

# Exploration de la congestion ferroviaire : proposition d'une méthode pour estimer le taux d'occupation d'une infrastructure

Florent Laroche

Laboratoire d'Economie des Transports (LET)

Sous la direction du professeur Yves Crozet

En partenariat avec la Fédération des Industries Ferroviaires (FIF) sous la  
direction de Jean-Claude Raoul



UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2  
UNIVERSITÉ DE LYON

# Introduction

- **Démarche de recherche inductive :**
  - Mise en perspective des travaux de prospectives de flux de transport à l'horizon 2050 (LET – Enerdata, 2009, 2012) par rapport à la capacité du réseau
  - Approfondissement pour les flux ferroviaires
  - Mise en évidence d'un risque de congestion dans le ferroviaire à l'horizon 2050
  - Phénomène renforcé par la réforme en cours du système ferroviaire européen

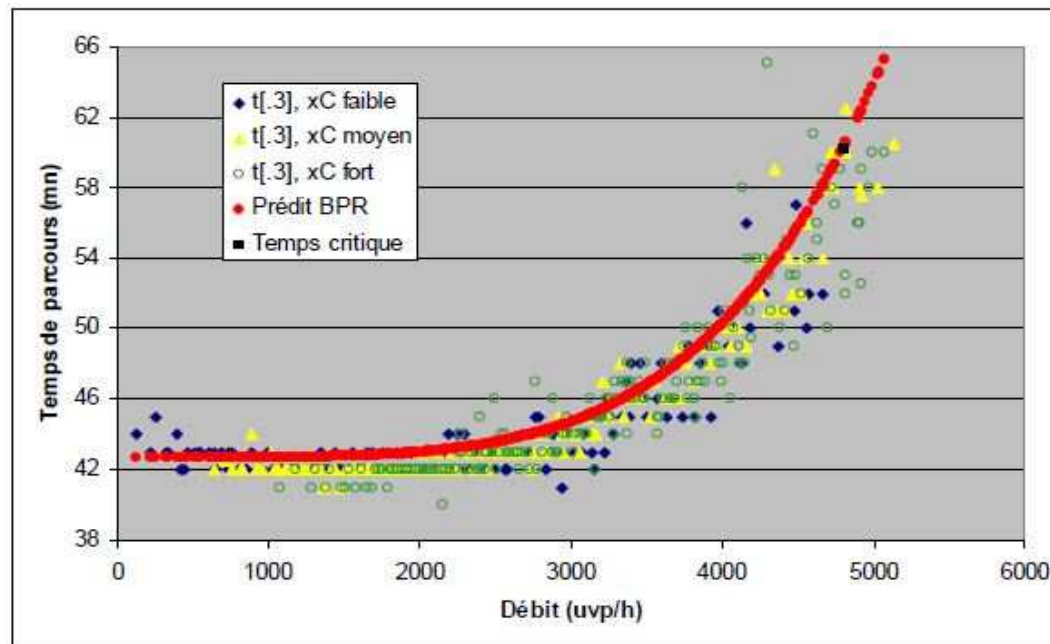
=} Présentation d'une méthode d'évaluation du taux d'utilisation d'une infrastructure ferroviaire

# Plan de la présentation

- **Revue de littérature**
  - Du phénomène de congestion dans les transports
  - Caractérisation du phénomène de congestion pour le mode ferroviaire
- **Présentation du modèle**
  - Structure et données
  - Méthode définie
  - Hypothèses et scénarios retenus
- **Applications et résultats**
  - Grille de lecture de la congestion ferroviaire
  - Taux d'occupation en 2050 et choix d'investissement
- **Conclusion**

# Du phénomène de congestion dans les transports (1/3)

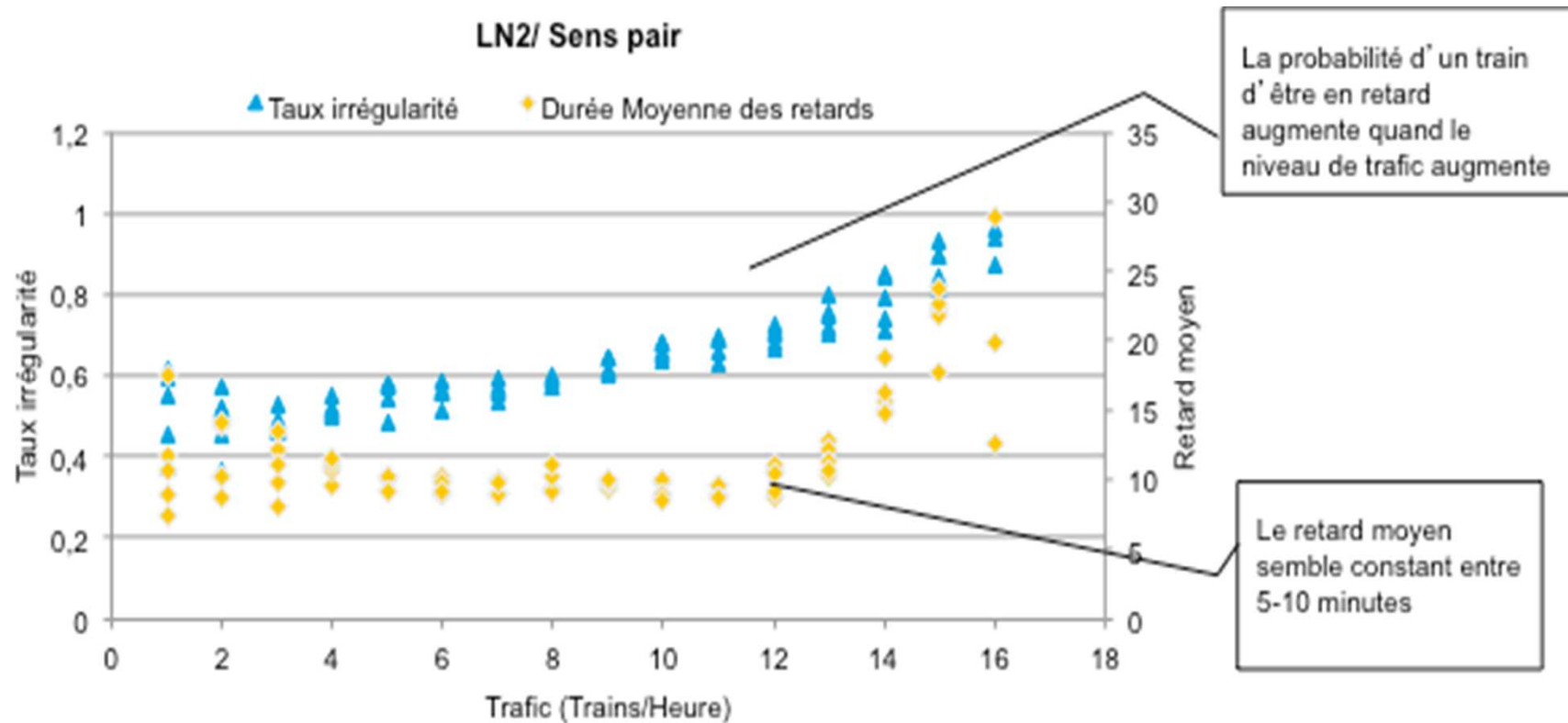
- **Définition du concept :**
  - **Externalité négative à internaliser** (quelle régulation de la congestion?) (Pigou, 1920; Knight, 1924)
  - Relation entre le **niveau d'utilisation de l'infrastructure et son débit**
- **Très développé pour le mode routier : Fonction temps-débit** (Mohring et Hartwitz, 1962)



- **Littérature plus rare et tardive pour les activités planifiées :**
  - Mise en évidence dans l'aérien d'une **relation entre activité d'un aéroport et probabilité du retard** (Carlin et Park, 1970; Merchan et De Rus, 2006)
  - Mise en évidence d'une relation entre **circulation d'une ligne et risque de retard dans le ferroviaire** (Gibson, 2002; RFF, 2012)

## Caractérisation de la congestion dans le ferroviaire (2/3)

- **Congestion inter-voyageurs** : accessibilité et confort de voyage (Marlot, 2012)
- **Congestion inter-trains** : **Fonction débit/irrégularité** (Gibson et Al., 2002; RFF, 2012)



- La congestion se traduit en « **risque de retard** » comme pour l'aérien (activité planifiée)  
= } Arbitrage entre résilience et capacité du système

## Caractérisation de la congestion dans le ferroviaire (3/3)

- Problématique renforcée par l'évolution du système ferroviaire européen :
  - Séparation verticale (Directive 91/440)
  - Monopole d'Etat vers marché régulé (création d'une autorité de la concurrence : ARAF, 2009)
- Apparition d'externalités dont la congestion
  - L'ARAF : a demandé à RFF dans son premier avis sur la tarification de l'infrastructure (2012) de justifier ses variations tarifaires au cours de la journée
- Double besoin pour le gestionnaire d'infrastructure
  - Définition du taux d'utilisation de l'infrastructure
  - Estimation du coût de la congestion
    - =} Envoi d'un « signal prix » à l'opérateur de service et aux usagers (capter leur surplus)

=} Proposition d'une méthode de quantification du taux d'utilisation de l'infrastructure ferroviaire

# Structure du modèle

- **Caractéristiques propres au modèle :**
  - Demande considérée en période de pointe
  - Calibré pour le réseau national (axes structurants du réseau)
  - Réseau défini à partir de ses goulots d'étranglement (« Bottleneck ») hors nœud ferroviaire
  - On estime que les nœuds ferroviaires s'adaptent à la marge en fonction de l'évolution des trafics
- **Caractéristiques liées aux données (Enerdata – LET, 2009) :**
  - On raisonne à partir de tonnes et passagers kilomètre
  - Ne sont projetés que les flux inter-régionaux et internationaux
  - Désagrégation des flux en 12 axes
- **Trois étapes dans la modélisation :**
  - Conversion des tkm et pkm en trains/heure (*demande*)
  - Estimation de la capacité du réseau (*Offre*)
  - Définition du taux d'utilisation de l'infrastructure (*Demande/Offre*)

## Etape 1 : Conversion PKM en trains/heure par axe ( $TA_{ph}$ )

$$TA_{ph} = [((PKM/Q_p) * \chi) / R_1] + [((PKM/Q_p) * \gamma) / R_2] / H_p \quad (1)$$

- $Q_p$  est la **quantité moyenne en passagers transportés** par train de passagers;
- **$R_1$  (réseau primaire) et  $R_2$  (réseau secondaire)** illustrent l'hétérogénéité du réseau :
  - $\chi$  % du trafic total se concentre sur  $R_1$  et  $\gamma$  % sur  $R_2$  où  $R$  est la distance en km des itinéraires de chaque axe pour le transport de passagers.
- $H_p$  correspond au **nombre d'heures d'exploitation** du service de transport sur une année.

*NB – La formule pour le fret ferroviaire ne prend pas en compte la ventilation des trafics  $R_1/R_2$  : répartition homogène des flux sur l'ensemble du réseau mais ne circule pas sur les Lignes à Grande Vitesse (LGV)*



## Etape 2 : estimation de la capacité d'un axe ( $C_p$ )

$$C_p = [(C_T - (C_T * \alpha)] * k \quad (2)$$

- $C_p$  représente la « **capacité pratique** » d'une infrastructure par opposition à sa « **capacité théorique** » ( $C_T$ )
  - « Cette notion de « capacité pratique » tient compte d'une marge dite de « souplesse » afin d'éviter la saturation et les retards en cascade en cas d'incidents » (Sétra, 2009)
  - Le **coefficient k de « souplesse »** est compris dans l'intervalle ]0 – 1[
- $\alpha$  exprime la **part représentée par le trafic régional** dans le trafic ferroviaire total.
- Chaque axe est constitué de 1 à 2 itinéraires
- On distingue **trois types d'itinéraire** :
  - **LGV** : dans le cas où l'ensemble du trafic inter-régional est opéré sur LGV
  - **Mixte** : pour les lignes classiques (inter-régional – régional – Fret)
  - **Fret** : dans le cas où une LGV assure le trafic interurbain passagers (Fret – régional)

*NB - Le coefficient  $\alpha$  ne s'applique pas au calcul de capacité pour l'itinéraire de type LGV ( $C_p = C_T * k$ )*

## Etape 3 : définition du taux d'utilisation de l'infrastructure

$$C_o = [((Ta_{fh} * \lambda_f) + (Ta_{ph} * \theta_p)) / (C_{p1} + C_{p2})] * 100 \quad (3)$$

- $C_o$  est le **rapport entre la capacité pratique d'un axe et sa charge de trafic.**
- $\lambda_f$  et  $\theta_p$  sont les **coefficients de concentration**, respectivement, pour la circulation fret et passagers.
- Le choix a été fait de s'inspirer directement des coefficients de concentration mis en évidence dans la méthode routière (Sétra, 2009), pour **simuler les heures de pointe dans le trafic ferroviaire.**

*NB : Formule dans le cas d'un axe à 1 itinéraire :*

$$C_o = [((Ta_{fh} * \lambda_f) + (Ta_{ph} * \theta_p)) / C_p] * 100$$

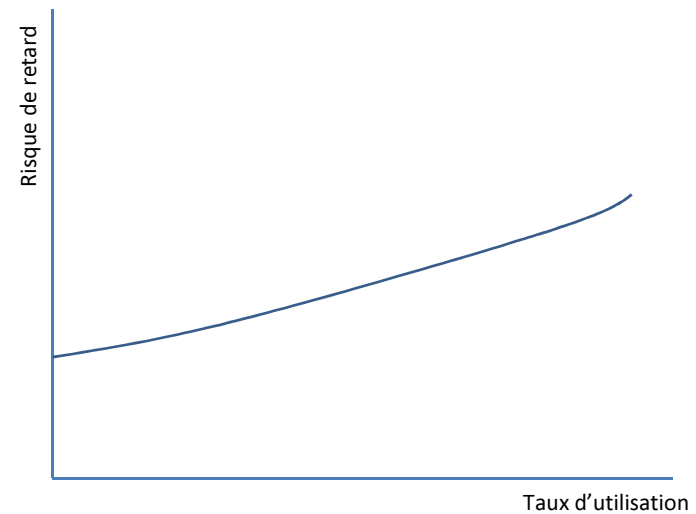
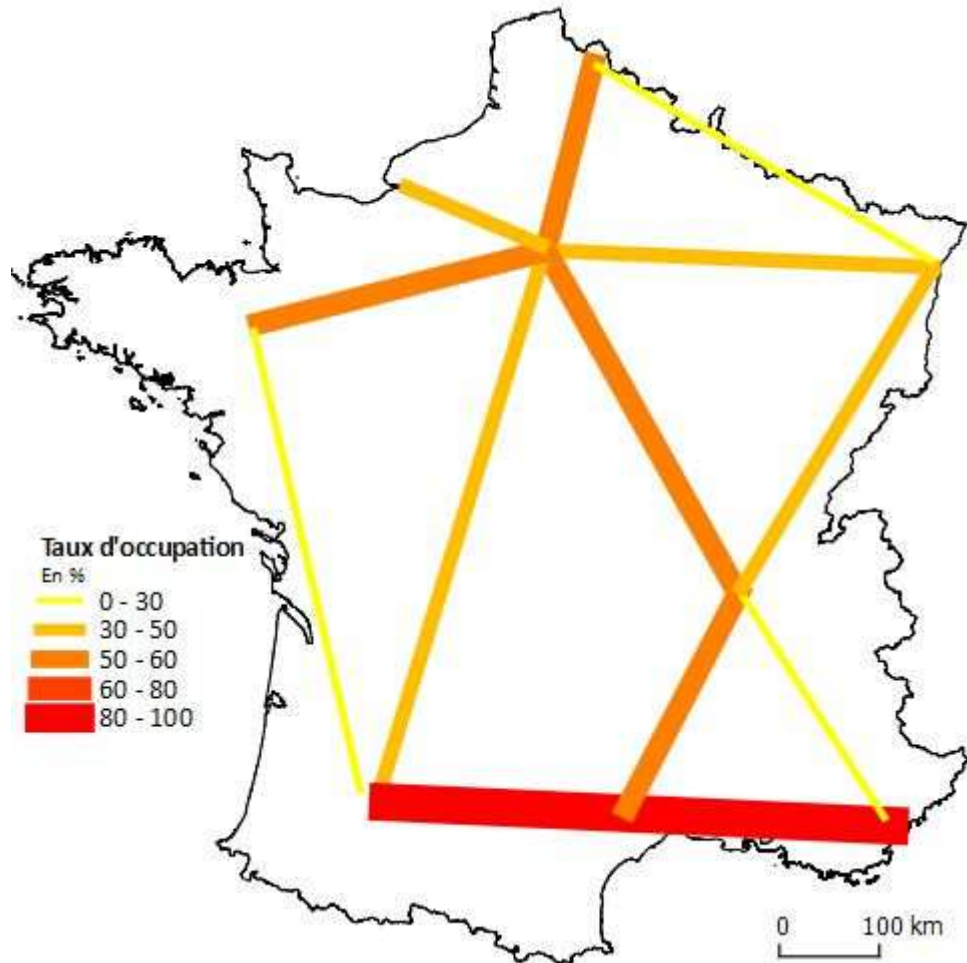
# Table des hypothèses et scénarios

	S 1 (2010)	S 2 (Matériel roulant 2050)	S 3 (exploitation 2050)	S 4 (infrastructure 2050)
<b>Hypothèses train/h</b>				
Passagers/train	320	<b>750</b>	320	320
Tonnes/train	400	<b>800</b>	400	400
Infrastructure [1]	situation 2010	Sans SNIT	Sans SNIT	<b>Avec SNIT*</b>
Ventilation trafic R1-R2				
R1	0,7	0,7	0,7	0,9
R2	0,3	0,3	0,3	0,1
Heures opérationnelles				
Fret	8030 (22/24h)	8030	8760 (24/24h)	8030
Voyageurs	6570 (18/24h)	6570	6935 (19/24h)	6570
<b>Hypothèses capacité</b>				
Capacité théorique LGV	15	15	<b>20</b>	15
Capacité théorique classique	14	14	<b>15</b>	14
Occupation TER	0,3	0,3	0,3	0,3
Type lignes/axe [2]	cf. tableau annexe			
Coefficient k	<b>0,75</b>	0,8	0,8	0,8
Concentration fret	1,1	1,1	1,1	1,1
Concentration voyageurs	1,6	1,8	1,8	1,8

*\*SNIT : projets à « lancer avant 2020 » réalisés en 2050*

# Application 1 : Proposition d'une grille de lecture du taux d'occupation ou d'un « indicateur de congestion ferroviaire »

Estimation du taux d'occupation du réseau ferroviaire en 2010 par axe

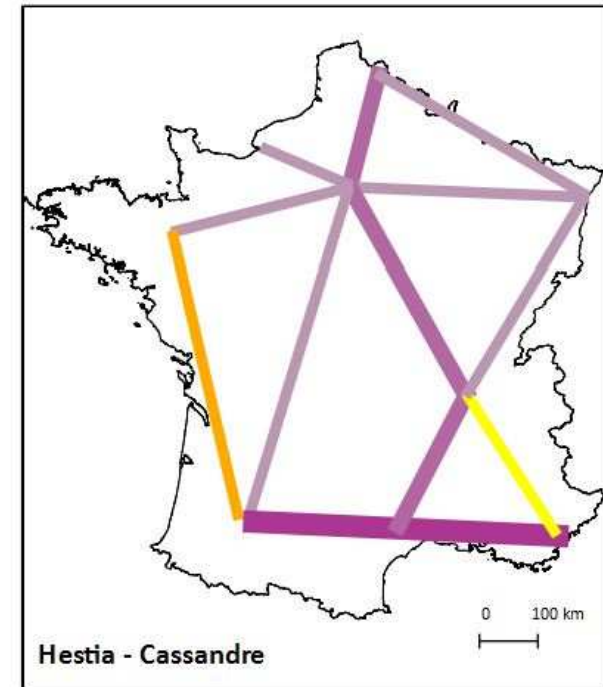
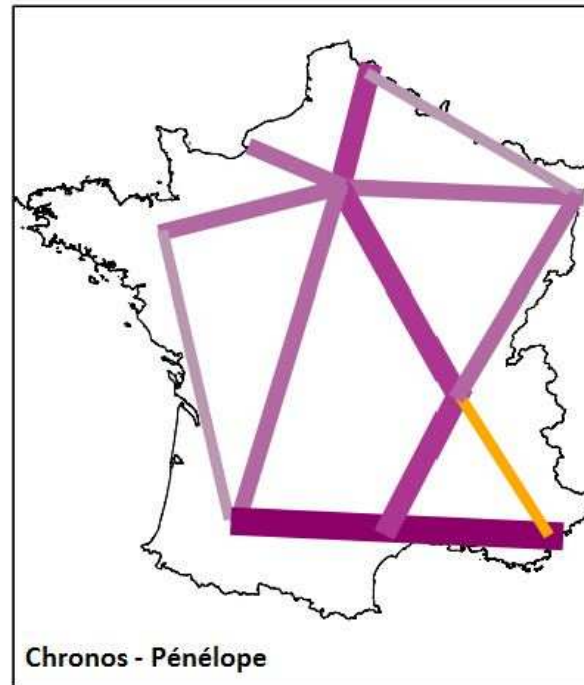
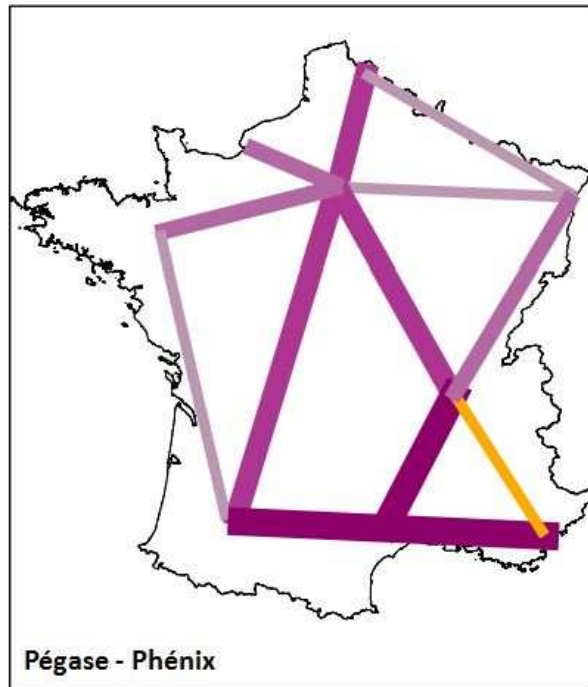


Taux d'utilisation de l'axe (en %)	Trains/h (2 sens)	Risque de retard (en %)	Impact sur la qualité de service

- Définition d'un indicateur de congestion ferroviaire sur le modèle de l'indicateur routier du « temps gêné » (Sétra, 2009)
- Indicateur à développer sur la base du « risque de retard »

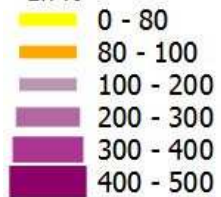
## Application 2 : estimation du taux de congestion à 2050 (1/3)

Situation de référence : 2050



Taux d'occupation

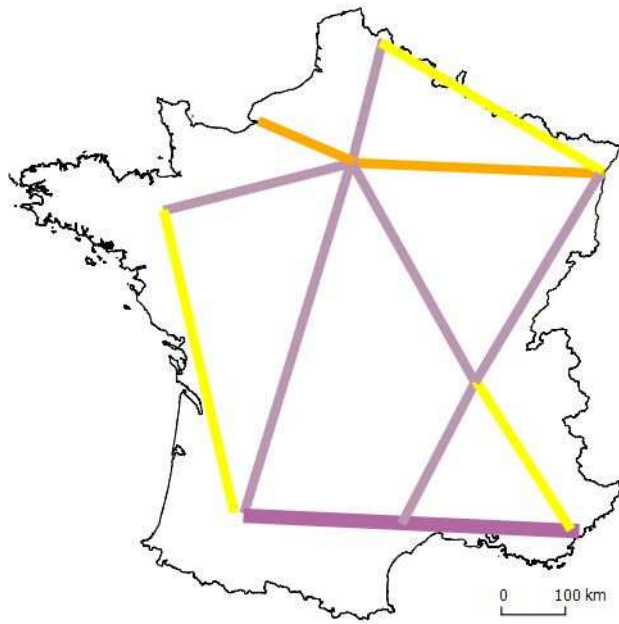
En %



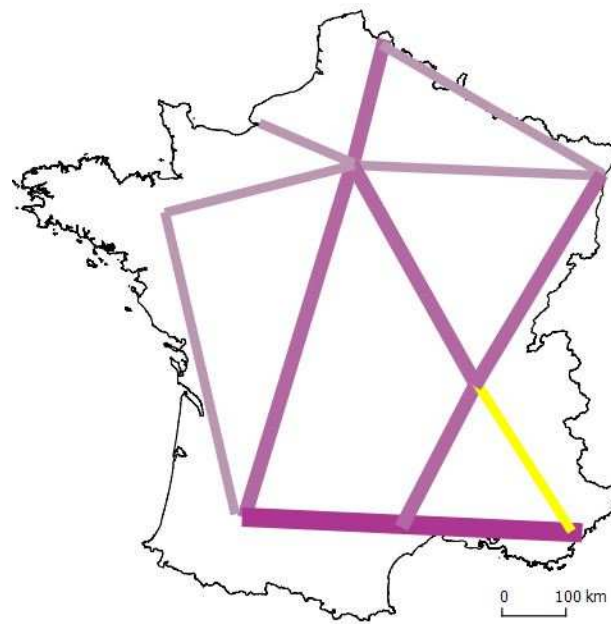
**Résultat : saturation du réseau en 2050**

- Multiplication du trafic journalier moyen par 5 entre 2010 et 2050 (1600 à 8050 trains/jour)
- Taux d'occupation de l'infrastructure 4 fois supérieur à la capacité du réseau

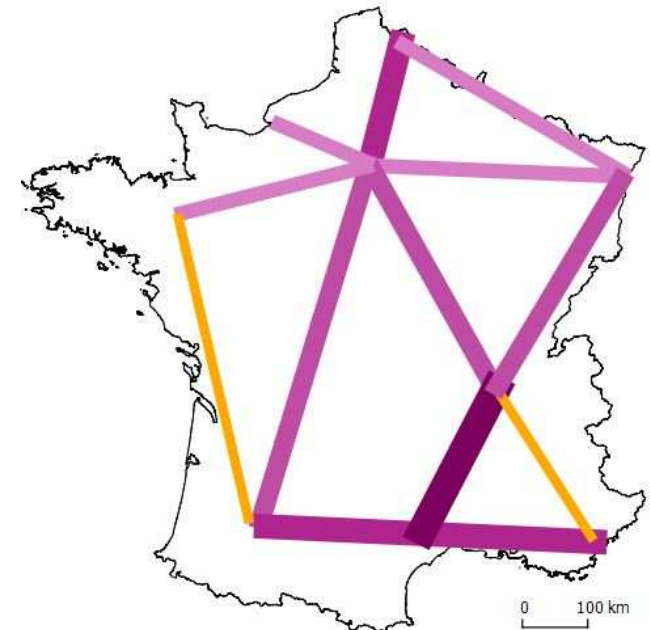
## Application 2 : estimation du taux de congestion à 2050 du réseau ferroviaire (2/3)



Matériel roulant-S2



Exploitation-S3

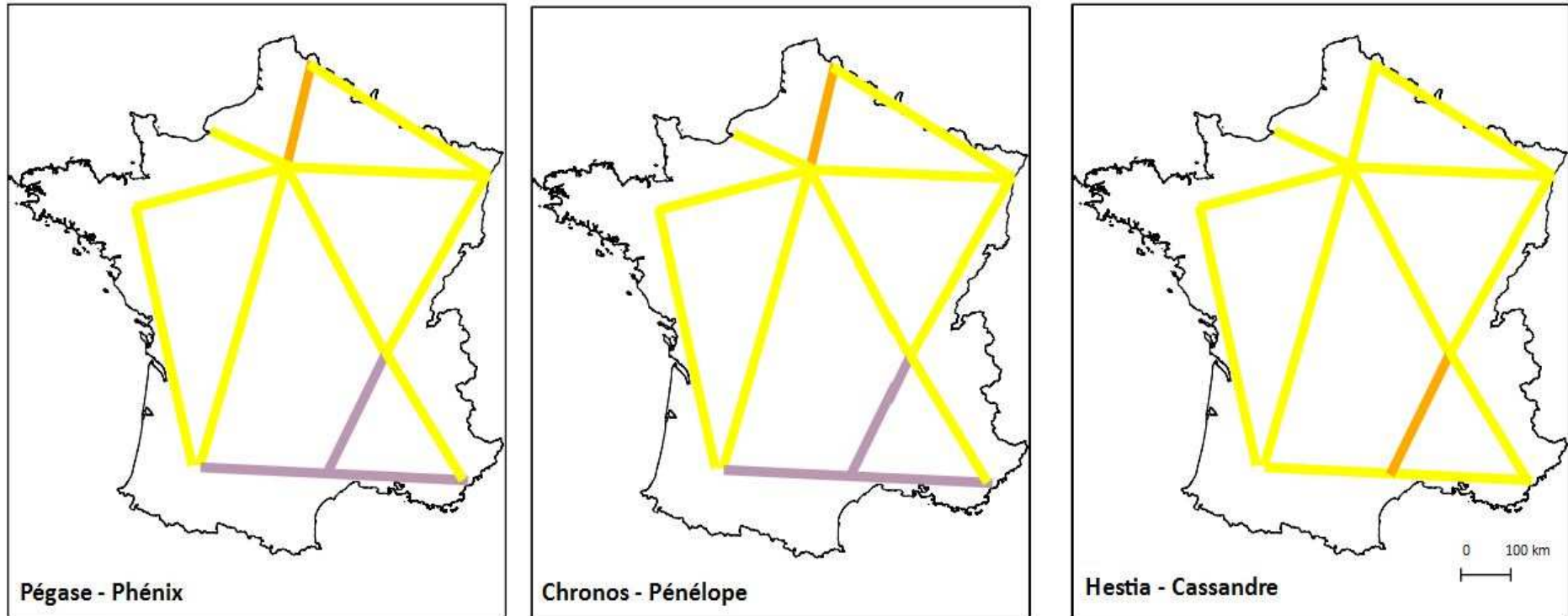


Infrastructure-S4

	<b>Gain en capacité</b>	<b>Réduction taux d'utilisation</b>	<b>Effet réseau</b>
S2	100%	-2,3	Fort
S3	49%	- 1,5	Fort
S4	58%	-1,2	Faible

## Application 2 : estimation du taux de congestion à 2050 du réseau ferroviaire (3/3)

Agrégation des trois scénarios (matériel roulant, exploitation et infrastructure)



- Gain en capacité de 126% et disparition du risque de saturation du réseau
- Le matériel roulant et l'exploitation permettent une optimisation générale du système tandis que l'infrastructure apporte une solution efficace pour des besoins en capacité ciblés

# Conclusion

- Parti pris d'estimer l'efficacité d'un réseau selon le niveau de congestion
- Trois variables identifiées et testées dans le modèle pour agir sur le taux d'utilisation d'une infrastructure : le matériel roulant et « signal prix » – l'exploitation – l'infrastructure
- Nécessité de prendre en compte l'effet réseau d'une infrastructure ou d'une règle d'exploitation
- Problématique renforcée par le contexte économique et réglementaire actuel et à venir :
  - Processus de libéralisation du système ferroviaire européen (ouverture à la concurrence)
  - Contrainte budgétaire et choix d'investissement (exploitation – infrastructure?)
  - Accroissement anticipé des flux à l'horizon 2050 (selon projections 2050)



## Suites à donner

- Approfondissement de l'analyse qualitative de la congestion ferroviaire : indicateur de congestion?
- Monétarisation de l'indicateur de congestion pour estimation du coût de congestion
- Meilleure évaluation de l'effet réseau d'une nouvelle infrastructure ou d'une modification d'exploitation
- Etude de l'impact de la congestion ferroviaire sur un territoire et ses activités économiques

# Bibliographie

- Arnott R., De Palma A. and Lindsey R. (1998), « Recent developments in the bottleneck model » *In* Button K. J. and Verhoef E. T. (1998), *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment : Issues of Efficiency and Social Feasibility*, Edward Elgar, Cheltenham
- Chu, X. (1995) "Endogenous trip scheduling: the Henderson approach reformulated and compared with the Vickrey approach" *Journal of Urban Economics* 37 324-343.
- Henderson J.V. (1974) "Road congestion: a reconsideration of pricing theory" *Journal of Urban Economics* 1 346-365.
- Johnson D., Nash C. (2008) « Charging for Scarce Capacity: A Case Study of Britain's East Coast Main Line », *The Review of Network Economics*, 7 (1)
- Knight F. (1924), "Some fallacies in the interpretation of social cost", *Quarterly Journal of Economics*, 38 : 582 - 605
- Kolm, S-C (1968), *La théorie économique générale de l'encombrement*, éd. SEDEIS, Paris.
- Marlot G. (2002), *Efficacité et acceptabilité de la régulation de la congestion : du péage optimal aux permis de circuler négociables*, Thèse en Sciences Economiques, Directeur de thèse : Crozet Y., Université Lumière Lyon 2, Lyon
- Marshall A. (1920), *Principles of Economics*, London : Macmillan (9ème édition)
- Nash, C., Matthews, B. (2005) Rail infrastructure charges – the issue of scarcity, Working paper, University of Leeds.
- Pigou A. C. (1920), *The Economics of Welfare*, London : Macmillan
- Quinet, E. (2003) Short term adjustment in rail activity, *Transport Policy*. 10 (1), pp. 73-79.
- Sétra (2009), *Approche de la congestion routière : Méthode de calcul du temps gêné*, Note d'information, Transports 05
- Sétra (2009), *Le transport ferroviaire de voyageurs sur le réseau ferré national français : exploration d'un système complexe*, Synthèse des connaissances