sans préjudice des activités similaires dans les États membres et du rôle des partenaires sociaux. » (Article 15).*

Cet article, associé aux deux précédents, représente une révolution supplémentaire dans la définition et le suivi de la performance du système. D'une part, il confirme l'interaction complexe entre gestionnaire d'infrastructure et entreprises ferroviaires en matière de performance. Le contrôle s'exerce par conséquent sur les deux acteurs. D'autre part, il conforte la place de la capacité au centre des préoccupations du système ferroviaire en matière de production, d'attribution et de tarification. Enfin, il apporte progressivement une définition harmonisée de la performance ferroviaire au niveau européen. On remarque néanmoins que les paramètres retenus proposent une analyse interne du système reposant sur la mesure de ses performances (qualité de service) et de sa productivité (utilisation des ressources).

La notion de compétitivité (comparaison aux autres modes de transport) semble rester absente de la structure d'évaluation proposée. Elle constitue pourtant le résultat logique des efforts réalisés en interne.

4.1.2. Applications en Europe : l'avance de la Suisse

La transposition de ces principes est très hétérogène dans les différents Etats membres. Cette diversité est d'autant plus forte que la directive 2012/34/UE qui précise les notions n'entrera pas en vigueur avant juin 2015. Par conséquent, on reste sur les principes de la directive 2001/14/CE.

Cette section propose un tour d'horizon des pratiques en Europe. Elle repose pour l'essentiel sur la revue des contrats de performance proposée par Finger & Holterman (2013) pour la Suisse, l'Allemagne et les Pays-Bas. On ajoutera à cette étude le cas de la France.

4.1.2.1. Aperçu européen : des approches multiples

Bien avant la Commission européenne, la Suisse a été pionnière dans le domaine de la performance ferroviaire. Finger & Holterman (2013) rappellent que les premiers indicateurs et objectifs ont été fixés dès la fin des années 70 face à la crise financière du secteur. Le premier plan d'instruction a été mis en place sur la période 1980 – 1984. Il s'appliquait à l'entreprise intégrée nationale et ne concernait que des critères financiers, l'objectif étant pour la branche service d'atteindre l'équilibre économique dans l'essentiel de ses missions dès 1984. Le développement de cette pratique a été concomitant à l'initiative du renouveau ferroviaire suisse marqué par l'application du cadencement à partir de 1982 (Tzieropoulos, 2012). La maîtrise des coûts de production était alors d'autant plus cruciale pour la pérennité du système.

Le contrat de performance de 1999 – 2002 marque une rupture. D'une part, l'entreprise nationale intégrée devient une SA. On ne parle donc plus de « plan » mais de « contrat » de performance. D'autre part, les indicateurs sont étendus à l'infrastructure. La politique de cadencement nécessite de grands investissements en infrastructure (Rail 2000 en 1986) et donc une meilleure maîtrise des coûts. Des indicateurs en matière de qualité de l'infrastructure, d'interopérabilité, de management de la capacité et de productivité sont ajoutés.

Une deuxième étape est franchie lors du contrat de 2007 – 2010. Le nombre de catégories d'indicateurs est considérablement réduit. On passe de 8 catégories à 4 (sécurité, ergonomie du réseau, utilisation du réseau et productivité) tandis que le nombre d'indicateurs passe de 30 à 19. Par ailleurs, les indicateurs sont désormais précisément définis et sont tous quantitatifs.

La Suisse présente donc cette particularité d'avoir été à la fois pionnière dans cette réflexion et de l'avoir mise dès le début à profit de sa politique de transport. Les contrats de performance ont notamment représenté un levier majeur pour mettre en place la politique de cadencement et de report modal sans subir de dérive importante. Cette logique est très bien résumée par Desmaris (2014) dans le titre d'un article : « Une réforme du transport ferroviaire de voyageurs en Suisse : davantage de performances sans concurrence ? ».

Au Pays-Bas, la démarche est plus récente et la durée des contrats plus longue. Le premier a été passé en 2005 et court jusqu'en 2015. Il engage distinctement l'opérateur historique NS et le gestionnaire

d'infrastructure ProRail. Les indicateurs sont répartis en catégories différentes selon les acteurs mais sont tous précisément définis et sont aussi bien quantitatifs que qualitatifs (enquêtes d'opinion).

Côté exploitant, on trouve 4 catégories qui regroupent 14 indicateurs. Elles portent sur la sécurité des employés et clients, la ponctualité des trains, la disponibilité en sièges du plan de transport et le niveau service (propreté et informations dans les trains).

Côté gestionnaire d'infrastructure, on trouve 6 catégories qui regroupent 9 indicateurs. Elles portent sur la disponibilité et la fiabilité de l'infrastructure, la propreté, l'accessibilité et la sécurité des gares, la qualité d'intervention du gestionnaire en cas de perturbation, la qualité du processus d'allocation des capacités et la qualité du circuit d'informations.

Pour finir, l'Allemagne a mis en place tardivement un contrat de performance pour la période 2009 – 2013. Il concerne uniquement la partie infrastructure de son entreprise intégrée (DB Netz, DB station&service, DB Energie). Les indicateurs sont au nombre de 4 mais sont précisément définis. On retient le calcul des pertes théoriques en temps de parcours, le nombre de défaillances de l'infrastructure, la fonctionnalité des plateformes (hauteurs des quais) et l'estimation de la qualité des gares (indicateurs non précisés et enquêtes). Ces indicateurs sont essentiellement quantitatifs.

Cet aperçu européen, hors Suisse, montre une prise de conscience plutôt tardive et hétérogène de l'évaluation de la performance. Dans le cas de l'Allemagne, le contrat s'applique seulement à l'infrastructure tandis qu'il s'applique également à l'exploitant ferroviaire dans le cas néerlandais. Les allemands considèrent en effet que la DB ne recevant pas de subventions pour ses missions interurbaines, c'est le marché uniquement qui garantit sa performance dans la mesure où le secteur est ouvert à la concurrence.

Cependant, on remarque certaines similitudes. En premier lieu, les indicateurs sont tous définis avec précision (méthode de calcul). En second lieu, Finger & Holterman (2013) notent que l'indicateur de ponctualité est le seul que l'on retrouve systématiquement dans chacune des évaluations. Enfin, leur définition de la performance tend à se rapprocher de la définition donnée par la directive 2012/34/UE plutôt que la 2001/14/CE qui restait très évasive.

4.1.2.2. La France : en attendant le nouveau contrat de performance (2013-2017)

La France se distingue singulièrement de ses voisins européens tout en restant dans le périmètre défini par la directive 2001/14/CE. Un contrat de performance lie depuis 2008 l'Etat à RFF. Ce premier contrat a pris fin en 2012 et devrait être remplacé par un nouveau contrat pour la période 2013-2017. Néanmoins, ce contrat n'existe toujours pas en juillet 2014. On peut penser que la réforme ferroviaire votée en juin 2014 a retardé le projet. C'est pourquoi on ne s'intéressera qu'au premier contrat.

Le contrat de performance fait suite au Grenelle de l'environnement (2007). Il repose sur 4 grands objectifs (s'adapter à l'ouverture du marché et développer les recettes commerciales, moderniser les infrastructures et améliorer la performance du réseau, viser l'équilibre économique et établir un financement durable, organiser un pilotage dynamique et assurer une gouvernance responsable).

Ces objectifs sont déclinés en 33 engagements. Le contrat français se distingue des contrats précédemment présentés par l'absence d'indicateurs parmi les engagements. Seul l'engagement 4

propose la mise en place d'un indicateur synthétique de la qualité des sillons fret à partir de 2010. Pour autant, il ne précise pas le mode de calcul, la mission étant confiée à RFF.

Le reste des engagements s'apparente plus à la définition d'une stratégie d'entreprise pour RFF et à la fixation d'objectifs. La stratégie d'entreprise peut être illustrée par l'engagement 6 qui précise la politique de prix d'usage du réseau de RFF. Elle doit être orientée selon les coûts réels de l'infrastructure et la dynamique du marché. L'objectif est d'accroître la part des recettes commerciales dans le financement de l'infrastructure.

Par ailleurs, on retient 5 objectifs chiffrés :

- Renouveler 3940km de voies et 1430 appareils de voie pour 7,3Mds d'euros (engagement 7) ;
- Réduction de 15% du coût moyen en euros constants du km de renouvellement sur les voies UIC 1 à 6 (engagement 9) ;
- Suivi des coûts de maintenance par axe, par sous-réseau et par région à partir de 2010 (engagement 13) ;
- Augmentation de la part des recettes commerciales dans le financement du coût complet de 48% en 2008 à 60% en 2012 (engagement 21) ;
- Sur la base de ce modèle économique, l'objectif est que l'entreprise dégage dès 2011 les éléments suivants : un chiffre d'affaire supérieur à 4 Mds d'euros ; un résultat opérationnel courant de 2 Mds d'euros ; un résultat net de 500 M d'euros ; un net cash-flow supérieur à 2,7 Mds d'euros.

On observe que ces objectifs s'inscrivent dans les deux principes définis par la directive 2001/14/CE : réduire le coût de l'infrastructure et équilibrer les comptes du gestionnaire. Par ailleurs, ils rappellent également les recommandations réalisées par Rivier & Putallaz (2005) sur l'état du réseau français. Ce rapport avait notamment mis en évidence le vieillissement des infrastructures et la nécessité d'investir dans la modernisation du réseau (renouvellement de voies, maîtrise des coûts de maintenance, etc.).

Alors que le nouveau contrat de performance a pris du retard, le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie a mis en place une première série d'indicateurs dans le cadre de la programmation pluriannuelle. Cette politique s'appuie sur la loi Grenelle n°2009-967 de programmation et la loi n°2010-788 portant sur l'engagement national pour l'environnement. Le gouvernement a défini sa politique de transport avec en priorité l'optimisation du système de transport et une utilisation optimale des infrastructures existantes.

La programmation s'étend sur la période 2013-2015. Le programme concernant la politique des transports est le n°203 portant sur les « infrastructures et services de transports ». Il concerne l'ensemble des modes de transport terrestres, maritimes et aériens. Il est divisé en sept actions de l'Etat et suit 4 objectifs :

- Réaliser au meilleur coût les nouvelles infrastructures et moderniser efficacement le réseau ;
- Améliorer l'entretien et la qualité des infrastructures de transport ;
- Améliorer le niveau de sécurité des transports routiers ;

- Développer la part des modes alternatifs.

Ces objectifs sont évalués sur la base d'indicateurs quantitatifs. On compte pour l'ensemble des modes 11 indicateurs dont 5 attribués au transport ferroviaire :

- Coût des opérations de régénération et d'entretien du réseau ferré (par km) ;
- Etat des voies du réseau ferré national (en millimètres) ;
- Retards constatés sur les trains de voyageurs imputables à l'infrastructure (en mn/train) et au seul gestionnaire de l'infrastructure (en mn/train) ;
- Part modale du transport ferroviaire dans le transport intérieur terrestre de marchandises ;
- Volume de transport combiné par fer pour 100€ d'aide.

Ces indicateurs sont renseignés sur la base de l'année 2010. Une estimation actualisée est donnée pour l'année 2012 tandis qu'une prévision est proposée pour l'année 2013. Un objectif cible est donné pour la fin de période de programmation (2015).

Les résultats ne sont pas contraignants pour le gestionnaire d'infrastructure au même titre que le contrat de performance. Néanmoins, ils constituent un outil d'aide au suivi des politiques publiques et d'évaluation de leur résultat. Ces indicateurs pourraient constituer une première base pour la redéfinition du contrat de performance sur la période 2013-2017. On remarque d'ailleurs que là encore, comme pour les autres réseaux, un indicateur de ponctualité est proposé.

4.1.2.3. L'autre performance : le système d'amélioration des performances (SAP)

Autre aspect de la performance, RFF a mis en place depuis 2013, en concertation avec les entreprises ferroviaires, le système d'amélioration des performances (SAP) prévu par la directive 2001/14/CE.

Totalement opérationnel à partir de 2014, il repose sur l'analyse des données de la base BREHAT qui enregistre les retards. Les retards de plus de 5 minutes sont comptabilisés (total des minutes perdues par l'EF rapporté à son volume de production exprimé en trains-kilomètres) et attribués soit au gestionnaire d'infrastructure, soit aux entreprises ferroviaires. La mise en œuvre repose sur des objectifs d'amélioration établis à l'horaire de service N+1. Dans le cas où l'objectif n'est pas atteint après un an de circulation, un malus devra être versé au prorata des responsabilités par le gestionnaire à l'entreprise ferroviaire et inversement.

A contrario, le DRR 2015 n'indique pas de système de bonus en cas de meilleure performance contrairement à la directive 2001/14/CE.

Selon cet aperçu, la France ne marque pas de retard vis-à-vis du droit européen. Néanmoins, la définition de la performance ferroviaire gagnerait à être approfondie en comparaison des indicateurs produits par l'Allemagne, les Pays-Bas ou la Suisse. La Grande-Bretagne est également reconnue pour avoir mis en place un système de performance efficace entre le gestionnaire de réseau et l'organisme de contrôle en charge de la régulation des capacités et de la sécurité (Crozet, Herrgott, Laroche, & Perennes, 2014). Un système de bonus-malus a aussi été mis en place entre les entreprises ferroviaires en franchise et le gestionnaire de réseau.

4.1.3. En France, des indicateurs qui restent à définir

La question de la performance du réseau français a été très clairement posée par l'audit sur l'état du réseau français (Rivier & Putallaz, 2005). La commande initiale portait sur l'état de l'infrastructure et la politique de maintenance mise en place par RFF et la SNCF. Les conclusions sont particulièrement négatives pour le système ferroviaire français.

4.1.3.1. Moderniser le réseau pour améliorer ses performances

Les auteurs ont noté en premier lieu un vieillissement « très important » de l'ensemble des composantes de l'infrastructure ferroviaire sur le réseau français. Cette situation révèle un manque d'investissement dans le renouvellement des infrastructures lui-même dû aux capitaux immobilisés dans l'extension du réseau LGV. D'autre part, les auteurs montrent une forte hétérogénéité entre les lignes ferroviaires aussi bien du point de vue de leur technologie que de l'âge de leurs composants. Ce résultat met en évidence une politique au coup par coup sans stratégie globale de maintenance et de renouvellement des installations, ce qui conduit à une augmentation importante des coûts d'entretien. Les auteurs notent qu'une politique coordonnée de renouvellement permanent des installations devrait permettre de réduire d'autant les coûts d'entretien, de maîtriser le cycle de vie des composants et d'industrialiser la maintenance. Enfin, ils observent un écart important entre les performances du réseau LGV et celles des lignes classiques soumises au vieillissement et à de lourdes et coûteuses politiques de maintenance (par manque d'investissement).

Par conséquent, les auteurs indiquent qu'un scénario au fil de l'eau sans évolution notable de la politique de maintenance mènerait à une cessation d'exploitation de 60% du réseau en 2025. Seules les LGV et quelques axes structurants subsisteraient, entrainant un effondrement global des performances du système ferroviaire français.

Leurs recommandations ont porté sur plusieurs points. En premier lieu, il convient de mettre en place un plan stratégique en termes d'objectifs de transport. En second lieu, il est nécessaire de rationaliser le réseau, notamment au niveau des gares et de leurs voies de service. Enfin, une politique massive de renouvellement de l'infrastructure doit être mise en place. Pour être efficace, elle doit prendre en compte la modernisation des équipements (implémentation d'ERTMS), la mise en place d'une allocation pluriannuelle des budgets de maintenance, l'amélioration des outils de gestion de la maintenance et l'optimisation des plages-travaux en fonction des besoins de l'infrastructure et des contraintes du marché ferroviaire.

Les auteurs finissent par indiquer que l'application de ces principes permettrait des gains de productivité notables grâce à un rééquilibrage entre les dépenses d'entretien et de renouvellement. Cette dynamique entrainerait une modernisation des installations et faciliterait l'industrialisation de la maintenance, source de gains de temps et financiers sur le moyen terme. Ils estiment que le potentiel de réduction des coûts serait de 15% à l'horizon 2015 – 2018 pour l'entretien et le renouvellement. Par ailleurs, la modernisation des installations serait source d'une plus grande performance globale du

réseau en réduisant les restrictions de circulation, en augmentant les débits (ERTMS) et les vitesses de circulation.

4.1.3.2. Des efforts à poursuivre : le rapport Putallaz & Tzieropoulos (2012)

Le Grenelle de l'environnement suivi du plan de rénovation du réseau (13Mds d'euros jusqu'en 2015) et du contrat de performance entre RFF et l'Etat ont constitué une première réponse à ces impératifs. Par ailleurs, le projet de loi de finance pour la période 2013-2015 a rappelé la nécessité d'optimiser le système de transport et d'améliorer la qualité des infrastructures dans le but de développer la part des modes alternatifs.

Le rapport Rivier revisité sur l'état du réseau (Putallaz & Tzieropoulos, 2012) propose un état d'avancement des travaux engagés suite au rapport Rivier de 2005. Il s'intéresse particulièrement à l'évolution de la vision stratégique du réseau, à la politique de maintenance et à son organisation industrielle.

Concernant le périmètre de l'infrastructure, les auteurs notent que les critères de sélection doivent être mieux définis pour poser systématiquement la question de la pertinence de l'infrastructure. Ces critères doivent prendre en compte le rapport entre capacité de l'infrastructure et besoin en capacité.

Concernant la politique de maintenance, les auteurs notent un effort budgétaire (+50% entre 2003 et 2010) mais observent qu'il reste inférieur aux recommandations du rapport Rivier et ne permet pas, en l'état actuel, de supprimer la problématique du vieillissement. L'effort devrait être renforcé aussi bien pour l'entretien que le renouvellement des infrastructures. Un effort particulier reste à réaliser pour les lignes les plus chargées (UIC 2 à 4).

Enfin, sur le plan industriel, les auteurs relèvent l'intérêt de supprimer le blanc quotidien des plages-travaux (notamment sur les LGV) pour répondre uniquement aux besoins de l'infrastructure. Ils rappellent également l'intérêt d'homogénéiser la substance des principaux axes pour faciliter les opérations de maintenance. Par ailleurs, ils observent que contrairement aux recommandations du rapport Rivier, les coûts unitaires de maintenance ont eu tendance à augmenter. Sur ce sujet, le projet de loi de finance montre que sur la période 2010 – 2012, le coût au kilomètre des opérations de régénération a fortement progressé (+15%) et devrait encore croître de +3,2% en 2013. Cet accroissement est dû au plan de régénération du réseau principal (surcoût lié à l'interruption des circulations et au travail de nuit) dont l'effort devrait être poursuivi jusqu'en 2015 conformément aux objectifs du programme 203. Côté entretien, on note une dérive des coûts entre 2010 et 2012 (+18%) bien au-delà de l'inflation.

Tableau 16 : Evolution du coût des opérations de régénération et d'entretien du réseau ferré

	Unité	2010	2011	2012 Prévision PAP 2012	2012 Prévision actualisée	2013 Prévision	2015 Cible
Coût kilométrique moyen des **opérations de régénération**	k€ courants par km	961	1020	1114	1114	1150	<1250
Coût kilométrique moyen des **opérations d'entretien**	k€ courants par km	37,2	42,5	41,8	43,9	44,8	<47,2

Source : Projet loi de finances, 2013

Par conséquent, les auteurs révisent les perspectives de gains de productivité de +2,1%/an pour l'entretien et +1,5%/an pour le renouvellement à une croissance inférieure à +1%/an pour l'ensemble. Pour finir, les auteurs observent que la dispersion des activités du gestionnaire d'infrastructure telle que définie par le décret de 1997 n'a pas contribué à faciliter la mise en place d'outils de gestion de l'infrastructure. Leur regroupement en un gestionnaire d'infrastructure unifié devrait améliorer les méthodes de production et libérer plus de capacité sur le réseau.

4.1.3.3. L'innovation au service de la performance

Dans cette même perspective, la 2nde conférence pour la relance du fret ferroviaire en 2014 (en particulier le groupe de travail 5 portant sur l'innovation) a montré que de nombreux gains pouvaient être réalisés dans ce domaine à condition de favoriser l'innovation et l'introduction des nouvelles technologies. Ces pistes reposent essentiellement sur l'amélioration des systèmes d'information et de gestion de l'infrastructure. On propose ici de reprendre quelques-unes des propositions réalisées en partant du principe que ce qui est bon pour l'amélioration des performances du fret est bon pour l'ensemble du système, voyageurs compris.

Le développement d'un système informatique de gestion des sillons pourrait permettre de réduire l'impact des conflits travaux-sillons en automatisant et industrialisant chaque étape du processus d'allocation de la capacité. Les conflits sont aujourd'hui résolus de manière manuelle (par croisement des fichiers) ce qui implique des délais d'attente et une immobilisation en ressources importante.

Son implémentation bénéficierait à l'ensemble du système en termes de capacité et de robustesse des horaires.

Le développement d'outils d'information trafic en temps réel pour les conducteurs pourrait améliorer la fluidité des trafics. L'objectif serait de limiter les arrêts aux feux rouges par la transmission d'informations au conducteur en temps réel sur la position du train précédent au moyen de supports numériques (application sur tablette). Ce système aurait deux vertus : (i) améliorer le dialogue entre conducteur et régulateur des trafics qui n'existe aujourd'hui qu'en situation perturbée, (ii) rendre la gestion du trafic plus dynamique (réduction des arrêts au feu rouge).

Le coût de développement est estimé à 9M d'euros et son implémentation permettrait de mieux anticiper les aléas de l'exploitation pour accroître la capacité et la robustesse des horaires.

Enfin, le basculement des principaux axes vers le standard européen de signalisation (ERTMS) permettrait d'améliorer notablement les débits et la fiabilité des trafics (*cf.* Chapitre III).

Par conséquent, le rapport Rivier associé à sa révision et aux conclusions de la conférence pour le fret ferroviaire montrent la nécessité pour le réseau français de s'orienter sur la voie de la performance et de la productivité pour gagner en compétitivité. Cet impératif est essentiel pour le réseau classique mais pourrait également le devenir à terme pour les LGV dans le cas où l'extension du réseau continuerait d'être privilégiée sur la recherche en rendements croissants de l'existant. L'amélioration des performances passe donc par le renouvellement des composants de l'infrastructure et par une meilleure maîtrise des méthodes de production que ce soit la gestion des cycles de vie ou des plages-travaux.

Conclusion

La directive 2012/34/UE marque une rupture dans le traitement de la performance. La directive 2001/14/CE a apporté de nombreuses précisions sur les modalités de la gouvernance et la production de capacité (procédure d'attribution, de traitement de la saturation, etc.). La première étape a consisté à consolider les principes essentiels de la performance ferroviaire, à savoir un marché *a priori* ouvert à la concurrence et des activités bien distinctes entre la fourniture de services ferroviaires et la gestion de l'infrastructure (en situation de monopole naturel). La seconde étape, initiée par la directive 2012/34/UE, fixe le principe de performance en précisant la structure des contrats de performance, les catégories d'indicateurs à mettre en place et en donnant un droit de regard direct à la Commission européenne sur les gestionnaires d'infrastructure.

Au regard du panel de pays européens étudié, la ponctualité semble être un indicateur clef tout comme le taux d'utilisation du réseau. Dans tous les cas, la question de la capacité est centrale. Elle est évaluée à la fois du point de vue financier (coût de production de la capacité), du point de vue technique (capacité offerte) et du point de vue qualitatif (qualité de service). On trouve deux approches souvent complémentaires à savoir la mesure de la ponctualité mais aussi, dans le cas néerlandais, la mesure du taux de satisfaction des clients pour le service ferroviaire.

En France, un indicateur d'opinion a été mis en place dans le projet de loi de finances pour les infrastructures autoroutières. Pour le ferroviaire, l'indicateur retenu est le taux de ponctualité. Pour autant, une enquête d'opinion pourrait présenter une complémentarité intéressante (croisement des regards).

Pour finir, le cas de la France et la présentation des deux audits de l'EPFL montrent qu'il reste encore du chemin à parcourir dans la définition et la mise en place d'un régime de performance pour le transport ferroviaire. De nombreuses marges de productivité sont identifiables tandis que le secteur peut encore gagner en compétitivité. Néanmoins, comme pour le modèle TGV (*cf.* Chapitre III), ces gains ne peuvent être obtenus sans une évolution conséquente des méthodes de production de la capacité.

4.2. Réguler pour inciter à l'amélioration des performances et innover

La définition d'indicateurs de performance, sans outils de régulation, ne suffit pas à garantir l'efficacité du système (Baldwin, Cave, & Lodge, 2011). Dans le cas d'un monopole légal (défini par le droit), les lois du marché peuvent constituer une garantie d'efficacité à condition de l'ouvrir à la concurrence ou, au moins, de le rendre contestable (Baumol, 1982). Cette option a été suivie par la Commission européenne dans sa stratégie d'ouverture à la concurrence des activités de service dans le transport ferroviaire (directive 91/440/CEE). *A contrario*, dans le cas d'un monopole naturel, les forces classiques du marché s'avèrent inefficaces d'où la nécessité de prêter une attention particulière à la régulation économique.

La Commission européenne a édicté le principe d'un organisme de contrôle dès la directive 2001/14/CE (article 30). Les prérogatives de l'organisme de contrôle restent pour l'instant limitées au respect du principe de non-discrimination pour l'accès au réseau, au contrôle du niveau et de la structure des redevances et à la résolution des conflits. La définition et le contrôle des indicateurs de performance portant sur le gestionnaire d'infrastructure relèvent de la responsabilité de l'autorité de tutelle (contrat de performance). Néanmoins, le débat existe sur l'étendue du périmètre de ses compétences.

Le séminaire organisé par l'organisme de contrôle ferroviaire français (ARAF[20]) à Paris, le 26 mai 2014, a mis en perspective la volonté de ces organismes d'étendre leurs compétences en matière de régulation économique. Son titre seul témoigne du débat existant entre économie et politique sur le contrôle du monopole naturel : « Régulation incitative des industries de réseau : quels enseignements pour améliorer la performance de la gestion de l'infrastructure ferroviaire ? ». La présence d'invités extérieurs au domaine ferroviaire a montré que cette extension des compétences du régulateur a été réalisée avec succès dans d'autres secteurs (notamment l'énergie).

Par conséquent, cette seconde section propose de s'interroger sur les conditions d'extension de la régulation économique dans le secteur ferroviaire. A travers la notion de régulation incitative, il interroge également sur les conditions d'innovation dans le secteur et les outils propices à son développement.

On reviendra dans un premier temps sur les raisons et l'intérêt d'étendre la régulation au contrôle direct des performances du monopole naturel. Puis on présentera les vertus et conditions de mise en place d'une régulation incitative. Pour autant, on montrera dans un dernier temps que le secteur ferroviaire présente encore de nombreux obstacles structurels pour garantir une politique de régulation incitative efficace.

[20] Organisme de contrôle français : Autorité de Régulation des Activités Ferroviaires

4.2.1. Réguler le monopole naturel pour la performance

La notion de régulation économique repose traditionnellement sur le contrôle des prix.

4.2.1.1. Réguler économiquement le monopole

Baldwin, *et al.* (2011) montrent que la régulation des prix est d'autant plus sensible dans le cas d'un monopole naturel. Ils définissent le comportement du monopole de la manière suivante :

- Il est seul sur son marché à produire des biens ou services pour satisfaire une demande ;
- Il fixe à la fois son coût de production, son prix de vente et le niveau de demande satisfaite ;
- Il contrôle l'ensemble de l'information liée à son marché et est le seul interlocuteur.

Les auteurs notent que ce statut peut présenter des avantages dans le cas où la structure du marché est telle que le niveau de production optimal ne peut être atteint que par une seule entreprise (monopole naturel) ou bien si l'activité est jugée stratégique et doit être protégée (monopole légal).

Néanmoins, comme toute entreprise, le monopole fixe les prix (et la demande) selon ses coûts de production et la capacité à payer des acteurs. Cette logique mène à deux situations possibles :

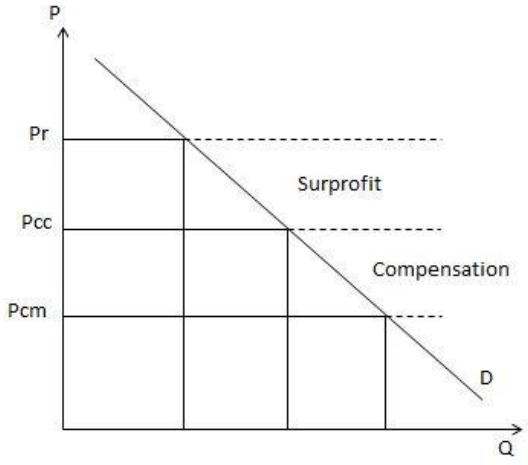
- Le monopole n'est pas régulé : la demande jugée non rentable n'est pas couverte ;
- Le monopole est régulé : la demande jugée non rentable est couverte par le biais de compensations financières (subventions) ou par une baisse des prix (coûts de production).

Par conséquent, à moins d'exercer une forte pression sur les coûts de production (gains de productivité), la structure monopolistique conduit sur le long terme :

- Soit à une sous-optimisation sociale (réduction de l'offre) ;
- Soit à une sous-optimisation économique (augmentation des subventions).

Ce raisonnement peut être formalisé de la manière suivante.

Figure 51 : Régulation tarifaire dans le cas d'un monopole naturel



Source : Baldwin, et al., 2011

Sans régulation économique, le monopole a tendance à réévaluer ses prix (Pr) au-delà de la couverture de son coût complet (Pcc, coûts fixes et variables). Il maximise ainsi ses revenus (situation de surprofit) mais minimise la demande.

Pour les consommateurs, le prix optimal correspond au coût marginal (Pcm) de production pour le monopole. Néanmoins, une telle situation ne permet pas à l'entreprise d'atteindre le seuil de viabilité économique (Pcc). Les pertes doivent donc être compensées par des subventions ou compensations, le plus souvent d'origine publique, pour éviter la faillite.

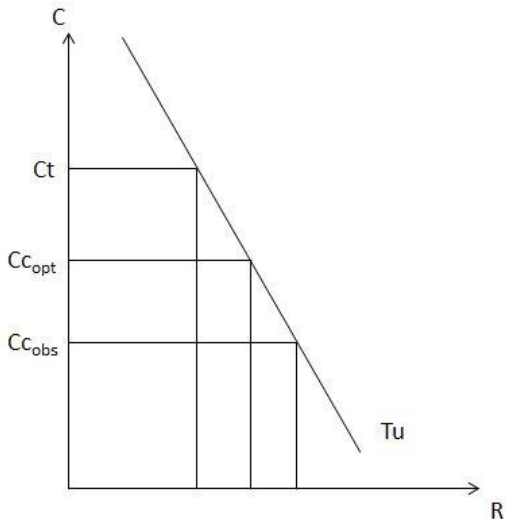
La régulation économique s'inscrit par essence dans ce schéma. L'objectif est de veiller à ce que le monopole ne réalise pas de surprofits tout en s'assurant que son coût complet de production est le plus bas possible pour limiter le montant des compensations publiques. *A priori*, une telle logique incite le monopole à réduire ses coûts de production et à améliorer son niveau de productivité. Les indicateurs de performance financière constituent la base de cette régulation.

4.2.1.2. Réguler techniquement le monopole

Un raisonnement similaire peut être appliqué à la performance technique du système. Pour autant, cet aspect est moins traité dans la littérature économique, la régulation économique incitant *a priori* l'optimisation technique.

Le cas du choix d'investissement présenté dans le Chapitre III entre le POCL et l'amélioration de l'existant montre que cette hypothèse peut rencontrer certaines limites. Comment s'assurer en effet que le monopole naturel prend en considération l'ensemble des solutions à sa disposition pour accroître son efficacité ? Ou encore, dans quelle mesure l'argument de saturation peut-il être utilisé pour justifier des prix plus élevés ? Sans compétences techniques, il paraît difficile pour le régulateur de trancher ces questions.

Figure 52 : Régulation de la capacité d'une infrastructure dans le cas d'un monopole naturel



Source : Auteur

Le schéma est volontairement décalqué du raisonnement économique. La régularité (R) a tendance à baisser selon le taux d'utilisation (Tu) de la capacité (C). On rappelle que la corrélation entre régularité et taux d'utilisation d'une infrastructure dépend de la performance globale du système. Dans le cas d'un système parfaitement performant, la droite du taux d'utilisation devrait être verticale, le niveau de régularité étant identique quelque-soit le taux d'utilisation de la capacité (*cf.* Chapitre II). Dans le cas présent, on accepte une part d'inefficience dans l'ensemble du système. Le gestionnaire d'infrastructure peut préférer réduire la capacité commerciale observée au seuil Cc_{obs} pour privilégier la régularité comme il tend à privilégier ses revenus en l'absence de régulation économique. Il s'éloigne donc d'autant de la capacité commerciale optimisée (Cc_{opt}) qui pourrait offrir une capacité supérieure pour un taux de régularité légèrement inférieur. Néanmoins, on reste dans les deux cas loin de la capacité théorique (Ct) qui dans le cas d'une performance globale parfaite serait la situation optimale.

Cette approche révèle plusieurs situations indésirables et met en évidence la nécessité d'intégrer des considérations techniques dans la régulation économique.

En premier lieu, on observe que la régularité des trafics sur une infrastructure peut être améliorée sans modification des conditions de production. Elle est réalisée au détriment de la capacité et peut s'avérer avoir un effet contre-productif des indicateurs de performance en matière de qualité de service. Autrement dit, sans contrôle de la capacité disponible, rien ne permet de lier automatiquement amélioration de la régularité des trafics et amélioration des performances. *A contrario*, l'amélioration de la capacité disponible ne permet pas de conclure à une amélioration des performances si la régularité se dégrade.

En second lieu, la limite représentée par la capacité théorique rappelle la situation du choix d'investissement en faveur du POCL. Afin de conserver un certain niveau de régularité sans remettre en cause le fonctionnement de l'infrastructure, le gestionnaire peut déclarer l'infrastructure saturée. Dans ce cas la solution se porte naturellement sur la création d'une nouvelle infrastructure.

Enfin, l'amélioration de la performance globale pose la question de l'investissement et de l'innovation. La réalisation de travaux peut perturber sur le court terme la régularité d'une infrastructure et réduire sa capacité. Sans incitation, le gestionnaire d'infrastructure peut être enclin à repousser les investissements nécessaires pour maintenir la performance existante au détriment de la performance future (Smith, 2014).

Par conséquent, il importe de mettre en place une régulation dynamique capable d'anticiper les performances du système à moyen et long terme. On propose dans le point suivant de développer la notion d'incitation à travers le principe de régulation.

4.2.2. Quelles conditions et quels outils pour une régulation incitative ?

La régulation incitative signifie pour le régulateur d'exercer une action dynamique sur le système. Elle suppose la mise en place d'indicateurs, leur suivi et la définition d'objectifs à tenir pour l'entreprise régulée.

4.2.2.1. Une régulation pour l'amélioration des performances

Selon Cave (2014), la régulation incitative a pour vocation de répondre à un problème fondamental qui se pose pour tout type d'économie : *« le consommateur final manque d'un pouvoir efficace de contrôle des coûts et des caractéristiques qui déterminent ce qui est produit »* (p4.). Il s'agit par conséquent de trouver une méthode pour *« aligner les incitations aux producteurs sur l'intérêt des consommateurs »* (p4.). La raison d'être du régulateur repose donc sur la mise en œuvre de cette méthode et sur le contrôle de la cohérence entre les intérêts des consommateurs et le comportement des producteurs.

Amaral (2014) résume, selon la définition de Joskow (2005), le concept de régulation incitative à travers quatre objectifs. Le premier objectif consiste à *« inciter l'entreprise régulée à produire des biens et services de manière efficace en prenant en compte les dimensions de coût et de qualité »* (p3.). Cet objectif nécessite d'une part une bonne connaissance des méthodes de production de l'entreprise et d'autre part la définition d'indicateurs pertinents pour évaluer ses coûts et la qualité de ses produits. Le second objectif prend en compte la nécessité d'investir à bon escient : *« fournir les incitations financières nécessaires pour attirer les capitaux supplémentaires dans le secteur, afin d'investir efficacement dans l'accroissement de capacité et dans le renouvellement du capital existant »* (p3.). Cet objectif tient compte directement du lien entre investissement et capacité, condition essentielle d'efficacité. Le troisième objectif rappelle le problème fondamental posé par Cave (2014) à savoir *« faire bénéficier les consommateurs des gains d'efficacité réalisés par l'entreprise régulée, sous la forme d'une baisse des tarifs »* (p3.). Enfin, le quatrième objectif s'applique parfaitement à notre travail de thèse : *« fournir aux agents les incitations à l'utilisation efficace du réseau »* (p3.).

Si on résume, la régulation incitative a pour raison d'être l'utilisation optimale du réseau en situation de monopole naturel. Cet objectif doit être réalisé dans l'intérêt des consommateurs et doit se matérialiser par une baisse des prix. Il ne peut être atteint que grâce à des investissements rendus pertinents par une connaissance fine des besoins du système. En ce sens, la définition d'indicateurs de performance nécessite une gestion transparente du réseau et une claire identification de ses contraintes.

4.2.2.2. La nécessité d'un cadre législatif pour une régulation efficace

On voit déjà poindre dans cette description les difficultés du travail de régulateur en matière d'accès aux informations, de définition des indicateurs, etc. Pour autant, l'étude de la mise en application de cette politique montre que l'un des premiers obstacles à franchir relève du domaine législatif. Si on

prend le cas du secteur de l'électricité en France, George (2014), montre que cette méthode est déjà appliquée depuis 2011 alors même qu'elle n'est qu'à un état d'hypothèse dans le ferroviaire. Cette avance tient à l'ordonnance n°2011-504 du 9 mai 2011 qui précise dans le code de l'énergie la méthode de régulation de la Commission de Régulation de l'Energie (CRE) de la manière suivante :

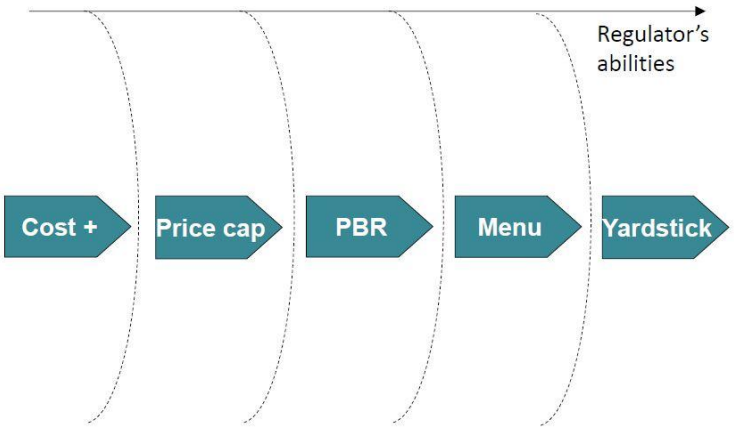
- *« Les méthodologies utilisées pour établir les tarifs d'utilisation des réseaux publics de transport et de distribution d'électricité sont fixés par la CRE » (George, 2014, p7.)* ;
- *« Elle peut prévoir un encadrement pluriannuel d'évolution des tarifs et des mesures incitatives appropriées, tant à court terme qu'à long terme, pour encourager les gestionnaires de réseaux à améliorer leurs performances, notamment en ce qui concerne la qualité de l'électricité, à favoriser l'intégration du marché intérieur de l'électricité et la sécurité de l'approvisionnement et la recherche des efforts de productivité » (George, 2014, p7.).*

En comparaison avec les orientations législatives données à l'ARAF (*cf.* section 4.2.3.2.), on comprend aisément l'avance prise dans le secteur de l'électricité. Les termes « d'incitation », de « performance » et de « productivité » sont clairement inscrits dans le texte et ouvrent la voie à une mise en application directe de la régulation incitative.

4.2.2.3. Des outils multiples à différents niveaux d'efficacité

Une politique de régulation incitative se compose de plusieurs outils à niveaux d'efficacité variables. Rious (2014) note que le niveau d'efficacité dépend de la qualité de l'information à disposition du régulateur et de sa connaissance des méthodes de production de l'entreprise régulée. Il propose une hiérarchisation de ces outils.

Figure 53 : Hiérarchisation des différents outils de régulation incitative selon les compétences du régulateur



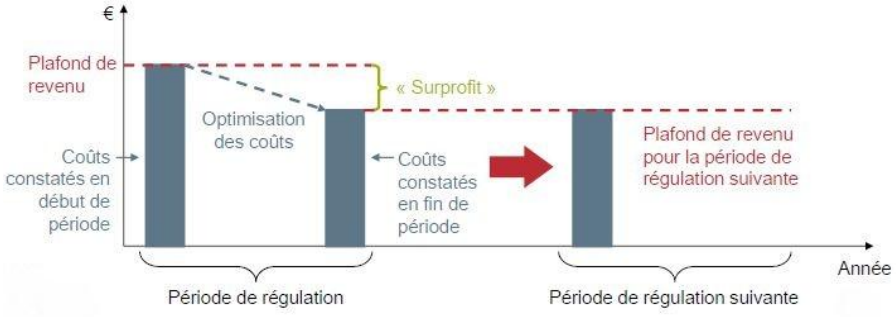
Source : Rious, 2014

Cinq types de stratégies sont mises en évidence. Elles s'échelonnent selon leur niveau d'efficacité et les compétences du régulateur.

La stratégie du « cost + » consiste pour le régulateur à contrôler les dépenses de l'entreprise par rapport à ses revenus. L'objectif donné est d'équilibrer son revenu marginal à son coût marginal de production. Cet outil est considéré comme le premier degré de régulation.

Le « price cap » est le mode de régulation le plus répandu en raison de son rapport intéressant entre efficacité et simplicité de mise en place. Il consiste à fixer un plafond de revenu ce qui contraint l'entreprise à optimiser l'utilisation de ses ressources (optimisation des coûts). Les plafonds sont fixés d'une période sur l'autre mais présupposent de la part du régulateur une bonne connaissance de la fonction de production de l'entreprise.

Figure 54 : Schéma du système de price cap



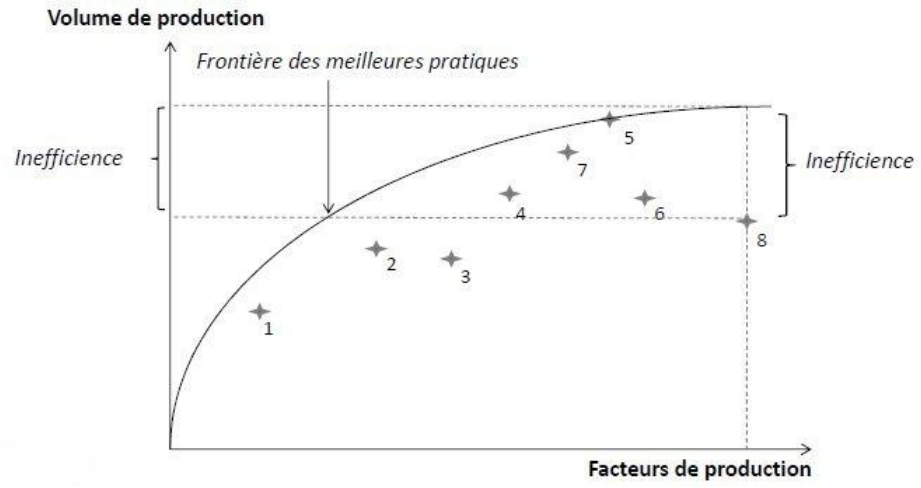
Source : George, 2014

Le « PBR » (performance-based regulation) évalue la performance de l'entreprise à partir de ses résultats. Il fixe les taux d'évolution tarifaire en tenant compte de l'inflation et des gains de productivité. Autrement dit, cet outil suppose pour le régulateur une bonne connaissance de la fonction tarifaire de l'entreprise pour identifier la part due aux gains de productivité. Ces gains ont pour but de bénéficier directement au client final.

Le « menu » consiste à proposer plusieurs types de contrat de régulation à l'entreprise. Il s'inscrit en synthèse du price cap et du PBR en fixant des plafonds de revenus et en déterminant l'évolution de la tarification.

Enfin, le « yardstick » est réputé être l'outil de régulation le plus efficace. Il repose sur la méthode des frontières et vise à identifier à travers un panel de plusieurs entreprises similaires les meilleures pratiques (benchmark).

Figure 55 : Schématisation de la méthode des frontières



Source : Amaral, 2014

En dépit de son efficacité, cet outil présente de nombreuses difficultés d'application dont la collecte de données et le choix des critères de comparaison (Amaral, 2014). Il suppose en premier lieu de lever l'asymétrie d'information entre l'entreprise régulée et le régulateur. En second lieu, il implique un échange des données entre régulateurs. Enfin, il nécessite une harmonisation des critères de performance entre les différents réseaux.

On note que la coopération européenne, encouragée par la directive 2001/14/CE et renforcée par la directive 2012/34/UE, entre régulateurs est un élément propice à la mise en place de cette méthode. Deux réseaux de régulateurs sont actifs en 2014.

Le ENRRB (European Network Rail Regulatory Bodies) a été créé suite à la directive 2001/14/CE par la Commission européenne pour encourager les organismes à échanger des informations sur leur travail et pratiques décisionnelles.

Le IRG-Rail (Independant Regulator's Group – Rail) a été créé en 2011 et regroupe 25 membres européens. Ses objectifs sont plus orientés vers les méthodes de régulation que le ENRRB afin *« d'assurer une régulation fiable et cohérente à travers l'Europe »* (ARAF, 2014).

Ces deux structures peuvent constituer une base solide pour la définition progressive de critères communs de régulation.

Pour autant, Amaral (2014) rappelle que l'application de la méthode des frontières reste compliquée. Il prend l'exemple du secteur de l'eau en Grande-Bretagne selon les travaux de Lannier (2010). Pour rappel, le secteur a été privatisé en 2010 et une régulation de type « menu » a été mise en place avec une révision tarifaire tous les 5 ans. Une méthode économétrique de frontière a été utilisée pour identifier les meilleures pratiques. A cette fin, les données de 22 opérateurs ont été mobilisées entre 2002 et 2008. Les résultats révèlent une grande instabilité dans le classement des opérateurs selon les paramètres choisis. La plus grande hétérogénéité est observée avec l'introduction de paramètres de qualité. Dans le cas extrême, un opérateur est classé 1er et 19ème en termes de qualité de service selon le paramètre retenu.

Cet exemple montre la difficulté de définir de manière objective la performance et de comparer des réseaux territorialisés (contraintes spécifiques entre eux).

On propose dans un dernier point d'étudier les possibilités d'application dans le secteur ferroviaire de ces outils de régulation. On verra en particulier que le principal obstacle reste d'ordre législatif.

4.2.3. Le cas particulier de la régulation ferroviaire : patience et apprentissage

4.2.3.1. De nombreux obstacles intrinsèques à l'organisation du système

Dans le cas du ferroviaire, ces outils et méthodes de régulation semblent encore difficiles à appliquer.

En premier lieu, la régulation incitative nécessite de remplir deux conditions pour être efficace : disposer d'une information parfaite et de compétences étendues pour le régulateur. Dans les faits, ces conditions semblent aujourd'hui difficiles à réunir au niveau européen. La diversité des systèmes de gouvernance (séparée ou intégrée) et l'étendue du périmètre des gestionnaires d'infrastructure placent le régulateur dans un long processus d'apprentissage des structures de production et de tarification. Par ailleurs, les compétences attribuées aux régulateurs sont encore très variées d'un pays à l'autre ce qui ne contribue pas à réduire les asymétries d'information.

En second lieu, une définition harmonisée de la performance nécessite, *a priori*, une certaine homogénéité des réseaux et des services tant du point de vue économique que technique. Malgré les efforts réalisés au niveau européen, l'étude des réseaux et les différents points de cette thèse montrent que l'hétérogénéité des réseaux reste encore très forte en Europe. Construits selon une doctrine nationaliste (Luzeaux & Ruault, 2008), les chemins de fer continuent de présenter une diversité très forte en matière de normes techniques et de services de transport.

Dans ce dernier point, on propose de se focaliser sur la question du régulateur dans le droit européen et à travers un panel d'Etats membres (France, Allemagne, Grande-Bretagne et Suède). On considère que les obstacles liés à l'hétérogénéité en matière de gouvernance ou de structure du réseau européen ont déjà été traités dans les chapitres précédents (*cf.* Chapitre II et Chapitre III).

4.2.3.2. Le principe de régulation ferroviaire dans le droit européen

Le principe de régulation économique a été défini par le droit européen dans la directive 2001/14/CE. Le considérant 46 précise que *« la gestion efficace et l'utilisation équitable et non discriminatoire de l'infrastructure ferroviaire exigent la mise en place d'un organisme de réglementation »*. Cet organisme est chargé de *« surveiller l'application des règles communautaires et d'agir comme organisme de recours »*. Le terme « organisme de contrôle » (OC) et les bases de son fonctionnement sont précisés dans l'article 30 :

- Chaque Etat membre doit instituer un OC indépendant à l'égard des entités régulées (l'indépendance vis-à-vis du pouvoir politique n'est pas requise) ;

- L'OC peut être saisi par une entreprise pour traitement inéquitable, discrimination ou tout autre préjudice concernant le document de référence du réseau, la procédure de répartition des capacités, le système de tarification et le respect des normes de sécurité.

Dans cette définition, l'organisme de contrôle est cantonné au stade primaire de la régulation. Il a pour mission essentielle de contrôler l'application des directives européennes sans droit de regard direct sur les performances du monopole naturel.

La refonte de la directive 2001/14/CE dans la directive 2012/34/EU précise le statut et le rôle de l'OC :

- L'OC doit désormais être autonome juridiquement[21] et indépendant de toute autorité publique pour éviter les conflits d'intérêt (art.55) ;
- Deux types d'approche sont reconnues : l'approche sectorielle (un régulateur pour un secteur) et l'approche multisectorielle (un régulateur pour plusieurs secteurs) (art. 55);
- Les compétences de l'organisme sont étendues au contrôle de l'accès aux services (type gare) et à leur tarification (art.56) ;
- L'organisme est habilité à surveiller la concurrence sur le marché, à intervenir de sa propre initiative et à établir des sanctions sans contrôle d'autres instances administratives (art.56).

La possibilité d'une autosaisine pour l'organisme de contrôle sur ses principales fonctions de contrôle modifie largement son rôle dans la gouvernance ferroviaire. Il devient acteur du système et obtient un droit de regard sur le fonctionnement du gestionnaire d'infrastructure en matière de tarification (niveau et structure des redevances) et de répartition des capacités. Cette évolution rapproche l'organisme de contrôle d'une régulation économique mais ne lui permet pas de développer une politique élaborée. Elle peut tout au plus mettre en place une stratégie de « cost + » à partir du suivi de la tarification.

Pour finir, la directive 2013/0029 (COD) du quatrième paquet ferroviaire, en cours de débat, consolide l'organisme de contrôle sans pour autant confirmer sa fonction de régulateur économique du secteur ferroviaire :

- Article 7 *bis* (ajout) : contrôle par l'organisme de contrôle de la séparation entre gestionnaire d'infrastructure et exploitant dans les entreprises verticalement intégrées (détail des relations commerciales et financières) ;
- Article 7 *quinquies* (ajout) : pouvoir d'opposition de la part de l'organisme de contrôle à la nomination ou à la révocation d'un membre du conseil d'administration du GI en cas de doute sur l'indépendance professionnelle de la personne désignée ;
- Article 7 *quinquies* (ajout) : l'OC a un poste d'observateur dans le comité de coordination du réseau ;

[21] Soumis à contrôle juridictionnel

- Article 11 : l'OC doit déterminer si l'équilibre économique d'un contrat de service public est respecté dans le cadre de la mise en place d'un nouveau service de transport de voyageurs.

L'évolution du droit européen met en évidence la recherche d'une plus grande efficacité dans l'action des organismes de contrôle selon deux axes :

- Une régulation indépendante de l'autorité politique et des entités ou entreprises régulées ;
- Une régulation aux compétences étendues dotée d'un pouvoir de sanction indépendant.

Pour autant, le droit européen ne consacre pas l'organisme de contrôle en tant que régulateur économique dans la mesure où les objectifs de performance continuent d'être fixés par le politique (contrats de performance). On préfère alors parler d'une régulation de type administrative fondée sur le contrôle du respect des règles.

4.2.3.3. L'application du droit européen : deux écoles

On propose de s'intéresser maintenant à l'application de ce droit en Europe (Bouf, Crozet & Lévêque, 2005 ; Parlement européen, 2011). Quatre Etats membres (France, Allemagne, Suède et Grande-Bretagne) sont retenus pour les différents modèles qu'ils proposent. Deux logiques sont identifiées. L'une est issue du droit européen (France, Allemagne). Elle promeut un organisme de contrôle limité en termes de régulation. L'autre est issue du marché où l'organisme de contrôle assure un contrôle global sur les performances du secteur (Grande-Bretagne, Suède).

Une approche de type administrative : France – Allemagne

En France, la mission de l'ARAF (établie par la loi n°2009-1503) est de garantir la non-discrimination dans l'accès au réseau et la cohérence économique du secteur selon ses contraintes (ARAF, 2014). Elle est indépendante institutionnellement et autonome juridiquement. Elle dispose de financements propres, d'un droit de sanction et du droit de « pouvoir réglementaire supplétif » qu'elle exerce conjointement avec le ministre chargé des transports. Ce pouvoir consiste à préciser, sur approbation du ministère, les règles dans le cadre de ses missions. Ses compétences dépassent le droit européen dans la mesure où elle dispose d'un avis conforme (à caractère obligatoire) sur les redevances d'infrastructure[22]. Ce droit de veto lui permet d'annoncer sur son site web qu'elle garantit *« la cohérence économique du secteur selon ses contraintes »*. Pour autant, ce pouvoir ne lui permet d'exercer que de manière détournée une régulation économique sur le gestionnaire d'infrastructure. Dans les faits, l'essentiel des pouvoirs en matière de définition et de contrôle des objectifs de performance reste la prérogative de l'Etat.

La réforme ferroviaire en cours d'adoption devrait élargir les compétences de l'ARAF et renforcer son pouvoir en matière de régulation économique. Il est prévu de lui donner la charge de contrôler les flux

[22] Ne concerne pas les droits d'accès aux gares soumis à un avis motivé.

financiers entre GI et EF (Art. L. 2133-4), de donner un avis motivé sur le projet de budget de SNCF Réseau au regard de la trajectoire financière définie par le contrat entre SNCF Réseau et l'Etat (Art. L. 2133-5-1) et un avis motivé sur les montants financiers apportés à SNCF Réseau pour chaque projet d'investissement supérieur au seuil fixé par décret (Art. L. 2133-8-1).

En Allemagne, la mission de l'Agence Fédérale des Réseaux (Bundesnetzagentur) est de garantir la non-discrimination dans l'accès au réseau et de surveiller la concurrence. Elle est autonome juridiquement et institutionnellement mais dépend du ministère fédéral de l'économie et de la technologie (Walther, 2012). Elle régule à la fois les secteurs de l'énergie, des télécommunications et de la Poste (multisectorielle). Son budget est voté dans le budget fédéral et ses décisions sont portées devant une cour de justice.

Ses compétences sont en accord avec la base du droit européen. D'une part, elle contrôle le montant et la structure des redevances liées à l'usage de l'infrastructure et des services associés. D'autre part, elle assure la non-discrimination dans l'accès aux infrastructures ferroviaires et aux services associés. Enfin, elle peut contrôler le marché de manière ex ante ou ex post à partir d'une plainte ou de sa propre initiative. La surveillance de la concurrence est garantie par cette possibilité d'autosaisine. Elle s'effectue sur la définition des contrats entre acteurs et le niveau des prix. Néanmoins, comme dans le cas de la France, l'Etat conserve l'essentiel des pouvoirs en matière de définition et de contrôle des objectifs de performance pour le secteur.

Par conséquent, le terme européen d'organisme de contrôle est plus approprié à celui de régulateur dans ces deux cas. La principale mission des organismes, en accord avec le droit européen, est effectivement de garantir l'application non-discriminatoire des règles, notamment dans l'accès au réseau. La régulation reste essentiellement un pouvoir de l'Etat et se trouve traitée de manière administrative. Les cas anglais et suédois se démarquent fortement de ce modèle.

Une approche de type marché : Grande-Bretagne – Suède

Le modèle de régulation anglais se caractérise par une approche sectorielle étendue et indépendante. L'ORR est défini selon le Railways and Transport Safety Act de 2003. Il remplace le Rail Regulator créé dès 1993 (Railways Act, 1993) lors de la libéralisation du secteur. Sa mission est de garantir la performance des services ferroviaires, protéger l'intérêt des usagers, veiller à la sécurité du réseau et du personnel et promouvoir le transport de passagers et de fret en Grande-Bretagne. Cette régulation est garantie par son indépendance juridique et institutionnelle. Il dispose en effet de financements propres et importants garantissant, dans la doctrine anglaise, son efficacité et son indépendance vis-à-vis des autorités publiques (Perroud, 2012).

En conséquence, ses compétences dépassent le strict cadre européen. Il a notamment la responsabilité du suivi de la performance du gestionnaire d'infrastructure (Railways Act, 1993), le pouvoir de faire évoluer la réglementation et un avis conforme en matière de tarification des droits d'accès au réseau mais aussi aux gares et aux ateliers de maintenance légère (Railways Act, 1993). Par ailleurs, ses responsabilités en matière de sécurité ferroviaire lui confèrent la gestion des licences d'exploitation (Railways Act, 1993) et la surveillance de la sécurité ferroviaire (Railways Act, 2005).

Le contrôle de la performance se fonde sur trois types d'indicateurs :

- Trafic passagers et fret (trains.km) ;
- Mesure de la ponctualité – satisfaction des passagers (qualité de service) ;
- Nombre d'accidents sur le réseau (sécurité).

Selon un modèle similaire, la Suède a mis en place l'agence de régulation ferroviaire suédoise (Transportstyrelsen). Au-delà du cas britannique, elle présente la particularité en Europe de réguler l'ensemble des modes de transport (aérien, routier, ferroviaire et maritime). Elle est fonctionnelle depuis 2009 et remplace les anciennes agences propres à chacun des modes[23]. Sa mission est de veiller à l'efficacité du système de transport en termes d'accès au réseau, de réglementation, de sécurité et de respect environnemental. Elle est indépendante institutionnellement et juridiquement. Elle est financée à 13% par subvention[24] pour ses fonctions de régulateur et à 87% par les droits de licence pour ses fonctions techniques (sécurité, émissions de licence, etc.). Son budget en 2010 s'élevait à 282 M d'euros et se répartit entre cinq pôles[25].

Ses compétences, dans le cadre ferroviaire, dépassent le strict cadre européen. Elle est dotée d'un vrai pouvoir de régulation économique et technique grâce à ses fonctions de régulation des conditions d'accès au réseau (et tarification) et de suivi des objectifs de performance pour le marché (concentration du marché, demande en mobilité, etc.) et le gestionnaire d'infrastructure. Ces objectifs concernent le niveau de concurrence sur le marché, la qualité de service et les résultats économiques du gestionnaire d'infrastructure. Des indicateurs de sécurité et de sûreté du réseau sont également définis, l'agence étant en charge de la sécurité du réseau et de la gestion des licences d'exploitation.

La Suède peut être considérée avec l'exemple anglais comme l'un des modèles de régulation ferroviaire les plus abouti en Europe. Sa fonction de régulation intégrée et étendue à l'ensemble des modes de transport lui confère une approche multimodale qui présente de nombreuses vertus dont la mutualisation des ressources, l'enrichissement des compétences et la valorisation des synergies du système transport (approche systémique). D'autre part, le contrôle des performances du gestionnaire d'infrastructure en parallèle du suivi du marché ferroviaire permet d'assurer une évolution coordonnée du système, au plus près des réalités économiques.

[23] Dans le cas du ferroviaire, elle remplace l'agence ferroviaire suédoise instituée en 2004 qui avait pour mission de veiller à la non-discrimination dans l'accès au réseau. Cette agence était une mise aux normes du régulateur suédois fondé au début des années 90 selon le droit européen (2001/14/CE). Cet « ancêtre » de la régulation ferroviaire (Inspection ferroviaire suédoise) était rattaché au gestionnaire d'infrastructure en contradiction avec l'évolution du droit européen.

[24] Soumis à approbation du parlement et du gouvernement

[25] (i) aviation civile et maritime (réglementation, licences, sécurité et sûreté du système), (ii) permis de conduire (contrôle et gestion des permis), (iii) ferroviaire et routier[25] (réglementation, licences, sécurité et sûreté du système), (iv) taxes et redevances (collecte des taxes et redevances liées au transport), (v) registre des transports (gestion des données et certificats liés aux transports)

Tableau 17 : Comparaison des organismes de contrôle ferroviaires

	France	Allemagne	Royaume-Uni	Suède
Nom	Autorité de régulation des activités ferroviaires (ARAF)	Bundesnetzagentur (BNetzA)	Office of Rail Regulation (ORR)	Transportstyrelsen (TS)
Date de création	2003 Réforme 2009	1994 Réforme 2006	1993 Réforme 2005	1988 Réforme 2004 et 2009
Employés	35	2700 *(répartis en 88 services dont 5 au ferroviaire)*	111 (271)	1600 *(répartis en 8 composantes groupées en 5 pôles)*
Financement et source	11M€ (0€ en 2014) Taxe prélevée directement sur le secteur	181M€ Attribué par l'Etat fédéral selon taxes prélevées sur le secteur	16 M€ (37M€) Licences et taxes de sécurité	282M€ Dont 13% attribués par l'Etat et 87% prélevés sur licences et taxes
Type d'organisme et indépendance	Sectoriel Indépendant	Multisectoriel Autonome	Sectoriel Indépendant	Sectoriel Indépendant Multimodal
Mission	Contrôle l'accès au réseau et assure la cohérence économique du secteur selon ses contraintes	Assure la non-discrimination dans l'accès au réseau (et services liés) et les charges d'utilisation	Contrôle de l'accès au réseau, aux services et performance du GI Protection de l'usager (sécurité)	Contrôle de l'accès au réseau, aux services et performance du GI Protection de l'usager (sécurité)

Source : Crozet, Herrgott, Laroche, & Perennes, 2014

Cet aperçu des pratiques en Europe met donc en évidence deux approches. D'une part, on trouve dans les textes européens une définition restreinte de la régulation où elle se résume à un simple contrôle des règles établies par garantir la non-discrimination dans l'accès au réseau. D'autre part, on observe une régulation plus étendue et fondée sur la logique de marché où le régulateur se voit confié le suivi des performances générales du système et plus particulièrement du monopole naturel. La France se trouve dans une situation intermédiaire où la réforme ferroviaire en cours devrait renforcer les compétences de l'ARAF en matière de régulation économique.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que la plupart des organismes ont été réformés dans les années 2000 en conformité avec le droit européen. Leur structure actuelle est donc relativement jeune et connaît encore un processus d'apprentissage.

L'ensemble de ces points ne contribue pas à faciliter une régulation efficace et incitative du réseau selon la définition donnée par Rious (2014). On note en particulier trois enjeux à relever dans le ferroviaire : le processus d'apprentissage pour des organismes encore jeunes, l'extension de leurs compétences et la poursuite de l'harmonisation technique des réseaux européens par le travail de normalisation et de législation.

Conclusion

La définition d'indicateurs de performance ne garantit pas l'efficacité d'un monopole naturel. Il a été montré dans le premier point que les objectifs de performance peuvent être contradictoires entre eux ou mener à une sous-optimisation du réseau. L'efficacité du système peut être garantie par une politique de régulation incitative dont les grandes lignes ont été présentées dans la seconde section. Cependant, cette politique pose pour condition que les compétences du régulateur soient étendues et qu'il bénéficie d'une bonne connaissance des fonctions de production et de tarification du gestionnaire d'infrastructure. Le dernier point montre à travers un aperçu de différents régulateurs en Europe que ces conditions sont encore loin d'être réunies dans le cas du ferroviaire. D'une part, les régulateurs ont des pouvoirs très différents. D'autre part, ils sont encore très jeunes pour la plupart. Enfin, ils ont à réguler des réseaux qui fonctionnent dans la pratique de manière très différente malgré les efforts d'harmonisation de la Commission européenne.

C'est pourquoi on propose de fonder la régulation, dans le cas du ferroviaire, non pas sur l'ensemble d'un réseau mais sur l'étude d'infrastructures et de services particuliers. A titre d'exemple, la LGV Paris-Lyon peut être plus facilement modélisable et comparable avec d'autres lignes du même type en Europe que le modèle TGV dans son ensemble. Autrement dit, l'un des moyens de dépasser la subjectivité propre à la définition d'un réseau serait de privilégier l'étude et la comparaison de cas particuliers. Cette méthode serait particulièrement bien adaptée au ferroviaire où les différents réseaux européens présentent de fortes différences.

4.3. Projet de désaturation, quelle lecture du calcul économique ?

Le phénomène de congestion est de mieux en mieux pris en compte par l'évaluation économique. Le rapport Boiteux II (2001) met en évidence ce phénomène et recommande de l'intégrer dans le calcul économique sous la forme d'une perte de temps. Ainsi, tout projet améliorant la capacité d'une infrastructure se justifie par les gains de temps procurés. Si ce raisonnement est vrai pour le mode routier, le rapport Boiteux II note une divergence dans le cas des transports collectifs urbains guidés (métro ou tramway en site propre) où la congestion ne se traduit pas forcément par une perte de temps. La justification d'investissements en décongestion devient tout de suite plus difficile dans la mesure où elle ne procurerait pas de gains de temps. Par conséquent, il recommande de prendre en compte d'autres paramètres tels que l'inconfort ou la fiabilité du temps de transport.

Ces recommandations ont été reprises et développées par le rapport Quinet (2013). Il propose de traduire leurs effets en « équivalent temps de parcours » dans le calcul économique. L'application d'un tel raisonnement aux transports en commun urbains paraît appropriée. Néanmoins, elle interroge dans le cas des transports interurbains type TGV où la réservation obligatoire supprime la situation d'inconfort et où l'irrégularité peut être *a priori* mieux gérée (gestion des flux de personne sur les quais, etc.). L'étude de cas du POCL fait alors basculer le calcul économique du côté de la performance de l'infrastructure dans son usage. Car si les questions de saturation relèvent habituellement de la stratégie de l'entreprise, il en va autrement quand elles conduisent la puissance publique à investir massivement dans une ligne nouvelle où aménagement du territoire et performance se mêlent. Ce cas représente une exception qui vient réinterroger le calcul économique puisqu'au-delà d'une nouvelle infrastructure, c'est la performance du système existant qui est en cause.

Dans une première section, nous reviendrons sur le principe du calcul économique notamment pour montrer qu'au-delà du temps il repose également sur le prix du transport. Puis nous montrerons à travers la notion de vitesse généralisée que la performance d'un système (prix) peut conduire à relativiser fortement la notion de gain de temps. Enfin, nous proposerons une analyse critique du projet POCL où les contradictions entre analyse économique classique et question de performance seront mises en évidence.

4.3.1. Gain de temps et variation des prix dans le calcul économique

4.3.1.1. Bref rappel des principes du calcul économique

Le calcul économique représente le fondement en France de l'évaluation économique des grands projets d'investissement. Il permet de réaliser une analyse coût-bénéfice des projets et de chacune de leurs variantes pour ensuite comparer leurs effets par rapport à une situation de référence. Cette

analyse repose sur le rapport entre investissement initial (I), coût d'entretien (C) et recettes (R) sur l'ensemble de sa durée de vie.

Les sommes sont actualisées (α) de manière à tenir compte de la préférence pour le futur ou le présent des acteurs impliqués. On parle donc de valeur actualisée nette (VAN) pour la mesure de l'utilité du projet et de taux de rendement interne (TRI) pour le taux d'actualisation qui ramène la VAN à 0. En d'autres termes, le taux d'actualisation lié au TRI indique le taux de rentabilité du projet.

$$VAN = \sum_{j=t_p-t_r}^{j=t_n-t_r} \frac{-\Delta I_{j+t_r} + \Delta R_{j+t_r} - \Delta C_{j+t_r}}{(1+\alpha)^j}$$

Dans le cas d'infrastructures majeures, un paramètre (A) à valeur sociale peut être ajouté. Il représente la somme des avantages et inconvénients liés au projet et pour lesquels il n'existe pas de contrepartie monétaire directe (gain ou pertes de temps, accroissement ou réduction des nuisances, etc.). On parle alors du bénéfice net actualisé (BNA).

$$BNA = \sum_{j=t_p-t_r}^{j=t_n-t_r} \frac{-\Delta I_{j+t_r} + \Delta R_{j+t_r} - \Delta C_{j+t_r} + \Delta A_{j+t_r}}{(1+\alpha)^j}$$

Le rapport Quinet (2013) précise que l'évaluation économique tient compte des éléments suivants :

- Pour l'investissement : le coût de construction ;
- Pour les recettes (R) : la tarification de l'infrastructure nouvelle, la croissance des trafics et la date optimale de mise en service ;
- Pour les coûts (C) : les coûts de maintenance et de renouvellement de l'infrastructure ;
- Pour les avantages (A) : les gains de temps et paramètres associés (confort, fiabilité, etc.), l'effet sur les revenus des acteurs du projet et les effets externes positifs ou négatifs (nuisance, pollution, emploi, répartition spatiale des activités, etc.).

Chacune de ces évaluations est soumise à une analyse des risques liés au projet (VAN espérée selon le rapport Gollier, 2011) et fait l'objet d'une pondération par le coefficient d'opportunité des fonds publics (Rapport Lebègue, 2005) dans le cas où de l'argent public est mobilisé pour l'investissement.

Par conséquent, cette présentation succincte nous apprend que le calcul économique dans ses multiples variantes porte avant tout sur l'évaluation d'un investissement en infrastructure. On note en particulier qu'il ne tient pas directement compte de l'usage de l'infrastructure.

4.3.1.2. Le calcul du paramètre avantages (A) : coût généralisé

L'usage de l'infrastructure est indirectement traduit par la monétarisation des gains de temps dans le paramètre avantages (A). La définition de ces gains repose sur l'évaluation de l'utilité que les usagers dégagent de la nouvelle infrastructure. Le calcul de cette utilité repose sur la notion de coût généralisé.

Le coût généralisé tient compte de la valeur temps (Vt) des usagers pondérée par le temps de déplacement (T) offert par le service plus le prix à payer pour utiliser le service (P).

$$Cg = Vt \times T + P$$

Cette formule est particulièrement utilisée pour modéliser l'affectation des trafics selon la performance en temps et en coût des différentes options modales. En d'autres termes, l'utilité d'un projet d'infrastructure pour l'usager est évaluée selon le temps gagné mais aussi le prix du service offert. Quinet (2013) montre que la valeur du temps reflète la préférence à payer des usagers. On retrouve ici la notion de surplus présentée dans le Chapitre II qui permet d'exprimer le comportement du consommateur selon la variation du temps de parcours, de son revenu ou du prix.

L'importance des facteurs varie en fonction des situations. On propose ici de s'intéresser aux projets ferroviaires de type LGV.

Traditionnellement, la création d'une nouvelle liaison LGV apporte des gains de temps importants notamment grâce à une amélioration des temps de parcours. Le surplus de l'usager tend ainsi à s'accroître en fonction du temps gagné. Si en plus, la situation économique est favorable à la croissance, le facteur prix devient négligeable.

A contrario, le cas de la saturation de la LGV Paris-Lyon tend à remettre en cause cette logique. En effet, il a été montré dans le Chapitre II que la saturation d'une infrastructure ferroviaire n'induit pas forcément une dégradation des temps de parcours ou de la régularité. Ces paramètres dépendent plutôt de la performance globale du système. Ainsi dans le cas d'un projet de désaturation, le facteur prix devient essentiel alors même que le facteur temps reste constant. Ce facteur est d'autant plus important en situation de crise économique dans la mesure où le niveau de richesses tend à se contracter.

Privilégier le prix d'usage de l'infrastructure plutôt que le temps, cette situation est plutôt rare comme le souligne le rapport Quinet (2013) : *« la situation la plus fréquente est que l'investissement change non seulement le prix mais aussi le temps de trajet »* (p57). RFF (2013b) estime que pour les projets grandes lignes, les effets de gains de temps représentent 65% à 110% du surplus des usagers avec une moyenne de 90%. En d'autres termes, la question du prix du service est rarement posée alors même qu'elle peut être un facteur essentiel de succès pour le projet.

Fort de cette démonstration, on propose dans la section 4.3.2. de s'intéresser à la signification de ce prix et à son impact sur la valeur de la vitesse à travers la notion de vitesse généralisée.

4.3.2. La vitesse à l'épreuve de son prix, le concept de vitesse généralisée

Le concept de vitesse généralisée mesure l'écart entre la vitesse réelle d'un mode de transport et l'utilité que peut en retirer un usager (vitesse généralisée). Elle est définie par le rapport entre revenu des usagers et prix du service de transport. L'intérêt d'un tel concept est de mettre en évidence l'impact du prix sur les gains de temps que l'on peut retirer de la vitesse.

4.3.2.1. Un rapport entre revenu des usagers et coût de la vitesse

Ce point s'appuie sur l'article de Héran (2009) et celui de Crozet & Château (2014). Ces deux auteurs rappellent que ce concept a été développé par Illich (1973) et Dupuy (1975) dans la perspective d'une

approche critique de la vitesse. Alors même que les axes de recherche dans le domaine des transports portaient à l'époque sur l'accroissement de la vitesse à travers des projets phares comme le TGV, le concorde ou l'extension du réseau autoroutier, Illich a montré, dans la droite ligne des thématiques du Club de Rome, qu'il existait des seuils de vitesse dont le dépassement pouvait s'avérer être contre-productif. Etablissant un lien entre consommation énergétique, vitesse, usage du temps et inégalités sociales, il considère qu'il y a un risque de désutilité de la vitesse résultant d'une consommation excessive de ressources rares (temps et énergie) par rapport au gain procuré par la vitesse :

> *« Passé un certain seuil (de vitesse), la production de l'industrie en transport coûte à la société plus de temps qu'elle lui en épargne » (Illich, 1973, in Crozet & Château, 2014, p8).*

Ce déséquilibre contribue à un gaspillage et à une augmentation des inégalités entre une minorité bénéficiaire et la majorité déficitaire.

Dupuy (1975) illustre ce déséquilibre à travers l'exemple de la voiture, alors symbole de la vitesse accessible à tous dans les années 70 :

> *« On estime toutes les dépenses annuelles liées à la possession et à l'usage d'une automobile [...]. Ces dépenses sont converties en temps, en les divisant par le revenu horaire : ce temps est donc le temps qu'il faut passer à travailler pour obtenir les ressources nécessaires à l'acquisition et à l'utilisation de sa voiture. On l'additionne au temps passé effectivement à se déplacer. Ce dernier est estimé à partir du kilométrage annuel moyen, de la répartition de celui-ci en types de déplacements [...], du croisement de cette répartition avec une répartition selon des types de vitesses [...] et d'une estimation de ces vitesses. On ajoute, enfin, pour mémoire, les autres temps liés à l'utilisation de la voiture : temps passé personnellement à l'entretien, temps perdu dans les bouchons, temps passé à l'achat d'essence et d'accessoires divers, temps passé à l'hôpital, temps perdu dans des incidents, etc. Le temps global ainsi obtenu, mis en rapport avec le kilométrage annuel, permet d'obtenir la vitesse généralisée cherchée » (in Héran, 2009, p451).*

Son raisonnement induit qu'en deçà d'un certain salaire horaire, le temps passé à travailler ou à s'occuper du véhicule pour un individu est supérieur au gain perçu grâce à l'automobile. Illich montre ainsi que la vitesse réelle d'une automobile peut être égale ou inférieure à celle d'une bicyclette dans le cas d'un déséquilibre trop important entre temps de travail et temps de déplacement (Héran, 2009).

Héran (2009) note que cette critique de la vitesse a été peu entendue par les politiques publiques de l'époque, restant du domaine des milieux alternatifs. Pourtant, le concept de vitesse généralisée offre de nombreuses applications possibles dans l'évaluation des services de transport et mérite toute sa place aux côtés du concept plus connu de coût généralisé (Héran, 2009 ; Crozet & Château, 2014).

D'un point de vue formel, la notion de « vitesse généralisée » (Vg) exprime la relation entre la vitesse moyenne (v), la valeur du temps exprimée par le salaire horaire (w) et le prix payé par l'usager exprimé par le coût kilométrique du service pour l'usager (k). Crozet & Château (2014) notent que lorsque v tend vers l'infini, la vitesse généralisée varie comme le rapport entre k et w. L'équation s'écrit de la manière suivante (Héran, 2009) :

$$Vg = \frac{1}{\frac{1}{v} + \frac{k}{w}}$$

A partir de cette formule, Illich et Dupuy ont mis en évidence les limites sociales de la vitesse. On propose ici de s'intéresser à la variabilité de cette limite selon le coût de production de la vitesse. Héran (2009) précise que *« la vitesse généralisée évolue en fonction inverse du coût kilométrique ou coût d'usage du véhicule »* et ajoute que *« quand le prix réel des véhicules, des services automobiles ou des carburants décroît, la vitesse généralisée augmente et tout le monde en profite »* (p457). Autrement dit, au-delà des gains représentés par une plus grande vitesse, un gain collectif peut être perçu selon l'évolution de son coût. En ce sens, Crozet & Château (2014) montrent que si en vitesse absolue le Concorde était effectivement à la pointe parmi les modes de transport, sa vitesse relative (rapportée au prix du billet) était en 2000 de l'ordre de 6km/h pour un smicard soit *« guère plus que la marche à pied »*.

On propose d'appliquer cette notion aux services de transports de voyageurs disponibles sur l'axe Paris-Lyon. Pour ce faire, on distingue deux modes (routier et ferroviaire) ainsi que différents types de service aux tarifications différentes.

4.3.2.2. Application au cas de l'axe Paris-Lyon

Dans le cas du ferroviaire, on retient le service de type TGV que l'on décline selon trois tarifications différentes : 2nde classe, 2nde classe à tarif jeune et prem's (équivalent Ouigo). Dans le cas du routier, on retient trois types de services que sont le trajet classique en automobile, le covoiturage et le bus (type IDbus).

Tableau 18 : Hypothèses retenues pour le calcul de la vitesse généralisée

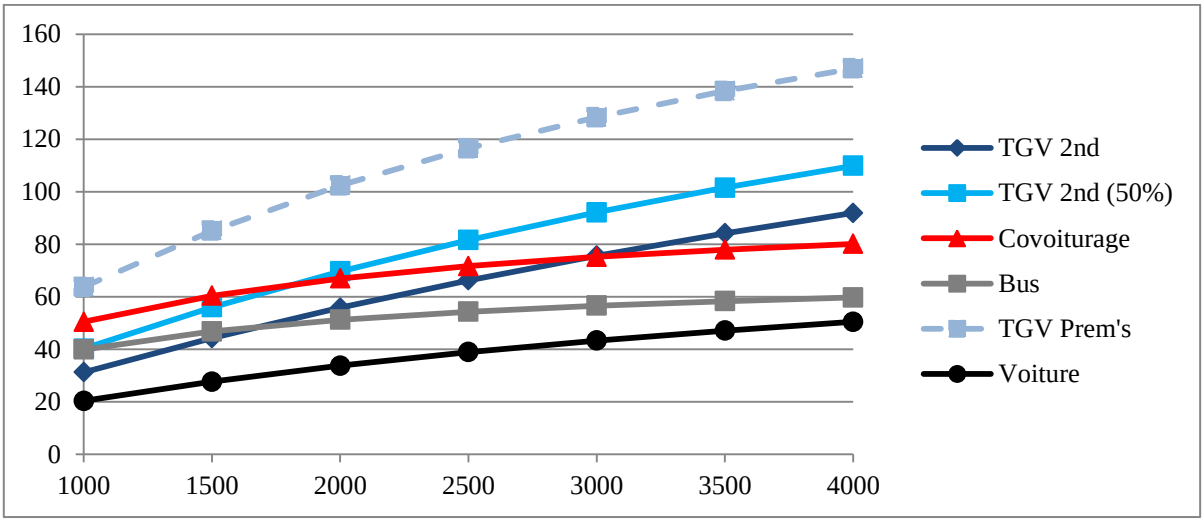
	TGV 2nde	**TGV 2nde (50%)**	**TGV Prem's**	**Voiture**	**Covoiturage**	**Bus**
Distance (km)	512	512	512	465	465	465
Temps (min)	118	118	118	280	280	390
Vitesse (km/h)	260	260	260	99	99	71
Prix (€)	95	71	40	120	30	34
Coût kilométrique (€/km)	0,18	0,14	0,08	0,26	0,06	0,07

Commentaires :
La distance et le temps de parcours retenus sont calculés de la gare de Lyon à la gare Part Dieu pour le train comme pour la voiture (données selon Google Maps).
Le prix du train est défini pour une période de pointe du vendredi soir (réservation trois mois à l'avance).
L'option « prem's » est à mettre entre parenthèse dans la mesure où il n'y avait pas d'offre pour la date test.
Les prix indiqués pour la voiture sont issus du prix moyen référencé sur le site de covoiturage « blablacar » pour un déplacement le vendredi soir à partir de 17h entre Paris et Lyon (réservation une semaine à l'avance).
Le prix et le temps de déplacement en bus sont issus de l'offre « IDbus » développée par la SNCF pour un trajet le vendredi soir de Paris vers Lyon à partir de 16h45 (réservation deux mois à l'avance).

Source : Auteur

L'objectif de cet exercice est de jouer avec les limites sociales de la vitesse et de montrer qu'au-delà de la tarification, une amélioration des performances (équivalent prix) peut modifier la pertinence d'un service.

Figure 56 : Vitesse généralisée par type de service et selon le revenu net en euro en 2014



Source : Auteur

On lit en abscisse la vitesse généralisée pour chacun des services et en ordonné le niveau de revenu net perçu par les individus. Deux constats peuvent être dressés.

En premier lieu, on note une forte divergence entre la vitesse absolue de chacun des services et leur vitesse généralisée. Elle peut être interprétée comme leur capacité à offrir de la vitesse selon la disposition à payer des usagers. Ainsi, pour un revenu net de 1500 euros par mois, l'écart maximal constaté est de 1 à 6 pour le TGV contre seulement 1 à 3,5 pour la voiture. Ce résultat paraît contre-intuitif et montre que la voiture a certainement atteint un niveau de performance supérieur au TGV sur l'axe Paris-Lyon.

En second lieu, on observe des effets de seuil. Dans ce cas, la corrélation classique entre niveau de richesse et demande en vitesse paraît respectée (théorie des surplus). Hors option prem's, la solution du covoiturage est la plus pertinente jusqu'à un revenu de 2000 euros dans le cas d'individus bénéficiant d'une carte de réduction à 50% pour le train (-27 ans et plus de 60 ans). Le revenu moyen étant en 2014 en France de 1899 euros net, la solution covoiturage semble être une solution d'avenir pour les déplacements interurbains. Sans aller jusque-là, le second seuil entre le train (2nde classe sans réduction) et le covoiturage se situant à un revenu de 3000 euros net par mois, on comprend néanmoins le succès de cette solution auprès des jeunes.

Au regard de ces deux constats, l'écart observé dans chacun des modes entre les différents niveaux de services révèle des marges de progression possibles en termes de performance.

4.3.2.3. Regain en compétitivité de la route et marge de manœuvre pour le TGV

Le cas de la solution covoiturage pour le mode routier est révélateur. Alors que la voiture dans son utilisation classique paraît être résolument hors du champ de pertinence, la réorganisation du modèle de déplacement à travers le partage a permis de lui donner un nouveau souffle. Selon Blablacar (2014), le taux d'occupation moyen d'une voiture est de 1,7 personne dans la solution classique et de 2,8 personnes dans leur système. Par conséquent, au-delà du système de tarification, on peut parler ici d'un gain en performance réel fondé sur un système d'optimisation de l'usage de la voiture. Ce gain s'est traduit par une baisse du coût de déplacement et un relèvement de la vitesse généralisée, l'écart avec la vitesse absolue ayant été réduit de 3,5 à 1,6. Ainsi, contre toute attente, la voiture est en mesure de redevenir compétitive sur l'axe Paris-Lyon et ce en dépit d'un temps de parcours deux fois plus long que le TGV.

Le même raisonnement peut être appliqué aux services TGV. Il rejoint en partie le constat dressé dans le Chapitre III concernant les défauts de performance et la nécessité de faire évoluer le modèle. Au prix actuel de la seconde classe hors réduction, le seuil de pertinence du TGV est fixé à 3000 euros net par mois. L'écart entre vitesse généralisée et absolue est alors de 3,4. Si le coût de production était ramené au prix de la 2nde classe avec réduction, le seuil se situerait aux environs de 2000 euros net par mois, soit le salaire moyen en France. Mais le plus intéressant reste le cas du TGV prem's que l'on associe à la solution Ouigo dans le cas où sa structure tarifaire serait étendue à l'ensemble de l'offre TGV. Cette option est celle de la révolution du modèle TGV à la fois du point de vue de l'offre commerciale (augmentation du nombre de passagers par train) mais aussi de l'infrastructure avec la mise en place d'ERTMS 2 (augmentation du nombre de train). Sa mise en place se traduirait par un retour très compétitif du TGV sur l'axe Paris-Lyon et par un relèvement de sa vitesse généralisée de toute évidence bien plus efficace que la recherche de gains de temps supplémentaires.

Enfin, on remarque que l'offre de service bus paraît en anachronisme avec l'évolution globale du marché dans son rapport entre temps de parcours (6h30) et prix (34€). Cette situation peut expliquer le déficit enregistré par la filiale en 2013 de 16,6 millions d'euros pour un chiffre d'affaire de 2 millions (les Echos, 2013). Néanmoins, le respect des temps de conduite pour les conducteurs de bus peut représenter un élément pénalisant par rapport aux covoitureurs qui ne sont pas soumis à cette législation d'où une meilleure performance en termes de temps.

Il ne suffit donc pas de proposer de la vitesse pour offrir un service pertinent et attractif. La démonstration valide l'hypothèse de Crozet & Château (2014) dans le débat avec Poulit (2014). Ce n'est pas la vitesse qui fait le PIB mais le PIB qui détermine le besoin en vitesse. En d'autres termes, implémenter la grande vitesse revient à faire le pari que le développement économique à long terme sera suffisant pour supporter ses coûts induits et garantir son succès. Ce pari est d'autant plus fragile en période de crise où l'absence de croissance contribue mécaniquement à renforcer la pression sur les prix.

Par ailleurs, l'exemple du covoiturage ou de Ouigo montre que la baisse des coûts de transport reste encore possible à condition de repenser le fonctionnement du service et sa commercialisation. Cette démonstration s'inscrit en réponse à l'article de Bonnafous (1995) qui s'interrogeait sur les conditions d'une poursuite de la baisse séculaire des coûts de transport. Le modèle low-cost (notamment dans l'aérien) est une bonne illustration de la capacité de cette tendance à se poursuivre.

4.3.3. Valeur du temps et biais de perception : le cas du projet POCL

L'étude du projet POCL représente un cas de mise en pratique intéressant du double aspect, prix et temps. Officiellement désigné pour résorber le problème de saturation de la LGV Paris-Lyon, le facteur temps est une condition essentielle de succès pour le POCL dans la mesure où le report massif des trafics actuels ne pourra se réaliser que si le temps de trajet est au moins égal à celui de l'itinéraire classique. Des incitations tarifaires sur le coût d'accès à l'infrastructure ont également été envisagés (RFF, 2011a) mais le coût de construction estimé par la commission « Mobilité 21 » (2013) à 14Mds d'euros tend à reporter l'équilibre sur le facteur temps et les trafics qui en découlent.

4.3.3.1. A la recherche des gains de temps

A coût exceptionnel, trafics exceptionnels. Les trafics devraient représenter en 2025 47% du flux des voyageurs TGV total en 2010 (46,6 millions pour 98,5 millions de voyageurs en 2010). Ces perspectives ont été calculées sur la base de trois options de tracé (Ouest, Médian et Est) dont le temps de parcours repose sur un service direct entre Paris et Lyon sans arrêt. Les trafics sont segmentés selon leurs missions :

- Les trafics « radial » concernent les flux Paris – Sud-Est et représentent 64% des trafics à l'horizon 2025. On note que ces flux devraient être composés à 50% des missions vers le Languedoc-Roussillon, c'est-à-dire, des flux pour lesquels il ne peut pas y avoir perte de temps ;
- Les trafics « territoire » pour les relations entre Paris et les régions nouvellement desservies (Centre et l'Auvergne) pour lesquelles une desserte en chapelet constituera la meilleure solution.

Le tableau suivant montre d'ors et déjà l'ambivalence entre ces deux sources de trafic qui illustrent le double objectif du POCL et son paradoxe entre l'aménagement du territoire (desserte fine) et la désaturation de la LGV Paris-Lyon (effet tube).

Tableau 19 : Synthèse des projections de trafic à l'horizon 2025 pour les différents tracés du projet POCL en millions de voyageurs

	Ouest	**Médian**		**Est**
Radial	26,6	28,6	30,8	**31,2**
Territoire	**17,6**	17,5	15,8	15,1
Paris-Lyon (h)	1h54	1h45	1h46	**1h44**
Total	44,2	46,1	**46,6**	46,3

Source : RFF, 2011a

Dans cette optique, privilégier le temps de parcours revient à choisir la variante Est pour laquelle les trafics en radial sont les plus importants. C'est également cette option qui pourrait s'avérer être la plus rentable à la fois du point de vue de l'exploitant mais aussi du gestionnaire d'infrastructure (trains

rapides en batterie). A l'inverse, privilégier l'aménagement du territoire oriente le choix vers la variante Ouest où les flux « territoire » seraient les plus importants. Néanmoins, ce choix minimise les trafics en radial et le volume global de trafic avec un faible gain de temps sur l'axe Paris-Lyon par rapport à la situation existante. La solution optimale apparaît dans le scénario médian avec 46,6 millions de voyageurs et un temps de parcours de 1h46. Pour autant, il faut rappeler que l'hypothèse est fondée sur un parcours sans arrêt. Par conséquent, un choix devra être pris dans l'orientation de l'infrastructure. Au regard de son coût de construction et des besoins en trafic pour atteindre la rentabilité, il apparaît peu probable que les flux du territoire soient privilégiés, la valorisation du temps étant plus rentable sur le Paris-Marseille ou Paris-Lyon (plus forte capacité à payer).

La valorisation de l'irrégularité sur l'axe Sud-Est

Le temps de parcours ne représente pas le seul argument en faveur du POCL. L'étude menée par RFF (2011b) sur la saturation de la LGV Paris-Lyon laisse apparaître un gain de temps en termes de régularité. L'étude propose de tester l'évolution du taux de régularité selon deux options : l'amélioration en performance de la LGV et la réalisation du POCL.

En 2008, RFF montre que le retard moyen sur l'axe Paris-Lyon-Marseille est de 4,1 minutes par train. L'origine de ce retard n'est pas déterminée par une cause précise : *« les analyses montrent qu'il n'existe pas, dans les conditions actuelles d'exploitation, de raison principale aux dysfonctionnements actuels »* (p37.). Néanmoins, une cause générique semble se dégager de l'ensemble concernant l'insertion des circulations sur la LGV. Par conséquent ce ne serait pas la performance de la LGV qui serait directement en cause mais celle des axes secondaires qui par « battement d'aile de papillon » se répercuterait sur la LGV. Dans une telle situation, on pense aux rapports Rivier (2005) et Putallaz (2012) qui alertaient sur la détérioration des performances du réseau classique.

Concernant la régularité, la première option qui consiste à investir dans la performance de la LGV existante ne semble pas suffire pour améliorer la régularité. Le tableau suivant montre la poursuite d'une dégradation du taux de régularité sous l'effet d'un accroissement continu de la charge de l'infrastructure.

Tableau 20 : Evolution du retard moyen des trains sur l'axe Paris-Lyon-Marseille

	2008	**2025**	**2035**
Total	4,1	4,7	5,1

Source : RFF, 2011b

A l'inverse, la solution POCL apporterait, selon Rail Concept, des gains en régularité notables qui permettraient de diminuer le retard moyen par train sur l'axe Paris-Lyon-Marseille. Ce gain pourrait être de 4,4 millions d'heures ressenties pour les usagers et représenter une économie de 106 millions d'euros en 2025. Les auteurs précisent que ces résultats peuvent être intégrés à la valorisation socio-économique du projet renforçant un peu plus son capital temps.

Tableau 21 : Evolution du retard moyen sur l'axe Paris-Lyon-Marseille en situation de référence et situation projet

	2025	2035
Sans projet POCL	4,8	5,1
Avec projet POCL	3,4	3,6
Gain	1,4	1,5

Source : RFF, 2011b

Néanmoins, un doute subsiste quant aux conditions d'amélioration réelles de la régularité en sachant que la source principale de défaut relève non pas de la LGV existante mais de ses accès. D'autre part, dans la mesure où l'essentiel des retards sont accumulés entre Marseille et Lyon, on peut s'interroger sur l'apport réel de la LGV POCL en matière de régularité.

Une vitesse à V360 ?

Le dernier point en faveur du capital temps du projet POCL est la vitesse à 360km/h. Le gain de temps sur l'axe Paris-Lyon serait de 9 à 10 minutes supplémentaires et porterait le gain de temps total dans le cas du scénario médian à 21 minutes (12 min à V320 et 9 min supplémentaires à V360). Le meilleur gain étant attribué à la variante Ouest (10 min) contre 9 min pour la variante Est, ce relèvement de la vitesse pourrait réduire la divergence entre la volonté d'aménagement du territoire et celle de désaturation.

Tableau 22 : Gains de trafic avec V360 par rapport à V320 en millions de passagers en 2025

	Médian	Ouest
Radial	1,27	1,25
Territoire	0,39	0,46
Total	1,66	1,72

Source : RFF, 2011a

Néanmoins, le gain en trafic justifiant un tel projet paraît négligeable (3 à 4% du volume global) tandis que le coût n'a pas été évalué du point de vue de l'infrastructure et de l'exploitation. Par ailleurs, il n'est pas sûr que ces gains pourraient être obtenus dans le cas d'une desserte en chapelet.

Si le capital temps semble avoir fait l'objet de tous les développements, le facteur prix apparaît peu dans l'étude du POCL. Son impact est réellement évalué dans une courte section en fin de rapport concernant les tests de sensibilité (p77). Outre le test de sensibilité de la demande au PIB qui pourrait faire en soit l'objet d'une analyse critique, la prise en compte du prix d'usage semble minorée alors même que l'impact du test de sensibilité est non négligeable.

4.3.3.2. Le prix du billet : un impact non marginal

L'hypothèse de base est une évolution moyenne des prix de 1% par an hors inflation pour les relations radiales et de 0,5%/an pour les province-province. Le niveau des prix est calqué sur ceux existants. Une hausse tarifaire est appliquée par minute gagnée dans le cas où des gains de temps sont identifiés. Par conséquent, le prix de ce nouveau service devrait être plus élevé que le service Paris-Lyon traditionnel dans la mesure où il produit des gains de temps.

L'étude montre qu'une augmentation des tarifs pour les radiales de 1,5%/ an au lieu de 1% et de 1%/an pour les provinces-provinces au lieu de 0,5% pourrait conduire à une baisse de l'ordre de 9% de la fréquentation totale, c'est-à-dire, 6 millions de voyageurs. De ce point de vue, le pari du relèvement de la vitesse à 360km/h paraît d'autant plus risqué. D'autre part, le maintien d'une situation économique dégradée pourrait remettre en cause la capacité à payer des usagers créant un effet ciseau négatif pour la rentabilité du projet.

Tableau 23 : Augmentation des prix TGV depuis 2009 comparée à l'inflation

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Prix TGV	3,5%	1,9%	2,85%	3,2%	2,3%	3%
Inflation	0,1%	1,5%	2,1%	2%	0,9%	0,7%
Différentiel	3,4%	0,4%	0,75%	1,2%	1,4%	2,3%

Source : De Foucaud (2011), Le Monde (2013) et Insee (2014a)

Enfin, si on dresse un historique de l'évolution du prix du billet TGV depuis 2009, on observe qu'il a été en moyenne supérieur à l'inflation de 1,5%.

Ce résultat, sans vouloir porter un jugement définitif, interroge sur le comportement des acteurs du projet. De toute évidence, le facteur temps semble être largement privilégié dans sa justification alors même que le facteur prix ou PIB pourrait avoir un impact non négligeable sur sa rentabilité et sa pertinence.

4.3.3.3. Grande vitesse, gains de temps et biais d'optimisme

Un élément de réponse peut être proposé dans l'analyse de la sensibilité des individus au risque. L'approche comportementaliste montre qu'il existe trois niveaux de sensibilité (Lévêque, 2013) :

- Niveau 1 : préférence pour une probabilité certaine (« aversion à l'ambiguïté » selon le paradoxe d'Ellsberg) ;
- Niveau 2 : comportements divers face au risque dans le cas de probabilités connues selon utilité associée au gain espéré (paradoxe de Bernouilli). Si l'utilité est faible, il y a surestimation du risque (« risque averse ») mais si l'utilité est forte, l'individu tend à sous-estimer le risque (« risque parieur ») ;
- Niveau 3 : les fortes probabilités ont tendance à être sous-estimées au profit des faibles probabilités (paradoxe d'Allais).

De ces trois niveaux de sensibilités, des biais de perception peuvent se développer et pousser les acteurs à modifier leur raisonnement. Dans le cas d'un biais positif, on parle de « biais d'optimisme » et pour un biais négatif de « biais pessimiste ».

Si on applique ce schéma aux acteurs du projet POCL, on peut comprendre la survalorisation du temps au dépend du prix. Deux biais d'optimisme sont à distinguer : celui du « désenclavement » qui concerne les élus et celui du « savoir-faire » qui concerne les acteurs techniques (Etat, gestionnaire d'infrastructure).

Le biais du désenclavement repose sur la croyance que la vitesse peut apporter le développement économique. Mais comme il a été montré dans la section 4.3.3.2., le raisonnement doit plutôt être inversé au sens où c'est le développement économique d'un territoire qui définit sa vitesse optimale.

Tableau 24 : Evolution des temps de parcours entre Paris et les principales villes de France sur la période 1980 – 2014

	1980			**2014**		
	Temps de parcours (min)	Distance (km)	Ratio T/D	Temps de parcours (min)	Distance (km)	Ratio T/D
Lille	127	251	0,51	62	258	0,24
Strasbourg	228	502	0,45	137	503	0,27
Marseille	393	862	0,46	185	863	0,21
Bordeaux	266	583	0,46	194	581	0,33
Toulouse	368	839	0,44	325	839	0,39
Lyon	224	512	0,44	116	512	0,23
Limoges	170	401	0,42	182	401	0,45
Clermont-Ferrand	216	419	0,52	184	419	0,44
Rouen	71	139	0,51	68	139	0,49

Point de référence : Paris

Source : Rochefort, 1995 et SNCF, 2014

Il repose également sur le sentiment des élus de vivre dans une région enclavée par rapport à Paris. Il est vrai que par rapport aux années 80, l'accessibilité en train de Paris à partir de Clermont-Ferrand a peu évolué en termes de temps de parcours par rapport aux autres grandes agglomérations françaises. Mais ce résultat signifie-t-il pour autant la définition d'une desserte à grande vitesse, voir une vitesse de 360km/h ?

Le deuxième biais repose sur les premiers résultats des bilans LOTI (Loi d'Orientation des Transports Intérieurs). Chapulut et Taroux (2010) ont montré que la France se distinguait de la « malédiction des grands projets » (Flyvbjerg, Bruzelius & Rothengatter, 2003) grâce à de bons résultats pour la construction des LGV. Alors que Flyvbjerg, *et al.* (2003) montrent dans une étude internationale que dans 50% des cas les coûts sont supérieurs de 40% aux prévisions et que dans 60% des cas, les trafics sont inférieurs de 40% aux prévisions, Chapulut et Taroux (2010) montrent que pour les sept premières LGV (1981-2007) , l'écart moyen entre Déclaration d'Utilité Publique (DUP) et réalisation a été de 18% pour les coûts et de 15% (hors LGV Nord[26]) pour les trafics entre DUP et période de croisière. Ces bons résultats constituent la base du biais de « savoir-faire ». Mais rien ne dit que

[26] La LGV Nord représente un cas particulier dans la mesure où les perspectives de trafic établies pour le tunnel sous la manche ont été largement surévaluées.

l'infrastructure proposée dans le cas du POCL soit similaire aux LGV déjà réalisées. L'ampleur de son coût et l'option d'une vitesse à 360km/h devraient mériter une plus grande attention.

Par conséquent, on obtient d'un côté des élus qui voient une possibilité de désenclavement par les gains de temps et de l'autre des acteurs techniques pour qui le scénario de coût annoncé devrait être tenu. Dans cette situation, l'attention est portée sur le facteur temps qui est la seule à pouvoir équilibrer l'équation. Par ailleurs, les acteurs ont plutôt intérêt à ne pas développer la question de la performance du système dans la mesure où elle tend à privilégier l'accroissement en capacité de la ligne existante au détriment d'une ligne nouvelle.

Conclusion

Ce point a montré que ce n'est pas le calcul économique qui privilégie le facteur temps mais plutôt les acteurs pour qui le développement d'un territoire passe par son accessibilité en temps et donc la vitesse. Pourtant, le coût de mise à disposition de la vitesse semble être un élément tout aussi déterminant d'accessibilité. Tout dépend donc si on recherche la performance d'un système ou la desserte d'un nouveau territoire. Le cas de la désaturation de la LGV Paris-Lyon concentre ces deux approches et met en perspective leurs divergences. Si on tient compte du facteur prix – coût production, l'accroissement en capacité de la ligne existante paraît être la solution la plus pertinente. Cette dynamique peut être facilitée par une régulation incitative et la mise en place d'indicateurs de performance. A l'inverse, si on tient compte du facteur temps – aménagement du territoire, la solution du projet POCL est pertinente à condition de relever le double défi financier de la construction de la ligne, puis de son exploitation.

En ce sens, le projet POCL semble être un projet importé pour pallier les défaillances de l'axe Paris-Lyon-Marseille plutôt qu'un projet pour le territoire comme le montrent les perspectives de trafic. Cela revient donc à poser pour la région Centre la question de la performance des infrastructures déjà existantes et des solutions pour les adapter au niveau du besoin des populations.

Conclusion du chapitre

Il est intéressant de constater que la définition de la performance et sa prise en compte est multiple. Il ne suffit pas de définir un indicateur de productivité pour garantir la performance d'un réseau.

La première section a montré que la définition d'indicateurs est complexe et peut entrainer des effets pervers. La recherche d'une meilleure qualité de service peut aller à l'encontre de la productivité de l'infrastructure (capacité) et inversement. Il importe donc d'aller au-delà des indicateurs pour mettre en place un système permanent d'incitation à l'amélioration du système.

La régulation incitative constitue une garantie au besoin de performance de la part du monopole naturel. La seconde section a mis en évidence ses avantages, notamment en matière de définition des indicateurs, de suivi des résultats et de mise en place d'objectifs. L'attribution de ces compétences au régulateur et l'application d'un système de bonus-malus constituent les deux conditions d'efficacité de cette politique. Néanmoins, le benchmark des pratiques en Europe a révélé une profonde divergence entre la pratique anglo-saxonne de régulation fondée sur un régulateur puissant aux compétences étendues (Grande-Bretagne, Suède) et la pratique définie par la Commission européenne où le régulateur est un « organisme de contrôle » aux compétences limitées au strict contrôle du marché (France, Allemagne). Dans ce dernier cas, les performances du monopole naturel sont contrôlées par son autorité de tutelle sur la base d'un contrat de performance.

Pour finir, on s'est interrogé sur la prise en compte du principe de performance dans l'évaluation socio-économique des investissements. L'analyse du calcul économique a montré qu'il permet de couvrir trois dimensions clefs pour un investissement : le facteur temps, le facteur prix (de construction et d'usage) et le facteur richesse du territoire. En conséquence, le principe de performance est *a priori* compatible avec le calcul économique. Néanmoins, l'analyse de sa mise en application montre que dans le cas d'une infrastructure nouvelle, le facteur temps a tendance à être survalorisé par rapport aux deux autres conditions. Ce biais est d'autant plus important lorsqu'il s'agit d'un investissement en grande vitesse. Le cas du POCL montre que la réflexion sur la performance de l'infrastructure existante (LGV Paris-Lyon) et le réseau afférent a été minorée par rapport aux gains de temps et d'accessibilité que pourrait procurer le POCL aux nouveaux territoires desservis.

Le défaut de performance dans le ferroviaire ne vient pas uniquement d'un manque d'outil mais aussi du comportement des acteurs qui tendent à privilégier certains aspects d'analyse. En d'autres termes, l'amélioration des performances dépend d'un réaménagement du système tant du point de vue technique (innovation) que comportemental (changement des perspectives d'analyse).

Conclusion

Les marges de progression pour le système ferroviaire français et européen restent nombreuses tant du point de vue de la gouvernance que de la compétitivité. C'est la conclusion à laquelle tend ce travail. Les résultats du consortium de recherche Enerdata-LET (2014) montrent que dans le respect du facteur 4 à horizon 2050, le report de la demande en transport vers le ferroviaire devrait être massif. Face à cela, la situation de la LGV Paris-Lyon, déjà à la limite de la saturation, interroge sur la capacité du système à accueillir ces nouveaux trafics. Deux écoles s'affrontent sur cette question. D'un côté, les tenants du SNIT proposent un quasi doublement du réseau LGV pour répondre aux futurs besoins tandis que la commission « Mobilité 21 » privilégie la recherche de rendements croissants à partir de l'existant. Sans prétendre résoudre le débat, ce travail a tenté d'apporter des éléments de compréhension concernant l'interaction entre demande et offre dans le ferroviaire.

Dans la théorie économique classique, une demande supérieure à l'offre conduit au phénomène de congestion et à une dégradation de la qualité de service. Le Chapitre I a montré que cette notion s'appliquait particulièrement bien au mode routier dont elle est en partie issue. Elle repose sur la mise en évidence d'une relation inverse entre densité de trafic et vitesse. Tout véhicule supplémentaire dégrade à partir d'un certain seuil les conditions de circulation. Autrement dit, la congestion se traduit par des externalités négatives dans la mesure où un véhicule supplémentaire peut internaliser la congestion déjà existante mais prend rarement en compte celle qu'il crée. Goodwin (1989) montre que, dans ce cas, la tarification de la congestion constitue la meilleure forme de régulation des trafics et d'optimisation de l'infrastructure. Elle permet d'internaliser le coût marginal d'une circulation supplémentaire en maximisant le surplus des usagers et en envoyant un signal prix. Néanmoins, l'ensemble de ce raisonnement repose sur l'hypothèse que la saturation se traduit par une réduction des vitesses de circulation et donc un allongement des temps de parcours.

Appliquées au système ferroviaire, les caractéristiques de la congestion routière semblent inadaptées. Rothengatter (1994) assimilent les différents modes de transport à des clubs dans lesquels les conditions et les effets de la congestion varient. En premier lieu, la congestion repose sur l'hypothèse d'un accroissement continu et difficilement maîtrisé de la demande jusqu'à saturation totale de l'infrastructure. Dans le cas du ferroviaire, la réglementation européenne en matière d'allocation des capacités (directive 2001/14/CE) rappelle que le système ferroviaire est planifié, chaque autorisation de circuler étant soumise et accréditée par le gestionnaire d'infrastructure. On distingue en particulier la phase amont où la grille horaire est constituée en négociation avec les entreprises ferroviaires, de la phase aval où la grille horaire est décrétée opérationnelle et appliquée. Dans cette dernière phase, le système est supposé fiable et la demande exprimée en trains est maîtrisée. En second lieu, la congestion suppose une dégradation de la qualité de service sous l'effet de la densité de trafic. Le raisonnement précédent associé à plusieurs études économétriques montre que le rapport entre densité de trafic et qualité de service n'est pas évident dans le ferroviaire. Là encore, la planification supposée

du système remet en cause cette assertion. Enfin, le principe d'externalité, cher à la justification d'une régulation économique de la congestion dans le mode routier, perd son sens dans le ferroviaire dans la mesure où un train supplémentaire ne doit pas *a priori* gêner le train suivant. Par conséquent, le Chapitre II montre que s'il y a congestion dans le ferroviaire, ce phénomène apparaît lors de la phase amont de la constitution de la grille horaire (négociation) mais disparait dans la phase d'exploitation, l'ensemble des conflits ayant été *a priori* résolus.

Ce raisonnement conduit à marginaliser le principe de congestion dans l'exploitation ferroviaire pour adopter celui de performance. La performance est définie comme la capacité du gestionnaire d'infrastructure à produire des sillons et à gérer leur utilisation dans des conditions de densité de trafic et de qualité de service optimales. Autrement dit, l'utilisation optimale d'une infrastructure ferroviaire correspond à une situation de saturation à condition que le taux de retard moyen soit maîtrisé (voir nul).

Le Chapitre III rappelle que la performance d'une infrastructure dépend aussi bien du gestionnaire d'infrastructure que des entreprises ferroviaires. Dans le cas où l'entreprise est unique, la bonne ou mauvaise santé de son modèle économique peut compromettre la performance globale du système et ce quels que soient les efforts du gestionnaire d'infrastructure. L'étude de cas de la LGV Paris-Lyon montre que la moindre performance de l'activité TGV depuis 2007 peut compromettre l'amélioration en performance de l'infrastructure. Le débat portant sur l'implémentation d'ERTMS 2 illustre cette limite. D'un côté, la SNCF se montre réticente à investir dans un système qu'elle juge trop coûteux par rapport aux effets attendus. Sa position est d'autant plus restreinte que sa marge opérationnelle s'est considérablement réduite depuis 2007, limitant ainsi sa capacité d'investissement. De l'autre, RFF a intérêt à installer ERTMS 2 pour accroître la capacité de l'infrastructure mais dépend de la volonté de la SNCF pour rendre opérationnel le système. En conséquence, RFF tend à privilégier l'amélioration de l'existant, moins coûteux que la construction d'une infrastructure nouvelle, tandis que la SNCF privilégie l'option du doublement qui représenterait pour elle un nouveau marché sans investissement majeur (réallocation de matériel roulant). La modélisation de la capacité de la LGV Paris-Lyon et l'analyse coût-bénéfice réalisée pour chacune des options montrent que les gains résultant d'une évolution des méthodes de production actuelles seraient très largement supérieurs au coût d'une nouvelle infrastructure pour un coût bien moindre.

Tableau 25 : Synthèse des résultats obtenus pour chacun des scénarios

Scénario	Gain en capacité	Coût du scenario	Horizon de saturation	Temporalité de la mise en œuvre
(S1) matériel roulant	+ 131%	Cycle de vie du matériel	Post 2050	Moyen terme
(S2) Infrastructure	+ 100%	14 Mds€	Post 2050	Long terme
(S3) Gestion de trafic	+ 13%	Nul	2025 – 2040	Court terme
(S4) Exploitation	+ 33%	500 M€	2035 – 2050	Moyen terme
(S5) Tarification	+ 30%	Nul	2030 – 2050	Court terme

Source : Auteur

Cependant, l'obtention complète de ces gains est conditionnée à un renouvellement du modèle TGV dont les principales orientations seraient une plus grande capacité dans les trains et sur voie (TGV et voie « haute densité »), une plus grande intelligence donnée aux trains dans la gestion des trafics (ERTMS) et une tarification plus adaptée à l'effet de rareté.

Le Chapitre IV interroge sur les moyens de garantir la performance globale du système. Concernant les entreprises ferroviaires, la réponse est simple. Selon la théorie du marché contestable, il convient de mettre en concurrence les activités. Cette position est défendue par la Commission européenne depuis la directive 91/440/CEE. La question devient plus complexe dans le cas du gestionnaire d'infrastructure. Reconnu monopole naturel, son efficacité ne peut être garantie par le marché. En conséquence, le contrôle de sa performance doit relever d'un acteur extérieur. Dans le droit européen, l'acteur privilégié est l'Etat (contrats de performance) tandis que dans la tradition anglo-saxonne, l'autorité de régulation a un pouvoir étendu. Nous avons montré qu'un contrôle par le régulateur pouvait être plus efficace à condition qu'il ait un droit de regard global sur le système ferroviaire et qu'il puisse fixer les indicateurs et objectifs à atteindre pour le monopole naturel. L'étude d'autres secteurs, comme l'énergie, a montré que la mise en place d'une politique incitative fondée sur des bonus-malus peut encourager le gestionnaire d'infrastructure à investir dans une amélioration de ses capacités et de sa qualité de service. Il reste néanmoins nécessaire d'identifier les bons indicateurs. Un indicateur de qualité de service peut être contradictoire avec un indicateur de capacité d'où la nécessité de conserver une approche globale du système.

Pour finir, on s'est intéressé à la pertinence du calcul économique appliqué aux investissements destinés à une plus grande performance (désaturation). Un premier constat montre que ce type d'investissement se trouve rarement soumis à l'évaluation publique, restant du domaine de l'entreprise. Un second constat met en évidence l'absence d'évaluation pour les options autres que celle du dédoublement dans le débat public ce qui pose la question du choix des acteurs. Le troisième constat rappelle que le calcul économique tient compte *a priori* de trois dimensions : le temps, la disposition à payer des usagers (richesse) et le prix du service (ou coût de production). L'analyse du projet POCL a mis en évidence une tendance à la surévaluation de la valeur temps dans l'évaluation économique des grands projets au détriment du rapport entre prix et disposition à payer des usagers (k/w). La question de la performance (k/w) n'est donc pas étrangère au calcul économique mais simplement peu considérée par les acteurs. Il pourrait pourtant être utile de mieux la considérer, notamment en période de crise économique, à la fois dans l'intérêt du consommateur mais aussi du système ferroviaire et de sa pérennité.

En conclusion de ce travail, on propose de retenir trois enseignements.

En premier lieu, l'étude de la LGV Paris-Lyon souligne que la définition d'indicateurs de performance à partir d'une infrastructure peut présenter des résultats tout aussi efficaces qu'à l'échelle d'un réseau. Cette échelle présente comme avantage de définir plus précisément les indicateurs, de mieux identifier les solutions innovantes ou investissements à réaliser et de faciliter les opérations de benchmark avec d'autres lignes nationales ou étrangères.

En second lieu, la définition étendue des compétences du régulateur au contrôle direct du gestionnaire d'infrastructure sur le modèle suédois et anglais semble plus cohérente que celle répondant au modèle européen. Dans ce dernier, le régulateur appelé « organisme de contrôle » est cantonné à surveiller le marché et l'application des règlements. Le gestionnaire d'infrastructure est contrôlé par l'autorité de tutelle. Dans les cas anglais et suédois, le régulateur régule l'ensemble du secteur à savoir le marché ferroviaire et le gestionnaire d'infrastructure. Cette position lui confère une capacité d'analyse globale du secteur et est utile à la mise en place de politiques incitatives porteuses d'investissements et d'innovations.

Enfin, la rareté budgétaire aidant peut être, il convient dans l'évaluation des grands projets d'infrastructure de mieux tenir compte de leur coût de construction mais aussi de leur coût d'usage au regard de la richesse des territoires. Ce renversement de paradigme implique de considérer que la compétitivité d'un mode de transport ne repose pas uniquement sur les gains de temps (contre-exemple du covoiturage) et que le succès de la grande vitesse n'est pas dû à son impact sur l'économie locale mais plutôt au rapport entre son coût et la richesse initiale des usagers. Cette position tend à trancher le débat sur les projets d'infrastructure en France en faveur des recommandations définies par la commission « Mobilité 21 ».

Bibliographie

Abraham C. (2011). *L'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de voyageurs*. Centre d'analyses stratégiques, Rapports&documents, Paris, 122p.

Abril, M., F. Barber, L. Ingolotti, M. A. Salido, P. Tormos & A. Lova (2008). An assessment of railway capacity. *Transportation Research Part E*, 44, 774-806.

Amaral M. (2014). Mise en œuvre des méthodes de benchmarking dans les industries de réseau. *In : Conférence économique 2014*, 26 mai, Paris, 16p.

Arild, V. & D. Bromley (1997). Externalities – a market model failure. *Environmental & Resource Economics*, 9, 131-151.

Arnott R. & Kraus M. (2008). Congestion. *In:* Durlauf S. & L. Blume [2008], The new Palgrave Dictionnary of Economics, 2nd Edition, 5p.

Association des Régions de France (2014). *Manifeste des Régions pour le renouveau du système ferroviaire*. Association des Régions de France, Paris, 12p.

Association of American Railroads (2014). *A short history of U.S. freight railroads*. Association of American Railroads, Washington, 5p.

Autorité de Régulation des Activités Ferroviaires (2013). *Avis n°2013-002 du 30 janvier 2013 relatif au document de référence du réseau ferré national pour l'horaire de service 2014*. Autorité de régulation des activités ferroviaires, 30 janvier 2013, Le Mans, 25p.

Autorité de Régulation des Activités Ferroviaires (2013). *Avis n°2013-011 du 24 avril 2013 relatif à la tarification des prestations minimales pour l'horaire de service 2014*. Autorité de régulation des activités ferroviaires, 24 avril 2013, Le Mans, 4p.

Autorité de Régulation des Activités Ferroviaires (2014). *Avis n°2014-001 du 28 janvier 2014 relatif au document de référence du réseau national pour l'horaire de service 2015*. Autorité de régulation des activités ferroviaires, 28 janvier 2014, Le Mans, 33p.

Autorité de Régulation des Activités Ferroviaires (2014). *La coopération européenne*. Site internet Lien : http://regulation-ferroviaire.fr/connaitre-laraf/la-cooperation-europeenne/

Baldwin, R., M. Cave & M. Lodge (2011). *Understanding regulation: theory, strategy, and practice*. Oxford University press, 2nd édition, Oxford, 568p.

Ball, B., G. Cooper & S. Gibson (2002). The evolution of capacity charges on the UK rail network. *Journal of Transport Economics and Policy*, 36, 341-354.

Baron, N. & P. Messulam (2013). Réseau ferré, mobilités spatiales et dynamiques des territoires. *Annales des Mines – Gérer et comprendre*, 113, 5-18.

Baumol W. (1982). Contestable markets : an uprising in the theory of industry structure. *The American Economic Review*, 72, 1-15.

Beauvais Consultants, KCW & Rail Concept (2011). *Impact de l'ouverture à la concurrence dans le transport régional ferroviaire de voyageurs sur la consommation d'énergie et sur les émissions de carbone*. Groupe opérationnel (GO) n°6, PREDIT 4 « Politiques des transports », Paris, 248p.

Becker, J-J., X. Delache, J. Brunel, D. Sigaud et A. Sauvant (2013). Estimation des élasticités des trafics routiers et ferroviaires au PIB. *In* : rapport Quinet (2013), *Evaluation socio-économique en période de transition* : Tome 2, Rapports et documents, Commissariat général à la stratégie et à la prospective, Paris, 22p.

Bernadet, M. & J.P. Sinsou (2010). Analyse de l'évolution et de la répartition modale du trafic fret… et de la compétitivité modale. *Cahiers scientifiques du transport*, 58, 55-75.

Blablacar (2014). *Qui sommes-nous*. Site internet. Lien : http://www.covoiturage.fr/blog/qui-sommes-nous

Blanchet, J.D., J.N. Chapulut & O. Paul-Dubois-Taine (2012). *Transports et dette publique. Des membres du Cercle des Transports alertent sur la dérive des déficits publics résultant des transports*. Cercle des Transports, Paris, 71p.

Bonnafous A. (1995). Baisse séculaire des coûts de transport - Peut-elle continuer ?. *Chroniques Economiques*, 10, 397-401.

Bonnafous A. (2013). Les attendus et inattendus du projet réforme ferroviaire. *Transports*, 482, 20-30.

Bouf, D., Y. Crozet & J. Lévêque (2005). *Etude comparée des systèmes de régulation ferroviaire : Grande Bretagne, France et Suède*. Rapport SNCF, Direction de la stratégie, Paris, 48p.

Bougnoux B. (2010). Demain, des autoroutes électrifiées pour des voitures tout électriques. *Transports*, 462, 1-5.

Brewer, P.J. & C.R. Plott (1996). A binary conflict ascending price (BICAP) mechanism for the decentralized allocation of the right to use railroad tracks. *International Journal of Industrial Organization*, 14, 857-860.

Brueckner, J.K. & P.T. Spiller (1994). Economies of traffic density in the deregulated airline industry. *Journal of Law and Economics*, 37, 379-415.

Brunel, J., G. Marlot & M. Perez (2013). Measuring congestion in rail sector: the French experience. *In: 13th WCTR*, 15 – 18 juillet, Rio de Janeiro, 14p.

Burdett, R.L. & E. Kozan (2006). Techniques for absolute capacity determination in railways.*Transportation Research Part B*, 40, 616-632.

Button K. & E. Verhoef (1998). *Road pricing, traffic congestion and the environment*. Edward Elgar Publishing, 316p.

Cambridge Systematics (2007). *National rail freight infrastructure capacity and investment study*. Association of American Railroads, Washington, 69p.

Caralp R. (1951). L'évolution de l'exploitation ferroviaire en France. *Annales de géographie*, 322, 321-336.

Carlin, A. & R.E. Park (1970). Marginal cost pricing of airport runway capacity. *American Economic Review*, 60, 310-319.

Carmichael J.J. & C.E.Haley (1950). A study of vehicle, roadway and traffic relationships by means of statistical instruments. *Highway Research Board Proceedings*, 282-296.

Caron F. (2005). *Histoire des chemins de fer en France : Tome 2, 1883-1937*. Fayard, Paris, 1018p.

Cave M. (2014). Incentive Regulation in Theory, Price Caps and Practice. *In: Conférence économique 2014*, 26 mai, Paris, 20p.

CGDD (2014). *Les comptes des transports en 2013*. Tome 1, Paris, 176p.

Chapulut, J.N. & Taroux J-P. (2010). Trente ans de LGV : comparaison des prévisions et des réalisations. *Transports*, 462 (1), 229-239.

Charlier L. (2013). TGV Ouigo : les deux trains réaliseront un tour de la Terre chaque semaine. *La lettre ferroviaire*, 82, 1-3.

Commission Européenne (1991). Directive 91/440/CEE du 29 juillet 1991 relative au développement de chemins de fer communautaires. *Journal officiel*, L.237, 25-28.

Commission Européenne (1995). Directive 95/18/CE du 19 juin 1995 concernant les licences des entreprises ferroviaires. *Journal officiel*, L.143, 70-74.

Commission Européenne (1998). Proposition de directive 98/480/CE du 22 juillet 1998 relative à l'allocation de la capacité ferroviaire, la perception des redevances pour l'utilisation de l'infrastructure ferroviaire et la certification en matière de sécurité. *Working paper*, Bruxelles, 92p.

Commission Européenne (2001). Directive 2001/14/CE du 26 février 2001 concernant la répartition des capacités d'infrastructure ferroviaire, la tarification de l'infrastructure ferroviaire et la certification en matière de sécurité. *Journal officiel*, L.075, 29-46.

Commission Européenne (2007). Règlement n°1370/2007 du 23 octobre 2007 relatif aux services publics de transport de voyageurs par chemin de fer et par route. *Journal officiel*, L.315, 1-13.

Commission Européenne (2009). *Second report on monitoring development of the rail market*. RMMS study,1687/2, 15p.

Commission Européenne (2012). Directive 2012/34/UE du 21 novembre 2012 établissant un espace ferroviaire unique européen (refonte). *Journal officiel*, L.343, 32-77.

Commission européenne (2013). *Proposition de directive modifiant la directive (UE) n°2012/34/UE définissant l'espace ferroviaire unique européen*. COM(2013)29 final, Bruxelles, 21p.

Commission Mobilité 21 (2013). *Mobilité 21 : « pour un schéma national de mobilité durable »*. Rapport, Paris, 91p.

Crozet Y. (2010). TGV : le temps des doutes ?. *Transports*, 460, 87-92.

Crozet Y. (2012). Le SNIT en débat. *Infrastructures et mobilité*, 116, 16-18.

Crozet Y. (2013). Réforme ferroviaire. Champion national ou nostalgie du monopole ?. *Ville Rail et Transports*, 555, 57-59.

Crozet, Y. & B. Château (2014). Enjeux spatiaux, économiques et politiques des scénarios de mobilité durable à l'horizon 2050 : document de synthèse de la recherche conduite par le consortium ENERDATA-LET. Predit 4, Groupe opérationnel n°6 « politiques de transport », Paris, 24p.

Crozet, Y., D. Hergott, F. Laroche & P. Perennes (2014). 30 fiches pour comprendre la réforme ferroviaire. *Mobilettre*, 94p.

Crozet, Y. & I. Joly (2004). Budget Temps de Transport : les sociétés tertiaires confrontées à la gestion paradoxale du bien le plus rare. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 45, 27-48.

Crozet, Y. & J.C. Raoul (2011). Le transport ferroviaire en France : avis de tempête organisationnelle ? *Transports*, 468, 213-220.

Curien N. (2000). *Economie des réseaux*. La Découverte, Paris, 128p.

Damour P. (2013). Pourquoi le TGV n'est plus la poule aux œufs d'or de la SNCF. *Challenges*, 21/12/2013, 3p.

Dehornoy, J., J.N. Chapulut & N. de Saint-Pulgent (2007). *Rapport sur la tarification du réseau ferré*. Inspection générale des Finances et conseil général des ponts et chaussées, Paris, 162p.

Delaborde F. (2012). Augmentation de capacité de la LGV Paris-Lyon. *Le Rail*, 185, 30-35.

De Foucaud I. (2011). Les tarifs de la SNCF en hausse de 2 à 3% fin janvier. *Le Figaro*, 18/01/2011, 1p.

Derycke P.H. (1991). Urban concentration and road networks: two approaches to congestion. *Flux*, 5, 35-45.

Desmaris C. (2014). Une réforme du transport ferroviaire de voyageurs en Suisse : davantage de performances sans concurrence ?. *Les Cahiers scientifiques du Transport*, 65, 67-96.

De Tilière G. (2002). *Managing projects with strong technological rupture: case of high-speed ground transportation systems*. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, 332p.

Dumont F. (2010). TGV plus cher : RFF pousse la roue. *Ville Rail & Transports*, 509, 10-11.

Dupuit J. (1844). De la mesure de l'utilité des travaux publics. *Annales des Ponts et Chaussées*, 207, 170-248.

Dupuy J.P. (2003, [1975]). À la recherche du temps gagné. *In :* ILLICH Y. (2003, [1975]), *Œuvres complètes : volume 1*, Fayard, Paris, 433-440.

Dupuy J. (2011). TGV : 30 ans de grande vitesse. Revue générale des chemins de fer, Paris, 349p.

Enerdata-LET (2014). *Enjeux spatiaux, économiques et politiques des scénarios de mobilité durable à l'horizon 2050*. Predit 4, Groupe opérationnel n°6 « politiques de transport », Paris.

Finger, M. & M. Holterman (2013). *Incentives-based Governance of the Swiss Railway Sector*. Florence School of Regulation, Florence, 103p.

Flyvbjerg, B., N. Bruzelius & W. Rothengatter (2003). *Megaprojects and Risk: An anatomy of ambition*. Cambridge University Press, Cambridge, 207p.

Georges C. (2014). Régulation incitative des industries de réseaux. *In : Conférence économique 2014*, 26 mai, Paris, 35p.

Goodwin P.B. (1989). Qu'est-ce que la congestion ?. *Recherche Transports Sécurité*, 24, 23-28.

Guihery L. (2011). Le dynamisme du transport ferroviaire régional en Allemagne : L'exemple de la région de Leipzig. *In : Onzième séminaire du RFSET*, 23 mai 2011, Karlsruhe, 24p.

Guihéry, L. & F. Laroche (2013). European Rail Traffic Management System (ERTMS): supporting competition on the European rail network? *Research in Transportation Business & Management*, 6, 81-87.

Hau T. (1998). Congestion pricing and road investment. *In:* Button K. & E. Verhoef [1998], *Road pricing, traffic congestion and the environment*, Edward Elgar Publishing, 316p.

Héran F. (2009). A propos de la vitesse généralisée des transports. Un concept d'Ivan Illich revisité. *Revue d'Economie Régionale & Urbaine*, 3, 449-470.

Higgins, A., E. Kozan & L. Ferreira (1996). Optimal scheduling of trains on a single line track. *Transportation Research Part B*, 30, 147-161.

Hutter R. (1950). *La théorie économique et la gestion commerciale des chemins de fer : qu'est-ce que le coût marginal ?*. Dunod, Paris, 44p.

Illich Y. (2003, [1975]). *Œuvres complètes : volume 1*. Fayard, Paris, 379-432.

Insee (2014a). *Indice des prix à la consommation : août 2014*. Insee, 208, 2p.

Insee (2014b). *Comptes nationaux trimestriels : résultats détaillés – 2e trimestre 2014*. Insee, 222, 2p.

Ivaldi, M. & G. McCullough (2005). Welfare Trade-Offs in US Rail Mergers. *CEPR Discussion Papers 5000*, London, 15p.

Jessua C. (1968). Coût sociaux, coûts privés. PUF, Paris, 304p.

Joskow P.L. (2005). *Regulation of Natural Monopolies*. MIT CEEPR, 05-008, 221p.

Kipfer M. (1938). Quelques considérations sur les chemins de fer français et sur leurs résultats d'exploitation. *Revue générale des chemins de fer*, 86-99.

Knight F.H. (1924). Some fallacies in the interpretation of social cost. *In:* Verhoef E. (Eds) (2010), *The economics of traffics congestion*. Edward Elgar Publishing, 184p.

Kolm S.C. (1968). *La théorie générale de l'encombrement*. Futurible, Paris, 82p.

Kraft E.R. (1982). Jam capacity of single track rail lines. *Transportation Research Forum*, 23, 461-471.

Krueger H. (1999). Parametric modeling in rail capacity planning. *In: Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 2, 1194-2000.

Krugman P.R. (2000). *La mondialisation n'est pas coupable : vertus et limites du libre-échange*. La découverte, Paris, 218p.

Lacôte F. (2012). Quelle performance attendue de l'ERTMS?. *Le Rail.* 185, 36.

Le Lannier A. (2010). *Renégociations et difficultés d'exécution de la concurrence par comparaison : une application au secteur de l'eau en Angleterre*, Thèse, IAE – Pantheon-Sorbonne, Paris, 292p.

Landex, A., A.H. Kaas, B. Schittenhelm & J. Schneider-Tilli (2006). Pratical use of the UIC 406 capacity leaflet by including timetable tools in the investigations. *Computers in railways X*, 643-652.

Laroche F. (2013). Les causes contestables de la chute du fret ferroviaire en France. *Le Rail*, 201, 30-33.

Laroche F. (2013). Perspectives de trafic et modèle de saturation des lignes ferroviaires, le cas de la Ligne Grande Vitesse Paris-Lyon. *In : Séminaire de travail entre les chercheurs et les membres de la « commission Mobilité 21 »*, 24 avril, Paris, 21p.

Laroche F. (2014). Risque et biais de perception dans les grands projets d'infrastructure : le cas du projet grande vitesse Paris – Orléans – Clermont-Ferrand – Lyon (POCL). *In : 13ème séminaire francophone est-ouest de socio-économique des transports*, 15-16 avril, Paris, 15p.

Le Monde (2013). La SNCF confirme l'augmentation de ses tarifs. *Le Monde*, 13/01/2013, 1p.

Leboeuf M. (2014). *Grande vitesse ferroviaire*. Le Cherche midi, Paris, 853p.

Les Echos (2013). 16 millions de déficit pour la filiale de la SNCF IDBUS. *Les Echos*, 22/11/2013, 1p.

Lévêque F. (2013). *Nucléaire On/Off : analyse économique d'un pari*. Dunod, Paris, 288p.

Levinson, H.S., R.H. Pratt, P.N. Bay & G.B. Douglas (1997). *Quantifying Congestion: volume 1*. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP): report 398, Transportation Research Board National Research Council, Washington, 112p.

Liotta, G., P. Cicini & P. De Luca (2009). A simulation-based approach for estimating the commercial capacity of railways. *In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 2542-2552.

Luzeaux D. & J.R. Ruault (2008). *Ingénierie des systèmes de systèmes : méthodes et outils*. Hermes Science Publications, Paris, 225p.

Marlot G. (2002). *Efficacité et acceptabilité de la régulation de la congestion*. Thèse, Université Lumière Lyon 2, Lyon, 376p.

Marshall A. (1961 [1920]). *Principles of Economics*. 9th Edition, London.

Mayer C. & T. Sinai (2003). Network effects, congestion externalities, and air traffic delays: or why not all delays are evil. *American Economic Review*, 93, 1194-1215.

Mohring H. & M. Harwitz (1962). Highway Benefits: An Analytical Framework. Evanston, Illinois, 209p.

Moreau P. (1994). La SNCF escompte 4 à 5 millions de voyageurs supplémentaires. *Les Echos*, 07/04/1994, 1p.

Nash C. (2009). When to invest in high speed rail links and network?, Discussion paper, *In: International Transport Forum (ITF-OECD): 18th Symposium*, 16-18 november, Madrid, 24p.

Nash C. & T. Sansom (1999). Calculating transport congestion and scarcity costs. Final report of the expert advisors to the high level group on infrastructure charging, Working group 2, Bruxelles, 29p.

Nilsson J.E. (2002). Towards a welfare enhancing process to manage railway infrastructure access. *Transportation Research Part A*, 36, 419-436.

Papon F. (1991). *Les "routes de première classe": une tarification différenciée de la circulation en agglomération pour en améliorer l'efficacité économique de manière socialement équitable*. Thèse, Université de Paris XII, Paris, 303p.

Parlement Européen (2011). *Typologie et structure des organismes de contrôle du secteur ferroviaire dans l'Union européenne*. PE 460.038, Bruxelles, 74p.

Peigné F. (2014). Quelle gestion opérationnelle des circulations pour les lignes à grande vitesse ?. *Revue générale des chemins de fer*, 239, 28-38.

Perennes P. (2012a). Can the "invisible hand" draw the railroad timetable?. *In: Conférence internationale d'économie des transports "Kuhmo Nectar"*, 21-22 juin, Berlin, 26p.

Perennes P. (2012b). Pourquoi les tarifs de la SNCF sont-ils régulés? *Concurrence*, 3, 11p.

Perroud T. (2012). L'indépendance des autorités de régulation au Royaume-Uni. *Revue française d'administration publique*, 143, 735-746.

Petersen E.R. (1974). Over the road transit time for a single track railway. *Transportation Science*, 8, 65-74p.

Pigou A.C. (2010 [1920]). Divergences between marginal trade net product and marginal individual net product. *In:* Verhoef E. (Eds) (2010), *The economics of traffics congestion*, Edward Elgar Publishing, 184p.

Pochic S. (2001). Le chômage des cadres dans les années 90 : quelles déstabilisations ?. *In :* Bouffartigue P. (2001), *Cadres : la grande rupture*, La Découverte, 189-206.

Poulit J. (2014). Réduire les limitations de vitesse, c'est freiner la croissance et l'emploi. *La Tribune*, 06/01/2014, 5p.

Preston J. (2009). Competition for long distance passenger rail services: the emerging evidence. Discussion paper, *In: International Transport Forum (ITF-OECD): 18th Symposium*, 16-18 november, Madrid, 23p.

Prinz R. & J. Höllmüller (2006). *Implementation of the UIC 406 capacity calculation method at Austrian railways (ÖBB)*. ÖBB infrastructure AG, Vienne, 10p.

Putallaz Y. & P. Tzieropoulos (2012). Audit sur l'état du Réseau (audit Rivier). Groupe EPFL-LITEP, Lausanne, 30p.

Quinet E. (2003). Short term adjustments in rail activity: the limited role of infrastructure charges. *Transport Policy*, 10, 73-79.

Rapport Boiteux (2001). *Transport : choix des investissements et coût des nuisances*. Commissariat Général du Plan, Paris, 323p.

Rapport Lebègue (2005). *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*. Commissariat Général du Plan, Paris, 112p.

Rapport Gollier (2011). *Le calcul du risque dans les investissements publics*. Rapports & Documents, Centre d'analyse stratégique, Paris, 240p.

Rapport Quinet (2013). *Evaluation socioéconomique des investissements publics*. Rapports & documents, Commissariat général à la stratégie et à la prospective, Paris, 352p.

République française (1997). *Décret n°97-444 du 5 mai 1997 relatif aux missions et aux statuts de Réseau ferré de France*. NOR : EQUT9700686D, Paris, 12p.

République française (1997). *Décret n°97-446 du 5 mai 1997 relatif aux redevances d'utilisation du réseau ferré national perçues au profit de Réseau ferré de France*. NOR: EQUT9700688D, Paris, 4p.

République française (1997). *Loi n° 97-135 du 13 février 1997 portant création de l'établissement public " Réseau ferré de France " en vue du renouveau du transport ferroviaire*. NOR: EQUX9600118L, Paris, 4p.

République française (2003). *Décret n°2003-194 du 7 mars 2003 relatif à l'utilisation du réseau ferré national*. NOR: EQUX0300001D, Paris, 15p.

République française (2008*). Décret n° 2008-1204 du 20 novembre 2008 modifiant le décret n° 97-446 du 5 mai 1997 relatif aux redevances d'utilisation du réseau ferré national et le décret n° 2003-194 du 7 mars 2003 relatif à l'utilisation du réseau ferré national*. NOR: DEVT0818827D, Paris, 2p.

République française (2009). *Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (1)*. NOR: DEVX0811607L, Paris, 27p.

République française (2010). *Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (1)*. NOR: DEVX0822225L, paris, 108p.

République française (2011). *Ordonnance n° 2011-504 du 9 mai 2011 portant codification de la partie législative du code de l'énergie*. NOR: INDR1111324R, Paris, 12p.

République française (2013). *Ecologie, développement et aménagement durables*. Mission ministérielle, projets annuels de performances, annexe au projet de loi de finances pour 2013, Paris, 482p.

République française (2013). *Projet de loi portant réforme ferroviaire*. NOR : TRAX1320370/Rose-1, Paris, 104p.

RFF (2011a). *Ligne à grande vitesse Paris – Orléans – Clermont-Ferrand – Lyon : prévisions de trafic des scénarios de projet*. RFF, Paris, 108p.

RFF (2011b). *Perspectives de trafic et de circulation Sud-Est : LGV Paris – Lyon et LGV POCL*. RFF, Paris, 62p.

RFF (2013a). *Auditions pour la conférence pour le fret*. GT4 « utilisation de l'infrastructure et tarification », Paris.

RFF (2013b). *Calcul socio-économique et nouveaux objectifs assignés aux projets ferroviaires*. Rapport de recherche, Lyon, 137p.

RFF (2014). *Document de référence du réseau ferré national « horaire de service 2015 »*. RFF, Paris, 124p.

Rious V. (2014). Implementing incentive regulation and regulatory alignment with bounded regulators. *In: Conférence économique 2014*, 26 mai, Paris, 26p.

Rivier R. & Y. Putallaz (2005). Audit sur l'état du réseau ferré national français. Groupe EPFL-LITEP, Lausanne, 30p.

Robitaille M. & T. Nguyen (2003). Evaluation de la congestion "de la théorie à la pratique" : Réseau routier de l'agglomération de Montréal. *In: Congrès annuel de 2003 de l'association des transports du Canada*, 20-22 juin, St. John's, 28p.

Rochefort M. (1995). *Dynamique de l'espace français et aménagement du territoire*. L'Harmattan, Paris, 138p.

Rothengatter W. (1991). Deregulating the European Railway Industry: Theoretical Background and Practical Consequences. *Transportation Research A*, 25, 181 - 191.

Rothengatter W. (1994). Obstacle to the use of economic instruments in transport policy. *In: Internalising the social cost of transports*, OECD, Paris, 34p.

Rothrock C.A. (1956). Urban congestion index principles. *Highway Research Board Bulletin*, 156, 1-13.

Schafer A. & D.G. Victor (2000). The future mobility of the world population. *Transportation Research A*, 34, 171-205.

Schrank D. & T. Lomax (2001). 2001 Urban mobility report. Texas Transportation Institute, Arlington, 67p.

SETRA (2009). *Le transport ferroviaire de voyageur sur le réseau ferré national, exploration d'un système complexe*. Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, Paris, 93p.

Smith A. (2014). Lessons from empirical studies on incentives regulation. *In: Conférence économique 2014*, 26 mai, Paris, 31p.

SNCF (2010). *Résultats annuels 2009*. Groupe SNCF, Paris, 43p.

SNCF (2011). *Résultats annuels 2010*. Groupe SNCF, Paris, 39p.

SNCF (2012). *Résultats annuels 2011*. Groupe SNCF, Paris, 45p.

SNCF (2014a). Flotte TGV. *TGV Magazine*, 163, 92-93.

SNCF (2014b). *Résultats annuels 2013*. Groupe SNCF, Paris, 27p.

SNIT (2011). *Schéma national des infrastructures de transport*. Direction générale des infrastructures, des Transports et de la Mer, Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, Paris, 220p.

Solow R.M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth, *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94.

Steinmann L. (2013). RFF veut reformer ses péages pour faire circuler plus de TGV. *Les Echos*, 06/08/2013, 2p.

Steinmann L. (2014). Le succès de Blablacar bouscule la SNCF. *Les Echos*, 02/07/2014, 2p.

Tzieropoulos P. (2012). The Swiss Transport Policies and the NEAT Project. *In: Second Research Seminar on Railway Policy*, Karlsruhe, 40p.

Tzieropoulos P. (2014). La saturation et ses déterminants. *In : Conseil scientifique des observatoires de la saturation ferroviaire*, Paris, 25p.

UIC (2013). On-line statistics. Lien : http://www.uic.org/spip.php?rubrique1410

UIC Leaflet 406 (2004). *Capacity*. Paris, 26p.

United-Kingdom (1993). *Railways Act*. c. 43, 1993.

United-Kingdom (2003). Railways and Transport Safety Act. c. 20, 2003.

United-Kingdom (2005). *Railways Act*. c. 14, 2005.

Van de Velde, D., C. Nash, A. Smith, F. Mizutani, S. Uranishi, M. Lijesen & F. Zschoche (2012). *EVES---Rail – Economic effects of Vertical Separation in the railway sector*. Full technical report for CER – Community of European Railways and Infrastructure Companies, Amsterdam, 188p.

Verhoef E. (2010). *The economics of traffics congestion*. Edward Elgar Publishing, 184p.

Vickrey W. (2010 [1969]). Congestion theory and transport investment. *In:* Verhoef E. (Eds) (2010), *The economics of traffics congestion*. Edward Elgar Publishing, 184p.

Walther J. (2012). L'indépendance des autorités de régulation en Allemagne. *Revue française d'administration publique*, 143, 693-706.

Index des figures

Figure 1 : Evolution, en indices, entre 1990 et 2007, des tonnes-kilomètres transportées France par le mode ferroviaire 12
Figure 2 : Relation vitesse-densité 28
Figure 3 : Relation débit – vitesse 28
Figure 4 : Relation débit-densité 29
Figure 5 : Représentation du temps de parcours kilométrique initial selon le trafic initial 29
Figure 6 : Répartition par axe des données de trafic routier 35
Figure 7 : Estimation de la congestion routière par axe en 2010 selon les scénarios 40
Figure 8 : Evolution du trafic routier à l'horizon 2050 selon Pégase – Phénix (en Vkm) 41
Figure 9 : Estimation de la congestion routière par axe en 2050 selon le scénario Pégase-Phénix 42
Figure 10 : Projection du temps gêné annuel en 2020 sur le réseau autoroutier français 43
Figure 11 : Représentation d'une autoroute électrifiée 45
Figure 12 : Performance des entreprises de fret ferroviaire aux Etats-Unis entre 1964 et 2012 52
Figure 13 : Synthèse de la procédure d'allocation de la capacité et de résolution des problèmes de capacité 60
Figure 14 : Aperçu de l'organisation du système ferroviaire par la Commission européenne 62
Figure 15 : Aperçu de l'organisation du système ferroviaire en France en 2014 (avant le projet de loi portant réforme ferroviaire) 63
Figure 16 : Aperçu de l'organisation du système ferroviaire en France selon la loi du 4 août 2014 ... 64
Figure 17 : Rapport entre la modulation tarifaire horaire (en couleur) et la densité de trafic (en sillons-kilomètres 2012) 67
Figure 18 : Schématisation de la relation retard – densité de trafic 70
Figure 19 : Courbe débit – taux d'irrégularité ferroviaire 72
Figure 20 : Graphique horaire pour une heure de service en situation homogène (situation 1) 73
Figure 21 : Graphique horaire pour une heure de service en situation hétérogène (situation 2) 74
Figure 22 : Graphiques horaires en situation perturbée (retard de 10 min) 75
Figure 23 : Principe de tracé d'un sillon, tracé théorique et tracé horaire 75
Figure 24 : Détermination du coefficient ε 76
Figure 25 : Taux d'utilisation et notion de capacité 82
Figure 26 : Périmètre d'étude de la LGV Paris-Lyon et projets afférents 88
Figure 27 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon situation observée sur le réseau en 2008 91
Figure 28 : Evolution des trafics sur l'axe Sud-Est en millions de voyageurs entre 1980 et 1984 98
Figure 29 : Evolution des trafics TGV entre 1981 et 2007 99
Figure 30 : Evolution du PIB (en valeur) en France entre 1980 et 2007 100
Figure 31 : Chronologie des principaux mouvements sociaux à la SNCF entre 1981 et 2007 100
Figure 32 : Nombre de trains quotidiens par sens sur la LN1 101
Figure 33 : Evolution du nombre théorique de places sur la LN1 104
Figure 34 : Comparaison des prix à trois mois selon les principaux segments tarifaires pour le train de 18h28 entre Paris et Lyon (en euros) 105
Figure 35 : Schéma du principe de tarification d'un train et des contraintes liées 106
Figure 36 : Evolution comparée des trafics TGV (en nombre de voyageurs) et du PIB français (en valeur) entre 1995 et 2013 (indice base 100 : 1995) 112
Figure 37 : Evolution de la marge opérationnelle de la branche SNCF voyages de la SNCF entre 2007 et 2013 (en millions d'euros) 113
Figure 38 : Evolution des péages en millions d'euros perçus par RFF pour l'activité TGV entre 1997 et 2013 115
Figure 39 : Evolution comparée de « l'inflation ferroviaire » à l'inflation réelle observée en France sur la période 2005 – 2013 (Base 100 : 2005) 117

Figure 40 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon situation observée sur le réseau en 2008 123
Figure 41 : Composantes clefs de la capacité ferroviaire 126
Figure 42 : Schéma simplifié du jeu d'acteur pour le secteur ferroviaire 128
Figure 43 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon « infrastructure » 130
Figure 44 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon « matériel roulant » 131
Figure 45 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon « gestion des trafics » 132
Figure 46 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon « exploitation » 133
Figure 47 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 « tarification » 134
Figure 48 : Taux d'utilisation de la LGV à l'horizon 2050 selon un scénario « d'optimisation générale » 135
Figure 49 : Comparaison des grilles horaires en JOB du Shinkansen et du TGV 136
Figure 50 : Nouvelle approche de la définition de l'offre en transport ferroviaire en Suisse 137
Figure 51 : Régulation tarifaire dans le cas d'un monopole naturel 158
Figure 52 : Régulation de la capacité d'une infrastructure dans le cas d'un monopole naturel 159
Figure 53 : Hiérarchisation des différents outils de régulation incitative selon les compétences du régulateur 162
Figure 54 : Schéma du système de price cap 163
Figure 55 : Schématisation de la méthode des frontières 164
Figure 56 : Vitesse généralisée par type de service et selon le revenu net en euro en 2014 178

Index des tableaux

Tableau 1 : Valeurs usuelles retenues pour les facteurs de concentration 38
Tableau 2 : Valeurs moyennes retenues par le Sétra par type de route..... 38
Tableau 3 : Grille de lecture de la congestion routière 39
Tableau 4 : Systèmes de redevance en vigueur dans les différents pays européens en 1998 57
Tableau 5 : Analyse statistique simplifiée du travail de normalisation de la Commission européenne dans le secteur ferroviaire..... 61
Tableau 6 : Principales séries de TGV circulant sur le réseau LGV 86
Tableau 7 : Perspectives de trafic au point de passage de Pasilly à l'horizon 2050 88
Tableau 8 : Principales hypothèses retenues par RFF..... 89
Tableau 9 : Hypothèses d'offre selon la situation de référence (2008)..... 91
Tableau 10 : Liste des projets de LGV concernant l'axe Sud-Est 108
Tableau 11 : Perspectives d'évolution de l'offre en train (en %) sur les principales OD de l'axe Sud-Est entre 2008 et 2050 en TMJA et dans les deux sens..... 109
Tableau 12 : Classement des projets ferroviaires par la commission « Mobilité 21 » (2013) 121
Tableau 13 : Détail des hypothèses retenues pour la demande 122
Tableau 14 : Comparaison des sources de gain de trafic à l'horizon 2025 selon les scénarios 123
Tableau 15 : Formalisation des composantes de la capacité..... 129
Tableau 16 : Evolution du coût des opérations de régénération et d'entretien du réseau ferré..... 154
Tableau 17 : Comparaison des organismes de contrôle ferroviaires..... 170
Tableau 18 : Hypothèses retenues pour le calcul de la vitesse généralisée..... 177
Tableau 19 : Synthèse des projections de trafic à l'horizon 2025 pour les différents tracés du projet POCL en millions de voyageurs..... 180
Tableau 20 : Evolution du retard moyen des trains sur l'axe Paris-Lyon-Marseille..... 181
Tableau 21 : Evolution du retard moyen sur l'axe Paris-Lyon-Marseille en situation de référence et situation projet..... 182
Tableau 22 : Gains de trafic avec V360 par rapport à V320 en millions de passagers en 2025 182
Tableau 23 : Augmentation des prix TGV depuis 2009 comparée à l'inflation 183
Tableau 24 : Evolution des temps de parcours entre Paris et les principales villes de France sur la période 1980 – 2014..... 184
Tableau 25 : Synthèse des résultats obtenus pour chacun des scénarios 190

Liste des abréviations

AAR : Association of American Railroads

ARAF : Autorité de Régulation des Activités Ferroviaires

BNA : Bénéfice Net Actualisé

BLS : Compagnie ferroviaire des Alpes bernoises Bern–Lötschberg–Simplon

CA : Chiffre d'Affaire

CE : Commission Européenne

CE : Communauté Européenne *(s'applique uniquement aux directives)*

CEE : Communauté Economique Européenne

CFAL : Contournement Ferroviaire de l'Agglomération Lyonnaise

CFF : Chemins de Fer Fédéraux

DB : Deutsche Bahn

DCF : Direction de la Circulation Ferroviaire

CNM : Contournement Nîmes - Montpellier

CRE : Commission de Régulation de l'Energie

DRR : Document de Référence du Réseau

DUP : Déclaration d'Utilité Publique

EF : Entreprise Ferroviaire

ENRRB : European Network Rail Regulatory Bodies

ERA : Agence Ferroviaire Européenne

ERTMS : European Rail Traffic Management System

GI : Gestionnaire d'Infrastructure

GIU : Gestionnaire d'Infrastructure Unifié

ICC : Interstate Commerce Commission

IDF : Ile de France

IRG-Rail Independant Regulator's Group – Rail

JR : Japan Railways

LGV : Ligne à Grande Vitesse

MOP : Marge Opérationnelle

NS : Nederlandse Spoorwegen

OC : Organisme de Contrôle

OSP : Obligation de Service Public

PACA : Provence Alpes Côte d'Azur

PE : Parlement Européen

PKR : Prix Kilométrique de Réservation

PLM : Paris – Lyon – Marseille

POCL : Paris – Orléans – Clermont-Ferrand – Lyon

RA : Railways Act

RFF : Réseau Ferré de France

RTEFF : Réseau Transeuropéen de Fret Ferroviaire

RTE-T : Réseau Transeuropéen de Transport

SAP : Système d'Amélioration des Performances

SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer Français

SNCF infra : SNCF infrastructure

SNIT : Schéma National des Infrastructures de Transport

SA : Société Anonyme

SOB : Südostbahn

TGV : Train à Grande Vitesse

Tkm : Tonne-kilomètre

TVM : Transmission Voie-Machine

UE : Union Européenne

UM : Unité Multiple

VAN : Valeur Actualisée Nette

Table des matières

Remerciements **3**

Sommaire **5**

Introduction **9**

Chapitre I – La congestion routière : un phénomène de club **15**

1.1. Aux origines du principe de congestion, les externalités **17**

1.1.1. Des externalités positives aux externalités négatives 17

1.1.1.1. Marshall et le principe d'externalité positive 17

1.1.1.2. Pigou et les externalités négatives 18

1.1.1.3. Le principe d'une taxation incitative 19

1.1.2. Querelle des effets externes et principe de congestion 21

1.1.2.1 L'interventionnisme contesté de l'Etat 21

1.1.2.2. La réponse de Pigou : première description du phénomène de congestion 21

1.1.2.3. Approfondissement de l'analyse du phénomène de congestion 22

1.1.3. La congestion comme un effet de club 24

1.1.3.1. Approche contemporaine du phénomène de congestion 24

1.1.3.2. Un phénomène multiforme 25

Conclusion 25

1.2. Caractérisation de la congestion, le modèle routier **27**

1.2.1. Les diagrammes fondamentaux 27

1.2.1.1. Relation vitesse – densité de trafic 27

1.2.1.2. Relation débit horaire – vitesse 28

1.2.1.3. Relation débit horaire – densité de trafic 28

1.2.2. L'utilité de l'infrastructure et la valeur du temps 30

1.2.3. Mesurer la congestion routière 31

1.2.3.1 Rétrospective des principaux développements : analyse statique et dynamique 31

1.2.3.2 Le temps : élément clef de définition des indicateurs de congestion 32

1.2.3.3 Piste pour un indicateur de congestion synthétique 33

Conclusion 34

1.3. Evaluation de la congestion routière en France à l'horizon 2050 ..... **35**

1.3.1. Le choix de l'indicateur du « temps gêné » 35

1.3.1.1. La congestion calculée à partir du concept de « temps gêné » 35

1.3.1.2. La méthode de calcul 36

1.3.1.3. Le paramétrage et la grille de lecture 38
1.3.2. Un horizon sans congestion sur les principaux axes routiers français 40
1.3.2.1. Un réseau sans contrainte particulière de capacité en 2010 40
1.3.2.2. Une tendance en défaveur du mode routier à l'horizon 2050 41
1.3.2.3. Une route peut en cacher une autre 42
1.3.3. Va-t-on vers la fin du mode routier pour les longues distances ? 44
1.3.3.1. Un problème d'attractivité 44
1.3.3.2. Proposer de nouveaux services 44
1.3.3.3. Repenser le véhicule individuel 45
Conclusion 46
Conclusion du chapitre 47

Chapitre II – Le principe de congestion est-il transférable au transport ferroviaire ? ... 49
2.1. La capacité, un enjeu clef du processus de restructuration du système ferroviaire 51
2.1.1. Remise en cause du monopole verticalement intégré et allocation des capacités 51
2.1.1.1. Des initiatives privées aux grands monopoles ferroviaires intégrés 51
2.1.1.2. Les limites d'un modèle : endettement et sous-performance 52
2.1.1.3. Le réveil européen : de la Suède à la Commission européenne 53
2.1.2. Le modèle européen, une approche normalisatrice 54
2.1.2.1. La directive 91/440/CEE : une ébauche de normalisation et d'harmonisation 55
2.1.2.2. Directive 2001/14/CE : une étape majeure 57
2.1.2.3. Directive 2012/34/UE : la consolidation 60
2.1.3. Cas pratique de la France, une interprétation en « méandre libre » du droit européen 61
2.1.3.1. La création de Réseau Ferré de France : interprétation de la séparation 62
2.1.3.2. Les missions du gestionnaire d'infrastructure : la répartition des capacités et la tarification 64
2.1.3.3. Avis de l'ARAF sur l'allocation des capacités et la tarification 68
Conclusion 68
2.2. Caractérisation du phénomène de congestion pour le club ferroviaire 69
2.2.1. Existe-t-il des diagrammes fondamentaux applicables au ferroviaire ? 69
2.2.1.1. Une relation entre densité de trafic et retard ? 70
2.2.1.2. Des résultats difficiles à reproduire d'une ligne à l'autre 71
2.2.1.3. Quand le retard est aléatoire 71
2.2.2. Principes de production de la capacité ferroviaire et procédure d'attribution 73
2.2.2.1. Organisation des circulations et capacité de l'infrastructure 73
2.2.2.2. Tracé des sillons et prise en compte du risque d'irrégularité 74
2.2.2.3. Derrière la saturation, la question de la performance 76
2.2.3. Une approche protéiforme du phénomène de congestion ferroviaire 77
2.2.3.1. La phase amont : anticipation et négociation 77
2.2.3.2. La phase aval : exploitation et externalités 79

2.2.3.3. Congestion ferroviaire : coût de négociation et amélioration des performances..... 79
Conclusion..... 80
2.3. Mesurer le taux d'utilisation d'une infrastructure ferroviaire, application au cas de la LGV Paris-Lyon..... 81
2.3.1. Interprétation simplifiée de la capacité et de la saturation..... 82
2.3.1.1. Interprétation de la capacité..... 82
2.3.1.2. Interprétation de la saturation..... 84
2.3.2. Formalisation de la méthode..... 85
2.3.2.1. Spécificités d'une LGV..... 85
2.3.2.2. Méthode..... 86
2.3.3. Hypothèses et résultats..... 87
2.3.3.1. Hypothèses de demande : extension du réseau LGV..... 88
2.3.3.2. Hypothèses d'offre selon la situation de référence (2008)..... 89
2.3.3.3. Résultats : vers une saturation de l'infrastructure à horizon 2020 - 2025..... 91
Conclusion..... 92
Conclusion du chapitre..... 93

Chapitre III – Le TGV, de l'enfance à la maturité ?..... 95
3.1. TGV, le temps des succès..... 97
3.1.1. L'expansion des trafics et de l'offre..... 97
3.1.1.1. L'arrivée du TGV : un regain de compétitivité pour le ferroviaire..... 97
3.1.1.2. Des solutions de continuité dans l'évolution des trafics..... 99
3.1.1.3. Une croissance continue de l'offre sans solution de continuité..... 101
3.1.2. Une adaptation progressive de la capacité et des méthodes de production..... 102
3.1.2.1. Développer la fréquence : le débit de la ligne..... 102
3.1.2.2. Massifier le transport : capacité des trains et politique commerciale..... 103
3.1.2.3. Garantir l'offre par la tarification : le yield management..... 104
3.1.3. Quel avenir pour l'activité TGV ? Le scénario optimiste..... 107
3.1.3.1. Le SNIT, un schéma ambitieux..... 107
3.1.3.2. Détail du risque de saturation de l'axe Sud-Est par O-D..... 108
3.1.3.3. Des marges de capacité trop faibles ?..... 110
Conclusion..... 110
3.2. « TGV, le temps des doutes »..... 111
3.2.1. Crise économique ou limites du modèle économique ?..... 111
3.2.1.1. Une stagnation des trafics depuis 2011..... 112
3.2.1.2. Une réduction de la marge opérationnelle depuis 2007..... 113
3.2.1.3. Un modèle économique déséquilibré..... 114
3.2.2. Un nouveau venu dans le modèle économique du TGV, les péages..... 115
3.2.2.1. Bref historique des péages et désaccords entre RFF et la SNCF..... 115
3.2.2.2. Les ingrédients de « l'inflation ferroviaire »..... 116

3.2.2.3. Les péages comme arme anti-concurrence ? ... 117
3.2.3. La Commission mobilité 21, vers une nouvelle ère ? ... 118
3.2.3.1. Dette publique et remise en cause du SNIT ... 118
3.2.3.2. Commission « Mobilité 21 » : nouvelle hiérarchisation des projets ... 119
3.2.3.3. Quel nouvel horizon de saturation ? ... 122
Conclusion ... 124
3.3. Repousser les limites ? ... 125
3.3.1. Quelles pistes d'adaptation pour accroître la capacité ? ... 125
3.3.1.1. Schématisation des composantes essentielles de la capacité ... 125
3.3.1.2. La capacité : un jeu d'acteur spécifique ... 127
3.3.1.3. Paramétrage des composantes de la capacité ... 129
3.3.2. Test des pistes d'adaptation (composantes) sur la capacité de la LGV Paris-Lyon ... 130
3.3.2.1. Test « infrastructure » : la piste du dédoublement de l'infrastructure ... 130
3.3.2.2. Test « matériel roulant » : la piste du TGV « haute densité » ... 131
3.3.2.3. Test « gestion des trafics » : la piste de l'optimisation de la gestion des trafics ... 132
3.3.2.4. Test « exploitation » : la piste du système de contrôle-commande ERTMS 2 ... 132
3.3.2.5. Test « tarification » : la piste de l'économie de la congestion ferroviaire ... 133
3.3.3. Discussion : test « d'optimisation générale » ... 135
3.3.3.1. Changer de paradigmes pour gagner en capacité ... 135
3.3.3.2. Quelques exemples de massification : le Shinkansen japonais et le cadencement suisse ... 136
Conclusion ... 137
Conclusion du chapitre ... 139

Chapitre IV – Quels enseignements retenir de la saturation ferroviaire ? ... 141
4.1. La saturation, un indicateur clef de performance du système ferroviaire ... 143
4.1.1. Le temps de la performance : une définition en cours de construction en Europe ... 144
4.1.1.1. Directive 91/440/CEE : principes d'efficacité et de compétitivité ... 144
4.1.1.2. Directive 2001/14/CE : mise en place d'outils ... 144
4.1.1.3. Directive 2012/34/UE : normalisation et harmonisation des approches ... 146
4.1.2. Applications en Europe : l'avance de la Suisse ... 148
4.1.2.1. Aperçu européen : des approches multiples ... 148
4.1.2.2. La France : en attendant le nouveau contrat de performance (2013-2017) ... 149
4.1.2.3. L'autre performance : le système d'amélioration des performances (SAP) ... 151
4.1.3. En France, des indicateurs qui restent à définir ... 152
4.1.3.1. Moderniser le réseau pour améliorer ses performances ... 152
4.1.3.2. Des efforts à poursuivre : le rapport Putallaz & Tzieropoulos (2012) ... 153
4.1.3.3. L'innovation au service de la performance ... 154
Conclusion ... 155

4.2. Réguler pour inciter à l'amélioration des performances et innover 157
4.2.1. Réguler le monopole naturel pour la performance 158
4.2.1.1. Réguler économiquement le monopole 158
4.2.1.2. Réguler techniquement le monopole 159
4.2.2. Quelles conditions et quels outils pour une régulation incitative ? 161
4.2.2.1. Une régulation pour l'amélioration des performances 161
4.2.2.2. La nécessité d'un cadre législatif pour une régulation efficace..... 161
4.2.2.3. Des outils multiples à différents niveaux d'efficacité 162
4.2.3. Le cas particulier de la régulation ferroviaire : patience et apprentissage 165
4.2.3.1. De nombreux obstacles intrinsèques à l'organisation du système..... 165
4.2.3.2. Le principe de régulation ferroviaire dans le droit européen..... 165
4.2.3.3. L'application du droit européen : deux écoles..... 167
Conclusion..... 171
4.3. Projet de désaturation, quelle lecture du calcul économique ?..... 173
4.3.1. Gain de temps et variation des prix dans le calcul économique 173
4.3.1.1. Bref rappel des principes du calcul économique 173
4.3.1.2. Le calcul du paramètre avantages (A) : coût généralisé 174
4.3.2. La vitesse à l'épreuve de son prix, le concept de vitesse généralisée..... 175
4.3.2.1. Un rapport entre revenu des usagers et coût de la vitesse 175
4.3.2.2. Application au cas de l'axe Paris-Lyon 177
4.3.2.3. Regain en compétitivité de la route et marge de manœuvre pour le TGV 179
4.3.3. Valeur du temps et biais de perception : le cas du projet POCL 180
4.3.3.1. A la recherche des gains de temps..... 180
4.3.3.2. Le prix du billet : un impact non marginal 183
4.3.3.3. Grande vitesse, gains de temps et biais d'optimisme 183
Conclusion..... 185
Conclusion du chapitre 187

Conclusion..... 189

Bibliographie..... 193

Index des figures..... 209

Index des tableaux..... 211

Liste des abréviations..... 213

Table des matières..... 215

Executive summary **221**

Résumé **222**

Executive summary

There is still much progress to make concerning the French and the European railway networks, both from governance and competitiveness standpoints. This is the conclusion this work lead to. The results from the Enerdata-LET research consortium (2014) illustrate that, considering factor 4 for horizon 2050, the modal shift of demand in transport towards railway could be massive. Regarding this, the situation of Paris-Lyon high-speed line, already up to its saturation level, addresses the issue of the capacity a system possesses to bear new traffics. Two schools oppose there. On one side, the supporters of the SNIT suggest a quasi-doubling of the high-speed railway network, in order to cope with futures needs, whereas on the other side, the "Mobilité 21" commission gives priority to the search of increasing returns from the existing infrastructure. Without claiming to solve the issue, this work attempts to bring up comprehension elements on the interaction between demand and offer in the railway sector.

Studying the accordance between an increase in railway demand and offer leads us to question performance. It means being able to define capacity of the railway infrastructure, first. But it also means questioning its limits, which addresses the phenomenon of saturation, also called congestion. Eventually, this all inevitably leads to put into perspective the relativeness of these limits and to question the ways to overcome them.

The objective of this research is to apply this issue to the railway system, accounting its specificities. We consider its constitution as a network industry and as a natural monopoly, when considering the infrastructure (infrastructure manager). Without pretending to conclude the debate on governance, we consider that this particularity might influence actors and, thus, performance. We also consider the legal framework at the European scale. One can't question performance without framing the railway sector within its legal context. Then, the main purpose of the analysis stands in the study of saturation of the Paris-Lyon high-speed line. We consider the line as representative of the expected performance level of the whole French railway network. It challenges both technical and economic capacities that are in the core of our rationale on performance, its requirements and the opportunities of the French network.

Résumé

Les marges de progression pour le système ferroviaire français et européen restent nombreuses tant du point de vue de la gouvernance que de la compétitivité. C'est la conclusion à laquelle tend ce travail. Les résultats du consortium de recherche Enerdata-LET (2014) montrent que dans le respect du facteur 4 à horizon 2050, le report de la demande en transport vers le ferroviaire pourrait être massif. Face à cela, la situation de la LGV Paris-Lyon, déjà à la limite de la saturation, interroge sur la capacité du système à accueillir de nouveaux trafics. Deux écoles s'affrontent sur cette question. D'un côté, les tenants du SNIT proposent un quasi doublement du réseau LGV pour répondre aux futurs besoins tandis que la commission « Mobilité 21 » privilégie la recherche de rendements croissants à partir de l'existant. Sans prétendre résoudre le débat, ce travail tente d'apporter des éléments de compréhension sur l'interaction entre demande et offre dans le ferroviaire.

L'étude de la concordance entre augmentation de la demande et offre ferroviaire nous mène à poser la question de la performance. Elle sous-entend d'être en premier lieu capable de définir la capacité d'une infrastructure ferroviaire. En second lieu, la mise en évidence de limites conduit à interroger le phénomène de saturation ou congestion. Enfin, interroger la notion de saturation mène inévitablement à mettre en perspective la relativité des limites et à poser la question de leur dépassement.

L'objectif de cette recherche est d'appliquer cette problématique au système ferroviaire en tenant compte de ses spécificités. On tient compte de sa constitution en tant qu'industrie de réseau et de monopole naturel dans le cas de l'infrastructure (gestionnaire d'infrastructure). Sans prétendre trancher le débat sur le mode de gouvernance, on considère que cette particularité peut influencer le comportement des acteurs et indirectement la performance du système. On considère également l'évolution législative du système au niveau européen. On ne peut aborder la question de la performance sans resituer le secteur dans son contexte juridique. Enfin, l'essentiel de l'analyse repose sur l'étude de la saturation de la LGV Paris-Lyon. On considère cette LGV représentative de la performance souhaitée pour le réseau ferroviaire français. Elle concentre à la fois les défis techniques et économiques de la capacité qui constituent le cœur de notre réflexion sur la performance, ses conditions et les marges de progression du réseau français.