

Etudes complémentaires suite au débat public

Rapports

nice gènes toulon lyon marseille barcelone paris aix-en-provence turin londres bordeaux bruxelles



lille nice madrid montpellier cannes strasbourg amsterdam frejus toulon st-raph



Conception technique générale : méthodologie

Juin 2008



SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
Objectif.....	4
Déroulement de l'étude.....	4
<hr/>	
PARTIE 1. ANALYSE CRITIQUE DES METHODES ET HYPOTHESES EMPLOYEES DANS LES DIFFERENTES ETUDES	6
<hr/>	
1 VITESSES	6
1.1 Vitesses de la ligne nouvelle	6
1.1.1 Etudes SCETAUROUTE	6
1.1.2 Etudes SETEC	6
1.1.3 R.F.F.....	6
1.1.4 Etudes BG / GM	6
1.2 Vitesses des raccordements.....	7
1.2.1 Etudes SCETAUROUTE («Rapport d'études techniques», novembre 2004) 7	
1.2.2 Etudes SETEC	8
1.2.3 Etudes BG / GM	8
2 GEOMETRIE	9
2.1 Géométrie des lignes nouvelles	9
2.1.1 Entr'axes minimums des voies	9
2.1.2 Tracé en plan.....	9
2.1.2.1 Lignes nouvelles LGV.....	10
2.1.2.2 Lignes classiques / raccordements	11
2.1.2.3 Analyse des écarts sur le tracé en plan :.....	11
2.1.3 Profil en long.....	12
2.1.4 Déclivité	14
2.2 Géométrie des raccordements ferroviaires	15
2.2.1 Etudes de SCETAUROUTE	15
2.2.2 Etudes de SETEC	15
2.2.3 Etudes BG / GM	15
2.3 Tableau récapitulatif des hypothèses géométriques retenues par les différentes études pour les lignes nouvelles	16

3 TUNNELS	17
3.1 Choix du type de tunnel	17
3.2 Les sections d'air de tunnels	17
3.2.1 Définitions.....	17
3.2.2 Etudes de SCETAUROUTE	17
3.2.3 Etudes de SETEC	17
3.2.4 Etudes BG / GM	18
3.3 Tableau récapitulatif des hypothèses retenues par les différentes études pour les tunnels	20
<hr/>	
PARTIE 2. CRITERES DE CONCEPTION RETENUS	21
<hr/>	
4 CRITERES GEOMETRIQUES	21
4.1 Lignes nouvelles.....	21
4.2 Correspondance vitesse-rayons minimaux.....	22
5 TUNNELS	22

Introduction

Objectif

Cette note de conception technique générale a pour objectif de vérifier que les normes précédemment utilisées dans les différentes études, pour la conception technique de l'infrastructure, au niveau :

- de la géométrie des tracés,
 - des critères de conception des tunnels,
- sont encore valides et comparables entre elles.

Elle comprend l'analyse critique des méthodes et hypothèses employées, avec pour but, dans un premier temps, d'identifier et d'expliquer les écarts, puis dans un deuxième temps, la mise au point détaillée des méthodes de conception utilisées pour les présentes études complémentaires au débat public.

Cette note est :

- pour partie reprise (conclusions principales notamment) dans le rapport d'expertise des solutions BONNARD & GARDEL Ingénieurs Conseils et GM consultants pour le compte de l'AGAM / MPM et de l'AUdat / TPM.
- complétée par la note conception tunnels intégrant les dernières évolutions réglementaires (projet).

Déroulement de l'étude

Intervenants

Les études pour le compte de RFF ont été réalisées par SCETAUROUTE et SETEC.

Les études menées pour le compte de :

- L'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Marseillaise (AGAM) et la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole (CUMPM),
 - L'Agence d'Urbanisme de l'Aire Toulonnaise (AUdat) :
- ont été réalisées par BONNARD & GARDEL Ingénieurs Conseils et GM consultants (nommé ci-après BG/GM).

Etudes

Nous identifierons dans une première partie les méthodes et hypothèses utilisées dans les études de :

- SCETAUROUTE : « LGV PACA : Préparation du Débat Public - Etudes complémentaires », Novembre 2004 (SCET)
- SETEC :
 - « Esquisse de variantes en souterrain sous Marseille et Toulon », mai 2004 (SETEC1),
 - « Esquisse de nouvelles variantes desservant le triangle Aix-Marseille - Aubagne », Septembre 2004 (SETEC2),
 - « Etude d'aménagement de la traversée de Marseille », Janvier 2005 (SETEC3),
 - « Critère de conception et de dimensionnement des sections de tunnel de lignes à grande vitesse » décembre 2004.

A noter que RFF, dans les synthèses présentées au Débat Public, notamment « Synthèse des études techniques de la ligne nouvelle », Janvier 2005, présente les résultats des études menées par SCETAUROUTE, pour la plupart des études de la ligne nouvelle, et par SETEC pour les traversées en tunnel des agglomérations marseillaises et toulonnaises.

- BG / GM :

⇒ *Etudes pour le compte de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole (CUMPM)*

- « Contribution de l'Agence d'urbanisme de l'agglomération marseillaise et de la Communauté urbaine Marseille Provence Métropole », mai 2005 (MPM1);
- « Le raccordement ferroviaire de l'aéroport de Marseille-Provence dans le cadre de la LGV PACA », Juin 2005 (MPM2) ;
- Etude de la capacité du nœud ferroviaire marseillais à faire face au développement des trafics TER et TGV à l'horizon de la LGV PACA (2015 - 2020) », Juillet 2005 (MPM3) ;
- « Présentation détaillée du volet génie civil du projet - Volume 1 : Rapport & Volume 2 : Annexes », 8 septembre 2005 (MPM4);
- « Tracés alternatifs par St Charles », 8 septembre 2005 (MPM5);
- « Mémoire de synthèse », décembre 2005 (MPM6) ;

⇒ *Etudes pour le compte de L'Agence d'Urbanisme de l'Aire Toulonnaise (Audat) :*

- « Contribution de l'Agence d'Urbanisme de l'Aire Toulonnaise au débat public sur la LGV PACA », mai 2005 (TPM1);
- « Rapport d'étape sur l'étude de faisabilité du projet et sur les perspectives de desserte de l'agglomération toulonnaise », Mai 2005 (TPM2) ;
- « Etude de faisabilité et perspectives de desserte de l'agglomération toulonnaise - Projet A.M.T.N.b » Volume 1 : Rapport & Volume 2 : Annexes ; Audat, GMC, BGIC ; 22 décembre (TPM3);

Par ailleurs, il sera fait référence également :

- aux Référentiels Techniques RFF/SNCF IN3279 pour la réalisation des LGV partie GC et Equipements ferroviaires - Edition de 2006 (nommé par la suite « RT LGV en cours »)
- au Référentiel RFF/SNCF IN-0272 (EF 2 C32) infrastructure de conception du tracé de la voie courante à $V \leq 220$ km/h - Edition du 9 décembre 2004, (nommé par la suite « RT LC en cours »)

Dans une première partie, nous mettrons en évidence et expliquerons les écarts.

Dans une deuxième partie, nous proposerons une méthodologie de conception des tracés basée sur les hypothèses que nous aurons retenues pour la suite des études.

Partie 1. Analyse critique des méthodes et hypothèses employées dans les différentes études

1 VITESSES

1.1 Vitesses de la ligne nouvelle

1.1.1 Etudes SCETAUROUTE

R.F.F. avait demandé au bureau d'étude de rechercher, section par section, la vitesse qui semblerait la plus adaptée compte tenu des contraintes techniques et environnementales rencontrées et en vue d'une optimisation technico-financière.

Les études de SCETAUROUTE de novembre 2004 ont abouti aux vitesses de conception suivantes :

- 300 à 350 km/h (350 km/h si possible) selon les sections entre la LGV Méditerranée et les environs du Muy, en section courante.
- 270 km/h dans la région de l'Estérel et de la Côte d'Azur.

1.1.2 Etudes SETEC

SETEC a étudié plusieurs solutions de création d'une ligne nouvelle dans le triangle Marseille - Aix - Aubagne :

- « Esquisses de nouvelles variantes » Septembre 2004 (SETEC 2)

Il s'agit dans cette étude de la création d'une ligne nouvelle se débranchant de la LGV Méditerranée au sud de la gare Aix TGV et desservant, via la traversée du massif de l'Etoile, l'Est de l'agglomération marseillaise.

Dans ce contexte, une vitesse de conception des TGV - Voyageurs à 270 km/h a été retenue.

- « Etude d'aménagement de la traversée de Marseille » janvier 2005 (SETEC 3)

Cette étude vise à desservir au plus près le centre de l'agglomération marseillaise, tout en minimisant les longueurs de tunnels.

Dans cette étude, SETEC a fait le choix d'une vitesse de conception de 200km/h.

1.1.3 R.F.F.

Les hypothèses de vitesses suivantes ont été affichées par le Maître d'Ouvrage dans la « Synthèse des études techniques de la ligne nouvelle », janvier 2005 :

- entre la LGV Méditerranée et les environs du Muy, la ligne nouvelle a été étudiée avec une vitesse de conception de 300 km/h, (V réduite entre Aubagne et Gemenos à 220/230 km/h),
- au-delà du Muy, la ligne nouvelle a été étudiée avec une vitesse de conception de 270 km/h.

A signaler également l'étude de capacité MPM SEMALY précisant également ces hypothèses.

Ces hypothèses sont également conformes à celles prises par la SNCF pour calculer les temps de parcours.

1.1.4 Etudes BG / GM

Les études de Marseille et de Toulon ont été menées en mai 2005.

Les tracés ont été étudiés avec les hypothèses de vitesses de conception suivantes :

- Entre PK0 de la LGV PACA et PK14.9 (St Marcel) :

- V = 220 km/h pour les tracés V1, V2 et V3 ;
- V = 200 km/h pour les tracés V3a, V3b et V3c ;
- Entre PK14.9 et PK17.1 (ZI St Mitre) : V = 200 km/h ;
 - Entre PK17.1 et PK21.8 (raccordement optionnel vers Cassis) : V = 220 km/h ;
 - Entre PK21.8 (Ouest Aubagne) et Gémenos : V = 230 km/h ;
 - Entre Gémenos et Cuers : V = 270 km/h.

1.2 Vitesses des raccordements

1.2.1 Etudes SCETAUROUTE («Rapport d'études techniques», novembre 2004)

Dans les zones de raccordement de la LGV Méditerranée à la LGV PACA, les vitesses de conception proposées sont de :

- Pour le raccordement de la vallée de la Durance :
 - 230 km/h pour la liaison Nice ⇔ Paris,
 - 170 km/h pour la liaison Nice ⇔ Marseille.
- Pour le raccordement au nord d'Aix-en-Provence :
 - 300 km/h pour la liaison Nice ⇔ Paris,
 - 170 km/h pour la liaison Nice ⇔ Marseille.
- Pour le raccordement au nord du plateau de l'Arbois :
 - 300 km/h pour la liaison Nice ⇔ Paris,
 - 170 km/h pour la liaison Nice ⇔ Marseille.
- Pour le raccordement au sud du plateau de l'Arbois permet une vitesse de :
 - 170 km/h pour la liaison Nice ⇔ Paris,
 - 130 km/h pour la liaison Nice ⇔ Marseille.
- Pour le raccordement de Cuers (Puget):
 - 100 km/h pour la liaison Toulon ⇔ Paris,
 - 170 km/h pour la liaison Nice ⇔ Toulon,
 - 130 km/h pour la liaison Toulon ⇔ Nice.
- Pour le raccordement Le Luc LC :
 - 80 km/h pour la liaison Toulon ⇔ Paris,
 - 130 km/h pour la liaison Nice ⇔ Paris,
- Pour le raccordement Le Luc LGV :
 - 170 km/h pour la liaison Paris ⇔ Toulon.
 - 170 km/h pour la liaison Toulon ⇔ Paris.
- Pour le raccordement Le Muy LC :
 - 130 km/h pour la liaison Paris ⇔ Toulon.
 - 270 km/h pour la liaison Nice ⇔ Paris.
- Pour le raccordement Le Muy LGV :
 - 170 km/h pour la liaison Paris ⇔ Toulon.
 - 230 km/h pour la liaison Nice ⇔ Toulon.
 - 270 km/h pour la liaison Nice ⇔ Paris.

1.2.2 Etudes SETEC

- « Etude d'aménagement de la traversée de Marseille » janvier 2005 (SETEC 3)

Le scénario proposé par SETEC se raccorde sur la LGV Méditerranée au niveau de la sortie du tunnel de Marseille (tunnel de Marseille terminé par la tranchée couverte de Saint-André). Ce raccordement permet une vitesse maximale de 170 km/h.

1.2.3 Etudes BG / GM

Les raccordements dans le secteur d'Aubagne et de Cuers sont limités à 120 km/h dans les courbes des branches de raccordement et à 160 km/h dans les zones d'aiguillage permettant l'insertion ou le débranchement d'un train vers ou depuis la LGV.

2 GEOMETRIE

2.1 Géométrie des lignes nouvelles

2.1.1 Entraxes minimums des voies

Les entraxes pris dans les différentes études sont les suivants :

Vitesse (en km/h)	SCETAUROUTE	SETEC	BG / GM
200	Nu*	4.20 m	4.20 m
220	4.50 m	Nu	4.20 m
230		Nu	4.20 m
270		Nd**	4.50 m
300		Nu	Nu
320		Nu	Nu
350		Nu	4.80 m*

* Vitesse non utilisée

** Entraxe non donné dans l'étude

D'après le référentiel LGV courant, les entraxes des voies sont de :

- 4.00 m pour les tronçons parcourus à 220/230 km/h,
- 4.50 m pour ceux parcourus de 270 km/h à 350 km/h.

Sur les sections parcourues à une vitesse inférieure ou égale à 220 km/h, l'utilisation du Référentiel courant LC permet une valeur d'entraxe inférieure (3.67 m).

Conclusion :

Les valeurs des entraxes utilisées par les différents bureaux d'études respectent les référentiels en cours.

2.1.2 Tracé en plan

Définitions

- Rayon courant :

ce rayon respecte le coefficient de ligne K «qui permet de maintenir, en fonction de la vitesse, un niveau de confort équivalent sur toute une section de ligne par une harmonisation des dévers et des insuffisances de dévers». Ces rayons sont affectés d'un dévers proportionnel à K ($d=K/R$) et respectent la double condition I (insuffisance de dévers) \leq limite normale et d (dévers) \leq limite maximale.

- Rayons minimaux :

- Rayon minimal normal : ce rayon résulte de l'application de I limite normale et d limite maximale. $R_{\text{mini}} = 11.8 V^2 / (I_{\text{norm}} + d_{\text{max}})$. Le rayon minimal normal doit être respecté en priorité par le concepteur.
- Rayon minimal exceptionnel : ce rayon résulte de l'application de I limite exceptionnelle et d limite maximale. $R_{\text{mini}} = 11.8 V^2 / (I_{\text{except}} + d_{\text{max}})$. Le rayon minimal exceptionnel doit être utilisé aussi rarement que possible. Au stade APS (et études préliminaires), il doit faire l'objet d'une demande de dérogation.

Vitesse	230	270	300	320	350
D _{max}	180	180	180	180	180
I _{normal}	110	100	80	75	65
I _{exceptionnel}	140	130	100	90	80

Correspondances vitesses - rayons en plan minimums

Vitesse (en km/h)	SCETAUROUTE (SCET)	SETEC (SETEC 2 & 3)	BG / GM (MPM4 - vol1)
200	Nu*	1 500	1 500
220	Nd**	Nu	2 000
230	2 174	Nu	2 200
270	3 310	3 000	3 600
300	Nd	Nu	4 500*
320	Nd	Nu	5 315*
350	6 250	Nu	6 875*

* vitesse non utilisée dans l'étude

** rayon non donné dans l'étude

2.1.2.1 Lignes nouvelles LGV

D'après le RT LGV courant, « il est recommandé de se limiter à une valeur de dévers de 160 mm sauf zones de tracé très contraintes par l'environnement », au stade des études préliminaires et des études d'APS, afin d'avoir la possibilité de réduire les rayons pour tenir compte des contraintes environnementales et géotechniques.

Compte tenu de cette recommandation, les rayons minimaux en plan deviennent (d160mm) :

Vitesse LGV	Rayon courant	Rayon minimum normal (d Max+ I limite normale)	Rayon minimum exceptionnel (d Max+ I limite exceptionnel)
230	2 438	2 310	2 081
270	3 600	3 308	2 966
300	4 500	4 280	4 085
320	5 313	5 142	4 833
350	6 875	6 425	6 023

La prise en compte des difficultés majeures d'insertion dans l'environnement, peut nous amener à utiliser le dévers maximum admissible de 180 mm. Les rayons courants, limites et exceptionnels correspondants sont donnés dans le tableau ci-après.

Vitesse LGV	Rayons		
	Courant	Minimum normal d Max+ I limite normale	Minimum exceptionnel d Max+ I limite exceptionnelle
V 230 K = 390.000	2 167	2 153	1 951
V 270 K = 576.000	3 200	3 075	2 775
V 300 K = 720.000	4 300	4 085	3 793
V 320 K = 850.000	4 762	4 739	4 476
V 350 K = 1.100.000	6 112	5 900	5 560

2.1.2.2 Lignes classiques / raccordements

Les valeurs issues du RT ligne classique courant à V = 220 km/h (RFF-SNCF) pour un dévers de 160 mm, sont les suivantes :

LIGNE CLASSIQUE CAT III (Type TGV et autres)			
Vitesse ligne	R courant	R minimum normal	R minimum exceptionnel
	$K = 6 V^2$	d Max+ I limite normale	d Max+ I limite exceptionnelle
220	1 815	1 785	1 785
200	1 500	1 475	1 389
170	1 084	1 066	1 003
160	960	944	889
140	735	723	681
130	634	624	587
100	400	389	373
80	332	294	280

2.1.2.3 Analyse des écarts sur le tracé en plan :

- SCETAUROUTE a utilisé le Tome I du REFERENTIEL TECHNIQUE APS de la LGV AQUITAINE (06/03/01).
 Les rayons minimums utilisés par SCETAUROUTE dans ses études correspondent aux rayons minimaux normaux de ce référentiel, calculés avec un dévers maximum de 180 mm.
- Dans le RT LGV en cours, il est recommandé de se limiter à une valeur de dévers de 160 mm au stade des études préliminaires et des études d'APS, afin d'avoir la possibilité en phases d'études ultérieures de réduire les rayons pour tenir compte des contraintes environnementales et géotechniques. BG/GM ont utilisé un référentiel technique dans lequel apparaissait déjà cette recommandation. Ils ont donc pris les rayons courants du RT (anciennement nommées « rayons recommandés ») avec un dévers maximal de 160 mm, sauf pour la vitesse de 230 km/h, pour laquelle le rayon utilisé (2200m) correspond au rayon courant pour un dévers de 180 mm.

- SETEC a pris un rayon minimal de 3 000 m à une vitesse de 270 km/h (pour d = 180 mm). Ce rayon ne respecte pas la valeur limite normale de l'insuffisance de dévers (qui est de 100 mm), garant du confort du passager. Il utilise la valeur limite exceptionnelle de l, c'est-à-dire 130 mm. Ceci doit faire l'objet d'une demande de dérogation d'après la RT LGV en cours. Le rayon de 1500m utilisé pour V200km/h correspond au Rcourant pour un dévers de 160 mm.

Conclusion

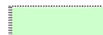
Le tableau suivant reprend les différentes valeurs de rayons utilisés par les bureaux d'études en fonction de la vitesse :


Vitesse (en km/h)	SCETAUROUTE (SCET)	SETEC (SETEC 2 & 3)	BG / GM (MPM4 - vol1)
200	Nu*	1 500	1 500
220	Nd**	Nu	2 000
230	2 174	Nu	2 200
270	3 310	3 000	3 600
300	Nd	Nu	4 500*
320	Nd	Nu	5 315*
350	6 250	Nu	6 875*


* vitesse non utilisée dans l'étude

** rayon non donné dans l'étude

Légende :

 Rcourant / Rmini pour d 160 mm dans les RT en cours
 Ces valeurs de rayon, à vitesse identique, peuvent être conservées dans les études actuelles.

 Rcourant / Rmini pour d 180 mm dans les RT en cours
 Il faut rechercher, à vitesse identique, à augmenter ces valeurs de rayon pour réduire le dévers à 160 mm, sauf points durs particuliers. A noter que la valeur de 6 250 m pour V350 de l'étude SCETAUROUTE est compatible avec le Rcourant pour un dévers de 160mm et une vitesse de 300 km/h et peut donc être conservée en considérant une diminution de la vitesse.

 Rexceptionnel pour d 180 mm dans les RT en cours
 Valeur à reprendre, à vitesse identique, pour passer au moins au Rminimum normal pour un dévers de 180 mm car il faut sinon une demande de dérogation. A noter cependant que les tracés Setec ne concernaient que la traversée de Marseille et qu'aucun d'entre eux n'a été repris.

2.1.3 Profil en long

Définitions

- La valeur limite recommandée du rayon en profil en long correspond à la valeur couramment utilisée par les concepteurs en l'absence de contraintes particulières.
- La valeur limite minimale normale du rayon en profil en long correspond à la valeur minimale qui doit être respectée en priorité par le concepteur.
- La valeur limite minimale exceptionnelle du rayon en profil en long doit être utilisée aussi rarement que possible. Au stade APS (et études préliminaires), ceci doit faire l'objet d'une demande de dérogation.

Correspondances vitesses - rayons profil en long

Vitesse (en km/h)	SCETAUROUTE (SCET)	SETEC (SETEC 2 & 3)	BG / GM (MPM4 - vol1)
200	Nu*	14 000	14 000
220	Nu	Nu	16 000
230	Nd**	Nu	Nd
270	12 500	25 000	30 000
300	Nd	Nu	Nu
320	Nd	Nu	Nu
350	21 000	Nu	Nu

* vitesse non utilisée dans l'étude

** rayon non donné dans l'étude

Les valeurs limites données par les Référentiels techniques LGV et Lc en cours, des rayons des courbes de raccord de déclivités, sont reprises dans le tableau suivant :

Vitesse (en km/h)	Rayon recommandé en profil en long	Rayon minimal normal en profil en long	Rayon minimal exceptionnel en profil en long	
			En bosse	En creux
200	14 000	14 000	10 000	10 000
220	16 940	16 940	12 100	12 100
230	16 000	10 000	8 000	7 500
270	19 000	12 500	11 000	10 000
300	25 000	15 500	13 000	12 000
320	25 000	18 000	15 000	14 000
350	25 000	21 000	18 000	16 500

Nota : pour V200 et V220, utilisation du référentiel « lignes classiques », pour V230 et au-delà utilisation du référentiel LGV.

Analyse des écarts :

- Les valeurs fournies par SCETAUROUTE correspondant aux rayons minimum normaux du RT LGV en cours.
- SETEC a appliqué :
 - Pour V200, le RT LC en cours avec la valeur limite normale de 14 000 m
 - Pour V270 : le rayon recommandé par le RT LGV en cours pour les vitesses supérieures ou égales à 300 km/h.
- BG / GM a appliqué :
 - Pour V200 : le RT LC en cours avec la valeur limite normale de 14 000 m
 - Pour V220 : le RT LC est toujours applicable. Il donne Rmini = 16 940 m. La valeur de 16 000 m est donc trop faible par rapport au rayon minimal normal. Cet écart n'est toutefois pas de nature à remettre en cause la faisabilité des dispositions étudiées et pourraient être adaptées dans les études ultérieures sans impact majeur (Précision BG/GM en réunion du 5/06/07 : la valeur utilisée correspondait à celle existante au raccordement avec l'existant).
 - Pour V270 : valeur très supérieure au Rcourant de la RT LGV en cours.

Conclusion :

Les valeurs utilisées lors des études précédentes ne montrent pas de problèmes particuliers de conception, par rapport aux RT en cours (LGV et LC).

2.1.4 Déclivité

Définitions :

- La déclivité maximale admissible est de 35 ‰ (35 m pour 1000 m) sous réserve de respecter les conditions suivantes :
 - Déclivité du profil moyen glissant sur 10 km \leq 25 ‰
 - Longueur maximale en déclivité continue de 35 ‰ n'excédant pas 6 km.
- Règles particulières liées au Matériel Roulant : les caractéristiques du Matériel Roulant vis-à-vis des critères de freinage dans des fortes déclivités imposent de réduire la vitesse des trains en fonction de la déclivité moyenne (dec. m) de la ligne calculée sur une longueur glissante de 5 200 m :
 - dec. m inférieure à 35 ‰ pour $V_{max} = 230$ km/h
 - dec. m inférieure à 30 ‰ pour $V_{max} = 270$ km/h
 - dec. m inférieure à 22 ‰ pour $V_{max} = 300$ km/h
 - dec. m inférieure à 16 ‰ pour $V_{max} = 350$ km/h

Les déclivités utilisées dans les différentes études sont les suivantes :

	Etudes de SCETAUROUTE		Etudes de SETEC		Etudes de l'AGAM-MPM (Marseille) et de l'AUdat (Toulon)		
			SETEC 2	SETEC 3			
vitesse ligne nouvelle (km/h)	270	350	270	200	200	220	270
déclivités maxi (ligne voyageur)	35 ‰	35 ‰	35 ‰	35 ‰	30 ‰ à 35 ‰		
Règles particulières pour les déclivités	$D_{max} = 30$ ‰ sur 5200 m	$D_{max} = 16$ ‰ sur 5200 m	$D_{max} = 30$ ‰ sur 5 200 m et 25 ‰ sur 10 km	nu*	$D_{max} = 30$ ‰ sur 5200 m		

*nu : non utilisé

Conclusion

Les valeurs utilisées lors des études précédentes ne montrent pas de problèmes particuliers de conception, par rapport aux RT en cours (LGV et LC).

2.2 Géométrie des raccordements ferroviaires

2.2.1 Etudes de SCETAUROUTE

Vitesse de référence (TVM)	Tracé en plan (d = 160 mm)	Profil en long
230 km/h	R _{mini} = 2 174 m LRP= 240 m	Déclivité max = 25 mm/m R _{mini} = 25 000 m
170 km/h	R _{mini} = 1 163 m LRP= 170 m	
130 km/h	R _{mini} = 650 m LRP= 130 m	
80 km/h	R _{mini} = 400 m LRP= 60 m	

LRP : longueur du raccordement progressif.

2.2.2 Etudes de SETEC

La géométrie des raccordements n'est pas indiquée dans les rapports fournis par SETEC.

2.2.3 Etudes BG / GM

Pour le raccordement dans le secteur d'Aubagne (le shunt d'Aubagne), les deux branches du raccordement s'inscrivent selon des courbes de 530 m minimum limitant la vitesse à environ 120 km/h. Le rayon est augmenté à 1 500 m dans la zone d'aiguillage pour permettre l'insertion ou le débranchement d'un train vers ou depuis la LGV à une vitesse de 160 km/h.

Pour le raccordement de Cuers, le tracé s'inscrit selon une courbe de 530 m environ limitant la vitesse à environ 120 km/h.

2.3 Tableau récapitulatif des hypothèses géométriques retenues par les différentes études pour les lignes nouvelles

	Etudes de SCETAUROUTE		Etudes de SETEC		Etudes de l'AGAM-MPM (Marseille) et de l'AUdat (Toulon)		
			SETEC 2	SETEC 3			
vitesses ligne nouvelle (km/h)	270	350	270	200	200	220	270
rayons en plan minimal (m) R _{mini}	3 310	6 250	3 000	1 500	1 500	2 000	3 600
rayons profil en long (m)	12 500 mini	21 000 mini	25 000	14 000	14000	16000	30000
déclivités maxi (ligne voyageur)	35 ‰	35 ‰	35 ‰	35 ‰	30 ‰ à 35 ‰		
Règles particulières pour les déclivités ⁽¹⁾	D _{max} = 30 ‰ sur 5200 m	D _{max} = 16 ‰ sur 5200 m	D _{max} = 30 ‰ sur 5200 m et 25 ‰ sur 10 km		D _{max} = 30 ‰ sur 5200 m		
entraxes	4.50 m			4.20 m	4.20 m		4.50 m

3 TUNNELS

Toutes les études ont considéré pour le dimensionnement des tunnels, l’Instruction Technique interministérielle N° 98.300 du 8 Juillet 1998 (ITI 98) relative à la sécurité dans les tunnels ferroviaires de longueur comprise entre 400 m et 10 km. Selon ce texte, les tunnels de plus grande longueur sont traités par des commissions « ad hoc » mises en place spécifiquement pour chaque ouvrage.

3.1 Choix du type de tunnel

Toutes les études se sont basées sur les dispositions constructives suivantes :

- des monotubes pour les tunnels de longueur inférieure à 10 km (un tube à deux voies),
- des bitubes pour les tunnels de longueur supérieure à 10 km (deux tubes à une voie chacun).

La réalisation de tunnels bitubes a en effet reçu les faveurs des commissions « ad hoc » sur de précédents projets de longs tunnels ferroviaires.

3.2 Les sections d’air de tunnels

3.2.1 Définitions

La section d’air est la section à l’intérieur du génie civil du tunnel.

La section excavée est la section d’air plus le génie civil et le soutènement : la section creusée.

3.2.2 Etudes de SCETAUROUTE

Sections d’air

Vitesse	Monotube	Bitubes
270 km/h	71 m ²	-
350 km/h	100 m ²	2 x 59 m ²

L’étude de SCETAUROUTE ne précise pas les sections excavées correspondantes.

3.2.3 Etudes de SETEC

Sections d’air

Vitesse	Monotube	Bitubes
200 km/h	63 m ²	-
230 km/h	63 m ² (TGV Méditerranée)	-
270 km/h	71 m ² (TGV Atlantique)	2 x 50 m ²
300 km/h	85 m ²	-
320 km/h	100 m ² (TGV Méditerranée)	-
350 km/h	118 m ²	-

L’étude de SETEC ne précise pas les sections excavées correspondantes.

SETEC a dimensionné la section d'air des tunnels par une approche aérolitique, en s'appuyant sur les sections d'air et les études aérauliques réalisées pour des tunnels de LGV existantes (Atlantique, Rhône Alpes et surtout Méditerranée). Rappelons que le RT LGV courant stipule (§4.10.8.4.2), pour les tunnels, que « La section des ouvrages souterrains est déterminée, dans le respect des gabarits cinématiques et des règles de sécurité du personnel, à partir d'une étude aéraulique. »

Les sections d'air retenues par SETEC sont donc celles des ouvrages existants pour les vitesses de 230,270 et 320 km/h. Les sections d'air pour les vitesses de 200, 300 et 350 km/h sont issues de leur calcul.

Il faut être néanmoins prudent car chaque étude n'est valable que dans son contexte. La quantité d'équipement dans le tunnel (ventilation, équipement électrique et équipement de sécurité) peut fortement influencer la pression dans le tunnel et modifier la section d'air. Une étude spécifique est nécessaire pour chaque tunnel étudié.

La diminution des contraintes de variations de pression pourrait éventuellement être obtenue dans le cadre d'une étude de détail par des aménagements aérauliques (entonnements, rameaux de pistonement etc.) en tunnel, sans toutefois résoudre le problème en toute généralité.

3.2.4 Etudes BG / GM

Nota préalable : Les principales conclusions et résultats donnés dans les différents rapports disponibles sont retranscrits ci-après. Une étude plus fine de type analyse critique a été réalisée dans le cadre du rapport d'expertise des dites études (Egis rail / juin 2007).

A une vitesse de projet de 270 km/h (entre Marseille et le sillon Permien), est proposée une section d'air nécessaire de 71 m², d'où une section excavée de 100 à 105 m² (pour un tunnel monotube).

- Dans le cas d'un tunnel bitube circulé à 270 km/h, la section d'excavation nécessaire est de 2 x 75 m².
- Pour la traversée de Marseille à 200 ou 220 km/h suivant les solutions, plusieurs types de tunnels ont été envisagés dans les études BG/GM :

- Pour les variantes V1 (tracé de base) et V2 (Blancarde)

Hypothèse d'un seul tube à double voie du fait des particularités suivantes du contexte géologique/hydrogéologique :

- excavation en rocher uniquement,
- une profondeur de tracé suffisante pour s'affranchir des risques de tassement de bâtiments,
- une altitude suffisante du profil pour rester en contexte hors nappe phréatique.

Ainsi que les dispositions constructives principales suivantes :

- une excavation principalement à l'explosif, précédée éventuellement d'un forage pilote réalisé au tunnelier de petit diamètre pour la reconnaissance géotechnique du projet et pour réduire fortement les vibrations dues aux travaux de minage,
- un profil fer à cheval non étanche en radier.

La section type considérée est celle des tunnels parcourus à 230 km/h : une section d'air de 63 m² et une section excavée de 90 m² environ.

- Pour la variante V3 via Saint Charles

Hypothèse d'un tunnel bitube du fait des particularités suivantes du contexte géologique/hydrogéologique :

- la présence de dépôts alluvionnaires au Nord et à proximité du portail Sud,
- la faible profondeur du projet (risques de tassement en surface) ;
- la proximité du niveau de la mer, avec pour corollaire le risque d'un positionnement du tracé en partie sous le niveau de la nappe phréatique,

ainsi que les dispositions constructives principales suivantes :

- une excavation au tunnelier des deux tubes,
- un profil circulaire complètement étanche.

La section type considérée correspond à la réalisation de tubes de 9.5 m de diamètre excavé (section d'excavation de $2 \times 71 \text{ m}^2$).

Observation : il faut noter dans le rapport de l'AGAM-MPM du 11 mai 2005, que la section type considérée pour la même variante, correspondait à la réalisation de tubes de 9.5 à 9.8 m de diamètre excavé, soit une section d'excavation de $2 \times 75 \text{ m}^2$.

- Pour les variantes V3a, V3b et V3c via St Charles,

Hypothèse d'un tunnel monotube (sauf pour la variante V3a-hypothèse 2) du fait de contextes géologiques et hydrogéologiques meilleur ainsi que d'une section d'air un peu réduite.

Observation : dans les solutions étudiées par l'Agglomération de Marseille, les tunnels sont pour certains sous la nappe phréatique. Dans ce contexte difficile il est plus prudent de garder une marge importante d'aléas.

Tableau récapitulatif des sections de tunnel en fonction de la vitesse :

Vitesse	Monotube	Bitubes
200 km/h	60 m ² Section d'air	2 x 71 m ² excavée
220 km/h	63 m ² Section d'air	2 x 71m ² excavée
270 km/h	71 m ² Section d'air	2 x 75m ² excavée

Observation : on note un écart avec l'étude de SETEC, qui pour un tunnel parcouru à 200 km/h, considère une section d'air de 63 m². SETEC a retenu cette section, parce qu'elle correspond à la section du tunnel de Marseille sur la LGV Méditerranée.

3.3 Tableau récapitulatif des hypothèses retenues par les différentes études pour les tunnels

	SCETAURROUTE			SETEC			AGAM-MPM (Marseille)					
	SETEC 2		SETEC 3	SETEC 2		SETEC 3	SETEC 2		SETEC 3		SETEC 3	
vitesses ligne nouvelle (km/h)	270	350		270		200	200		220		270	
longueur des tunnels	< 10 km	<10 km	> 10 km	<10 km	> 10 km	<10 km	<10 km	> 10 km	<10 km	> 10 km	<10 km	> 10 km
type de tunnels	monotube	monotube	bitubes	monotube	bitubes	monotube	monotube	bitubes	monotube	bitubes	monotube	bitubes
Section d'air des tunnels (m ²)	71	100	2x59	71	2x50	63	60	np	63	np	71	np
Section excavée	np	np	np	np	np	np	np	2x71	90	2x71	100-105	2x75
méthodes d'excavation	np	np	np	traditionnelles		traditionnelles	explosif et éventuellement tunnelier en 1er temps	tunnelier	explosif et éventuellement tunnelier en 1er temps	tunnelier	traditionnelles	tunnelier

np : non précisé

Conclusion :

Les valeurs retenues lors des études précédentes sont compatibles avec celles utilisées pour les présentes études complémentaires.

Partie 2. Critères de conception retenus

4 CRITERES GEOMETRIQUES

Les règles de conception géométrique conduisant aux solutions présentées doivent être issues :

- du référentiel technique RFF pour l'étude de lignes à grande vitesse voyageurs pour les parties où la vitesse maximale des trains pourrait être de 230 km/h et plus, (RT IN3279 pour la réalisation des LGV partie GC et Equipements ferroviaires - Edition de 2006)
- du référentiel infrastructure de conception du tracé de la voie courante à $V \leq 220$ km/h (RFF-SNCF) pour les vitesses plus basses. (IN-0272 (EF 2 C32) infrastructure de conception du tracé de la voie courante à $V \leq 220$ km/h - Edition du 9 décembre 2004).

4.1 Lignes nouvelles

Les hypothèses de vitesses suivantes seront utilisées dans la suite des études :

- entre la LGV Méditerranée et les environs du Muy, la vitesse de référence sera de 300 km/h,
- au-delà du Muy, la vitesse de référence sera de 270 km/h.

On recherchera cependant, section par section, la vitesse qui semblera la plus pertinente pour l'optimisation technico-financière compte tenu des contraintes techniques et environnementales rencontrées.

A ce stade des études la contrainte des raccordements progressifs n'est pas prise en compte. Certaines sections peuvent permettre d'envisager une vitesse de 350 km/h, d'autres ne peuvent raisonnablement être abordées à plus de 270 km/h.

- déclivité maximale admissible : 35 ‰ (ligne voyageur), tout en respectant les conditions suivantes :
 - Déclivité du profil moyen glissant sur 10 km ≤ 25 ‰
 - Longueur maximale en déclivité continue de 35 ‰ n'excédant pas 6 km.
 - une déclivité moyenne sur 5200 m glissants :
 - inférieure à 35 ‰ pour $V_{max} = 230$ km/h
 - inférieure à 30 ‰ pour $V_{max} = 270$ km/h
 - inférieure à 22 ‰ pour $V_{max} = 300$ km/h
 - inférieure à 16 ‰ pour $V_{max} = 350$ km/h
- raccordements établis pour une vitesse de 230 km/h autant que possible ou 170 km/h sinon. Il est possible que l'on soit contraint exceptionnellement de réduire la vitesse à 130 km/h, voire 80km/h.
- entraxe des voies : 4.00 m pour les tronçons parcourus à 220/230 km/h, 4.50 m pour ceux parcourus de 270 km/h à 350 km/h.

4.2 Correspondance vitesse-rayons minimaux

Le rayon en plan minimal est déterminé à partir de la vitesse et du dévers maximal autorisé qui est de 160 mm ou 180 mm. Dans le Référentiel Technique LGV en cours, il est recommandé de se limiter à une valeur de dévers de 160 mm au stade des études préliminaires et des études d'APS, afin d'avoir la possibilité en phase études de réduire les rayons pour tenir compte des contraintes environnementales et géotechniques.

Nous baserons nos études sur les correspondances vitesses - rayons suivantes :

- rayons en plan : valeurs arrondies des rayons courants chaque fois que possible, ou en cas de contrainte le rayon minimum normal du RT LGV en cours avec l'hypothèse d'un dévers maximum de 160 mm. Exceptionnellement, on pourra envisager un dévers de 180 mm en cas de difficulté majeure.
- rayon en profil en long : valeurs limites minimales normales du RT LGV en cours.

Vitesse	Rayon courant d=160 mm	Rayon en plan minimal pour d=160 mm	Rayon en plan minimal pour d=180 mm	Rayon minimal normal en profil en long (m)
200 km/h	1 500	1 480	1 400	14 000
230 km/h	2 500	2 310	2 150	10 000
270 km/h	3 600	3 300	3 100	12 500
300 km/h	4 500	4 300	4 100	15 500

5 TUNNELS

Cf. le paragraphe « 2.2 - Méthode d'estimation des tunnels » de la note « Critique et adaptation des méthodes de conception et d'évaluation - L'estimation des coûts - méthode d'estimation retenue ».