

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-raphaël



Expertise sur la géologie des tunnels des scénarios Métropoles du Sud

Juin 2008





RESEAU
FERRE DE
FRANCE

Direction Régionale
Provence - Alpes - Côte d'Azur

LGV PROVENCE - ALPES - COTE D'AZUR

ETUDES COMPLEMENTAIRES SUITE DEBAT PUBLIC

EXPERTISE DES CARACTERISTIQUES DES TUNNELS MDS

Rapport

Octobre 2007



SETEC International
5, Chemin des gorges de Cabriès
13127 VITROLLES

ETUDES COMPLEMENTAIRES SUITE AU DEBAT PUBLIC

Expertise des caractéristiques des tunnels MDS

RAPPORT

SOMMAIRE

1.	GENERALITES	3
1.1	Cadre de la mission.....	3
1.2	Traversées souterraines examinées.....	3
1.3	Données utilisées	4
1.3.1	<i>Documents mis à disposition par RFF</i>	<i>4</i>
1.3.2	<i>Entrants géologiques</i>	<i>5</i>
2.	RAPPEL DES HYPOTHESES RETENUES	6
2.1	Méthodes d'excavation	6
2.2	Profils types d'excavation / soutènement.....	7
3.	APPLICATION AUX TRAVERSEES PROJETEES.....	8
3.1	Méthodologie	8
3.2	Sectionnement des ouvrages.....	8
3.2.1	<i>Contextes géologiques et principales contraintes</i>	<i>8</i>
3.2.2	<i>Sectionnement en profils types.....</i>	<i>12</i>

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 Cadre de la mission

Les études techniques menées par EGIS dans le cadre des études complémentaires de la LGV PACA, entreprises suite au Débat Public, ont conduit à la conception de nouveaux scénarios, et donc de nouveaux tunnels par rapport à ceux identifiés lors des études préalables au Débat Public.

Dans un souci visant à homogénéiser l'évaluation du coût des tunnels interurbains, RFF DR PACA a demandé à SETEC International de procéder à une estimation de la partie génie civil linéaire de ces nouveaux tunnels suivant la méthodologie mise au point et appliquée lors des études précédentes.

La mission porte donc, non pas sur l'évaluation complète du coût de ces tunnels, mais sur une estimation du sectionnement des ouvrages souterrains en profils types d'excavation / soutènement en fonction des contextes géomécaniques pressentis.

1.2 Traversées souterraines examinées

Les tunnels étudiés sont situés sur les sections suivantes (cf. carte générale de localisation en annexe) :

- "MDS60-MDS75",
- "MDS75-CA85 par Toulon Centre",
- "MDS75-CA85 par Toulon Est",
- "MDS75-CA85 par Toulon Nord".

Par commodité, les tunnels situés sur ces différentes sections ont été codifiés comme suit :

➤ **Toulon Nord** (MDS75-CA85 via Toulon Nord) :

Code	PK		Linéaire (ml)
	Déb.	Fin	
TN/T1	25,813	26,973	1160
TN/T2	27,401	28,771	1370
TN/T3	29,352	30,042	690
TN/T4	33,852	35,522	1670
TN/T5	37,749	37,989	240
TN/T6	38,533	42,583	4050
Total tunnels			9180

➤ **Toulon Est** (MDS60-MDS75-MDS115-CA85 via Toulon Est) :

Code	PK		Linéaire (ml)
	Déb.	Fin	
TE/T1	1,195	4,185	2990
TE/T2	8,400	9,120	720
TE/T3	11,003	11,733	730
TE/T4	13,403	13,943	540
TE/T5	30,849	31,429	580
TE/T6	34,643	38,073	3430
TE/T7	38,589	40,419	1830
TE/T8	41,242	46,642	5400
TE/T9	51,357	51,777	420
TE/T10	52,862	54,252	1390
TE/T11	54,650	55,990	1340
TE/T12	68,314	69,134	820
Total tunnels			20190

➤ **Toulon Centre** (MDS75-CA85 via Toulon Centre) :

Code	PK		Linéaire (ml)
	Déb.	Fin	
TC/T1	30,023	30,373	350
TC/T2	31,692	32,407	715
TC/T3	32,635	34,030	1395
TC/T4	34,448	38,218	3770
Total tunnels			6230

1.3 Données utilisées

1.3.1 Documents mis à disposition par RFF

- Axes en plan et profils en long des sections où sont situés les tunnels, éch. 1/25.000 (.pdf).
- Carte de positionnement des sections et nœuds.
- Schéma d'encartage des planches au 1/25.000.

1.3.2 Entrants géologiques

Les entrants géologiques nécessaires à la mission ont été fournis par SETEC International. Il s'agit principalement des cartes géologiques au 1/50.000 (éd. BRGM) dont la liste est la suivante :

- Aubagne - Marseille, feuille n°1044,
- Cuers, feuille n°1045,
- Collobrières, feuille n°1046,
- Toulon, feuille n°1064.

2. RAPPEL DES HYPOTHÈSES RETENUES

2.1 Méthodes d'excavation

On distingue schématiquement deux techniques de construction des tunnels :

- la technique faisant appel aux méthodes d'exécution traditionnelles,
- le creusement mécanisé au tunnelier.

Etant donné la grande diversité des contextes géologiques traversés, il est considéré ici une exécution des tunnels en méthodes traditionnelles, car cette technique peut être mise en œuvre dans des conditions géologiques très variables, et quelle que soit la longueur des ouvrages. Cette approche permet ainsi d'établir les estimations sur des bases comparables pour l'ensemble des tunnels étudiés.

Par opposition au creusement mécanisé au tunnelier qui assure en continu et simultanément :

- l'excavation du terrain et l'évacuation des déblais,
- le soutènement provisoire du front et de la galerie,
- la mise en place du revêtement définitif,

les méthodes d'excavation traditionnelles dissocient les différentes tâches de construction d'un tunnel et font appel à des équipements conventionnels ; elles sont généralement les suivantes :

➤ *tunnels en terrains rocheux :*

- abattage à l'explosif avec prédécoupage et tirs séquentiels (rocher franc) ;
- machine à attaque ponctuelle type brise roche hydraulique (rocher fracturé) ;
- machine à attaque ponctuelle type haveuse (rocher friable) ;
- mise en place d'un soutènement provisoire à l'avancement (boulonnage, béton projeté),
- réalisation de l'étanchéité et du revêtement définitif.

➤ *tunnels en terrains difficiles :*

- mise en place d'un pré-soutènement (voûte parapluie : tubes introduits par forage ou prévoûte béton exécutée à la haveuse), après injection du terrain s'il y a lieu ;
- creusement à la machine à attaque ponctuelle (fraiseuse, godet excavateur, BRH) ;
- mise en œuvre du soutènement provisoire à l'avancement (cintres lourds + béton projeté),
- réalisation de l'étanchéité et du revêtement définitif.

Les méthodes traditionnelles conviennent bien pour le creusement des tunnels en terrains hétérogènes car elles sont aisément adaptables aux changements de géologie.

A l'inverse, cette technique est sensible aux aléas géologiques et hydrogéologiques, et nécessite une bonne connaissance des terrains à l'avancement pour anticiper les adaptations éventuelles de la méthode de creusement / soutènement provisoire aux changements de géologie.

2.2 Profils types d'excavation / soutènement

En techniques de creusement traditionnelles, le coût d'un ouvrage souterrain est principalement déterminé par les dispositions adoptées en matière d'excavation et de soutènement provisoire avant réalisation du revêtement définitif, ces dispositions étant, elles-mêmes, directement dépendantes des conditions géologiques recoupées par le tunnel.

Compte tenu de la diversité des contextes géologiques rencontrés dans la région PACA, ces dispositions sont définies, en application des Recommandations de l'AFTES⁽¹⁾, et par expérience, suivant les principes indiqués dans le tableau ci-après :

Profils types de soutènement provisoire

Contexte géomécanique	Class. AFTES	Profil de soutènement type	
		Monotube	bitube
Rocher franc de résistance élevée, faiblement fracturé (ex : calcaires massifs)	R2b	P1 : boulonnage du ciel (10HA ϕ 25/m) + 8 cm de béton projeté	P1 : boulonnage du ciel (8HA ϕ 25/m) + 8 cm de béton projeté
Roche compacte de résistance moyenne (ex : grès)	R3a	P2 : boulonnage moyen (13HA ϕ 25/m) + 12 cm de béton projeté	P2 : boulonnage moyen (11HA ϕ 25/m) + 12 cm de béton projeté
Roche litée de résistance moyenne à faible (ex : calcaires peu résistants, marnes, conglomérats faiblement consolidés)	R3b	P3 : boulonnage dense (15HA ϕ 25/m) + 15 cm de béton projeté	P3 : boulonnage dense (13HA ϕ 25/m) + 15 cm de béton projeté
Roche fracturée ou schisteuse de faible résistance (ex : calcaires tendres ou très fracturés, grès argileux)	R4	P4 : cintres HEB 140, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 14 cm de béton de blocage	P4 : cintres HEB 100, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 10 cm de béton de blocage
Roche tectonisée ou de très faible résistance (ex : marnes bariolées à gypse, marnes sableuses ou argileuses) ; sols sablo-graveleux	R5a	P5 : cintres HEB 200, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 20 cm de béton de blocage	P5 : cintres HEB 160, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 16 cm de béton de blocage
	R5b	P6 : voûte parapluie (tubes ϕ 100 mm, esp. = 0,50 m) + cintres HEB 200, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 20 cm de béton de blocage	P6 : voûte parapluie (tubes ϕ 100 mm, esp. = 0,50 m) + cintres HEB 160, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 16 cm de béton de blocage
Sols plastiques (ex : marnes altérées, argiles, sables argileux), sous-consolidés ou sans cohésion (limons vasards et sables lâches, terrains broyés)	R6a		
	R6b	P6' : idem P6 + injection du terrain	P6' : idem P6 + injection du terrain

Les ouvrages à l'étude sont considérés avec une coupe transversale type monotube.

⁽¹⁾ AFTES : Association Française des Travaux En Souterrain

3. APPLICATION AUX TRAVERSÉES PROJÉTÉES

3.1 Méthodologie

Pour chaque massif ou relief à franchir en ouvrage souterrain, une coupe géologique prévisionnelle simplifiée est établie à l'échelle du 1/25 000.

Cette coupe géologique simplifiée, construite essentiellement d'après la carte géologique BRGM 1/50 000, a pour objet de produire un sectionnement minute de la traversée souterraine étudiée en séquences lithostratigraphiques supposées homogènes en termes de comportement géomécanique, ainsi que d'appréhender les difficultés spécifiques d'exécution liées à la structure du massif considéré (failles et dislocations tectoniques, surfaces de chevauchement...), ou à toutes autres particularités géologiques du site (présence de vides karstiques, risques de venues d'eau en charge...).

Ce sectionnement minute permet ensuite de définir un calepinage sommaire des profils types d'excavation/soutènement à prévoir sur la section courante en application des dispositions présentées au § 2.2 ci avant, et d'en déduire les linéaires correspondants.

3.2 Sectionnement des ouvrages

3.2.1 Contextes géologiques et principales contraintes

Les conditions et difficultés géologiques mises en évidence sur les différents tunnels étudiés sont résumées dans les tableaux par sections ci-après. Quelques commentaires sont formulés à la suite.

➤ **Section Toulon Nord**

Code tunnel	PK début	PK fin	Linéaire (ml)	Géologie	Principales contraintes
TN/T1	25,813	26,973	1160	Valanginien : calcaires calc. argileux Jurassique sup. : calcaire et dolomies ± fracturés	Forte fracturation locale et dissolutions karstiques possibles
TN/T2	27,401	28,771	1370	Jurassique sup. : dolomies fracturées	Forte fracturation locale et dissolutions karstiques possibles
TN/T3	29,352	30,042	690	Jurassique sup. : dolomies fracturées	Forte fracturation locale et dissolutions karstiques possibles
TN/T4	33,852	35,522	1670	Valanginien calcaire et Jurassique sup. dolomitique disloqués Trias gypseux (semelle de charriage)	Terrains tectonisés instables et hétérogènes ; risque de cavités karstiques
TN/T5	37,749	37,989	240	Jurassique sup. + moy. : dolomies et calcaire fracturés. Trias gypseux côté Ouest	Terrains tectonisés instables et hétérogènes ; risque de cavités karstiques
TN/T6	38,533	42,583	4050	Jurassique moy. : marno-calcaires, Lias : calcaires, Trias gypseux ; série plissée et écaillée côté Ouest	Terrains tectonisés injectés de Trias gypseux à l'Ouest. Risque de karsts élevé à l'Est

Commentaires :

Les ouvrages TN/T1 à T3 s'inscrivent dans les assises rocheuses assez massives (dolomies jurassiques principalement) mais fracturées, pouvant livrer localement des évolutions karstiques. Ils ne présentent toutefois pas de difficultés majeures.

Les ouvrages TN/T4 à T6 recoupent des terrains tectonisés hétérogènes et la semelle triassique de la série secondaire charriée. Les problèmes de tenue à court terme des faciès tectonisés injectés de Trias gypseux et la traversée des calcaires karstifiés du Lias justifie des soutènements lourds avec cintres, prévoûte et injections préalables localement.

➤ **Section Toulon Est**

Code tunnel	PK début	PK fin	Linéaire (ml)	Géologie	Principales contraintes
TE/T1	1,195	4,185	2990	Alluvions de l'Huveaune Oligocène : conglomérats, argiles Nappe de l'Huveaune	Mauvaise tenue à court terme des alluvions sous nappe Couverture très faible localement
TE/T2	8,400	9,120	720	Calcaires urgoniens ± fracturés	Pas de difficulté particulière
TE/T3	11,003	11,733	730	Calcaires urgoniens ± fracturés	Pas de difficulté particulière
TE/T4	13,403	13,943	540	Calcaires urgoniens ± fracturés	Pas de difficulté particulière
TE/T5	30,849	31,429	580	Calcaires urgoniens fracturés et karstiques	Mauvaise tenue des terrains en zones fracturées et karstifiées
TE/T6	34,643	38,073	3430	Marnes et calcaires du Crétacé sup., calcaires urgoniens karstifiés organisés en écailles tectoniques	Mauvaise tenue des terrains en zones tectonisées et karstifiées. Risque de venues d'eau en charge
TE/T7	38,589	40,419	1830	Marnes et calcaire du Crétacé moy. et inf. Calcaires du Jurassique sup. karstiques Forte fracturation (écailles tectoniques)	Mauvaise tenue des terrains en zones tectonisées et karstifiées. Risque de venues d'eau en charge
TE/T8	41,242	46,642	5400	Série calcaire jurassique disloquée injectée de Trias gypseux Grès et pélites rouges du Permien à l'Est	Trias et Jurassique : terrains tectonisés instables et hétérogènes ; risque de cavités karstiques et de venues d'eau en charge
TE/T9	51,357	51,777	420	Grès et pélites rouges du Permien	Pas de difficulté particulière
TE/T10	52,862	54,252	1390	Grès et pélites rouges du Permien	Pas de difficulté particulière, mais couverture très faible localement
TE/T11	54,650	55,990	1340	Grès et pélites rouges du Permien	Pas de difficulté particulière
TE/T12	68,314	69,134	820	Phyllades bleues du Réal Martin	Roche schisteuse sans difficulté particulière

Commentaires :

Le tunnel TE/T1 à Aubagne, à réaliser dans les alluvions de l'Huveaune sous nappe puis dans les terrains oligocènes, sous des couvertures localement très faibles en épaisseur, nécessitera des techniques spéciales avec pré-soutènement sur un linéaire important.

Les ouvrages TE/T2 à T4 s'inscrivent dans les calcaires massifs de l'Urgonien qui ne présentent pas de difficulté particulière.

Le tunnel TE/T5 recoupe les mêmes terrains, mais plus fracturés et potentiellement karstiques qui pourront nécessiter localement un soutènement lourd et un traitement préalable par injections.



A partir du tunnel TE/T6, le projet recoupe des séries fracturées puis organisées en écailles tectoniques décollées sur le Trias gypseux (semelle de charriage). Les risques d'instabilité à court terme dans les faciès tectonisés et le Trias gypseux, ainsi que la traversée des zones karstiques justifie des soutènements lourds avec prévoûte et injections préalables sur une proportion importante du linéaire.

Au-delà du PK45 environ (tunnels TE/T8 *pp* et TE/T9 à T11), les ouvrages souterrains recoupent les grès et pélites du Permien qui ne présentent pas de difficultés majeures, sauf sous faible couverture où les risques d'instabilité nécessitent de prévoir un pré-soutènement (TE/T10, PK54 environ).

Le tunnel TE/T12 recoupe des roches schisteuses (phyllades bleues du Réal Martin) qui ne présentent pas de difficulté, mais nécessiteront un boulonnage \pm dense.

➤ Section Toulon Centre

Code tunnel	PK début	PK fin	Linéaire (ml)	Géologie	Principales contraintes
TC/T1	30,023	30,373	350	Coniacien : grès et calcaires gréseux	Pas de difficulté particulière
TC/T2	31,692	32,407	715	Crétacé sup. : calcaires, marnes, grès, sables en structure subverticale	Terrains hétérogènes pouvant présenter une mauvaise tenue. Risques d'arrivées d'eau en charge (faciès sablo-gréseux)
TC/T3	32,635	34,030	1395	Crétacé inf. ; marnes et calcaires en structure subverticale avec écaillages tectoniques (zone de chevauchement)	Terrains hétérogènes tectonisés localement pouvant présenter une mauvaise tenue Arrivées d'eau en charge possibles
TC/T4	34,448	38,218	3770	Série du Gros Cerveau : calcaires et marnes Crétacé inf. / Jurassique en structure renversée. Ecailles tectoniques du Lias et du Trias (calcaires, marnes, gypse) Alluvions et colluvions dans les bas fonds	Terrains tectonisés instables et hétérogènes (Lias et Trias notamment) Risque d'arrivées d'eau en charge Couverture très faible localement

Commentaires :

Le tunnel TC/T1, situé dans les grès et calcaires gréseux du Coniacien ne présente pas de difficultés majeures mais nécessitera des soutènements par boulonnage \pm dense.

Les ouvrages TC/T2 et T3 recoupent le massif d'Evenos qui correspond à une vaste structure plissée et redressée dans un système de déformations à vergence Nord. Les terrains y sont affectés de cisaillements, et peuvent présenter des problèmes de stabilité aggravés en cas de venues d'eau en charge. Ce contexte justifie de prévoir des soutènements lourds avec prévoûte et injections préalables sur un linéaire relativement important.

Le tunnel TC/T4 traverse le massif du Gros Cerveau qui présente la même structure que le massif d'Evenos, avec cependant un renversement des couches vers le Nord plus marqué. Il s'inscrit ensuite (au-delà du PK36 environ) dans un ensemble d'écaillés faillées et plissées, constituées de terrains hétérogènes du Lias et du Trias (calcaires, dolomies, marnes, gypse) disloqués par la tectonique et recoupés localement sous une couverture de faible épaisseur. Les risques d'instabilité à court terme y sont élevés et justifient de prévoir des soutènements lourds avec prévoûte et injections préalables sur une large part du linéaire.

3.2.2 Sectionnement en profils types

Le sectionnement des différents ouvrages souterrains à l'étude en profils types d'excavation / soutènement est donné sur le tableau joint en page suivante.

Ce sectionnement met en évidence les particularités géotechniques évoquées ci-avant ; on observe ainsi que les profils types les plus "lourds" (P5, P6, P6') sont notamment prépondérants sur les ouvrages permettant la traversée des massifs toulonnais et varois où la tectonique est à l'origine de contextes géomécaniques propices au déclenchement d'instabilité (terrains tectonisés hétérogènes avec risque de venues d'eau en charge).

-----oOo-----

LGV PACA - expertise: caractéristiques des tunnels MDS

SECTIONNEMENT EN PROFILS TYPES

➤ Toulon Nord

PK		Découpage en profils types															
Code	Déb.	Fin	Linéaire (ml)	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P6'	
				%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml
TN/T1	25,813	26,973	1160			50%	580	40%	460				10%	120			
TN/T2	27,401	28,771	1370			40%	550	40%	550				10%	140	6%	70	4%
TN/T3	29,352	30,042	690			40%	280	40%	280				20%	130			
TN/T4	33,852	35,522	1670					24%	390	12%	200		45%	760	10%	170	9%
TN/T5	37,749	37,989	240					20%	48				50%	120	20%	48	10%
TN/T6	38,533	42,583	4050			7%	280	30%	1230	22%	880		33%	1340	3%	140	5%

➤ Toulon Est

PK		Découpage en profils types															
Code	Déb.	Fin	Linéaire (ml)	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P6'	
				%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml
TE/T1	1,195	4,185	2990							10%	300		30%	900	40%	1195	20%
TE/T2	8,400	9,120	720	20%	145	50%	360	30%	215								
TE/T3	11,003	11,733	730	20%	150	50%	365	30%	215								
TE/T4	13,403	13,943	540	30%	160	50%	270	20%	110								
TE/T5	30,849	31,429	580			30%	175	30%	175				30%	172			10%
TE/T6	34,643	38,073	3430					15%	515	15%	515		30%	1030	30%	1030	10%
TE/T7	38,589	40,419	1830					12,5%	230				58,0%	1065	24,0%	440	5,5%
TE/T8	41,242	46,642	5400					15%	795	9%	490		38%	2070	16%	860	22%
TE/T9	51,357	51,777	420			20%	85	60%	250	20%	85						
TE/T10	52,862	54,252	1390			14%	200	49%	675	30%	415				7%	100	
TE/T11	54,650	55,990	1340			20%	270	50%	670	30%	400						
TE/T12	68,314	69,134	820			50%	410	50%	410								

➤ Toulon Centre

PK		Découpage en profils types															
Code	Déb.	Fin	Linéaire (ml)	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P6'	
				%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml
TC/T1	30,023	30,373	350			60%	210	40%	140								
TC/T2	31,692	32,407	715			10%	140	20%	280	40%	286		20%	143	20%	143	
TC/T3	32,635	34,03	1395					20%	280	20%	280		20%	280	20%	275	10%
TC/T4	34,448	38,218	3770					10%	370	10%	370		25%	940	35%	1330	20%