

Les Cahiers Scientifiques du Transport  
pp. 41-52 N° 26/1992

Andrés LÓPEZ PITA, Jean-Pierre ARDUIN  
Philippe TARDIER  
*Prévisions du trafic des voyageurs  
sur lignes ferroviaires à grande vitesse :  
expériences avec deux modèles d'analyses  
sur la relation Barcelone-frontière française*

## **Prévisions du trafic des voyageurs sur lignes ferroviaires à grande vitesse : expériences avec deux modèles d'analyses sur la relation Barcelone-frontière française**

**Andrés LOPEZ PITA, Jean-Pierre ARDUIN, Philippe TARDIER**

Prof. Dr. Ingénieur U. Pol. de Catalunya Barcelona-España  
Ing. des Mines SNCF Paris - France  
Economiste NEA Rijswijk-Netherlands

### **1.- INTRODUCTION**

Les relations internationales par chemin de fer entre la Péninsule Ibérique et le reste d'Europe sont essentiellement caractérisées par deux facteurs :

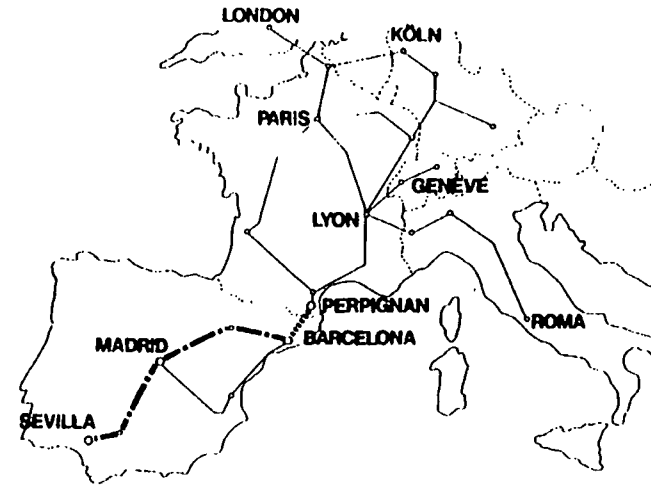
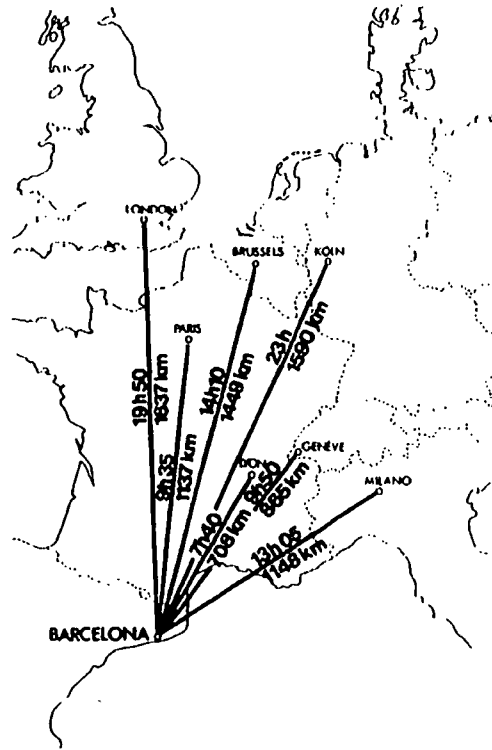
- 1<sup>o</sup>) La situation périphérique, du point de vue géographique de l'Espagne, qui se traduit par d'importants temps de parcours pour sa connection avec les principaux centres névralgiques de l'autre côté des Pyrénées (fig. 1).
- 2<sup>o</sup>) La différence d'écartement de voie entre les chemins de fer espagnol et ceux du reste de l'Europe, ce qui rend nécessaire le changement de train à la frontière (sauf exceptions ponctuelles).

Le 7 Décembre 1988, le Gouvernement espagnol a décidé de construire une ligne nouvelle entre Seville-Madrid-Barcelone et la frontière française (fig. 2) à écartement international et apte à la grande vitesse. Cette future réalisation supprimera complètement le problème du différent écartement de voie et réduira très significativement le temps de parcours en chemin de fer sur les grandes relations internationales.

Aux effets d'étude et de réalisation cette nouvelle ligne compte trois tronçons : Madrid-Seville, Madrid-Barcelone et Barcelone-Frontière française. Le premier (471 km) sera mis en exploitation commerciale le mois d'avril 1992. Le deuxième en est à la phase d'étude. Le tronçon Barcelone-Frontière française (145 km) a atteint et achevé la phase de projet constructif le Janvier 1991.

Dans le domaine des études déjà terminées, des analyses approfondies sur le trafic de voyageurs qui pourra emprunter, la nouvelle ligne ont été effectuées. Ce texte a pour but d'exposer, la situation actuelle des flux de trafic par modes de transport sur les relations internationales par la frontière méditerranéenne, et expliquer les différents modèles employés pour prévoir le trafic y compris celui adopté pour quantifier le trafic induit, en se basant sur l'expérience française en ce domaine.

**Fig.1 Distances et temps de parcours par chemin de fer entre Barcelone et quelques villes.**



**Fig.2 Nouvelle ligne Seville-Madrid-Barcelone-Frontière française.**

Finalement, le rapport indique les résultats obtenus par les principaux origine/destination en les comparant avec ceux d'autres études similaires comme la liaison ferroviaire à travers le tunnel sous le Canal de la Manche. De plus, les résultats sont comparés à ceux qui ressortent de l'application du modèle développé par le NEA. On remarque le très bon accord entre les résultats de l'une et l'autre méthodologie.

## 2. FLUX DE TRAFIC DE VOYAGEURS SUR LES RELATIONS INTERNATIONALES AVEC LA PENINSULE IBERIQUE VIA LA CATALOGNE

L'analyse des flux de trafic existants à travers les frontières terrestres de la Catalogne avec la France, indique (tableau 1) la faible participation du chemin de fer sur le marché des transports internationaux.

Tableau 1. Flux de trafic de voyageurs par la frontière méditerranéenne(1988)

MODE	TRAFIC VOYAGEURS (10 <sup>6</sup> )	%
Route	20,6	84
Aérien	2,6	10
Chemin de Fer	1,4	6
TOTAL	24,6	100

L'influence de la différence d'écartement de voie entre l'Espagne et le reste de l'Europe apparaît fidèlement reflétée dans la faible part de marché du chemin de fer.

Les renseignements d'ensemble du tableau 1 résument les conséquences la rupture de charge à la frontière et des importants temps de parcours signalés à la fig.1, on peut examiner de façon plus détaillé quelques origines/destinations plus importantes (tableau 2).

On peut vérifier pour la relation avec Londres l'effet de la double rupture de charge qu'il y a par chemin de fer (différent écartement de voie aux Pyrénées et le passage avec bateau du Canal de la Manche), ce qui se traduit par une très faible participation de ce mode.

Il est intéressant de considérer la distribution modale entre l'air et le chemin de fer en fonction de la distance (fig. 3) Les relations spécifiques étudiées prennent en compte le problème de la rupture de charge.

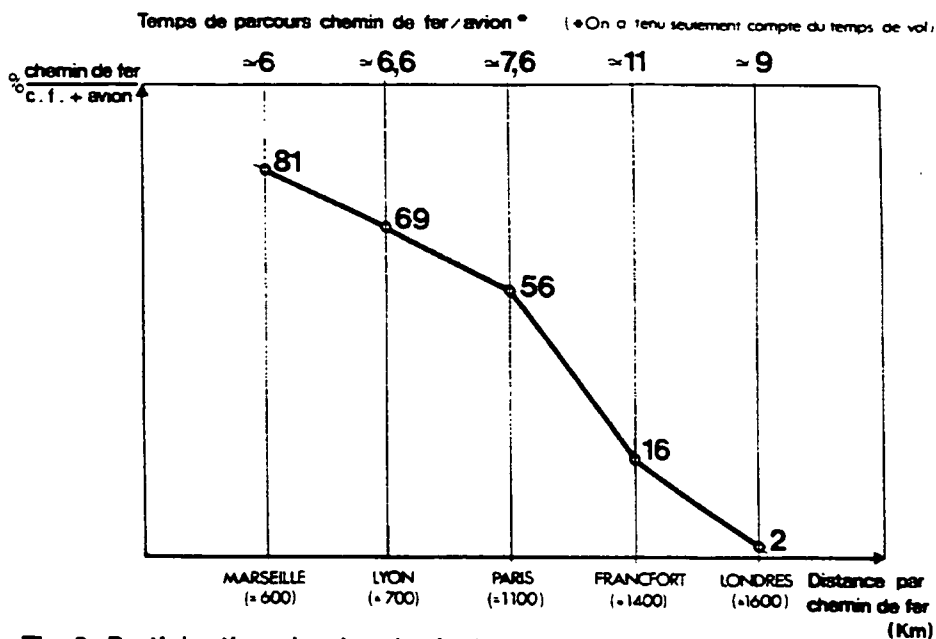


Fig.3 Participation du chemin de fer par rapport au trafic aérien à la situation actuelle.

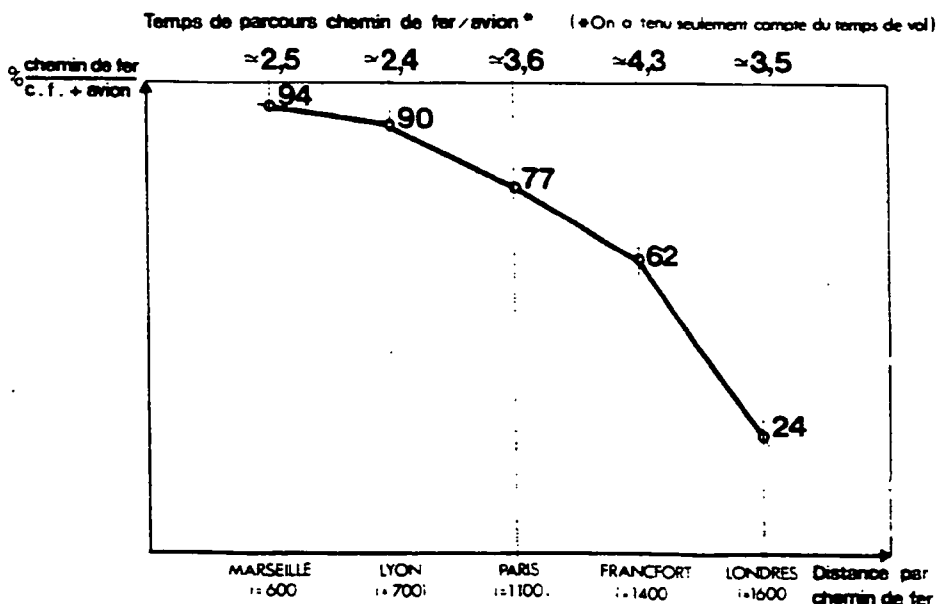


Fig.4 Participation du chemin de fer par rapport au trafic aérien (Km) avec la ligne nouvelle Barcelone - Frontière française.

**Tableau 2. Distribution modale de trafic ( $10^3$ ) pour quelques origines/destinations (1988) dès la Catalogne.**

MODE	Marseille	Lyon	Paris	Londres	Francfort	Milan
Route	683	655	2155	521	1662	993
Aérien	21	21	232	829	232	139
Fer	91	47	303	17	44	66
Distance par fer	590	708	1137	1637	1390	1148

### 3. L'OFFRE DE TRANSPORT PREVUE POUR LA NOUVELLE LIGNE BARCELONE-FRONTIERE FRANÇAISE (PERPIGNAN)

La construction d'une nouvelle liaison ferroviaire à écartement international et apte à la circulation à grande vitesse, reliée au reste du réseau européen permettra de réduire sensiblement les temps de parcours. La prévision de trafic a été faite en supposant pour l'année 1997 les temps de parcours indiqués dans le tableau 3.

### 4. MODELES DE PREVISION DE LA SITUATION DE PROJET

Les effets d'une modification de l'offre comme la réduction du temps de parcours et la suppression de la rupture de charge sont les suivants:

- a) Déviation de trafic d'autres modes concurrents.
- b) Induction de trafic, soit par un accroissement des déplacements des anciens voyageurs, soit par apparition de nouveaux types de déplacements.

Pour prévoir la modification de la répartition modale un modèle prix-temps de type PROBIT est utilisé.

Ce modèle repose sur l'hypothèse que le choix d'un voyageur entre deux modes s'effectue en fonction de la valeur qu'il attribue à son temps, et des caractéristiques de coût et de temps de transport de chacun des modes. Ainsi, l'utilisateur  $K$  choisit le mode dont le coût généralisé, compte tenu de sa valeur du temps  $h_k$ , est le plus faible.

Aux effets de l'application pratique du modèle on avait retenu comme valeur du temps 2200 ptas/heure pour le voyageur de première classe et de 872 ptas. pour celui de deuxième classe (conditions économiques de 1989, 1 dollar = 100 ptas.). Cette valeur résultait d'un calibrage effectué par régression non linéaire sur les données.

Tableau 3. Temps de parcours considérés pour la prévision (1977)

Relation de Barcelone avec	Temps de parcours à l'année		Fréquence de services avec la nouvelle ligne par jour (par sens)
	1989 (référence actuelle)	1997 (avec la nouvelle ligne)	
Paris	9:35 h	4:30 h	7
Londres	19:50 h	7:30 h	6
Bruxelles	14:10 h	5:50 h	6
Francfort	21:35 h	8:40 h	6
Genève	9:50 h	5:05 h	4
Milan	13:05 h	8:20 h	5
Toulouse	5:50 h	2:35 h	2
Lyon	7:40 h	3:05 h	3

Il est important de remarquer que le temps de chaque mode doit aussi considérer le temps correspondant aux accès tant au départ qu'à l'arrivée.

En ce qui concerne à l'induction de trafic ( $T_{ij}$ ), parfois importante, son estimation est effectuée à l'aide d'un modèle gravitaire, exprimé mathématiquement par la formule :

$$T_{ij} = K \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{Cg_{ij}}$$

étant :

$P_i$  et  $P_j$  = Population respective de deux zones géographiques.

$K$  = Constante

$Cg_{ij}$  = coût généralisé du transport pris en compte entre les deux zones  $i$  et  $j$ , avec :

$$Cg_{ij} = p + h \left( t_1 + B \left( \frac{R\alpha}{F} \right) + t_2 \right)$$

étant :

$p$  = prix moyen du voyage entre  $i$  et  $j$

$h$  = valeur moyenne du temps pour les voyageurs

$t_1$  = temps de parcours considéré comme le temps moyen des trains entre  $i$  et  $j$ .

- R = nombre de changements de train imposés au voyageur  
 F = fréquence de services sur la relation  
 B = paramètre relatif au ratio (R/F)  
 $\alpha$  = élasticité relative au ratio (R/F)  
 $t_2$  = temps des parcours terminaux d'accès à chaque mode.

### 5. RESULTATS DES PREVISIONS DE TRAFIC

L'application des modèles précédents conduit à la prévision de trafic présentée dans le tableau 4.

**Tableau 4** Prévision de trafic sur la ligne Barcelone-Frontière française ( $10^3$ )

MODE	Année 1988	Année 1997
Voiture particulière	14.917	17.713
Aérien	2.694	3.131
Autocar	5.677	5.947
Train classique	1.449	973
TGV	----	4.173
Total fer.	1.449 (6%)	5.147 (17%)
<b>TOTAL modes</b>	<b>24.737</b>	<b>31.937</b>

On peut vérifier que le trafic par chemin de fer deviendrait des 1,4 millions de voyageurs en situation actuelle à 5,1 millions une fois construite la nouvelle ligne. Il est remarquable que la nouvelle ligne aura un trafic dont le 70% des origines ou destinations appartiendront à la Catalogne. Le tableau 5 montre la nouvelle distribution modale pour les relations prises en compte dans le tableau 2.

**Tableau 5.** Distribution modale de trafic ( $10^3$ ) pour quelques origines/destinations (1997) dès la Catalogne avec la nouvelle ligne.

MODE	Marseille	Lyon	Paris	Londres	Francfort	Milan
Route	752	734	2421	853	1787	1119
Aérien	19	20	227	921	286	165
Fer	303	177	767	295	462	205

Les résultats du tableau 5 sont représentatifs de l'influence de la nouvelle ligne pour attirer le trafic par

chemin de fer. Il est possible de reconstruire la fig. 3 avec les nouveaux renseignements et obtenir la fig. 4, où l'on reflète la réduction de la différence relative de temps de parcours aérien et par chemin de fer.

Il est encore possible d'approfondir plus sur les résultats obtenus et de montrer les origines/destinations principales. La provenance du trafic détourné et induit. Le tableau synthétise ces variables.

**Tableau 6. Sorte de trafic qui roulera par la nouvelle ligne de chemin de fer.**

Relation de la Catalogne avec	Trafic attiré (10 <sup>3</sup> ) de				Temps moyen de parcours par	
	Véh. pers.		Aérien Autocar FF.CC exis.		par	
	Voy %	Voy %	Voy %	Voy %	**	
					FF.CC	Aérien
France Sud	334 8	20 37	108 20	138 50	< 3h	< 1h
Lyon-Suisse	116 9	62 31	58 17	30 23	3h	- 1h
Paris	198 8	95 30	53 16	234 72	5 h	1:30h
Londres	16 5	123 12	122 18	7 20	7 h	
Allemagne	157 8	68 11	425 18	14 17	à	- 2h
Italie	142 9	49 15	71 17	40 29	8 h	

\* Par rapport au trafic total de voyageurs en utilisant ce mode s'il n'eût pas la nouvelle ligne

\*\* Seulement temps de vol

Les conclusions qu'on peut tirer des renseignements du tableau 6 sont celles qui suivent :

- 1<sup>a</sup>) Le trafic attiré du véhicule personnel représente pour les différentes destinations entre le 8% et 9% (sauf la relation avec Londres 5%).
- 2<sup>a</sup>) Le détournement de trafic aérien se décompose selon deux intervalles différents: le premier appartient aux relations où le temps de parcours par chemin de fer ne dépasse pas 4 ou 5 heures. Pour cette situation ce mode attire jusqu'à le 30% du trafic aérien; le deuxième intervalle appartient aux destinations avec temps de parcours ferroviaire voisin de 8h. Le pourcentage de trafic attiré de l'avion se place entre 10 et 15%.
- 3<sup>a</sup>) Le détournement de trafic de l'autocar varie entre 15 % et 20% pour l'ensemble de destinations.



Quant au trafic induit, le tableau 7 recueille les principaux résultats obtenus en les comparant avec ceux du trafic attiré d'autres modes.

Tableau 7. Trafic induit par la nouvelle ligne de chemin de fer sur quelques relations.

Relation de la Catalogne avec	Trafic induit		Trafic attiré à d'autres modes	
	Voyageurs (10 <sup>3</sup> )	% du total *	Voyageurs (10 <sup>3</sup> )	% du total *
France Sud	183	36	324	64
Lyon-Suisse	124	31	267	69
Paris	95	14	580	86
Londres	---	---	268	--
Allemagne	12	2	664	98
Italie	28	8	302	92

\* Total du trafic par chemin de fer sur la relation.

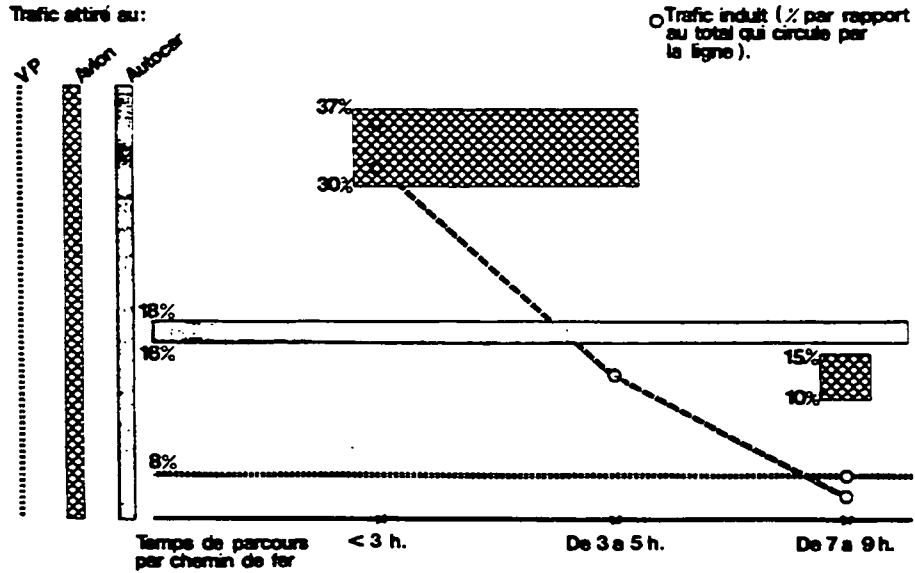
On peut vérifier, comme le trafic induit atteint d'importants valeurs pour les relations où le temps de parcours par chemin de fer ne surpasse pas les 5 h. Pour ces relations-là le trafic induit peut surpasser le 30% du trafic total roulant sur la ligne.

D'après les renseignements précédents et pour les origines/destinations étudiées dans ce rapport, il est possible élaborer le graphique de synthèse de la fig. 5. Si l'on ajoute les prévisions correspondantes à d'autres origines ou destinations à l'Espagne, comme l'Andalousie, Levant et Madrid, on obtient les résultats du tableau 8.

Tableau 8. Provenance du trafic voyageurs qui roulera par la nouvelle ligne Barcelone-Frontière française.

Trafic total Prévu pour 1997	Provenance				
	Véhicule personnel	Aérien	Autocar	Ligne	Induit
	(24,6 %)	(9,85%)	(21,35%)	(29,49%)	(14,71%)

**Fig.5 Synthèse des principaux résultats obtenus à la prévision du trafic que circulerait par la ligne nouvelle Barcelone-Frontière française.**



**Demande observée et évaluée du trafic par chemin de fer et avion des principaux corridors européens.**

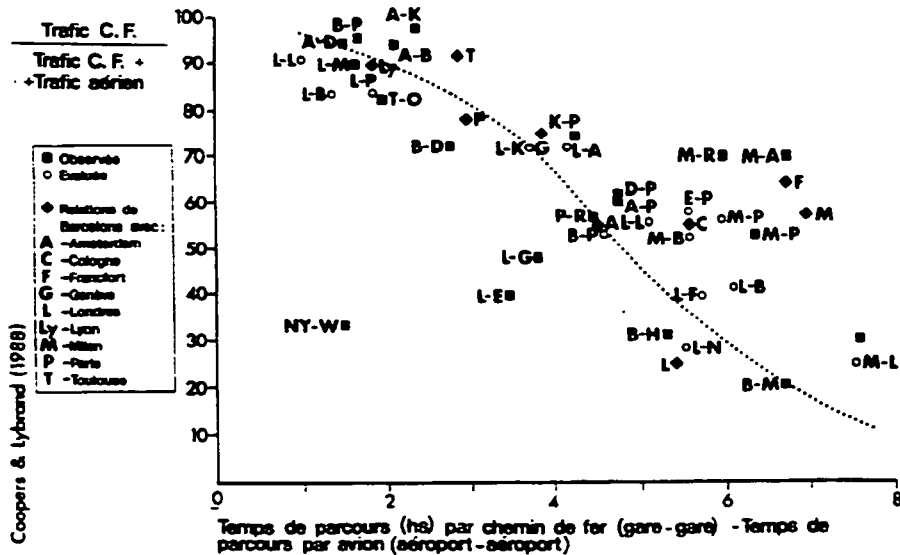


Fig. 6

## 6. ANALYSE COMPARATIVE DES PREVISIONS DE TRAFIC MOYENNANT L'APPLICATION DE LA METHODOLOGIE NEA

L'exposé effectué jusqu'à ce point à été basé sur l'application de la méthodologie de prévision mise à point par la SNCF à l'occasion de la planification des lignes nouvelles à grande vitesse comme la ligne Paris Sud Est, TGV Atlantique, TGV Nord est et Schéma Directeur.

La possibilité que la nouvelle liaison Barcelone-Frontière française eût la participation de fonds privés, conseilla la réalisation d'une deuxième étude de prévision de trafic en utilisant la méthodologie mise à point par le NEA, et appliquée par la Communauté Economique Européenne elle-même. Les résultats obtenus sont les suivants:

* Transfert d'autres modes	2,75 millions de voya.			
* Trafic de la ligne existante	0,93	"	"	"
* Réduction de l'effet frontière	1,10	"	"	"
* Trafic induit	0,22	"	"	"
* Effet réduction rupture de charge à la frontière	0,83	"	"	"
Total	5,83 millions de voya.			

Si l'on compare le chiffre total obtenu par cette méthode 5,8 millions de voyageurs aux 5,1 millions qui donne la méthode français, on peut conclure en signalant que passer d'une situation actuelle de 1,5 millions de voyageurs par chemin de fer, à une situation future, avec la nouvelle ligne avec plus de 5 millions, ne constitue pas une prévision irréaliste.

## 7. ANALYSE COMPARATIVE AVEC LES PREVISIONS EFFECTUEES POUR AUTRES CORRIDORS INTERNATIONAUX.

Actuellement, l'essor d'un réseau ferroviaire à hautes prestations pour le transport de voyageurs, constitue une des buts principaux des Administrations ferroviaires les plus avancées, raison par laquelle on effectue nombreux études de prévisions. Dans le tableau 9 et la fig. 6, on synthétisent les résultats obtenus à chaque analyse. Leur comparaison avec les prévisions de la ligne qui fait l'objet de cette communication montre que l'intervalle de variation pour les accroissements de trafic est compris entre 3 et 7 fois. L'accroissement calculé pour la relation Barcelone-Frontière française reste à l'intérieur et peut donc être considéré comme faiblement pessimiste.

**Tableau 9. Comparaison prévisions de trafic sur la ligne Barcelone-Frontière Française avec autres constructions ferroviaires.**

Relation	Trafic à la situation sans Projet (voyageurs) A	Trafic avec le Projet réalisé (voyageurs) B	B/A
France - Angleterre	1.789.000	11.000.000	6,1
TGV - Est	763.000	2.300.000	3,0
Paris - Italie	1.679.000	4.300.000	2,7
Barcelone-Frontière Française	1.500.000	5.200.000	3,5

#### 8. CONCLUSION

Cette communication a permis quantifier pour une relation ferroviaire de domaine international pourvue de bonnes prestations, le trafic qu'on peut attendre en détaillant le trafic attiré à d'autres modes de transport et le trafic induit. Les résultats obtenus sont complètement en accord avec ceux que d'autres méthodologies que se dédient à ce genre de travaux.

#### 9. REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent exprimer leurs remerciements aux Chemins de Fer de la Generalitat de Catalunya (Espagne) pour l'autorisation concédée pour publier la teneur de cette communication.