

Regione Piemonte, Direzione Trasporti
Settore Pianificazione dei Trasporti

Projet INTERREG IIIA Italie-France “ALCOTRA”

CALIPSO

**Amélioration des relations ferroviaires entre la gare de Turin et
Nice**

avec une référence spéciale à la ligne de chemin de fer entre Cuneo et
Ventimiglia

SYNTHESE

**Caractéristiques et propositions relatives à la ligne de Chemin de Fer
Turin -Cuneo-Limone-Breil-Ventimiglia**

par:



Equipe de travail du POLITECNICO DI TORINO

Bruno DALLA CHIARA, prof. ing., *Dipartimento DITIC-Trasporti*

Michele GALATOLA, ing.

Sandro PELASSA, ing.

SEPTEMBRE 2008

OBJECTIFS ET RESULTATS SAILLANTS

Dans le cadre du projet INTERREG-ALCOTRA, le Conseil Régional du Piémont a chargé (de Mars 2007 à Juillet 2008), le *Politecnico di Turin, Dipartimento DITIC-Trasporti*, d'étudier les caractéristiques et l'utilisation de la ligne de chemin de fer Cuneo-Ventimiglia et - en particulier - du col de Tende, afin de vérifier s'il est possible de l'améliorer à l'aide d'interventions sur l'infrastructure et les relatifs systèmes ainsi que par les trains pouvant être employés.

Pour ce faire, un document d'une centaine de pages a été réalisé afin de fournir:

- A. Une analyse des caractéristiques de la *ligne de chemin de fer existante entre Cuneo et Ventimiglia*;
- B. Une analyse des *points critiques de la ligne* pour son adaptation à des services adressés en prévalence aux transports des passagers, avec une référence particulière aux caractéristiques d'électrification de la ligne, aux gares, aux raccordements existants et à l'utilisation de la ligne même;
- C. Une analyse de la *demande existante* en termes de trafic et formulation d'hypothèses afin de faciliter les partenaires français du projet dans l'étude de la demande potentielle, sur la base des interventions prévues et d'un éventuel nouveau programme d'exploitation;
- D. La formulation de principe d'un *programme* ou bien de *propositions de fonctionnement* compatibles avec les caractéristiques du tracé, du matériel roulant et de la demande;
- E. Des considérations de caractère général sur l'évolution des transports en termes de *durabilité énergétique*, avec référence particulière à la ligne en question.

Les résultats saillants sont les suivants:

1. Il est possible de fournir aux usagers une connexion ferroviaire de Turin au littoral et vice-versa dans des délais rapides – deux heures environ – si l'on introduisait des services effectivement alternatifs à l'automobile, *basés sur des connexions de point à point par des trains à caisse inclinable ou pendulaires*, éventuellement dans les seuls tracés d'horaire ou jours où la demande est plus importante;
2. Il est possible de fournir un *service train autos-jour (ferroulage)*, de type bref (par exemple Limone-Tende/Breil) ou long (Turin-Cuneo-Ventimiglia);
3. Il est possible d'améliorer la capacité de la ligne, le temps de parcours et – éventuellement – de permettre aussi le transit de quelques trains de marchandises à l'aide de l'*électrification* de Limone à Ventimiglia;
4. Interventions possibles sur des *terminaux* en conséquence des remarques ci-dessus et interventions possibles sur les *branchements*;
5. Interventions possibles visées à dépasser les *obstacles d'ordre architectural* et amélioration de la *sécurité*.

TABLE DES MATIERES

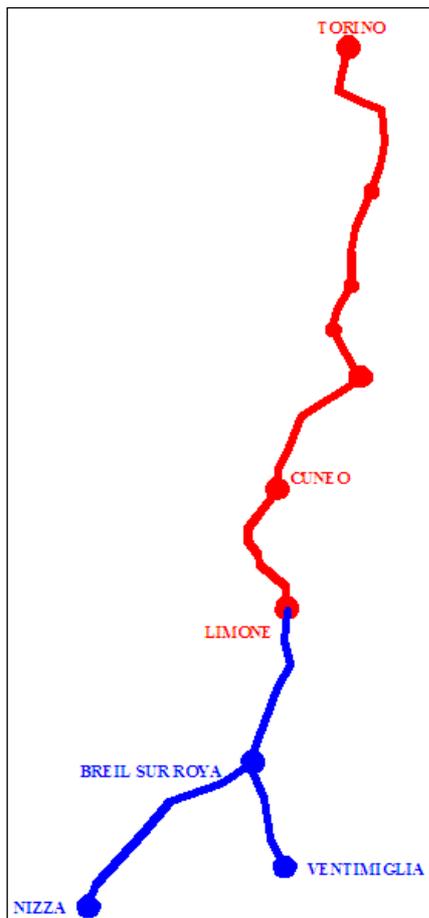
1.	CONTEXTE HISTORIQUE ET TERRITORIAL DE LA LIGNE	3
1.1	REFERENCES GEOGRAPHIQUES ET RECAPITULATION HISTORIQUE	3
1.2	LIEUX D'INTERET LE LONG DU TRACE DE LA LIGNE.....	4
2.	TRACE ET CARACTERISTIQUES DE LA LIGNE DE CHEMIN DE FER.....	5
3.	EXERCICE DE LA LIGNE ET COMPARAISON AVEC LE TRANSPORT ROUTIER	6
3.1	L'OFFRE: NOMBRE ET TYPE DES CONVOIS	6
3.2	TEMPS DE PARCOURS DES DIFFERENTS ITINERAIRES FERROVIAIRES	7
3.3	COMPARAISON ENTRE LES MODALITES FERROVIAIRE ET ROUTIERE – TEMPS DE PARCOURS.....	8
3.4	DONNEES DE FREQUENTATION ROUTIERE ET FERROVIAIRE	10
4.	HYPOTHESES POUR L'AMELIORATION DU SERVICE.....	12
4.1	TRANSPORT DE PASSAGERS.....	12
4.2	SERVICES NAVETTE POUR VOITURES AVEC WAGONS POUR SERVICES AUX PASSAGERS.....	16
4.3	AUTRES CONSIDERATIONS: SAUVEGARDE DES USAGERS FAIBLES ET HYPOTHESE DE TRANSPORT MARCHANDISE	17
5.	ELECTRIFICATION DE LA LIGNE	18
6.	CONSIDERATIONS EN SUPPORT DE L'ANALYSE DE LA DEMANDE POTENTIELLE.....	19
7.	CONSIDERATIONS ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES.....	22
8.	CONCLUSIONS.....	23

1. Contexte historique et territorial de la ligne

1.1 Références géographiques et récapitulation historique

La ligne de chemin de fer reliant Turin et Cuneo à Ventimiglia, du côté Sud, et à Nice, du côté Sud-Ouest, est logée à cheval de trois régions: Piémont et Ligurie en Italie, Provence-Alpes-Côte d'Azur ("PACA") en France.

Cette ligne représente la *connexion internationale occidentale vers la mer* de tout l'arc alpin, qui permet en effet de franchir les Alpes pour arriver à la cote italienne, près de la frontière, ainsi que la cote française (Figure 1).



La ligne fut achevée en 1935 par l'électrification complète; elle a été ouverte à nouveau en 1979 après les destructions de la dernière guerre.

La première section réalisée – entre Turin et Moncalieri – fut ouverte au public en 1848; la section entre Moncalieri et Trofarello fut mise en service un peu plus tard. La section jusqu'à Savigliano fut inaugurée en 1853; la section complète jusqu'à Cuneo fut ouverte en 1870, avec la réalisation de la gare définitive. En 1904, un accord italo-français fut stipulé pour l'étude et la construction – par les Français – des 19 km de la ligne Cuneo-Ventimiglia en territoire français.

Les travaux pour l'*électrification* de la ligne commencèrent en 1928 et – en 1935 – toute la ligne fut mise sous tension; l'épargne des temps de parcours de Turin vers la cote était de 45' à une heure, d'après le type de trains passagers, tandis que le service marchandise pouvait employer des locomotives à même de traîner jusqu'à 275 t à une vitesse de 50 km/h.

La ligne Cuneo-Breil-Ventimiglia fut sévèrement endommagée pendant la Deuxième Guerre Mondiale; les travaux de rétablissement de Cuneo Gesso à Limone avaient pourtant déjà été commencés dans l'été 1945.

Figure 1. Ligne Turin-Cuneo-Ventimiglia/Nice, schéma (sections électrifiées en rouge, sections Diesel en bleu)

Avec la conclusion du traité de paix avec la France, en 1947 la *section de ligne en territoire français* passait de 19 à 47 km environ: les nouvelles frontières avaient été établies, au Nord, presque au sommet du tunnel du Col de Tende et – au Sud – au de là de Piena. Les travaux de réfection de sections de ligne sur le sol italien furent repris entre 1973 et 1974. En 1976, l'on agréa d'exécuter des activités de réfection de la section de ligne dans le territoire français, à exécuter pendant trois ans. Le projet d'électrification fut mis de côté. La ligne entière fut ouverte à nouveau le 6 octobre 1979, 51 ans après la première cérémonie d'inauguration en 1928.

La modernisation de l'armement de la section italienne de la ligne – avec rails UNI 60 (UIC 60) - a été complétée pendant l'été 2008.

1.2 Lieux d'intérêt le long du tracé de la ligne

La ligne ferroviaire joint des endroits touristiques importants, des parcs naturels, des lieux de culte et des pôles d'attraction pour des manifestations, affaires et loisirs; l'étude comprend les relatives données de fréquentation, là où elles étaient disponibles. Les bassins de trafic les plus importants se trouvent à l'extrémité du parcours: Turin, zone de Sanremo, Monte-Carlo et Cote d'Azur. Toutefois, le long du tracé il y a des endroits de grande attraction, qui sont directement asservis par le chemin de fer.

Limone Piemonte (Cuneo), une municipalité de 1500 habitants à 1010 m d'altitude, est un pays à forte vocation touristique, en été ainsi qu'en hiver, en tant que station de sports d'hiver: son territoire compte jusqu'à 6'000 résidences secondaires. L'étude rapporte une analyse des arrivées et des présences italiennes et étrangères de l'hiver 1989/90 à 2006; le même pour la saison estivale; les données relatives aux arrivées pendant l'année montrent une nature saisonnière marquée du tourisme. L'on remarque un pourcentage consistant de touristes étrangers à Limone, en particulier en hiver: entre 20 et 36% en termes de présences ainsi que d'arrivées; en été, ces valeurs descendent jusqu'à 20% en termes d'arrivées et à 10% o moins en ce qui concerne les présences.

L'étude rapporte aussi les arrivées et présences (2005-06) dans les municipalités de Borgo S.Dalmazzo, Roccavione, Robilante, Vernante, dont l'importance touristique est inférieure à celle de Limone.

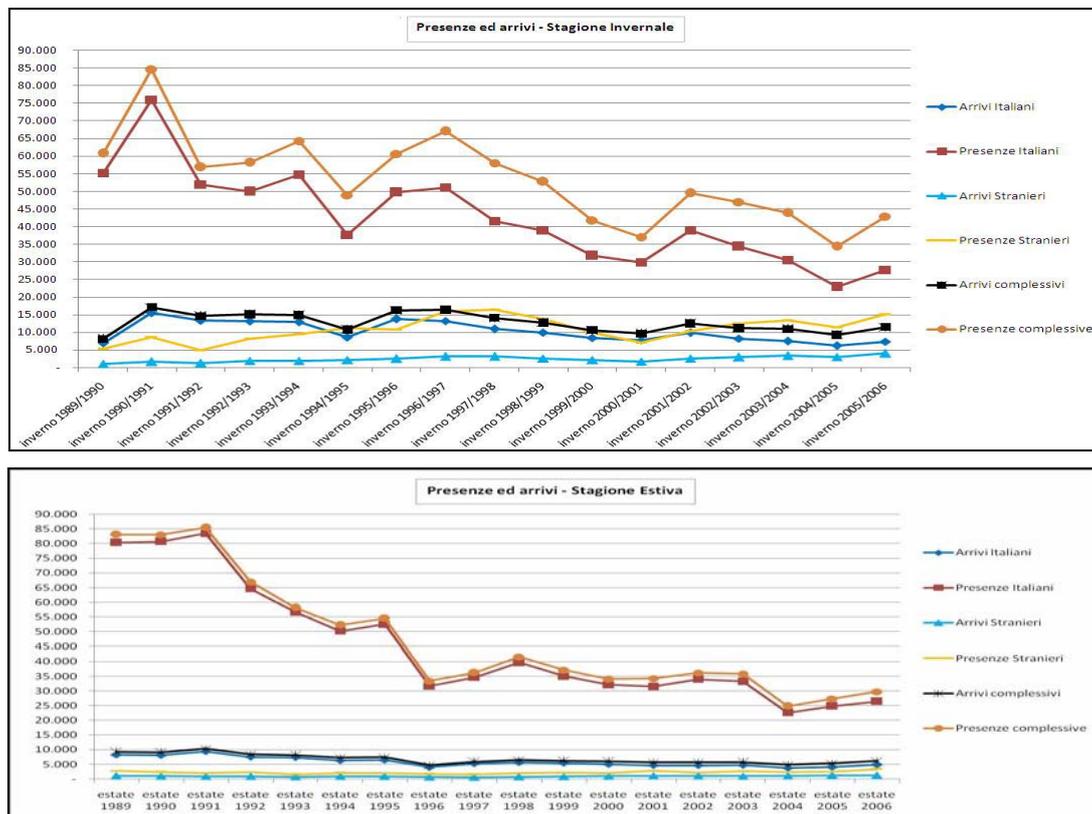


Figure 2. Présences et arrivées dans la municipalité de Limone – Saison d'hiver et d'été

Des remarquables attractions touristiques, parmi lesquelles deux parcs naturels et la Vallée des Merveilles, fameuse pour ses gravures rupestres de l'âge néolithique. Le territoire comprend aussi des lieux de culte (Sanctuaire de *Madonnina della Valle di Vernante*, Notre Dame des Fontaines à Brighe, le Sanctuaire *delle Grazie* à Airole) et des refuges de montagne, qui sont une attraction non négligeable. Il y a aussi des nombreuses localités de balnéation dont l'attraction touristique - surtout en été - est consolidée, par exemple, Bordighera, Sanremo, Menton, Monte-Carlo et Nice.

2. Tracé et caractéristiques de la ligne de chemin de fer

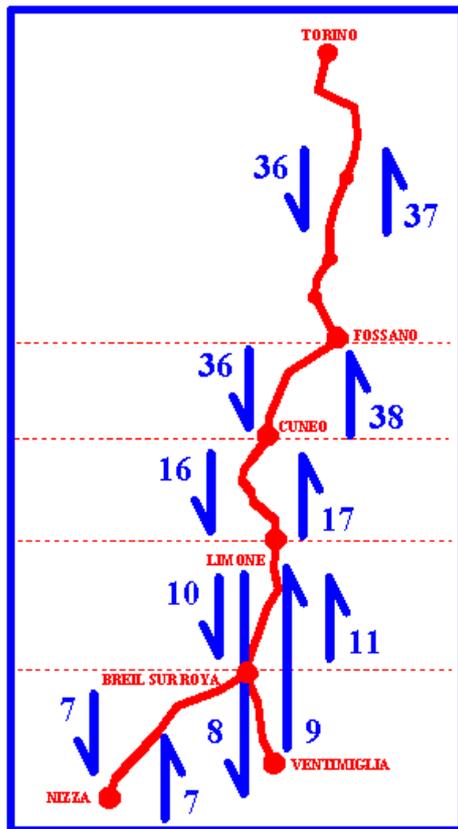
Nous résumons ici de suite les caractéristiques saillantes du tracé pris en considération, indiquant aussi celles des sections Turin-Cuneo et Ventimiglia-Taggia Arma ou Arma di Taggia, sur lesquels circulent aussi certains trains passagers parcourant la ligne Cuneo-Ventimiglia (sources: RFI, SNCF).

- *Longueur du tracé*
Turin – Cuneo: 76 km
Cuneo – Ventimiglia: 96 km ←
Ventimiglia – Arma di Taggia: 22 km
- *Armement et traction*
Turin – Fossano: double voie électrifiée
Fossano – Cuneo – Limone: voie simple électrifiée ←
Limone – Ventimiglia: voie simple non électrifiée ←
Ventimiglia – Arma di Taggia: voie simple électrifiée
- *Pente maximum*
Turin – Fossano: 7‰
Fossano – Cuneo: 10‰
Cuneo – Ventimiglia: 26‰ ←
Ventimiglia – Arma di Taggia: 6‰
- *Max. vitesses admises*
Turin – Fossano: ≤160 km/h
Fossano – Cuneo: ≤135 km/h
Cuneo – Ventimiglia: ≤95 km/h ←
Ventimiglia – Arma di Taggia: > 160 km/h
- *Modules d'intersection et de priorité*
Turin – Fossano: 440 – 570 m
Fossano – Borgo S. Dalmazzo: 390 m
Borgo S. Dalmazzo – Ventimiglia: ≥ 247 m ←
Ventimiglia – Arma di Taggia: 360- 435 m
- *Codage pour le trafic combiné*
Turin – Fossano: P/C45
Fossano – Ventimiglia: «Codifica Base FS»
Ventimiglia – Arma di Taggia: P/C22
- *Degré de saturation des lignes (valeurs seulement indicatives):*
Turin – Fossano: /
Fossano – Ventimiglia: /
Ventimiglia – Arma di Taggia: > 75% (horaire 6-9), > 75% (horaire 9-22), > 50% e < 75% (horaire 22-6)

3. Exercice de la ligne et comparaison avec le transport routier

3.1 L'offre: nombre et type des convois

Le schéma suivant contient le nombre de convois disponibles chaque jour au cours de la semaine (www.trenitalia.it, Mercredi 31 mars 2007).



L'offre actuel de la ligne Cuneo-Ventimiglia est le suivant (Tableau 1): 5263 places dans les jours ouvrables (2570 pour les trains impairs et 2693 pour les pairs), 6201 places dans les jours fériés (3256 pour les trains impairs et 2945 pour les pairs).

Les *convois employés* pour la traction sont:

- Aln – Automotrices diesel Aln.663 et d'autres, utilisées en composition 63x1, 63x2, ...[places par voiture/élément]
- Aln Sncf – Automotrices diesel Sncf, utilisées en composition 149x1 (branchement Breil-Nice et certains courses de Breil à Cuneo)
- Ale – Automotrices électriques Ale.724, employées en composition 76x3
- Minuetto – Convoi diesel, en composition 149x1
- Distance moyenne – Convois constitués par des voitures traînées par des locomotives D445, pour un nombre total de places: 378 (5 voitures), 460 (6 voitures), 546 (5 voitures.), 418 (6 voitures).

Tableau 1. Places offertes – Résumé jours ouvrables et fériés

Cuneo-Limone		Cuneo-Breil		Cuneo-Ventimiglia	
1860 (ouvrable)		550 (ouvrable)		2853 (ouvrable)	
Impair	Pair	Impair	Pair	Impair	Pair
857	1003	275	275	1438	1415
2008 (férié)		550 (férié)		3643 (férié)	
Impair	Pair	Impair	Pair	Impair	Pair
1234	774	275	275	1747	1896

3.2 Temps de parcours des différents itinéraires ferroviaires

Dans l'évaluation des itinéraires, nous avons choisi un jour ouvrable au cours de la semaine, notamment le Jeudi.

En ce qui concerne la relation *Domodossola-Ventimiglia*, le Tableau 2 montre que le temps de parcours moyen le plus court est celui de la section plus longue (Domodossola – Milan – Gênes – Ventimiglia) parmi celles en question, pour des raisons dues à une plus grande importance du tracé considéré par rapport aux autres, employant donc des convois de parcours moyen ou long avec peu d'arrêts intermédiaires, ce qui permet de réduire le temps total. La section la plus brève, notamment Domodossola – Turin – Cuneo – Ventimiglia, montre peu de traces disponibles par rapport aux autres itinéraires, car il s'agit d'une ligne de profil secondaire et par conséquent peu employée, surtout entre Fossano et Ventimiglia.

Tableau 2. Comparaison entre les différents itinéraires ferroviaires reliant Domodossola à Ventimiglia

	Domodossola - Turin - Cuneo - Ventimiglia	Domodossola - Turin - Savona - Ventimiglia	Domodossola - Alessandria - Ventimiglia	Domodossola - Milan (Gênes) Ventimiglia
Nombre de traces	4	10	13	8
Durée moyenne	7 h 47 m	8 h 40 m	8 h 25 m	6 h 11 m
Nombre moyen d'échanges	1,00	4,10	4,69	1,25

En ce qui concerne la section joignant *Turin à Ventimiglia* (Tableau 3), le parcours le plus bref - en termes de temps ainsi que d'espace - passe par Cuneo: en effet, l'itinéraire passant par Savona est lent aussi à cause du trafic sur la cote; le tracé passant par Cuneo et Limone permet par contre d'exclure la section de Ligurie, gagnant ainsi une heure environ.

Tableau 3. Comparaison entre les itinéraires ferroviaires reliant Turin à Ventimiglia

	Turin - Cuneo - Ventimiglia	Turin - Savona – Ventimiglia
Nombre de traces	8	15
Durée moyenne des voyages	3h 30 m	4 h 38 m
Nombre moyens d'échanges	1,00	1,13
Nombre d'arrêts	25	40
Distance	175,05 km	242,19 km
Vitesse commerciale	50,0 km/h	52,3 km/h

Comme mentionné, dans l'itinéraire passant par Cuneo les traces sont plus limitées.

En ce qui concerne la connexion entre Cuneo et Nice (Tableau 4), le nombre d'arrêts exécutés dans presque tous les voyages est élevé – un tous les 7 km environ – ce qui influence les temps de parcours de façon importante. A présent il n'y a pas de convois directs ou qui – en tout cas – exécutent un nombre limité d'arrêts le long du parcours.

La traction des convois est normalement gérée de façon autonome par les deux pays, avec échange à Breil sur Roya. Deux trains par jour dans chaque direction – toutefois – sont gérés par un seul opérateur (Trenitalia ou SNCF), ce qui permet d'atteindre la destination finale sans aucun échange intermédiaire.

Cette situation n'apporte pas – sauf dans un cas, notamment de Cuneo à Nice en 2 h 32', pour une vitesse en tout cas inférieure à 60 km/h – d'améliorations importantes dans les temps de parcours considérant que, en tout cas, tous les arrêts intermédiaires sont exécutés. Une

carence dans la connexion entre les deux villes est représentée par le nombre limité de traces employées, notamment seulement 3 ou 4 courses aller/retour dans les jours ouvrables.

Tableau 4. Comparaison entre les itinéraires ferroviaires reliant Cuneo à Nice

	Cuneo-Nice	Nice-Cuneo
Nombre de traces	3 au cours de la semaine + 1 le Dimanche	4
Durée moyenne des voyages	3 h 4 m	2 h 56 m
Nombre moyen de charges	0,25 (de 0 à 1)	0,5 (de 0 à 1)
Nombre d'arrêts	20	
Distance	144 km	
Vitesse commerciale	46,9 km/h	49,0 km/h

La section *Cuneo–Ventimiglia* est gérée entièrement par Trenitalia, même si elle traverse le territoire français pour quelques dizaines de kilomètres. Les carences relevées sur les sections précédentes sont présentes dans cette section aussi, en particulier la persistance d'un système d'exercice où le train s'arrête à toutes les gares, qui sont souvent très près l'une de l'autre.

Tableau 5. Comparaison entre les itinéraires ferroviaires reliant Cuneo à Ventimiglia

	Cuneo-Ventimiglia	Ventimiglia-Cuneo
Nombre de traces	8	9
Durée moyenne des voyages	1 h 55 m	2 h 3 m
Nombre moyen de charges	0	
Nombre arrêts	14	
Distance	99 km	
Vitesse commerciale	51,8 km/h	48,5 km/h

En d'autres termes, l'exploitation ferroviaire est ciblée aux services des localités intermédiaires et non à celui des localités terminales.

3.3 Comparaison entre les modalités ferroviaire et routière – Temps de parcours

Le document contient les *temps et coûts de parcours des différents itinéraires routiers* (Domodossola - Ventimiglia, Turin, Ventimiglia, Cuneo-Nice, Cuneo-Ventimiglia).

En ce qui concerne le moyen d'atteindre l'Ouest de Ligurie depuis Domodossola, où il y a la connexion du tunnel de Sempione entre l'Italie et la Suisse, le transport ferroviaire est *aujourd'hui très peu compétitif*, à cause du temps de voyage élevé – entre 6 et plus que 8 heures - ainsi que des échanges de un jusqu'à cinq. La connexion ferroviaire Nord-Sud entre *Domodossola* et *Ventimiglia* montre des carences évidentes et ne peut pas représenter aujourd'hui une alternative valable au transport routier.

Le Tableau 6 montre les valeurs de comparaison entre la modalité ferroviaire et routière pour la section *Turin-Ventimiglia, Cuneo-Nice, Cuneo-Ventimiglia*.

Tableau 6. Turin/Cuneo-Ventimiglia, comparaison route-chemin de fer

	Chemin de fer		Route	
Parcours	Turin - Cuneo - Ventimiglia	Turin - Savona - Ventimiglia	Turin - Savona – Ventimiglia	Turin - Cuneo – Ventimiglia
Durée moyenne des voyages	3h 30'	4 h 38 m	2 h 38'	3 h 37 m
Coût*	9,40 €	12,90 €	45,85 €	18,73 €
Parcours	Cuneo-Limone-Breil-Sospel-Nice			
Durée moyenne des voyages	3 h 4'		2 h 13'	
Coût*	20 € environ (11 € environ passant par Ventimiglia)		17,69 €	
Parcours	Cuneo-Limone-Ventimiglia			
Durée moyenne des voyages	1 h 55 m		1 h 43 m	
Coût *	4,80 €		9,57 €**	

(*) Les tarifs se réfèrent aux prix Trenitalia, sont valables pour un adulte en 2^{ème} classe, tarif type standard sur les trains régionaux. En ce qui concerne le transport routier, les coûts considèrent un véhicule utilitaire à essence, avec un coût du carburant de 1,3 €/l

(**) Les coûts sont essentiellement équivalents avec une occupation de personnes par voiture.

Dans une *comparaison sur les temps*, l'on remarque que *l'on gagne presque une heure* par rapport à la moyenne du transport ferroviaire sur le tracé Turin-Cuneo-Ventimiglia. Il faut toutefois considérer qu'atteindre Ventimiglia par la route, passant par Savona et donc parcourant un chemin plus long par l'autoroute comporte un *coût remarquable pour l'usager*, car il représente *presque cinq fois le coût ferroviaire correspondant*. Cette valeur se réduit évidemment si l'on se réfère au *nombre de places dans la voiture*.

Il est clair qu'il suffirait de réduire de quelques dizaines de minutes le temps de parcours par chemin de fer pour le rendre plus compétitif, en plus d'augmenter le nombre actuel de traces, peut être par un cadencement horaire lorsque nécessaire. Bien entendu, nous ne considérons pas les parcours terminaux, qui se font en tout cas sur la route et qui pourraient parfois déterminer le choix du mode.

Dans le cas de *Cuneo-Nice*, même si l'itinéraire routier ne contient pas de voies rapides, il est en tout cas avantageux en termes de temps par rapport au concourant ferroviaire potentiel - les montées-descentes sont continues, la chaussée est étroite et les petits rayons des virages créent des difficultés – où la vitesse moyenne est en tout cas limitée. Il paraît bizarre qu'un meilleur service de chemin de fer ne soit pas arrangé ; à cause du tarif international élevé, le coût du billet en aller simple arrive à 20 €.

Les mêmes considérations à propos de *Cuneo-Nice* s'appliquent à la relation routière *Cuneo-Ventimiglia*; du point de vue des coûts, la situation est semblable (le billet ferroviaire standard simple, au tarif national, coûte la moitié environ du carburant consommé par un véhicule utilitaire), tandis que les temps de parcours sur chemin de fer sont clairement plus compétitifs par rapport au cas précédent: l'on évite l'attente dans les gares d'échange et il n'y a qu'une traction jusqu'à destination.

Il est probable que, si l'on baissait davantage les temps et l'on établissait un horaire approprié, le transport ferroviaire pourrait attirer bien plus de clients.

3.4 Données de fréquentation routière et ferroviaire

Les données historiques relevées par ANAS («Ente nazionale per le Strade») ont permis d'ébaucher une tendance évolutive du trafic des véhicules sur la Route Nationale n°20 du Col de Tende et de la Vallée Roya (Tableau 7, Tableau 8).

Les sections de relevé, essentiellement constantes le long des années, sont les suivantes:

- Section 1: Borgo S.Dalmazzo
- Section 2: Tunnel de Tende (1980) - Limone (1984)
- Section 3: Fanghetto, Olivetta S.Michele

Tableau 7. TJM (trafic journalier moyen) annuel total (relevé pendant des jours ouvrables au cours de la semaine)

Sections	Types de trafic	1980	1984	2002	2004
Section 1	Trafic léger	13841	17036	17716	17394
	Trafic lourd	1258	1670	948	625
	Trafic total	15099	18706	18664	18019
Section 2	Trafic léger	1891	2415	4345	6046
	Trafic lourd	137	222	321	306
	Trafic total	2028	2637	4666	6352
Section 3	Trafic léger	1958	1917	/	/
	Trafic lourd	92	90	/	/
	Trafic total	2050	2007	/	/

Tableau 8. TJM Annuel total – Trafic Automobiles (jours ouvrables au cours de la semaine)

Section	Saison	1980	1984	2002	2004
Section 1	Printemps - Eté	13283	18125	18255	17890
	Automne - Hiver	12820	13930	16428	15084
Section 2	Printemps - Eté	2257	1419	4284	6030
	Automne - Hiver	1359	3244	4085	4895
Section 3	Printemps - Eté	2461	2134	/	/
	Automne - Hiver	1350	1574	/	/

De plus, le document comprend les données relatives à la fréquentation ferroviaire, avec l'indication des passagers montée et descendus pour les différentes sections, desquelles nous avons dérivé les présences dans les trains (Figure 3, Figure 4, Figure 5, Figure 6).

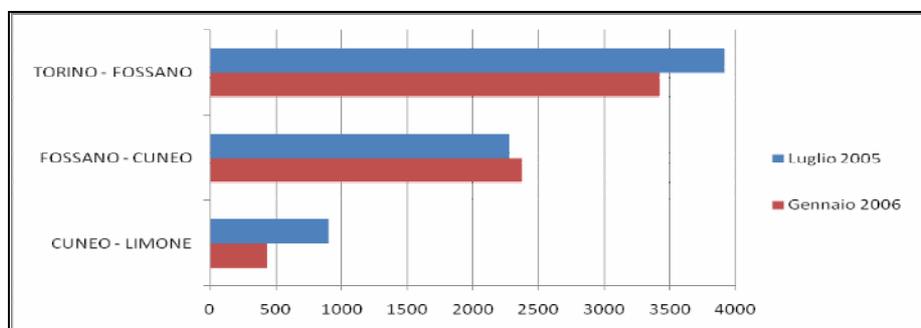


Figure 3. Présences relevées pendant les jours ouvrables de Juillet 2005 et Janvier 2006 (somme de trains pairs et impairs)

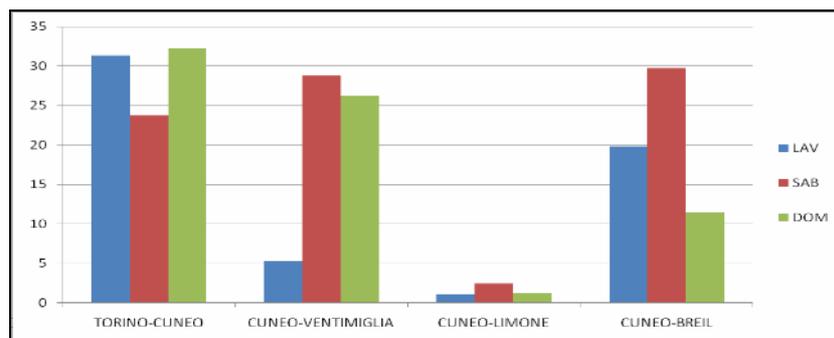


Figure 4. Occupation moyenne des convois au mois de Juillet 2006 [% places par km]

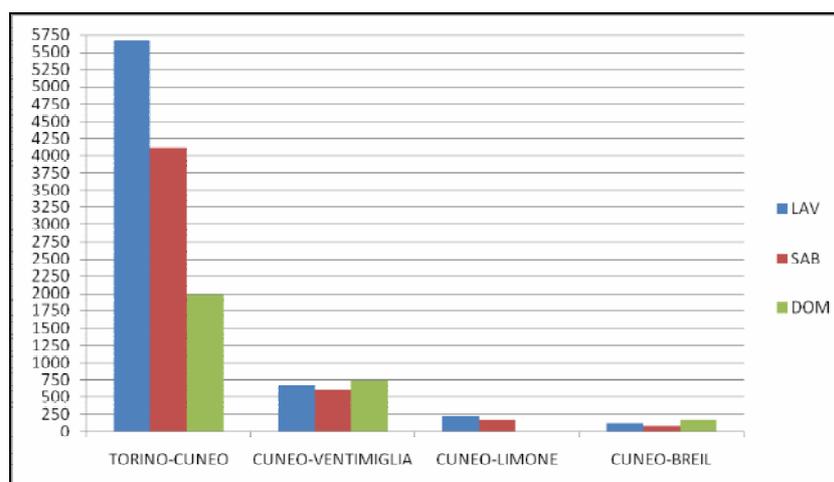


Figure 5. Voyageurs moyens relevés au mois de Janvier (somme de trains pairs et impairs)

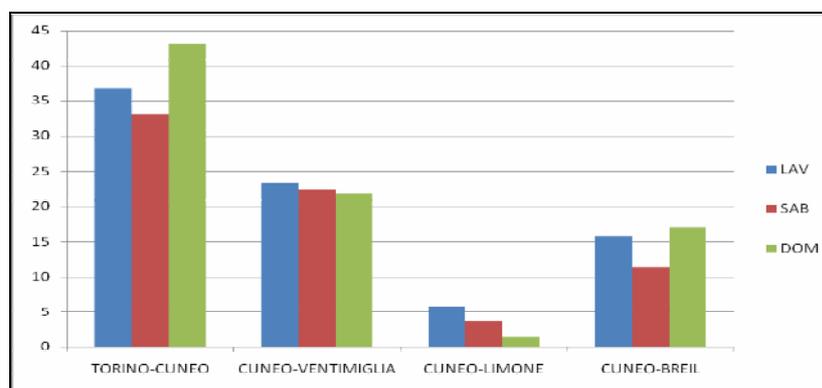


Figure 6. Occupation moyenne des convois au mois de janvier 2007 [% places x km]

Si l'on compare les données de fréquentation ferroviaire de la ligne Cuneo-Limone aux passages routiers au Col de Tende (juste après Limone, donc les données peuvent être comparées correctement), l'on remarque la différence nette entre les deux modalités (Figure 7, Figure 8).

En particulier, vis-à-vis d'un numéro moyen égal ou inférieur à 1000 voyageurs employant le train dans les deux dernières années, dans le trafic routier les chiffres sont beaucoup plus élevés - 5500 passages environ en 2004, ce qui correspond à au moins 6600 personnes ayant transité (l'on considère un coefficient d'occupation des véhicules de 1,2).

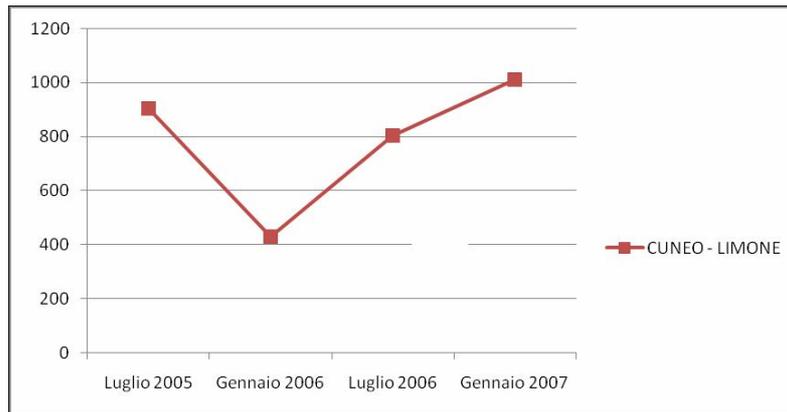


Figure 7. Données du trafic ferroviaire au cours de la semaine sur la section Cuneo-Limone

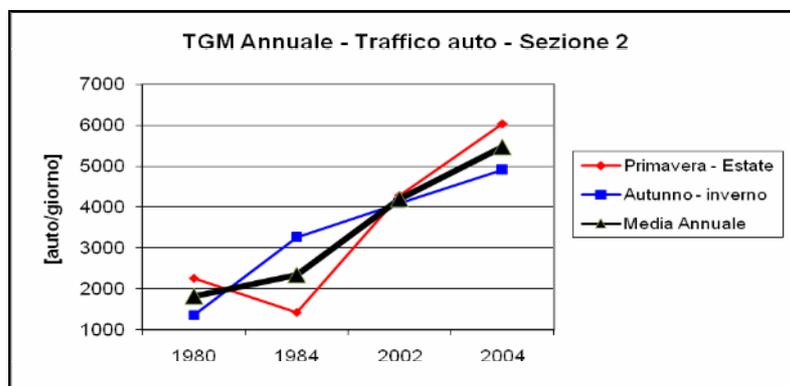


Figure 8. Données du trafic routier au cours de la semaine au Col de Tende («TGM» = TJM)

4. Hypothèses pour l'amélioration du service

4.1 Transport de passagers

Sur des parcours tortueux, il peut être utile d'employer du matériel roulant à caisse inclinable ou pendulaire, ce qui permet d'augmenter la vitesse max. dans les virages tout en gardant l'accélération latérale à bord du véhicule.

Ce choix a un impact sur les infrastructures: la caisse n'est inclinée que pour des valeurs de surhaussement (dévers) supérieures à 10 mm, de sorte à éviter que l'inclinaison soit erronément prise en rectiligne à cause d'un mauvais alignement du rail; ne connaissant pas à l'avance la position sur le tracé du parcours, le système perçoit les virage avec un retard minimum ; par conséquent il n'atteint pas la vitesse qu'il pourrait s'il disposait par contre d'un système pouvant faire incliner les caisses lorsque l'on rentre effectivement dans le virage, permettant ainsi d'épargner sur les temps de parcours.

Par rapport au matériel roulant conventionnel, celui à caisse inclinable permet d'incliner la caisse jusqu'à 8° supplémentaires, ce qui permet de compenser davantage l'accélération latérale due à la vitesse dans le virage. L'on a par conséquent des avantages sur des bas rayons de courbe; le surhaussement max - 160 mm, ce qui correspond à 6° environ – souvent ne suffit pas pour avoir une accélération latérale admissible au bord du véhicule.

L'étude comprend une partie théorique exécutée sur la section Cuneo-Limone, avec indication des vitesses obtenues et les temps de parcours de trains du type conventionnel de rang A - selon les dispositions de RFI et Trenitalia - ($a_{nc}=0,6 \text{ m/s}^2$), B ($a_{nc}=0,8 \text{ m/s}^2$) ainsi que de trains

à caisse inclinable, avec des valeurs différentes d'accélération non compensée¹.

L'étude théorique est suivie par des *simulations* calculant l'amélioration des temps de parcours entier, qui ont été exécutées sur deux divers types de matériel roulant: un train *Minuetto* classique, actuellement en service sur les lignes italiennes, et un prototype de *Pendolino*, dérivant de la flotte des ETR 600/610, qui ne consiste que de 4 unités (Tableau 9).

Pour le train *Minuetto*, nous avons étudié le cas de traction électrique (*EMU*) et Diesel (*DMU*), les deux ont été pris en considération par la suite en composition simple à trois caisses (1 *EMU*; 1 *DMU*) et couplée à 6 caisses (2 *EMU*; 2 *DMU*). Pour le prototype de *Pendolino* court, nous n'avons pris en considération que la traction électrique. Le nombre d'arrêts a été choisi proposant un service ponctuel pour les usagers, assurant un nombre limité d'arrêts dans les zones où la demande est plus importante, excluant par contre ceux de moindre intérêt. De cette façon, il est possible d'augmenter la vitesse commerciale du service tout en mettant en communication les grands centres présents sur la ligne ainsi que les endroits d'origine et de destination².

Les simulations avec *Minuetto* ont été exécutées suivant les profils de vitesse actuels, notamment Turin Porta Nuova – Fossano en rang C, et Fossano – Ventimiglia en rang B. Pour les simulations avec le prototype de *Pendolino* court à quatre caisses, nous avons étudié un nouveau profil de vitesse, défini B'. Ce rang est issu du besoin d'adapter un véhicule ferroviaire qui est à présent exclusif pour les lignes principales aux lignes secondaires telle celle faisant l'objet de l'étude. La logique de considérer un prototype de *Pendolino* court et léger a été celle de concevoir un véhicule agile, muni d'une technologie *pendulaire* qui peut bien s'adapter au parcours tortueux, surtout en ce qui concerne la section Cuneo – Ventimiglia, où l'on prévoit à présent un rang B. Cette section est caractérisée par des courbes de petit rayon, même au surhaussement maximum.

Des travaux d'entretien ont été développés récemment sur la ligne italienne, avec remplacement de traverses et d'armement: les nouvelles traverses sont en béton armé précontraint, posées en un module de 60 cm, tandis que les rails sont du type 60 UNI (UIC). L'on remarque que le nouvel armement est équivalent à celui des lignes principales pour lesquels le rang C est appliqué, notamment P pour les trains à caisse inclinable, là où ils circulent. En ce qui concerne l'armement français, il s'agit de traverses en bois et bi-bloc à module de 60 cm, avec rail de type UNI 50 (UIC): ce type d'armement n'est pas conforme aux normes de sécurité prévues pour le rang C, par conséquent dans les simulations nous avons employé le rang actuel.

Les *expériences développées à l'étranger* montrent comment, à l'exclusion des trains à caisse inclinable du type passif, il est possible d'avoir une circulation de trains rapides sur des parcours non dédiés. Le cas de VT610 en Allemagne est un exemple où une accélération non compensée

¹ RFI met au rang A la vitesse max – vitesse limite de la ligne – de 90 km/h entre Cuneo et Robilante, 80 km/h entre Robilante et Breil, 75 km/h entre Breil et Ventimiglia, au rang B respectivement 95 km/h entre Cuneo et Robilante, 85 entre Robilante et la frontière Nord, 80 entre la frontière Nord et Ventimiglia. Probablement, cela est dû aux peu de sections où une vitesse plus importante ne pourrait être développée qu'en théorie, car, dans la pratique, elle ne peut pas être atteinte à cause des limites imposées par les sections limitrophes. Il faut donc réfléchir sur l'opportunité d'une simulation à des vitesses de 160 ou 250 km/h entre Cuneo et Ventimiglia, afin d'éviter toute critique. De plus, il n'y a pas de rang C et il faut donc accepter les raisons et vérifier si les conditions du rail permettent $a_{nc} > 0,8 \text{ m/s}^2$. Le rang C est prévu de Turin PN à Fossano.

² Dans le premier semestre de 2008, le service offert prévoyait 16 courses par jour, dont une la nuit, de Turin Porta Nuova à Ventimiglia, avec un temps de parcours variable entre e 3 h 15' avec 13 arrêts (Turin Lingotto, Trofarello, Villastellone, Carmagnola, Racconigi, Cavallermaggiore, Savigliano, Fossano, Centallo, Cuneo, Limone, Tende, Breil Sur Roya) d'une minute environ, jusqu'à un maximum de 3h 45' avec 24 arrêts (Turin Lingotto, Trofarello, Villastellone, Carmagnola, Racconigi, Cavallermaggiore, Savigliano, Fossano, Centallo, Cuneo, Borgo S. Dalmazzo, Roccavione, Robilante, Vernante, Limone, Vievola, Tende, La Brighe, St Dalmas De Tende, Fontan Saorge, Breil Sur Roya, Olivetta S. Michele, Airole, Bevera, Ventimiglia) [horaire TRENITALIA al 11.06.08].

entre 1,8 e 2 m/s² est admise. Cela se rend possible par les bonnes conditions du rail et par l'entretien. D'autres applications expérimentées concernent la section entre Modane et Lyon, qui est parcourue par un *Pendolino* ETR 460 avec accélération non compensée sur le bogie de 1,6 m/s². L'étude d'un nouveau rang de circulation a été développé en particulier pour les sections où le rang C n'est pas présent (de Fossano à Ventimiglia), c'est-à-dire où il n'est pas possible d'étendre les conditions normales de sécurité dans les virages prévues pour le rang C augmentant simplement l'accélération non compensée au niveau du bogie de 1 à 1,8 m/s², ce qui arrive au cas du rang P. La nouvelle a_{nc} (accélération non compensée) étudiée est issue d'une équivalence entre les rangs C et P: $\max a_{nc} \text{ rang B}' = 1.44 \text{ m/s}^2$.

Dans la section à l'intérieur du territoire français – de Vievola à Olivetta S. Michele (47,022 km, 25,5 % du parcours) il faut garder un rang de vitesse B, ce qui est justifié par l'armement non approprié au rang théorique B.

Les 5 arrêts correspondent à un temps total de 300 seconds [s], tandis que les 7 arrêts correspondent à 420 s. Les variations de temps et de vitesse³ ont été comparées avec le meilleur temps de parcours réel vérifié dans l'horaire Trenitalia du 16 Juin 2008, notamment 3h 15' avec 13 arrêt intermédiaires (temps total des arrêts 15').

Les *résultats* obtenus ne sont que *théoriques*, venant d'un modèle qui ne tient pas compte des traces de l'horaire qui sont actuellement présentes sur la ligne. Nous avons exclu tout ralentissement dus aux priorités, aiguillages lents⁴, ponts à moderniser, sections à risque d'éboulement demandant un temps de parcours plus important. Depuis une première analyse, les résultats semblent être bons de 10 à 15 %⁵.

Le confort à bord a été évalué considérant l'index qui caractérise le transitoire d'entrée de la courbe (*Percentage in Curve Transition P_{CT}*), une valeur ponctuelle caractéristique de chaque courbe et non temporel. La valeur de P_{CT} rapportée au tableau exprime une moyenne sur toutes les courbes du tracé. Des études à venir peuvent prévoir l'élaboration d'un code pouvant donner des indexes de confort et fonction de l'espace et du temps tels le *MSDV* (*Motion Sickness Dose Value*).

³ Il est important de se rappeler que l'on se trouve sur une voie simple et que – par conséquent – lors des inévitables croisements, l'un des deux trains est pénalisé dans la réalité, ce que l'on ne voit pas dans la simulation.

⁴ Au cas de réarrangement de l'armement sur toute la ligne, il serait opportun que les aiguillages actuels des gares intermédiaires parcourables à 30 km/h soient remplacés par d'autres parcourables à 60 km/h. La solution pourrait être utile pour des trains rentrant en position déviés, surtout aux gares présentant des longs rails.

⁵ Les temps de parcours ont été calculés sans considérer aucun ralentissement dus à priorités et branchements et sans introduire aucune prolongation du parcours (*marges de régularité*). Si les propositions sont mises en œuvre, il serait bien de discuter avec Trenitalia en ce qui concerne la différence entre le modèle mathématiques et le modèle réel, afin de rendre les simulations plus réalistes.

Tableau 9. Simulations avec des différents types de trains, de traction et variant le nombre arrêts: résultats

TURIN – VENTIMIGLIA																			
MAT	RANG	5 ARRETS						7 ARRETS						PAS D'ARRETS					
		Max P _{CT}	t parcours		Δ t	v moyenne	Δ v	Max P _{CT}	t parcours		Δ t	v moyenne	Δ v	Max P _{CT}	t parcours		Δ t	v moyenne	Δ v
		[%]	[h : ' : "]	[s]	[%]	[km/h]	[%]	[%]	[h : ' : "]	[s]	[%]	[km/h]	[%]	[%]	[h : ' : "]	[s]	[%]	[km/h]	[%]
1 DMU	C+B	9.788	2.08.22	7702.05	-34.17	89.73	45.91	9.788	2.12.53	7972.71	-31.86	87.94	43.00	10.193	1.58.57	7136.73	-39.00	93.85	52.61
1 EMU	C+B	9.788	1.59.47	7186.70	-38.58	96.44	56.82	9.799	2.03.44	7423.89	-36.55	94.83	54.20	11.122	1.51.34	6693.91	-42.79	100.12	62.80
2 DMU	C+B	9.788	2.06.49	7608.50	-34.97	90.88	47.77	9.788	2.11.15	7875.38	-32.69	89.09	44.86	12.40	1.57.34	7054.05	-39.71	94.96	54.42
2 EMU	C+B	9.789	1.59.45	7185.35	-38.59	96.46	56.85	9.789	2.03.40	7420.37	-36.58	94.88	54.28	12.40	1.51.37	6696.55	-42.76	100.08	62.74
ETR	C+B	9.957	1.59.42	7182.32	-38.61	96.51	56.92	9.964	2.03.36	7416.31	-36.61	94.93	54.37	12.40	1.51.35	6694.53	-42.78	100.11	62.78
ETR	P+B'+B+B'	4.097	1.50.13	6612.54	-43.48	105.22	71.09	4.097	1.54.55	6894.87	-41.07	102.58	66.80	8.661	1.39.54	5994.31	-48.77	111.92	81.99
ETR	P+B'	4.097	1.47.06	6426.07	-45.08	108.42	76.30	4.097	1.51.52	6712.17	-42.63	105.56	71.64	8.661	1.36.48	5807.84	-50.36	115.55	87.90

VENTIMIGLIA – TURIN																			
MAT	RANG	5 ARRETS						7 ARRETS						PAS D'ARRETS					
		Max P _{CT}	t parcours		Δ t	v moyenne	Δ v	Max P _{CT}	t parcours		Δ t	v moyenne	Δ v	Max P _{CT}	t parcours		Δ t	v moyenne	Δ v
		[%]	[h : ' : "]	[s]	[%]	[km/h]	[%]	[%]	[h : ' : "]	[s]	[%]	[km/h]	[%]	[%]	[h : ' : "]	[s]	[%]	[km/h]	[%]
1 DMU	C+B	8.671	2.05.22	7521.90	-35.71	96.01	56.11	8.672	2.09.55	7795.16	-33.37	90.06	46.44	9.788	1.56.18	6978.15	-40.36	96.01	56.11
1 EMU	C+B	11.08	1.59.40	7180.32	-38.63	96.53	56.97	11.073	2.03.33	7413.46	-36.64	94.97	54.43	12.853	1.51.30	6689.99	-42.82	100.18	62.90
2 DMU	C+B	12.525	2.04.49	7489.37	-35.99	92.38	50.22	12.525	2.09.20	7759.57	-33.68	90.49	47.15	12.933	1.55.52	6951.67	-40.58	96.38	56.71
2 EMU	C+B	11.126	1.59.40	7179.78	-38.63	96.54	56.98	12.114	2.03.31	7411.43	-36.65	95.00	54.47	12.406	1.51.33	6693.21	-42.79	100.13	62.82
ETR	C+B	12.420	1.59.38	7177.77	-38.65	96.57	57.03	12.427	2.03.29	7408.81	-36.68	95.04	54.53	12.554	1.51.32	6691.91	-42.80	100.15	62.85
ETR	P+B'+B+B'	5.091	1.49.47	6587.38	-43.70	105.64	71.77	5.092	1.54.27	6866.58	-41.31	103.03	67.53	12.083	1.39.36	5975.87	-48.92	112.27	82.56
ETR	P+B'	5.091	1.46.41	6400.88	-45.29	108.87	77.02	5.092	1.51.24	6684.37	-42.87	106.03	72.40	12.083	1.36.29	5789.37	-50.52	115.93	88.50

4.2 Services navette pour voitures avec wagons pour services aux passagers

Il est possible de considérer deux types de « services autos-jour » (ferROUTAGE):

- Un de type *long*, entre Turin et la cote, qui demanderait un terminal d'accès spécifique pour l'arrière-pays de Turin, un éventuellement à Cuneo, et un près de la cote de Ligurie (Ventimiglia);
- Un de type *bref*, sans actions importantes, car il pourrait exploiter les zones et l'infrastructure d'accès existantes, avec adaptation éventuelle des terminaux existants.

En ce qui concerne le service navette de type bref avec wagons spécifiques pour le transport de voitures, nous rappelons ici deux occasions des décennies passées, en tout cas successives au la rétablissement de la ligne, pendant lesquelles il fut nécessaire d'activer le service : la première plus qu'il y a vingt ans, et la deuxième entre 1996 et 1997, avec six wagons, une voiture passagers et double traction Diesel.

Afin d'encourager l'échange modal en faveur du chemin de fer, nous avons pensé tout d'abord au service à *courte distance* et, par la suite, à *longue distance* : les deux sont destinés au transport des voitures et – en général – aux véhicules routiers privés, sur des trains spéciaux. Ainsi, les usagers du service pourraient se rendre confortablement à la cote partant de Turin et – une fois arrivés à destination – employer leur propre voiture pour les déplacements locaux.

L'on pourrait prévoir de loger les passagers dans des wagons pourvus de services innovateurs tels l'accès à Internet, ou alors les usagers pourraient tout simplement rester à bord de la voiture et jouir de l'avantage d'un voyage rapide dont le temps peut être employé autrement. Bien que la distance entre Turin et la Cote Ouest n'est pas grande –180 km environ – le parcours routier, surtout de Cuneo à la cote, est escarpé et peu fluide à cause des caractéristiques des vallées qu'il traverse. Par conséquent, ce type de transport ferroviaire, si bien organisé, pourrait être compétitif en termes de temps de parcours ainsi que de confort.

Malheureusement, les données du transport routier obtenues près de ANAS ne fournissent qu'une analyse du trafic pendant les jours ouvrables et ne considèrent pas les flux pendant les fins de semaine; elles peuvent pourtant fournir une indication utile du parcours moyen des véhicules privés le long de la section en question, en particulier dans la vallée Roya, qui reçoit les touristes allant à la cote en aller et retour.

Le service prévu serait du type direct ou – éventuellement – avec chargement des véhicules aussi à Cuneo. Les nœuds à étudier dans le détail pour que le service se réalise et qu'il soit effectivement fonctionnel et compétitif sont:

- Le temps de chargement et déchargement des véhicules;
- Le matériel de traction à employer et – éventuellement – les changes de locomotives;
- Le choix des wagons pour le chargement des véhicules et la composition des convois.

Le temps de chargement et déchargement des véhicules sur les convois ferroviaires représente de quelques façon l'axe du système: su un section aussi brève, il est essentiel de réduire les temps au minimum.

Au cas d'un service navette direct Turin-Ventimiglia ou Turin-Nice, aujourd'hui il serait suffisant d'employer des moyens de traction Diesel, tels les locomotives actuelles D445, de la puissance se 1,6 MW environ ; autrement, l'on pourrait prévoir de changer de moyens de traction à la gare de Cuneo, si la demande de transport dans cette ville était suffisante, ou bien à Limone, qui est un pôle d'attraction touristique surtout en hiver.

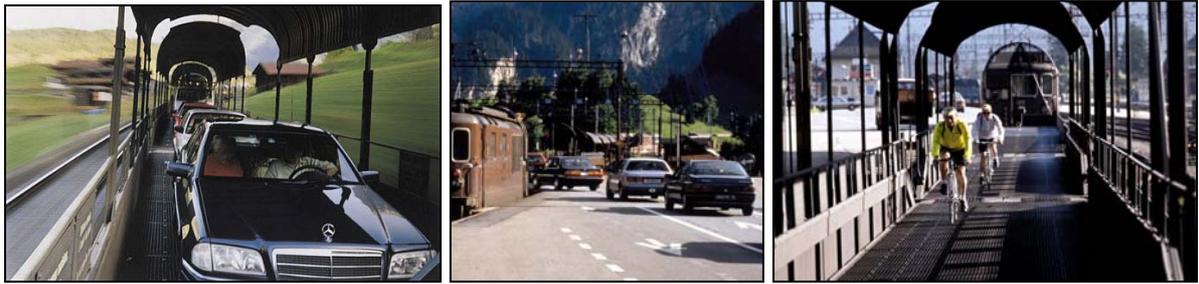


Figure 9. Service « autos-jour » sur la section italo-suisse Iselle-Kandersteg et d'autres exemples



Figure 10. Exemple d'accès/sortie rapide de wagons en transroulage avec guide directe et non déléguée

Nous avons tracé quelques scénarios pour la constitution des convois sur la section Turin-Cuneo-Ventimiglia considérant comme limites de traction les 360 tonnes (direction impair) et 380 tonnes (direction pair) assurées par la locomotive Diesel D445, qui est actuellement l'une des locomotives Diesel les plus puissantes employées sur toute la ligne par Trenitalia. En alternative, l'on pourrait se référer aux 560 tonnes mentionnées dans G2000, si des prestations plus importantes étaient nécessaires.

En ce qui concerne la composition des trains, pour les premières hypothèses nous avons considéré les wagons surbaissés suisses et italiens ; par la suite, nous avons analysé des différentes compositions possibles des trains.

4.3 Autres considérations: sauvegarde des usagers faibles et hypothèse de transport marchandise

L'art. 20 du DPR 384/1978 (I) prévoit: «Les gares de chemin de fer les plus importantes doivent être munies de passerelles, rampes mobiles ou d'autres moyens appropriés d'élévation afin de faciliter l'accès au train aux gens ayant des difficultés de déambulation. [...]».

La *sécurité et l'élimination des obstacles d'ordre architectural* sont des priorités pour toutes les gares. Encore faut-il vérifier si le code de discipline technique issu par la Société Italienne des Chemins de Fer et visé à l'élimination des obstacles d'ordre architectural pour les malvoyants, les aveugles et les porteurs d'handicap en général est respecté dans toutes les gares le long du trajet. Le DPR 503/1996 (I) établit aussi des normes précises pour les gares

avec présence de personnel, que – si non respectées - peuvent même impliquer la déclaration d'impraticabilité.

Puisque sur la partie de compétence italienne le nouvel armement est équivalent à celui des lignes principales pour lesquelles l'on applique le rang C, même si le tracé est bien plus tortueux, cela laisse penser qu'il est possible de faire circuler des *convois pour le transport de marchandise*; ce point est traité dans le compte-rendu du Conseil Régional de Ligurie.

5. Electrification de la Ligne

Il paraît que – sans électrification – la ligne doit rester dans la condition actuelle de secondarité et de petite importance, surtout au niveau de *ligne internationale*. Le transit des trains, dans le cas d'une ligne électrifiée, serait beaucoup plus rapide et immédiat.

Supposant la réalisation du trafic des marchandises, il est probable que les puissances nécessaires pour ce type de trafic ne pourraient pas être atteintes par la traction Diesel.

Le même vaut dans le cas où l'on entend employer des trains à caisse inclinable, où la traction électrique permettrait des accélérations plus importantes.

Il est nécessaire de prêter attention aux limites de gabarit disponibles: il faudrait par conséquent choisir le système approprié pour l'électrification, à barre fixe ou d'autres solutions à encombrement réduit, surtout où nécessaire, par exemple dans les tunnels.



Figure 11. Ligne électrifiée ou à électrifier à 3000 V cc (d'après cette proposition), dans la section entre Limone et Ventimiglia

Il est par conséquent opportun de prévoir, afin de définir la faisabilité de l'intervention, une estimation des coûts de l'électrification des 68 kilomètres environ de ligne qui séparent les municipalités de Limone Piemonte et Ventimiglia, dont une bonne partie se trouve en territoire transalpin.

Afin de déterminer les grandes lignes de cette intervention, nous avons considéré et étudié certains documents spécifiques du secteur, qui fournissent des indications utiles à ce propos.

Par conséquent, le document mentionne – en résumé – les devis pour l'électrification de certaines sections du chemin de fer du Nord-Ouest, certains desquels ont été employés comme base pour un marché public et dont le coût a été actualisé à 2006 sur la base des données obtenues par l'Institut National de Statistique.

Sur la base des données récoltées et analysées, compte tenu que la ligne en question présente plusieurs sections à l'intérieur de tunnels, l'on déduit que, si l'on gardait les conditions de lignes à grande vitesse, les coûts seraient dans l'ordre de 60 M€ environ. Toutefois, il est plus vraisemblable d'adopter des standards conventionnels obtenant, sur la base des expériences passées, une valeur variable entre 25 et 30 M€; le montant pourrait augmenter d'après les caractéristiques spécifiques de la ligne d'alimentation primaire, du territoire et ainsi de suite.

6. Considérations en support de l'analyse de la demande potentielle

Les données relatives au trafic contenues dans le compte-rendu montrent des flux constants et parfois intenses en hiver, en particulier en cas de neige, pendant le fin de semaine en direction de Limone Piemonte et d'autres stations de sports d'hiver, de la cote française et de Ligurie, ainsi que de Turin et vice-versa.

Il y a aussi des mouvements importants de voitures de Turin vers la zone de Sanremo, Monte-Carlo, Cote d'Azur et vice-versa, mais beaucoup moins que lors des fins de semaine d'été.

Un service « autos-jour » (feroutage), notamment d'automobile sur chemin de fer, à condition que cela soit avec conduite directe par les chauffeurs lors des phases de chargement et de déchargement, - avec des services Internet à bord dans une wagon destiné à cet usage à employer le long du parcours - est probablement souhaitable, en fonction de l'analyse pour la passage à travers du col de Tende, parce que le tunnel routier de Tende va subir des travaux plusieurs années durant, ce qui va impliquer la possible fermeture d'une partie de la route, ainsi que parce que – en tout cas – la route de la vallée du Roya est tortueuse et il s'agit d'un parcours obligé pour le trafic entre Cuneo et la cote, en prévalence Sanremo/Ventimiglia ou Nice et vice-versa.

Les *flux de trafic au printemps et en été*, comme il est possible de vérifier depuis les données de ANAS, sont intenses vers la cote et vice-versa, surtout au fin de semaine, mais non seulement.

Bien des voitures utilisent l'autoroute Turin-Savona-Sanremo-Cote d'Azur (Figure 12) au lieu de passer par le tunnel de Tende. Les endroits touristiques balnéaires, de la zone entre Sanremo et Ventimiglia ainsi que de Monte-Carlo et Cote d'Azur, sont les véritables bassins d'attraction et de génération de la demande venant de Turin et – en mesure inférieure – de la province de Cuneo. De plus, en été, aussi la *Vallée des Merveilles*, les sanctuaires et les endroits autour d'eux (§ 1.2) appellent le trafic.



Figure 12. Autoroute Turin-Savona-Ventimiglia

Toutefois, le résultat, au cas d'hypothèses positives ou très positives concernant le trafic à venir sur la ligne de chemin de fer du Tende, comporteraient des investissements qui *dépendent* de l'existence d'une contrainte historique issue de la dernière guerre (*Convention italo-française*), qui implique que toute dépense de bâtiment et d'entretien soit débitée à l'Italie.

En ce qui concerne la demande de trafic potentiel, elle certainement dépend de l'offre : c'est-à-dire si la demande est déjà satisfaite autrement ou bien si l'offre peut générer une demande plus importante pour des raisons de temps et/ou de coût. Dans ce cas, la demande existe entre Turin et Ventimiglia, surtout en ce qui concerne un parcours alternatif à celui de Tende, c'est-à-dire l'autoroute Turin-Savona-Ventimiglia: La Figure 13 contient des données importantes relatives à l'étude.

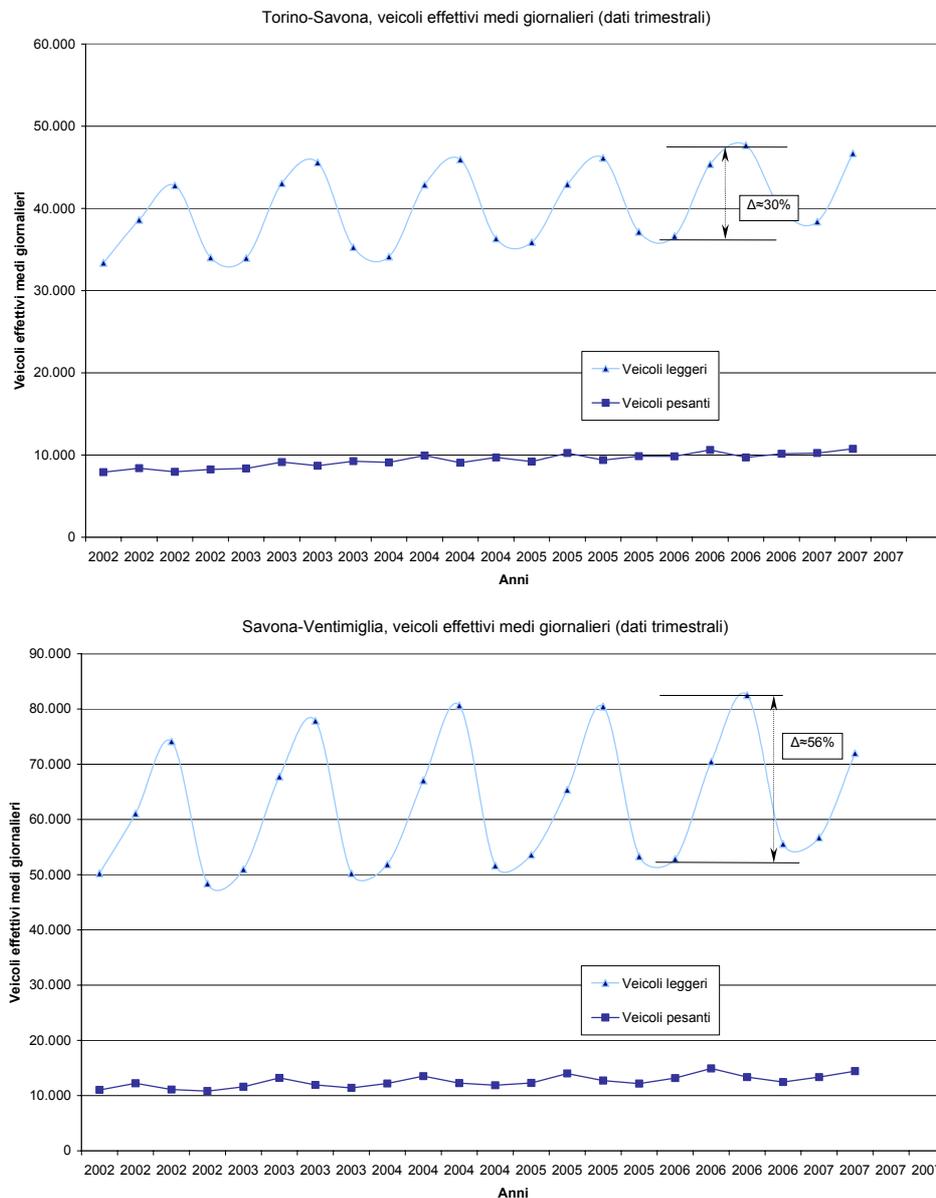


Figure 13. Evolution du trafic annuel en termes de moyenne journalière de véhicules par trimestre sur l'autoroute Turin-Savona et Savona-Ventimiglia (2002-2007) [source AISCAT, «Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori»]

L'on relève que le trafic de véhicules légers sur l'autoroute Savona-Ventimiglia augmente en été de 47 à 56% environ; cette valeur croît jusqu'à 69% si l'on considère le nombre de véhicules et les respectifs parcours kilométriques (v·km).

La cote part dudit trafic, qui de Turin va jusqu'à Ventimiglia par autoroute, au lieu de parcourir Turin-Fossano/Cuneo-Tende-Ventimiglia, peut être relevée des considérations contenues au Tableau 10. Les données analysées montrent que le trafic des passagers du

Piémont existe potentiellement déjà et que la demande peut être satisfaite par du *matériel roulant approprié* et par des *interventions d'électrification* de la ligne de Tende, qui conditionne en partie ou de façon importante un service rapide (trains *pendulaires*, en deux heures environ de Turin à la cote avec cinq arrêts) et lourd (trafic de marchandise); il est important de remarquer l'impact du trafic de marchandise et du trafic d'été; en ce qui concerne le transport de marchandise, il s'agit d'une demande potentielle qui ne peut pas être satisfaite aujourd'hui sans électrification, les poids des trains de marchandise étant beaucoup plus élevés de trains passagers.

Nous considérons qu'il serait important d'avoir un service ferroviaire fréquent le long de la cote de Ligurie – presque une métropolitaine, bien qu'à fréquence certainement inférieure, sur qui transférer le trafic venant de la ligne du Tende, qui par conséquent n'a pas besoin de fréquence élevée, mais plutôt d'un service d'adduction (par horaire, non par fréquence), tel, par exemple, un certain nombre de trains par jour pour la direction entre Turin et la cote et le renforcement par "charter" lors du fin de semaine, surtout en été, comme dans les relations aériennes entre les grandes villes. Les données montrent que le trafic lourd influence le total pour 1/5 environ, et qu'il n'a pas de variation saisonnière comme dans le cas des véhicules légers, car il n'est lié au tourisme d'été que marginalement.

Le trafic de marchandise le long de la ligne du Tende implique justement de laisser des traces ou de l'espace pour les passagers le long de la cote, sur chemin de fer ainsi que sur la route.

Autostrade per l'Italia a récolté les données sur les véhicules qui ont accès à l'autoroute à Turin et qui la quittent, après le transit par Savona, à la frontière française ou bien dans des endroits limitrophes: Ventimiglia, Sanremo et Bordighera. Les données ne comprennent pas des déplacements ayant origine aux barrières de péage relevées de Turin-Savona. Les véhicules transportant des passagers – bien que l'on ne sait pas combien par véhicule – de Turin aux localités de Ligurie avant la frontière sont de 7000 à 8000 environ en été et ils arrivent jusqu'à 18000 ou 20000 si l'on inclut ceux qui passent la frontière, beaucoup d'entre eux en direction de Mentone, Monte-Carlo, Nice, etc.

Sur la base de ces données, il est possible de:

- estimer la variabilité des flux mensuels pendant l'année;
- calibrer un modèle de choix parmi les alternatives disponibles entre Turin et la frontière;
- indiquer en principe le nombre de déplacements mensuels/journaliers que l'on peut prévoir pour la connexion ferroviaire.

Tableau 10. Véhicules légers et lourds de Turin à la frontière entre les régions Ligurie e PACA, F (2007)

	Véhicules légers (2 axes)	Véhicules lourds (3-4-5 axes)
Janvier	9.450	1.898
Février	9.190	2.047
Mars	12.312	2.182
Avril	17.061	1.521
Mai	11.085	1.730
Juin	15.494	1.671
Juillet	18.286	1.751
Août	19.353	1.051
Septembre	11.609	1.565
Octobre	9.515	1.883
Novembre	9.139	2.043
Décembre	12.369	1.530

7. Considérations énergétiques et environnementales

Le secteur des transports est très exigeant en ce qui concerne l'énergie, et il est aussi la cause de presque 25% des émissions de CO₂ dans l'environnement: en Italie, par exemple, il a consommé tout seul 32% de la demande énergétique du pays en 2001. Par conséquent, il est l'un des secteurs où il est nécessaire de rechercher attentivement comment épargner de l'énergie; à l'intérieur dudit secteur, la consommation d'énergie est strictement liée au moyen de transport employé. Le Compte-rendu Environnemental de Trenitalia montre que la consommation d'énergie des trains est inférieure à celle des avions et des véhicules routiers dans le transport de marchandises, à distance égale.

Une utilisation plus importante du chemin de fer – à condition que cela soit logistiquement efficace - à détriment du transport routier pourrait par conséquent assurer des avantages à la collectivité, tels une réduction générale de la consommation énergétique et la partielle décongestion des routes. Le chemin de fer joue par conséquent un rôle important dans la poursuite d'un avenir énergétiquement durable.

La politique des transports rentrer dans ce contexte doit de quelque façon: en ce qui concerne le chemin de fer, l'issue est surtout dans l'organisation, qui est rendue plus complexe par le fait qu'un système *partagé* de transport publique doit aussi être accessible à la plupart des gens facilement et sans coûts excessifs: il est évident que le nombre d'arrêts intermédiaires fait hausser remarquablement la consommation spécifique des trains et – par conséquent, tout en respectant les exigences des petites communautés, il faudrait n'exécuter que les arrêts nécessaires, afin de réduire la consommation énergétique.

En conclusion, il est possible d'améliorer davantage l'efficacité énergétique du train par des actions telles la *récupération de l'énergie pendant les phases de freinage* et le développement de *nouveaux moteurs*, Diesel ainsi qu'électriques, en particulier sur des lignes avec variations importantes d'altitude comme celle du Tende. Des interventions sur le matériel roulant sont possibles mais – vu leur cycle de vie moyen - leur application serait moins immédiate.

Le document propose quelques comparaisons entre la consommation sur route et sur chemin de fer.

8. Conclusions

Il est possible d'améliorer l'exercice de la ligne de chemin de fer Cuneo-Ventimiglia et du Tende par trois types d'intervention, notamment:

1. *sur l'infrastructure et les relatifs systèmes*, comprenant la *ligne* – en particulier complétant l'*électrification* et – en moyen et long terme, modernisant l'*armement sur le territoire français* – ainsi que les *terminaux* d'accès à la ligne même, au cas de service train autos jour ou ferroutage.
2. sur l'exercice pour le transport des passagers, à l'aide de *trains courts à caisse inclinable*, avec peu arrêts, diesel ou électriques, d'après l'électrification de la ligne;
3. sur l'*exploitation* pour le transport de passagers en *service auto-jour ou ferroutage*, par un service de *navette*. Cette solution peut aussi prévoir - au moyen et long terme – de services de connexion Internet (par *bluetooth*, WiMax, GSM-R,...) à bord des wagons où les passagers logent pendant le voyage.

D'autres types d'intervention peuvent concerner la section dans le territoire de Ligurie, hors de la compétence du Conseil Régional du Piémont, ou alors près des *gares* le long de la ligne pour dépasser les *obstacles d'ordre architectural*, la mise en sécurité, la mise en œuvre de *terminaux* d'accès bien introduits dans le contexte du paysage.

En ce qui concerne le service avec trains à caisse inclinable, l'on considère, sur la base des considérations et des calculs, qu'il serait très intéressant d'activer un *transport rapide entre* Turin, Cuneo, Limone, Breil et la cote, avec peu arrêts, adressé à un certain type de clients habitués à employer leur voiture.

En ce qui concerne l'*armement ferroviaire* sur la partie de ligne de compétence italienne, les traverses et les rails ont été récemment remplacés de façon à ce que toutes les traverse sont à présent en béton armé précontraint, modules à 60 cm et rails UNI 60 (UIC). Cela implique que le nouvel armement de la ligne équivaut à celui des lignes principales auxquelles l'on applique en Italie le rang C, donc P pour les trains à caisse inclinable, là où ils circulent. En ce qui concerne le versant français, l'armement est constitué par des traverses en bois et bibloc, avec rails du type UNI 50 (UIC); l'on ne se réfère pas au rang, comme en Italie, mais à la vitesse limite de la ligne.

Au cas d'exploitation avec des trains pendulaires, il faut prêter attention à la régularité du rail et à tout défaut dans les rails mêmes, car – si importants – ils peuvent générer un mouvement non voulu sur la caisse, généré par le gyroscope sur le bogie qui relève le surhaussement du rail extérieur au début du surhaussement dans le virage, au moins au-dessus d'une certaine valeur (par exemple 10 mm). Cela peut toutefois être résolu :

- par l'introduction de répéteurs (balises) le long de la ligne;
- installant un système innovateur d'arrangement de la caisse permettant d'activer l'inclinaison non seulement en fonction du signal du gyroscope, qui resterait toutefois comme solution dégradée, mais aussi de la position réelle du train court (par exemple quatre voitures) le long de la ligne en surhaussement associant aux signaux de l'odomètre des répéteurs permettant de remettre à zéro les erreurs cumulées, ainsi qu'une cartographie électronique pour fixer le train à la position le long de la ligne.

Il est aussi possible de prendre en considération d'autres solutions.

Si l'on observe les expériences à l'étranger, celle qui paraît être la plus expérimentée (presque unique, si l'on exclut les applications de trains à caisse inclinable de type passif et peu d'autres) est celle du VT610 en Allemagne, qui admet une accélération non compensée de 1,8 à 2 m/s², sur des lignes tortueuses avec une bonne condition du rail.

D'autres applications expérimentées concernent la section entre Modane et Lyon parcourue par le *Pendolino* ETR 460 avec accélération non compensée max. sur la draine de 1,6 m/s². La résistance de l'armement sur le versant italien entre Cuneo et Limone devrait permettre d'introduire le rang C.

La question du rang va se poser si l'on n'améliore pas l'armement sur le versant français: il s'agirait d'une première application de train à caisse inclinable (court) sur une ligne qui ne peut pas être employée en rang Italien C. Il n'est par conséquent pas possible d'étendre les conditions de sécurité au virage du rang C augmentant tout simplement a_{nc} (accélération non compensée au niveau du bogie) de 1 à 1,8 m/s² comme dans le cas du rang P. Il s'ensuit que a_{nc} devrait être raisonnablement plus basse que 1,8 et qu'il est à vérifier s'il est possible de l'établir à 1,44 m/s² environ. Rien n'empêche, d'ailleurs, de développer une exploitation avec des trains à caisse inclinable avec le rang B évolué dans la section italienne et de se limiter à respecter les conditions d'exercice (par exemple, les vitesses limite) sur la brève section française.

Si toutes les propositions ci-dessus étaient mises en œuvre et appelaient un trafic important sur la ligne, l'on pourrait avoir des problèmes de *capacité*, car la ligne n'a qu'une seule voie. Il est vrai que presque toutes les gares – à l'exception de Roccavione entre Cuneo et Limone, et de La Brigue sur le versant français – permettent aux trains de se croiser, et il s'agit donc, en séquence de l'Italie, de : Borgo San Dalmazzo, Robilante, Vernante, Limone, Vievola, Tende, Saint Dalmas de Tende, Fontan Saorge, Breil sur Roja et PM km 11+959, entre Ventimiglia et Breil. Si un potentiel très élevé devait se rendre nécessaire, l'on pourrait penser à la réalisation de voies de dépassement intermédiaires sur les sections plus longues, par exemple à l'intérieur du tunnel de Tende, sur une pente de 2‰, ou bien de Bergue, sur une pente de 17‰. Il est vrai qu'il s'agirait de solutions extrêmes, car il s'agit de manutention à l'intérieur du tunnel, qui serait un problème avec le Diesel (si l'on n'électrifiait pas) et – surtout – cela rendrait nécessaire d'enterrer l'aqueduc du tunnel de Tende.

En ce qui concerne le service navette avec des *wagons pour le transport des voitures*, l'on rappelle deux occasions dans les décennies passées, en tout cas successives à la réfection de la ligne, pendant lesquelles il fut nécessaire d'activer le service: la première il y a plus que vingt ans, la deuxième entre 1996 et 1997, avec six wagons, une voiture et double traction Diesel.

Il est possible d'envisager deux types de *services* de transport autos-jour ou ferroutage: de type *long*, entre Turin et la cote, ou de type *bref*. En ce qui concerne ce dernier type de service, les gares à qui il est plus spontané de penser – vu leur position géographique – sont Limone, Vievola, Tende et Breil. Les gares de Tende et Breil peuvent être munies de personnel. Lesdites gares permettraient un train d'au moins quatre wagons : un plan de chargement existe déjà. A Vievola, il est un peu limité mais avec bonne accessibilité.

En ce qui concerne les wagons, il s'agirait de wagons plats, tous avec un plancher à 90 cm environ, et donc avec des bogies ordinaires, avec un tablier roulant appropriée pour la montée et la descente. Il serait mieux d'éviter les solutions avec des wagons surbaissés, comme il est possible d'approfondir.

La distance entre Limone Piemonte et Vievola est de 10 km environ, tandis que – entre Limone et Tende – elle est de 19 km et à peu près 46 km entre Limone et Breil. Il paraît que le croisement au cas de service fréquent de connexion entre Limone-Vievola ne poserait pas de problèmes, et même pas le service navette Limone-Tende/Breil, car le croisement pourrait avoir lieu à Vievola/Tende, à mi-chemin environ.

Si l'on veut exécuter un *service navette* de type bref entre la région de Cuneo et la cote, les gares les plus appropriées sembleraient être Limone et Tende, avec des voitures et des véhicules de dimensions contenues (microbus, caravane,...).

En ce qui concerne le système de contrôle de la marche du train, nous proposons de superposer – à moyen terme, c'est-à-dire entre 2012 et 2015 – le système ERTMS de niveau 1 aux systèmes existants de contrôle de la marche du train: une locomotive équipée de ERTMS peut parcourir la ligne qui – à son tour – peut être parcourue par des trains qui ne font que le service national.

En conclusion, les propositions concernant l'*infrastructure* sont les suivantes :

- A. *Electrification* à 3000 V sur la section française⁶ dont les coûts, d'après la convention internationale entre Italie et France pour la reconstruction des dommages de guerre devraient être soutenus par l'Italie; il est possible toutefois d'envisager un financement par l'Union Européenne, s'agissant d'une *connexion internationale* d'une certaine importance.
- B. Remplacement de l'*armement* en territoire français, qui – entre autres – est déjà en cours sur la ligne en direction de Nice (avec rails UNI 50-UIC). Dans ce cas, nous estimons que la connexion internationale entre l'Italie et la France ne subsiste pas, car la ligne existante équivaut déjà à la reconstruction des dommages de guerre et la modernisation de la ligne serait un pas supplémentaire.
- C. Réalisation de *terminaux* pour le chargement et déchargement des voitures et des véhicules de dimensions compatibles aux wagons et gabarit dans les gare de Turin, Cuneo, Limone et Tende ou Breil.
- D. Introduction éventuelle d'une *voie de dépassement* aux tunnels de Tende et/ou Bergue, au cas de trafic important.

⁶ Les francs et les espaces nécessaires pour la ligne électrique à 3000 V en CC sont inférieurs à ceux de la ligne 25000 V, dont la compatibilité avec la ligne et le gabarit admissibles devrait être vérifié et demande probablement des interventions sur l'infrastructure.