

SYNTHÈSE DES ÉTUDES DE VITESSES ET TEMPS DE PARCOURS

Adapter la vitesse aux enjeux du territoire tout en offrant des temps de parcours performants



Les études préalables à l'enquête d'utilité publique du projet sont financées par :

Ce qu'il faut retenir

- Lors de la concertation de 2011, certains acteurs ont opposé un « **projet à grande vitesse** » (coûts importants, forts impacts sur le territoire pour un service qui ne bénéficierait qu'aux « hommes d'affaires ») à un projet « **renonçant à la grande vitesse** » pour mieux répondre à la demande des usagers de disposer de trains du quotidien. Les études montrent que les enjeux des liaisons à longues distances et ceux des trains du quotidien sont intimement mêlés, tout gain pour les uns bénéficiant aux autres.
- Les études sur la vitesse ont permis de faire le constat suivant : **il n'est pas possible d'envisager de la grande vitesse sur tout le linéaire** du projet. Sur certains secteurs, les objectifs de vitesse sont donc adaptés pour favoriser l'insertion du projet aux côtés de la ligne existante. D'autres sections peuvent en revanche bénéficier d'une grande vitesse adaptée (cf. carte p. 13).
- L'étude des fuseaux de passage de la Ligne Nouvelle au cours de la première phase des EPEUP (études préalables à l'enquête d'utilité publique) et la prise en compte des contraintes liées aux territoires traversés conduisent aujourd'hui à proposer une liaison Marseille – Nice en 1h20 (arrêts inclus).
- La vitesse est une performance au service des temps de parcours, à la fois ambitieuse en termes de service et adaptée aux contraintes des territoires traversés.

Objectifs et méthodologie des études

Les études sur les vitesses et les temps de parcours menées par Réseau Ferré de France ont permis dans un premier temps de donner un éclairage théorique sur l'enjeu de la vitesse et des temps de parcours dans la conception d'une ligne nouvelle :

- avantages mais aussi contraintes techniques, et environnementales des différentes gammes de vitesse
- calcul des temps de parcours en fonction de la vitesse permise par l'infrastructure.

Ces enjeux ont ensuite été étudiés dans le cas concret du projet de Ligne Nouvelle.

200 km/h

c'est la vitesse moyenne attendue entre Marseille et Nice (hors arrêts)

3 minutes d'arrêt dans une gare LGV = 6 à 7 minutes d'occupation de l'infrastructure

320 km/h

c'est la vitesse maximale autorisée sur le réseau ferroviaire national pour les TAGV* transportant des voyageurs

100 à 150 km/h

c'est la vitesse possible sur la ligne historique Marseille-Vintimille, selon les contraintes du territoire

* TAGV : Trains Aptés à la Grande Vitesse

Si le temps de parcours
moyen entre Marseille
et Nice était réduit à

1h20

(comme le prévoit le projet),

la part du fer
atteindrait

47%

contre

19%

aujourd'hui

35 m par km

(35%), c'est la déclivité maximale
admissible dans la conception
d'une ligne nouvelle à grande vitesse
réservée aux trains de voyageurs

UNE LIGNE À GRANDE VITESSE ? OUI, MAIS MAÎTRISÉE / 04

Une décision inscrite dans le projet, confirmée par la population lors de la concertation

Territoires traversés et référentiels techniques : des critères importants dans la définition d'un tracé

Transition entre tronçons de vitesses différentes : une nécessaire harmonisation des objectifs

Dans quels cas faut-il modérer la vitesse ?

TEMPS DE PARCOURS : PRIORITÉ AU DÉSENCLAVEMENT DE LA RÉGION / 14

Des vitesses de référence aux temps de parcours théoriques

Des temps de parcours théoriques aux temps de parcours effectifs

Temps de parcours : un impact direct sur l'attractivité de la ligne

ETUDE DE CAS / 17

Evaluation de la vitesse potentielle de la ligne existante dans le sillon permien,
une augmentation possible... mais limitée

CONCLUSION / 18

Une recherche d'équilibre permanent entre modération de la vitesse
et optimisation des temps de parcours

1 / UNE LIGNE À GRANDE VITESSE ? OUI, MAIS MAÎTRISÉE

UNE DÉCISION INSCRITE DANS LE PROJET, CONFIRMÉE PAR LA POPULATION LORS DE LA CONCERTATION

Lors de la phase de concertation conduite à l'automne 2011, la question de la vitesse, et donc des temps de parcours d'une gare à une autre, a fait l'objet de nombreux débats.

Si la nécessité d'un développement du réseau existant est très largement partagée, l'intérêt de la « grande vitesse » est, quant à lui, beaucoup plus discuté : n'est-elle pas destinée aux seuls « hommes d'affaires », aux dépens des usagers du quotidien ?

Ainsi, a émergé l'idée qu'une modération de la grande vitesse permettrait de concevoir une infrastructure qui, tout en répondant à la demande des usagers de disposer de trains du quotidien en plus grand nombre et plus réguliers, respecterait mieux l'environnement et les territoires, et à moindre coût.

Le Comité de pilotage de décembre 2011 a pris en compte les attentes de la population.



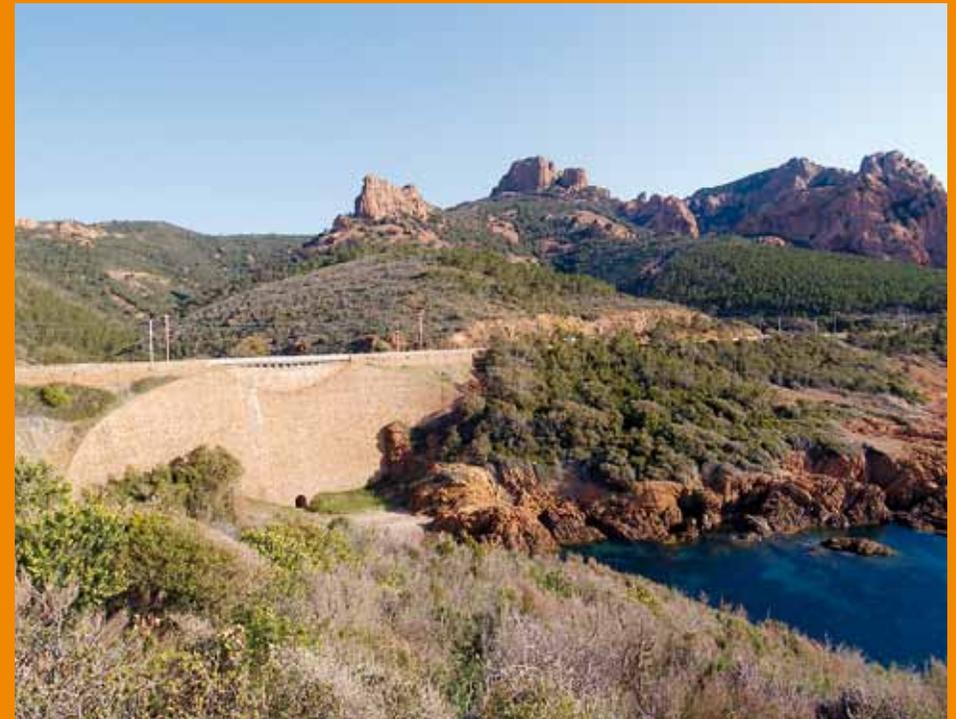
*Adapter la vitesse aux enjeux du territoire
tout en offrant des temps de parcours performants.*

TERRITOIRES TRAVERSÉS ET RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES : DES CRITÈRES IMPORTANTS DANS LA DÉFINITION D'UN TRACÉ

Le tracé d'une ligne nouvelle ferroviaire prend en compte plusieurs critères :

- les enjeux du territoire, notamment les enjeux humains et environnementaux,
- les fonctionnalités du projet,
- la topographie (relief) des territoires traversés,
- la sécurité, le confort et les coûts d'exploitation

Pour garantir la sécurité et le confort des voyageurs, avec des coûts de maintenance soutenables, le tracé d'une ligne nouvelle doit être conforme à un **référentiel technique de conception**. Celui-ci définit en particulier les caractéristiques géométriques du tracé : rayon des courbes, pentes à respecter...



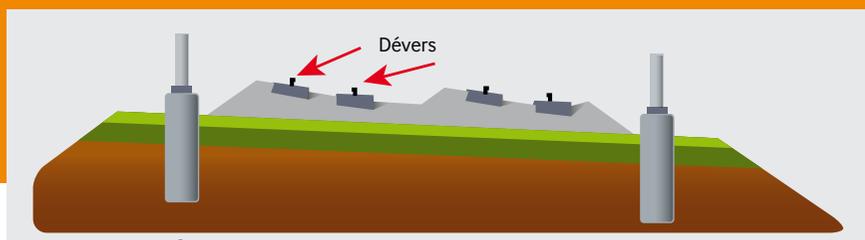
Les quatre règles du référentiel technique de tracé de voie

→ Garantir la sécurité

- En respectant les règles de **franchissement de courbes serrées et les règles d'insuffisance de dévers (ou inclinaison transversale de la voie ferrée)**** afin d'éviter les risques de déplacement, de dégradation de la voie ou de déraillement du véhicule, sous les efforts latéraux exercés.
- En respectant les règles de pente pour des raisons liées aux capacités de freinage du matériel roulant.

→ Offrir le meilleur confort

- En limitant :
- les variations de la force centrifuge en entrée et en sortie de courbe,
 - les variations de force centrifuge d'une courbe à l'autre.



Comme tout mobile se déplaçant à une certaine vitesse, un train et ses passagers subissent de la force centrifuge dans les courbes. Pour compenser cette attraction vers l'extérieur de la courbe, il est nécessaire d'incliner la voie vers l'intérieur. **L'inclinaison de la voie se traduit par une différence d'altitude entre le rail extérieur et le rail intérieur à la courbe, appelée dévers, et exprimée en millimètre.**

→ Optimiser l'exploitation de la ligne

Ces règles portent sur les déclivités, afin :

- d'éviter de trop forts ralentissements en haut des rampes (pentes) qui pénalisent fortement les temps de parcours des TAGV,
- d'éviter des différences importantes de temps de parcours entre les trains de puissances différentes (TAGV et TER par exemple) qui réduisent fortement la capacité de la ligne,
- de permettre le redémarrage des trains de fret arrêtés en rampe (pente montante).

→ Limiter les coûts de maintenance

Dans les courbes, la **force centrifuge des trains rapides** insuffisamment compensée par le dévers accélère l'usure du rail. Mais c'est surtout le **poinds des trains de fret**, insuffisamment compensé par la force centrifuge du fait de leur vitesse plus faible, qui **provoque une usure excessive** du rail lorsque le dévers de la voie est élevé. Par conséquent, on est amené, **dans les courbes serrées parcourues par les trains de fret, à limiter le dévers à la valeur d'équilibre correspondant à 100 km/h** (vitesse limite de la plupart des trains de fret) ce qui limite aussi par contrecoup la vitesse des trains rapides en raison d'un dévers insuffisant pour eux.

****L'insuffisance de dévers** est la différence entre le dévers théorique calculé en fonction de la vitesse de la circulation la plus rapide et le dévers réel, il représente la force centrifuge résiduelle dans les courbes. Le dévers théorique est le dévers qui vient équilibrer exactement la force centrifuge. A l'inverse, l'excès de dévers est la différence entre le dévers théorique calculé pour la circulation la plus lente et le dévers réel.



Depuis le début du projet, le choix est fait de ne pas viser la grande vitesse partout.

ET POUR LE PROJET DE LIGNE NOUVELLE ?

Les Lignes à Grande Vitesse construites ces dernières années en France reposent sur des objectifs de vitesse bien précis. La conception de l'infrastructure autorise une vitesse maximale des trains de 350 km/h et une vitesse « en service commercial » de 320 km/h.

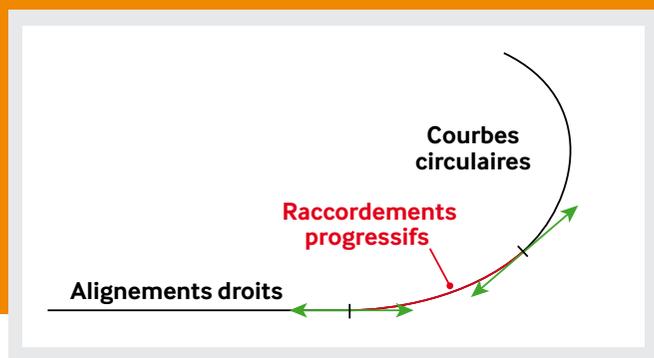
L'application stricte de ces critères de performances permettrait de mettre **Nice à moins de 45 minutes de Marseille.**

L'objectif d'un temps de parcours de 1h (hors arrêts) entre Marseille et Nice (distantes d'environ 200 km), dans le scénario « Métropoles du Sud » représente une vitesse moyenne de 200 km/h (le seuil de la « grande vitesse » étant fixé à 220 km/h dans les référentiels de conception).

Les caractéristiques d'un tracé de « ligne nouvelle »

→ Une ligne nouvelle ferroviaire présente des caractéristiques géométriques qui se mesurent sur deux plans :

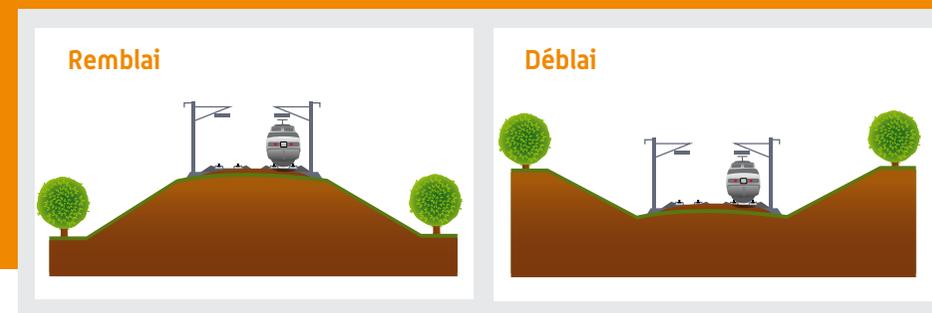
- sur un plan vertical, la ligne est définie par son « **profil en long** » : enchaînement des tronçons de pentes constantes reliés par des raccordements en arcs de cercle,
- sur un plan horizontal, la ligne est définie par son « **tracé en plan** » : un enchaînement de lignes droites appelé « alignements droits », d'arcs de cercle appelés « courbes circulaires » et de courbes de transition (à courbure variable) appelés « raccordements progressifs ».



LE PROFIL EN LONG

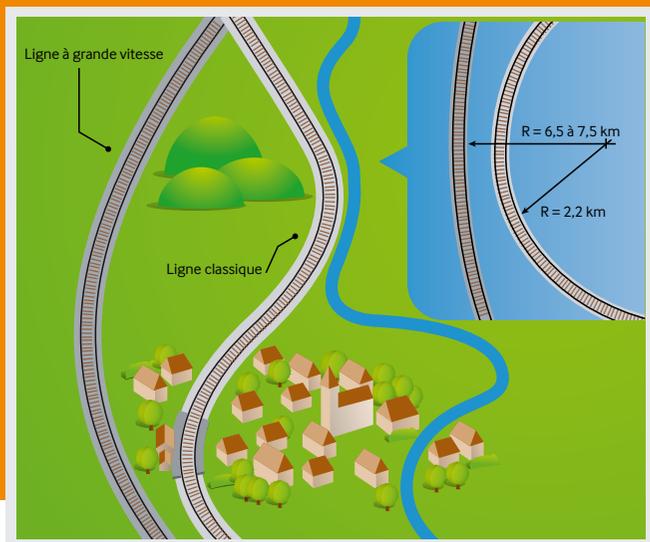
Le profil en long traduit l'insertion dans le plan vertical du projet par rapport au terrain naturel. Ses caractéristiques limites sont définies par les référentiels techniques, et intègrent aussi bien des considérations de pentes rampes maximales (3,5% soit 3,5 m de déclivité maximale tous les 100 m), que des valeurs minimales de raccordement entre pentes ou rampes, ou de pentes « glissantes » maximales (valeur moyenne de pente sur 5 ou 10 km).

Compte tenu de ces contraintes, le profil en long ne peut pas « coller » au terrain naturel. Le projet peut se trouver soit en-dessous du terrain naturel (et dans ce cas on dit que le projet se situe en « déblai »), soit au-dessus (et le projet se situe en « remblai »).



LE TRACÉ EN PLAN

Le tracé en plan doit présenter un alignement plus droit et des courbes les plus douces possibles pour respecter les critères de confort et de sécurité énoncés ci-avant.

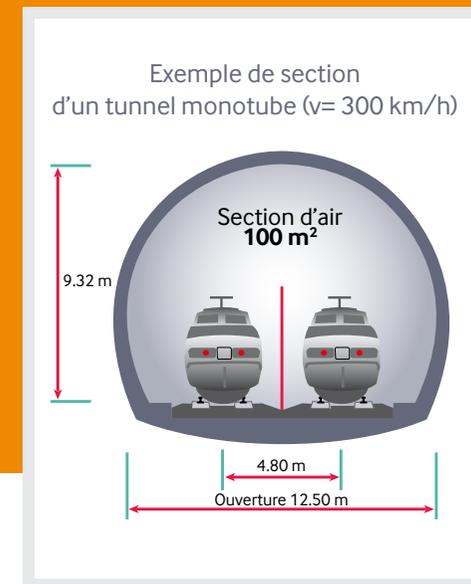


LES TUNNELS

Les tracés en tunnel doivent respecter les mêmes règles de conception géométriques que les tracés hors tunnel. Par contre, s'ajoutent à ces règles des phénomènes de variation de pression lorsque qu'un train entre à grande vitesse dans un tunnel ou lorsque deux trains s'y croisent. On parle alors de pression tympanique, responsable de la gêne ressentie par les passagers au niveau des oreilles (oreilles bouchées, malaises).

Pour amoindrir ces effets, et respecter les législations en vigueur, les sections d'air libre dans les tunnels doivent respecter les valeurs suivantes :

Vitesses	Section d'air
Tunnel Bitube	
1 tube indépendant pour chaque sens	
170 km/h	2x42m ²
230 km/h	2x44m ²
270 km/h	2x48m ²
300 km/h	2x52m ²
Tunnel Monotube	
1 seul tube pour les deux sens	
170 km/h	60m ²
230 km/h	63m ²
270 km/h	80m ²
300 km/h	100m ² (exemple ci-contre)



Un train empruntant des sections avec des caractéristiques trop différentes ne peut donc pas exploiter pleinement les caractéristiques d'une ligne à grande vitesse.

TRANSITION ENTRE TRONÇONS DE VITESSES DIFFÉRENTES : UNE NÉCESSAIRE HARMONISATION DES OBJECTIFS

Les transitions de vitesse impliquent, notamment en cas de tronçon à vitesse élevée vers un tronçon à vitesse réduite, une anticipation maîtrisée du ralentissement. Elles impliquent également une vigilance accrue de la part de l'agent de conduite, notamment en cas de variations importantes et rapprochées des zones à vitesses différentes (peu favorables au confort des voyageurs et à la bonne exploitation de la ligne).

ET POUR LE PROJET DE LIGNE NOUVELLE ?

Dans le cadre du projet, une variation limitée de vitesse entre les différents tronçons successifs est donc recherchée. Par exemple, après l'arrêt en gare de Marseille, la traversée de la vallée de l'Huveaune se fera à 140 km/h de manière homogène (permettant des changements de voie sans décélération importante), avant d'accélérer au-delà d'Aubagne pour atteindre les 270 km/h sur une ligne nouvelle.



DANS QUELS CAS FAUT-IL MODÉRER LA VITESSE ?

→ La possibilité de jumelage avec la ligne existante

Ce jumelage nécessite d'avoir une vitesse similaire à celle de l'infrastructure ferroviaire existante.

Les études ont montré que la comparaison entre les avantages d'un jumelage et leurs inconvénients est complexe, et qu'elle ne penche pas souvent en faveur du jumelage :

- les coûts en jumelage sont équivalents, voire supérieurs, à ceux d'une ligne nouvelle, en raison des contraintes induites par la proximité de la ligne existante (mesures spécifiques en phase travaux, reprise d'ouvrages sur l'existant, etc.),
- les impacts (emprise au sol et nuisances) peuvent être inacceptables en site urbain.

ET POUR LE PROJET DE LIGNE NOUVELLE ?

L'étude du scénario 0 a montré que l'insertion de la ligne nouvelle à côté de la ligne existante (doublement de l'infrastructure, c'est-à-dire passage de deux à quatre voies) est tout simplement impossible sur une partie importante du tracé, pour des raisons de densité du tissu urbain (par exemple, le « coût » en nombre de bâtiments impactés), mais aussi pour des raisons réglementaires (loi littoral, parcs nationaux, sites classés, etc.).

La solution du jumelage paraît toutefois pertinente dans la vallée de l'Huveaune (où une ligne nouvelle n'est guère possible à insérer) **et dans certains tronçons du sillon permien** (lorsque la place est suffisante, et que la ligne nouvelle aurait trop d'impact sur le milieu humain, dont les vignobles, et les milieux naturels sensibles). Les objectifs de vitesse ont alors été adaptés pour permettre ce doublement.

Les objectifs de vitesse ont alors été adaptés pour permettre ce dédoublement.

Les enjeux de coût

Adapter la vitesse en fonction des territoires traversés permet également de réduire les coûts à la marge :

→ De l'infrastructure

- Pour des vitesses élevées, les effets dynamiques (efforts sur l'ouvrage en cas de freinage, par exemple) sont plus importants et imposent des ouvrages d'art plus importants. La section des tunnels doit être plus importante, en particulier aux extrémités, pour limiter les effets de pression aérodynamiques, ce qui génère des frais supplémentaires.
- Plus la vitesse de circulation recherchée est élevée, plus les rayons des courbes doivent être importants. Une vitesse de circulation optimisée offre donc plus de souplesse dans la conception du tracé et peut permettre le cas échéant de réduire le linéaire d'ouvrages d'art (viaducs et tunnels) dans un relief tourmenté, et ainsi de générer des économies. Encore faut-il que le relief le permette et que le rallongement du tracé n'annule pas ces gains.

→ Sur la maintenance

- Dans une moindre mesure, une vitesse adaptée permet également de réduire les coûts de maintenance de la voie.



En règle générale, les « économies » obtenues en modérant la vitesse restent faibles et sont largement contrebalancées par l'augmentation de la fréquentation favorisée par la réduction des temps de parcours.

ET POUR LE PROJET DE LIGNE NOUVELLE ?

Les études sur la vitesse permettent de faire le constat suivant : il n'est pas possible d'envisager de la grande vitesse sur tout le linéaire du projet.

- 160 km/h dans la traversée souterraine de Marseille,
- 140 km/h dans la vallée de l'Huveaune,
- 250 km/h en moyenne sur la ligne nouvelle entre Aubagne et Toulon :
 - limitation à 230 km/h sur la majeure partie de la section en raison du relief (contraintes de sécurité dans les descentes),
 - 270 km/h sur la section centrale moins sinueuse.
- 160 km/h sur les tronçons de ligne existante doublée dans le sillon permien : l'objectif est de supprimer les « puits de vitesse » (accélération et ralentissements fréquents) pour éviter de descendre en-dessous de 150 km/h,
- de 270 à 300 km/h entre l'Est Var et Nice, permise par un linéaire de tunnels important (et donc peu de contraintes d'insertion en surface),
- 200 km/h entre Nice et l'Italie en raison de la proximité des arrêts de Nice et de Monaco, et des objectifs annoncés côté italien (200 km/h également).



*Il n'est pas possible d'envisager
de la grande vitesse sur tout le linéaire du projet.*

2 / TEMPS DE PARCOURS : PRIORITÉ AU DÉSENCLAVEMENT DE LA RÉGION

DES VITESSES DE RÉFÉRENCE AUX TEMPS DE PARCOURS THÉORIQUES

Les performances techniques de la ligne, associées aux performances permises par le matériel, permettent de calculer un **temps de parcours théorique**.

Il intègre :

- les séquences de freinage
- les séquences de démarrage
- les temps d'arrêt dans les gares

Ce temps de parcours est un temps incompressible pour un tracé donné.

Pour faire face aux aléas de la production opérationnelle (retards, incidents...), on ajoute à ce temps de parcours une marge de 4,5 minutes aux 100 km pour les trains circulant sur le réseau classique et de 5% du temps de parcours total pour les trains circulant sur une Ligne à Grande Vitesse.

ET POUR LE PROJET DE LIGNE NOUVELLE ?

	Marseille S' Charles	Toulon	Est Var	Ouest 06	Nice Aéroport	Nice Ville
Marseille S' Charles		00:20:48	00:43:26	00:53:47	00:59:25	01:01:57
Toulon	00:21:34		00:25:25	00:35:25	00:41:02	00:43:34
Est Var	00:43:09	00:25:22		00:12:41	00:18:18	00:20:50
Ouest 06	0:54:11	00:36:24	00:12:45		00:09:10	00:11:42
Nice Aéroport	01:00:29	00:42:42	00:19:03	00:09:05		00:04:33
Nice Ville	01:03:00	00:45:13	00:21:34	00:11:27	00:04:20	

Temps de parcours théoriques des trains sans arrêt entre chaque origine et chaque destination avec le scénario 1 du COPIL de juillet 2011 (« Le plus proche des centres-villes »).

Les conditions d'accélération et de freinage dues au caractère accidenté du relief expliquent les légers écarts entre les deux sens.

DES TEMPS DE PARCOURS THÉORIQUES AUX TEMPS DE PARCOURS EFFECTIFS

Lors de la construction de l'horaire, en plus du **temps de parcours théorique**, il faut également tenir compte de toutes les contraintes imposées par l'insertion des autres sillons, telles que le train précédent ralentissant la marche, les contraintes d'accès aux gares, l'adaptation des temps de stationnement afin d'assurer les correspondances et les dépassements, etc.

Une fois la grille horaire réalisée, respectant toutes les contraintes pour toutes les circulations du périmètre, on obtient **le temps de parcours effectif**, c'est-à-dire le temps de parcours réel vécu par les voyageurs.

ET POUR LE PROJET DE LIGNE NOUVELLE ?

L'étude des fuseaux de passage de la ligne nouvelle au cours de la phase 1 des EPEUP et la prise en compte des contraintes liées aux territoires traversés conduisent à la grille horaire suivante :

Meilleurs temps de parcours réalisables de gare à gare à l'issue de la phase 1 des EPEUP

	Toulon	Est-Var	Ouest 06	Nice	Monaco	Gênes
Paris	3h28	4h02	4h08	4h12	4h27	6h47
Lyon	2h12	2h42	2h58	3h10	3h38	5h58
Montpellier	1h36	2h06	2h22	2h34	2h57	5h17
Avignon	1h01	1h31	1h47	1h59	2h22	4h42
Aix	38 min	1h08	1h24	1h36	1h59	4h19
Marseille	23 min	53 min	1h09	1h21	1h44	4h04
Toulon		27 min	37 min	49 min	1h18	3h38
Est-Var			13 min	25 min	48 min	3h08
Ouest 06				09 min	32 min	2h52
Nice					08 min	2h28
Monaco						2h17

Temps de parcours calculés

- à partir d'un sillon* radial (relié à Paris)
- à partir d'un sillon intersecteur Vallée du Rhône
- à partir d'un sillon intersecteur Languedoc
- à partir de sillons en correspondance, lorsqu'il est meilleur que le temps du sillon direct
- ou que ce dernier n'existe pas

* Sillon : capacité d'infrastructure requise pour faire circuler un train d'un point à un autre, à un moment donné.

TEMPS DE PARCOURS : UN IMPACT DIRECT SUR L'ATTRACTIVITÉ DE LA LIGNE

→ Les temps de parcours ont un impact fort sur l'attractivité de la ligne, en particulier sur :

- sa contribution au report modal de la route vers le fer, et donc à la réduction des émissions de gaz à effet de serre,
- son équilibre économique : un report modal plus important implique une fréquentation plus forte et donc une meilleure rentabilité économique (gains de temps, recettes plus élevées, etc.). La rentabilité des dessertes longue distance/grande vitesse permet également aux collectivités de réduire les frais de financement des liaisons du quotidien qui pèsent finalement sur le contribuable.

ET POUR LE PROJET DE LIGNE NOUVELLE ?

La part de marché du fer sur l'origine-destination Marseille-Nice passerait :

- de 19 % à l'heure actuelle (où le temps de parcours moyen est de 2h36)
 - à 47 % en situation de projet (où le temps de parcours moyen est estimé à 1h20).
- Si le temps de parcours moyen était réduit à 1h00, la part du fer atteindrait 52%.





CONCLUSION

La finalité du projet est bien de rechercher les meilleurs temps de parcours pour :

- **tendre vers l'objectif de désenclavement de l'Est de la région,**
- **inciter les usagers à délaisser la voiture au profit du train,**
- **accroître la rentabilité du projet, y compris le volet « TER », grâce à un accroissement de l'attractivité et donc de la fréquentation**

...tout en adaptant la vitesse aux enjeux du territoire.

UNE RECHERCHE D'ÉQUILIBRE PERMANENT ENTRE MODÉRATION DE LA VITESSE ET OPTIMISATION DES TEMPS DE PARCOURS

Tout au long de la conception du projet, Réseau Ferré de France recherche un équilibre permanent entre :

- la modération des objectifs de vitesse lorsque les impacts d'une ligne nouvelle semblent excessifs et qu'il est préférable d'épouser la ligne existante sur les tronçons les plus difficiles,
- l'amélioration des performances du système lorsque l'insertion dans le territoire le permet.

Cependant, si la « grande vitesse » n'est pas l'objectif unique du projet, et pour certains ne doit pas être l'objectif premier, il serait inversement incohérent de s'en passer « par principe ». Il ne faut pas hésiter à favoriser la grande vitesse lorsque des tronçons de ligne nouvelle sont de toute façon nécessaires (en particulier parce que l'aménagement le long de la ligne existante n'est pas possible).





Pour en savoir plus

www.lgvpaca.fr



Mission Ligne Nouvelle

Les Docks — Atrium 10.4
10, place de la Joliette - BP 85404
13567 Marseille Cedex 02
Tél. 33 (0)4 96 17 04 80
Fax 33 (0)4 96 17 04 99
www.rff.fr