

ÉTUDES PRÉALABLES AU DÉBAT PUBLIC  
SUR LA LGV PACA

ÉVALUATION DU COÛT DES TUNNELS

---

Novembre 2004

Etude réalisée pour le compte de RFF par :

---



SETEC International  
5 chemin des Gorges de Cabriès  
13127 VITROLLES

## CONTENU DU DOSSIER

---

1<sup>ère</sup> partie : Note générale

2<sup>ème</sup> partie : Fiches d'évaluation par itinéraire

---

ÉTUDES PRÉALABLES AU DÉBAT PUBLIC  
SUR LA LGV PACA

ÉVALUATION DU COÛT DES TUNNELS

---

1<sup>ère</sup> Partie – Note générale

Novembre 2004

Etude réalisée pour le compte de RFF par :

---



SETEC International  
5 chemin des Gorges de Cabriès  
13127 VITROLLES

---

**ÉTUDES PREALABLES AU DEBAT PUBLIC SUR LA LGV PACA**

**EVALUATION DU COUT DES TUNNELS**

**1<sup>ERE</sup> PARTIE : NOTE GENERALE**

---

**TABLE DES MATIERES**

---

<b>1. GÉNÉRALITÉS.....</b>	<b>5</b>
1.1 Cadre de l'étude.....	5
1.2 Traversées souterraines examinées.....	5
1.3 Contenu du dossier.....	7
<b>2. HYPOTHÈSES RETENUES.....</b>	<b>8</b>
2.1 Principes généraux.....	8
2.2 Méthodes d'excavation.....	8
2.3 Contraintes liées à la sécurité.....	9
<b>3. AMÉNAGEMENTS TYPES CONSIDÉRÉS.....</b>	<b>10</b>
3.1 Coupes types.....	10
3.2 Profils types d'excavation / soutènement.....	10
3.3 Ouvrages de tête.....	11
<b>4. ÉVALUATION DU COÛT.....</b>	<b>12</b>
4.1 Principes et objectifs de l'estimation.....	12
4.2 Sources de prix – Projets de référence.....	13
<b>5. APPLICATION AUX TRAVERSÉES PROJETÉES.....</b>	<b>14</b>
5.1 Méthodologie.....	14
5.2 Synthèse de l'évaluation.....	14

**Annexes :**

- Annexe 1 : Coupe type monotube
- Annexe 2 : Coupe type bitube
- Annexe 3 : Profils d'excavation/soutènement monotube
- Annexe 4 : Profils d'excavation/soutènement bitube
- Annexe 5 : Estimation unitaire par profils types

---

# Évaluation du coût des tunnels

## 1<sup>ère</sup> Partie – Note générale

---

### 1. GÉNÉRALITÉS

#### 1.1 Cadre de l'étude

Réseau Ferré de France explore les principaux enjeux du projet de grande vitesse et de grande capacité, LGV PACA.

Ce projet en est aujourd'hui au stade des études d'opportunité préalables au lancement d'un débat public.

Les études entreprises ont notamment fait ressortir que, sur la plupart des itinéraires considérés, des linéaires relativement importants d'ouvrages souterrains étaient à prévoir en raison du relief et de la densité de l'urbanisation, avec pour conséquence un impact financier fort sur le coût de réalisation de l'aménagement.

Aussi, afin de fiabiliser au mieux les estimations du montant de l'opération, RFF a demandé à SETEC International de produire une évaluation du coût des ouvrages souterrains présents sur les différents itinéraires à l'étude, intégrant l'ensemble des contraintes liées à la géologie des massifs à traverser.

Le présent dossier expose les conclusions de cette mission.

#### 1.2 Traversées souterraines examinées

Les traversées souterraines examinées dans le cadre de la mission sont résumées sur le tableau joint en page suivante. Elles concernent 20 itinéraires représentant un linéaire total cumulé de 234 km en tunnel.

Les contextes géologiques des massifs et reliefs traversés sont très variables si bien que les conditions et difficultés d'exécution doivent être examinées au cas par cas.

### SYNTHESE DES TRAVERSEES ETUDIEES

ITINÉRAIRES	MASSIF/RELIEF TRAVERSE	LINÉAIRE APPROXIMATIF EN TUNNEL (en km)
NORD AIX	Trévaresse - Montagne des Ubacs	6
NORD ARBOIS	Collines d'Eguilles - Montaignet	13
SUD ARBOIS	Collines de Cabriès - Montaignet	10
CENTRE VAR	Cuesta du Luc	4
HAUT VAR	Sainte-Victoire N - Collines de Flayosc	10
CENTRE VAR - NORD TOULON	Montagne de la Loube - Cuesta de Cuers	11
DURANCE - CENTRE VAR	Sainte Victoire N - Massif d'Ollières	9
NORD AIX - HAUT VAR	Trévaresse - Montagne des Ubacs - Bois de la Gardiole	11
LITTORAL	Massif du Douard - Fontblanche - Plateau du Camps - Massif du Gros Cerveau	15
SUD SAINTE BAUME	Massif du Douard - Fontblanche	8
	Plateau du Siou Blanc	14
	Massif du Suqué - Cuesta de Cuers	6
NORD TOULON	Collines du Réal Martin	2
NORD TOULON - PLAINE DES MAURES	Collines des Carmaures	2
PLAINE DES MAURES	Mont des Caillandres	1
ESTEREL - W CANNES	Collines du Reyran et de Malpasset - Estérel Nord	12
POURSUITE AU-DELA DE LA SIAGNE	Collines du Reyran et de Malpasset - Massif de Tanneron	12
RACCORDEMENT 3 <sup>ème</sup> VOIE ANTIBES / NICE	Collines de Valbonne et du Terme Blanc	15
POURSUITE Ø VALLEE DU VAR	Collines de Valbonne - La Gaude	20
RACCORDEMENT EST NICE	Collines niçoises du delta du Var - Mont Bastide	11
PROLONGEMENT Ø ITALIE	Collines niçoises du delta du Var - Massif du Mont Agel - Mont Carpano	23
NICE - ITALIE	Massif du Mont Agel - Mont Carpano	19

### 1.3 Contenu du dossier

Le dossier de présentation de l'évaluation du coût des tunnels se compose de deux parties :

Ø **1<sup>ère</sup> partie – Note générale** (présent document)

Cette partie générale expose les hypothèses et données prises en compte pour évaluer le coût des travaux de génie civil ; elle précise également les aménagements types considérés et la méthodologie appliquée pour chiffrer les différentes traversées souterraines. Une synthèse de l'estimation est donnée en fin du document.

Ø **2<sup>ème</sup> partie – Fiches d'évaluation par variante d'itinéraire**

Ce document fournit le recueil des fiches d'évaluation du coût des tunnels donnant, pour chaque variante, un descriptif synthétique : longueur approximative, type d'ouvrage (monotube/bitube), géologie, contraintes et difficultés géotechniques, type de têtes, profils de soutènement appliqués, coût global et kilométrique.

## 2. HYPOTHÈSES RETENUES

### 2.1 Principes généraux

La ligne LGV PACA est étudiée dans l'hypothèse d'une ligne réservée exclusivement aux trains voyageurs, et dimensionnée pour une vitesse maximale de 300 km/h. A ce stade, il n'y a pas de caractéristiques de tracés (axe en plan et profil en long).

### 2.2 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 :

Ø *tunnels en terrains rocheux :*

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

Ø *tunnels en terrains difficiles :*

- ÿ 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 ;
- ÿ creusement à la machine à attaque ponctuelle (fraiseuse, godet excavateur, BRH) ;
- ÿ mise en œuvre du soutènement provisoire à l'avancement (cintres lourds + béton projeté),
- ÿ 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.

## 2.3 Contraintes liées à la sécurité

Le document de base est l'Instruction Technique Interministérielle relative à la sécurité dans les tunnels ferroviaires n° 98.300 du 8 juillet 1998 (ITI 98). Toutefois, l'Instruction précise que « *les ouvrages exceptionnels de plus de 10 km..., ne rentrent pas dans le champ d'application de la présente instruction technique et que le schéma général de sécurité et le niveau d'équipement de ces infrastructures sont traités par la commission ad hoc...* ». Aussi, quels que soient les cas, on doit donc considérer que les dispositions de l'instruction constituent un minimum.

### ¶ *Règles principales de l'ITI 98*

- ü § 3 .1.2 : « Un cheminement est prévu pour l'évacuation des personnes en tout point du tunnel. », largeur minimale 70cm,
  - ü § 3 .1.2 : « Les valeurs d'embranchement des voitures vers le trottoir..., ne peuvent excéder 0,40m... »,
  - ü §4 .1.3 : « Dans le cas d'un incident entraînant l'arrêt d'un train en tunnel, la priorité est donnée à l'évacuation des passagers au moyen d'un autre train ... »,
  - ü §4 .1.3 : « Dans le cas des tunnels à deux tubes..., des galeries de communication entre tubes,..., sont réalisées tous les 800 m au maximum ... ».
  - ü §4 .2 et 4.3.2 : moyens mécaniques de ventilation/désenfumage obligatoires.
- ¶ *Dispositions ayant reçus les faveurs des commissions «ad hoc » sur de précédents projets de longs tunnels LGV (exemple : Lyon-Turin ferroviaire)*
- ü Un tube pour chaque sens de circulation, avec une galerie de communication entre tubes tous les 400 m.

### 3. AMÉNAGEMENTS TYPES CONSIDÉRÉS

#### 3.1 Coupes types

La conception générale des tunnels est fortement conditionnée par le niveau de sécurité qu'il convient d'assurer. Les paramètres sensibles sont :

- la vitesse de ligne,
- la longueur du tunnel,
- le type d'exploitation (voyageur et/ou fret).

D'une manière générale, les sections de tunnels ferroviaires sont déterminées en tenant compte des contraintes suivantes :

- gabarit du matériel roulant,
- gabarit d'isolement des pantographes et de la caténaire,
- caractéristiques du tracé en plan et des dévers,
- possibilité de mise sur cintres lourds en cas d'intervention importante de maintenance,
- réservation d'un cheminement latéral servant de dégagement d'urgence ou pour l'intervention des secours,
- effets aérodynamiques engendrés par les circulations des trains en tunnels franchis à des vitesses supérieures à 200 km/h.

Dans le cas particulier des ouvrages souterrains pour lignes LGV, la section est principalement déterminée, dans le respect des gabarits cinématiques et des règles de sécurité du personnel, à partir d'une étude aéraulique.

En réflexion préliminaire, il a été décidé d'opter pour une coupe transversale type **monotube pour les tunnels de longueur inférieure à 10 km** et pour une coupe transversale type **bitube pour les tunnels de longueur supérieure ou égale à 10 km**. Les coupes types correspondantes sont données respectivement en annexes 1 et 2 à la présente 1<sup>ère</sup> partie.

#### 3.2 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<sup>(1)</sup>, 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	<b>P1</b> : boulonnage du ciel (10HA $\phi$ 25/m) + 8 cm de béton projeté	<b>P1</b> : boulonnage du ciel (8HA $\phi$ 25/m) + 8 cm de béton projeté
Roche compacte de résistance moyenne (ex : grès)	R3a	<b>P2</b> : boulonnage moyen (13HA $\phi$ 25/m) + 12 cm de béton projeté	<b>P2</b> : boulonnage moyen (11HA $\phi$ 25/m) + 12 cm de béton projeté
Roche litée de résistance moyenne à faible (ex : calcaires peu résistants, marnes, conglomérats faiblement consolidés)	R3b	<b>P3</b> : boulonnage dense (15HA $\phi$ 25/m) + 15 cm de béton projeté	<b>P3</b> : boulonnage dense (13HA $\phi$ 25/m) + 15 cm de béton projeté
Roche fracturée ou schisteuse de faible résistance (ex : calcaires tendres ou très fracturés, grès argileux)	R4	<b>P4</b> : cintres HEB 140, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 14 cm de béton de blocage	<b>P4</b> : 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	<b>P5</b> : cintres HEB 200, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 20 cm de béton de blocage	<b>P5</b> : cintres HEB 160, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 16 cm de béton de blocage
	R5b	<b>P6</b> : voûte parapluie (tubes $\phi$ 100 mm, esp. = 0,50 m) + cintres HEB 200, esp. = 1,0 m ; béton projeté 5 cm + 20 cm de béton de blocage	<b>P6</b> : voûte parapluie (tubes $\phi$ 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	<b>P6'</b> : idem P6 + injection du terrain	<b>P6'</b> : idem P6 + injection du terrain

Les profils types correspondants sont donnés en annexes 3 et 4.

### 3.3 Ouvrages de tête

Au stade actuel d'avancement des études, les aménagements à réaliser au niveau des entrées en terre des tunnels sont chiffrés forfaitairement en considérant trois catégories :

- Ø **Catégorie 1** : aménagement en terrain rocheux francs ; il s'agit de terrains autostables ne nécessitant pas de dispositif de soutènement à proprement parler, mais la mise en place de grillages pare-pierres et des confortements localisés par boulonnage le cas échéant ;
- Ø **Catégorie 2** : aménagement en terrains rocheux altérés / fracturés ou sols nécessitant des confortements standards de type paroi clouée (ancrages passifs + parement en béton projeté) pour assurer des conditions de stabilité réglementaires ;
- Ø **Catégorie 3** : aménagement en terrains potentiellement instables nécessitant la réalisation de confortements lourds de type poutres ancrées par tirants précontraints.

<sup>(1)</sup> AFTES : Association Française des Travaux En Souterrain

Pour chaque catégorie, le prix forfaitaire comprend le terrassement de la tranchée d'accès (environ 40 000 m<sup>3</sup> pour un tunnel monotube), ainsi que les confortements et ouvrages de soutènement à prévoir suivant les cas afin de garantir la stabilité de l'entrée en terre du tunnel (surface confortée d'environ 500 m<sup>2</sup> pour un tunnel monotube).

Enfin, lorsque le site est jugé sensible en termes d'impact visuel, il est appliqué une plus-value pour traitement architectural au montant forfaitaire de l'ouvrage de tête.

Cette plus-value correspond à un traitement architectural standard consistant à mettre en place un parement de finition en béton matricé sur les dispositifs de soutènement.

## 4. ÉVALUATION DU COÛT

### 4.1 Principes et objectifs de l'estimation

Des développements qui précèdent, les grands principes retenus pour évaluer le coût des ouvrages souterrains sont, par conséquent, les suivants :

- vitesse de référence :  $V = 300 \text{ km/h}$ ,
- technique de construction : méthodes traditionnelles,
- conception des ouvrages :  $L < 10 \text{ km}$  : monotube ;  $L \geq 10 \text{ km}$  : bitube.

Notons que cette estimation intervient à un niveau d'étude très en amont, et que les seules données d'entrée disponibles à ce stade sont celles fournies par la documentation cartographique (cartes géologiques BRGM au 1/50000 notamment) et bibliographique existante, complétées par le retour d'expérience connu de travaux souterrains réalisés dans la région et par notre propre connaissance de la géologie provençale.

Les montants donnés dans la suite de l'étude doivent donc être considérés comme des ordres de grandeur réalistes du coût de réalisation des ouvrages de traversée souterraine, à affiner lors des étapes ultérieures du projet sur la base de données techniques (géotechniques en particulier) plus ciblées.

Pour chaque traversée, l'estimation a été établie en considérant quatre postes :

- Ø tunnel en section courante : génie civil section courante par profil type d'excavation/soutènement ;
- Ø génie civil secondaire et équipements en tunnel : ouvrages particuliers (niches, locaux techniques souterrains), rameaux de communication (dans le cas de tunnels bitubes), instrumentation, équipements non ferroviaires ;
- Ø ouvrages extérieurs : ouvrages de tête (forfait cf. § 3.3 ci avant) et aménagements extérieurs (protection incendie, bassin et réseaux divers, locaux techniques extérieurs) ;
- Ø études et divers : recueil de données, études de conception et contrôles des travaux, procédures administratives, concertations locales, acquisitions foncières, frais de communication et de Maîtrise d'Ouvrage ; le poste est évalué forfaitairement à 16 % du coût des travaux.

Chaque poste de travaux comprend les prix généraux (forfait pour installations de chantier, études d'exécution, procédures qualité, etc...) et une rubrique aléas (somme à valoir et provision pour aléas et imprévus) correspondant à :

- 20 % du coût des travaux pour le poste tunnel section courante,
- 10 % du coût des travaux pour les autres postes de travaux.

L'estimation ne comprend pas les équipements ferroviaires.

#### 4.2 Sources de prix – Projets de référence

Les prix unitaires retenus proviennent de projets présentant des similitudes, lesquels ont été réalisés ou sont en cours d'étude, voire de réalisation (ex : LGV Lyon-Turin, LGV Perpignan-Figueras, LGV Rhin-Rhône notamment).

Des avant métrés sommaires, combinés avec les prix unitaires cités ci avant, ont permis de reconstituer des ratios de prix adaptés aux paramètres connus du projet LGV PACA.

Pour la partie génie civil, ces ratios incluent :

- les ouvrages de génie civil proprement dits : creusement, soutènement (boulons, cintres, béton projeté, voûte parapluie), étanchéité, coffrage, béton et armatures ;
- le génie civil relatif aux équipements du tunnel : caniveaux, drains, regards, fourreaux, chambres de tirage, rails Halfen...

Les ratios de prix considérés sont les suivants (en Euros HT, valeur janvier 2004, par mètre linéaire de tunnel) :

Profil type	Monotube (€ H.T.)	Bitube (€ H.T.)
Profil 1	19 550	27 960
Profil 2	20 360	29 380
Profil 3	21 900	31 200
Profil 4	29 950	39 840
Profil 5	32 450	43 380
Profil 6	41 380	57 860
Profil 6 + injections	51 380	72 860

Les sous-détails de l'estimation unitaire par profils types ci-dessus sont donnés en annexe 5.

## 5. APPLICATION AUX TRAVERSÉES PROJÉTÉES

### 5.1 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 § 3.2 ci avant, et d'en déduire les linéaires correspondants.

Le principe est le même pour déterminer la catégorie des ouvrages de tête (cf. § 3.3 ci avant), avec, en plus, la prise en compte de l'aléa sismique qui représente un facteur défavorable à la stabilité, en particulier lorsque la pente naturelle du site est importante.

### 5.2 Synthèse de l'évaluation

Il est fait renvoi à la 2<sup>ème</sup> partie du présent dossier pour le descriptif synthétique par variante d'itinéraire ; la synthèse de l'évaluation est résumée en page suivante.

En commentaires, on notera en premier lieu que tous les ouvrages correspondent à des tunnels monotubes ( $L < 10$  km), à l'exception de la traversée Sud Sainte Baume qui comporte un ouvrage de 14 km de longueur, chiffré en considérant un tunnel bitube.

Le coût des ouvrages monotubes, ramené au kilomètre de section en souterrain, est compris entre 40,5 M€ HT/km (Durance – Centre Var : relief formé de calcaires et dolomies jurassiques relativement peu tectonisés) et 62,7 M€ HT/km (variante Nice-Italie : traversée d'un empilement tectonique injecté de Trias gypseux). Il ressort à environ 50 M€ HT/km en moyenne, ce qui reflète des conditions géologiques d'aménagement globalement difficiles dans l'ensemble de la région PACA.

Enfin, on notera que l'adoption d'une solution bitube représente un surcoût de l'ordre de 40 % par rapport à une solution monotube en contexte équivalent.

-----oO-----

TABLEAU DE SYNTHESE

ITINERAIRES	LINEAIRE APPROXIMATIF EN TUNNEL (km)	TYPE D'OUVRAGE <sup>(1)</sup>	COUT GLOBAL (M€HT)	Coût kilométrique (M€H.T. / km)
NORD AIX	6	M	280	46,7
NORD ARBOIS	13	M	647	49,8
SUD ARBOIS	10	M	442	44,2
CENTRE VAR	4	M	176	44,0
HAUT VAR	10	M	529	52,9
CENTRE VAR - NORD TOULON	11	M	586	53,3
DURANCE - CENTRE VAR	9	M	364	40,5
NORD AIX - HAUT VAR	11	M	514	46,7
LITTORAL	15	M	733	48,9
SUD SAINTE BAUME	8	M	339	42,4
	14	B	1 008	72,0
	6	M	264	44,0
NORD TOULON	2	M	82	41,0
NORD TOULON - PLAINE DES MAURES	2	M	87	43,5
PLAINE DES MAURES	1	M	43	43,0
ESTEREL - W CANNES	12	M	597	49,8
POURSUITE AU-DELA DE SIAGNE	12	M	524	43,7
RACCORDEMENT 3 <sup>eme</sup> VOIE ANTIBES / NICE	15	M	741	49,4
POURSUITE Ø VALLEE DU VAR	20	M	992	49,6
RACCORDEMENT EST NICE	11	M	625	56,8
PROLONGEMENT Ø ITALIE	23	M	1 359	59,1
NICE - ITALIE	19	M	1 191	62,7

(1) M : Monotube B : bitube

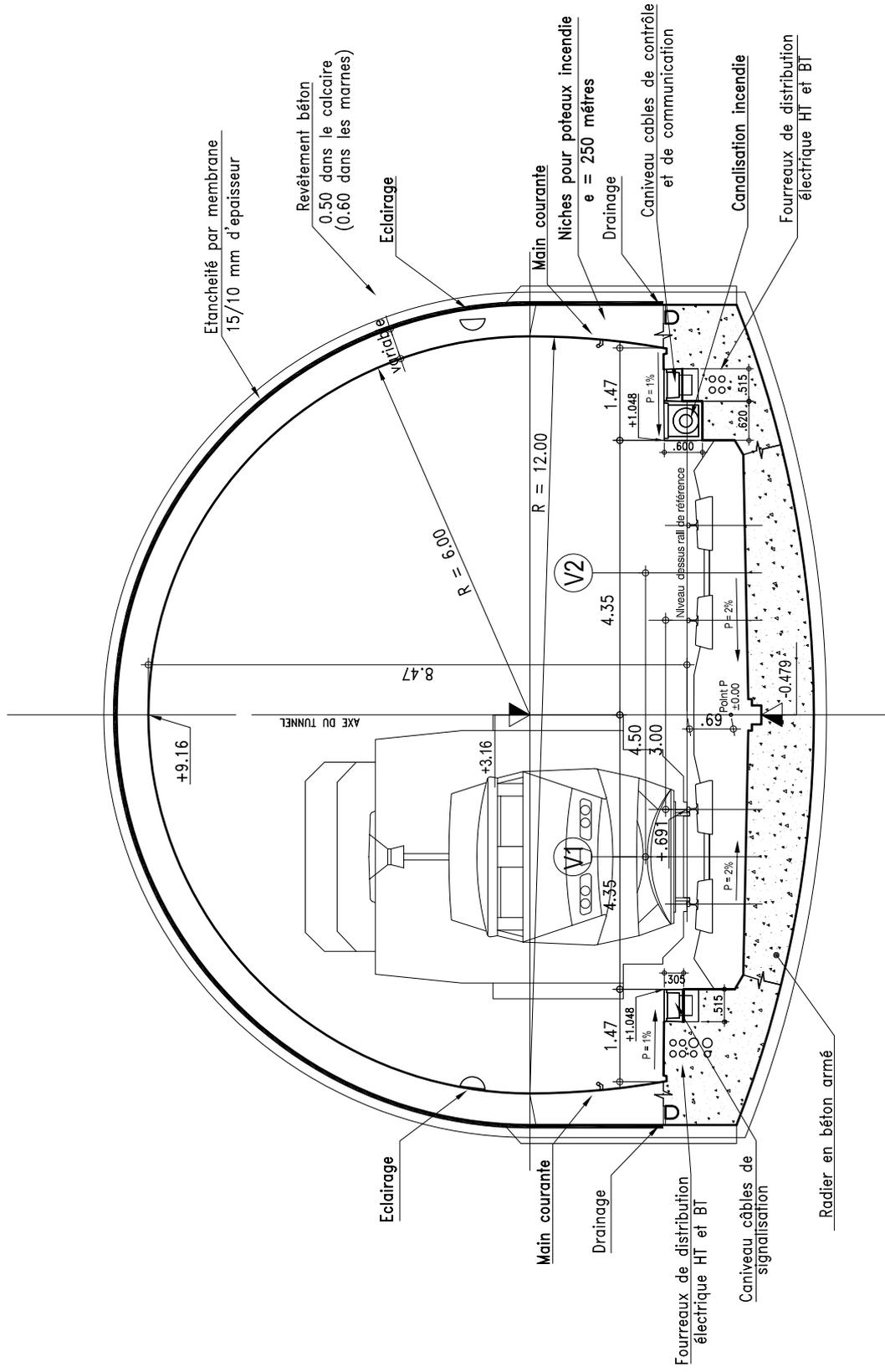
**ANNEXES**

**Annexe 1 :**  
**Coupe type monotube**

---

# COUPE TYPE EN SECTION COURANTE (V 300 - Section d'air 85 m<sup>2</sup>)

Echelle: 1/100e



Etude d'opportunité du développement  
d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon  
et la Côte d'Azur

Document de travail de Mai 2004

TUNNEL TYPE

Incl	Date	Libellé	Vérifié	Echelle	Feuillet
A	27.05.04	Première diffusion	C.B.	1/100e	1/7

Annexe 2 :  
Coupe type bitube

---



**Annexe 3 :**

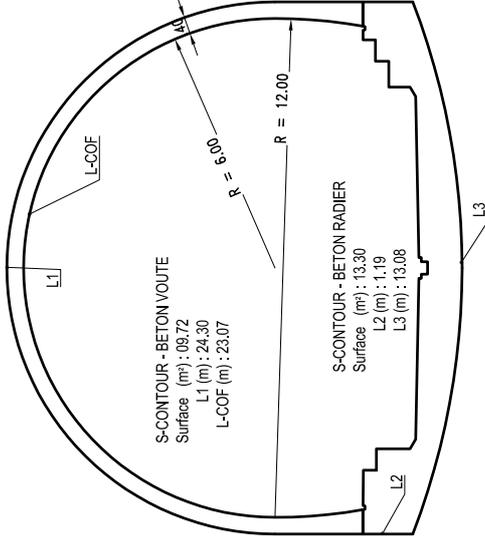
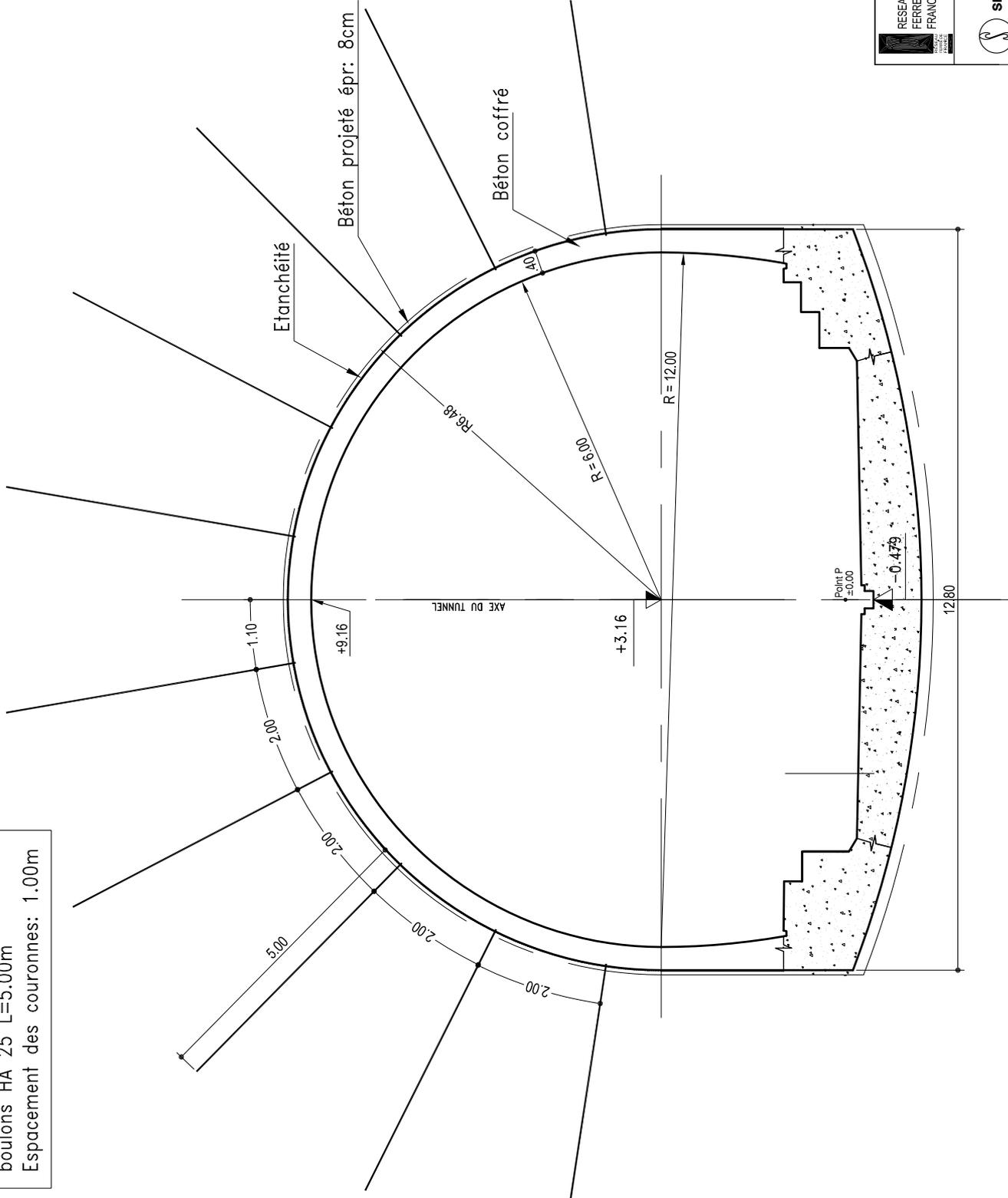
**Profils d'excavation/soutènement monotube**

---

# PROFIL TYPE 1 (sol classification AFTEs : R2b)

Echelle: 1/100e

Type 1  
 boulons HA 25 L=5.00m  
 Espacement des couronnes: 1.00m



Etude d'opportunité du développement  
 d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur  
 PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 1

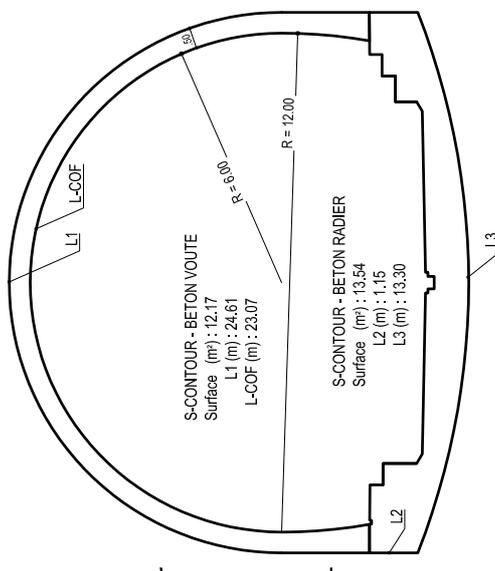
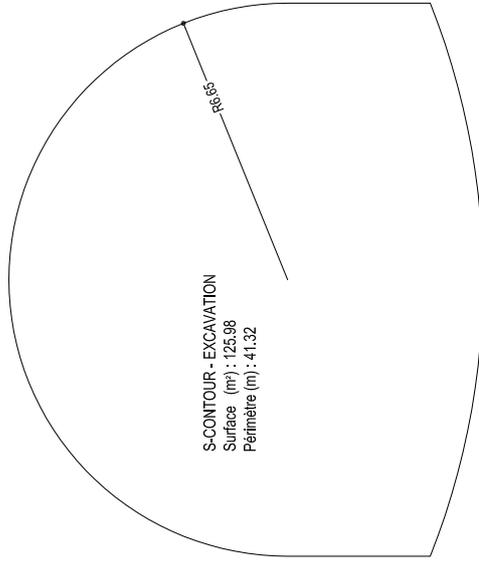
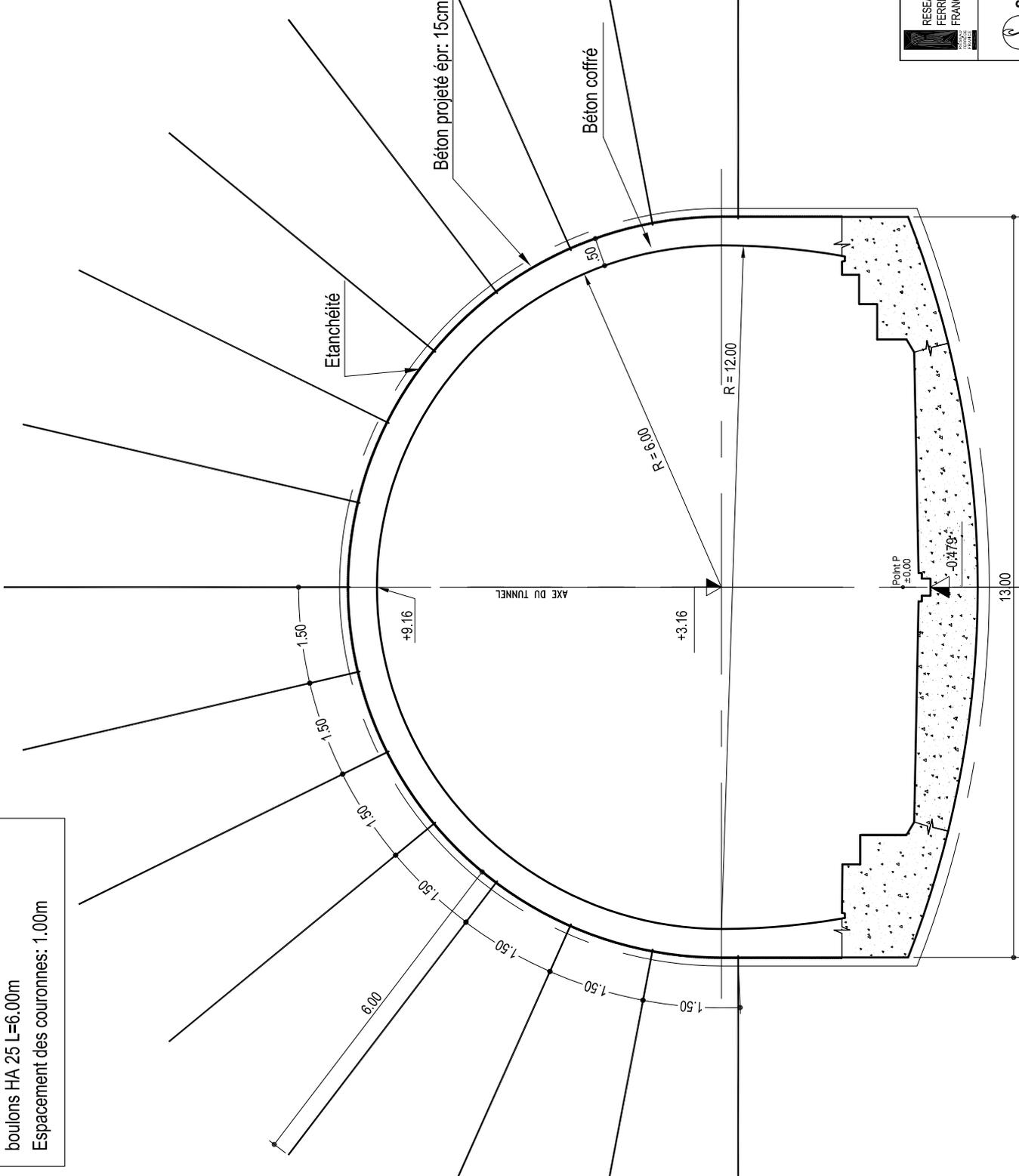
Incl.	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuille
A	27/05/04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/100	2/7



# PROFIL TYPE 3 (sol classification AFTES : R3b)

Echelle: 1/100e

Type 3  
 boulons HA 25 L=6.00m  
 Espacement des couronnes: 1.00m



Etude d'opportunité du développement  
 d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur  
 PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 3

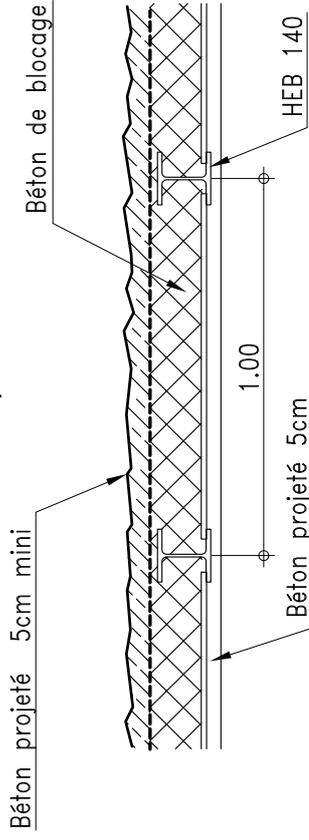
Incl.	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuillet
A	27/05/04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/100	4/7

# PROFIL TYPE 4 (sol classification AFTES : R4)

Echelle: 1/100e

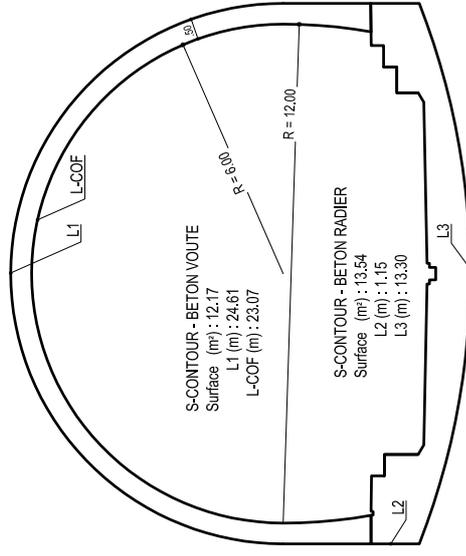
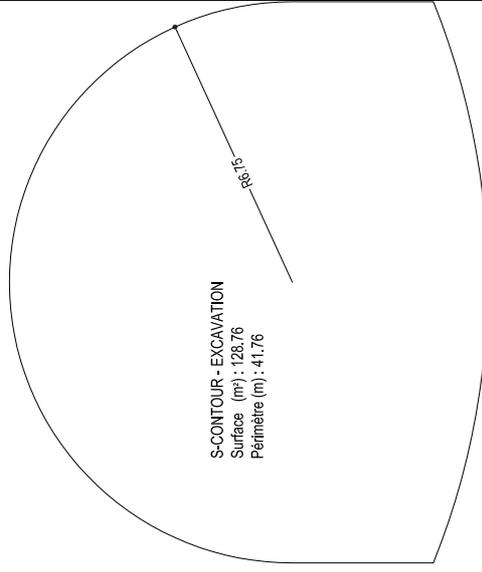
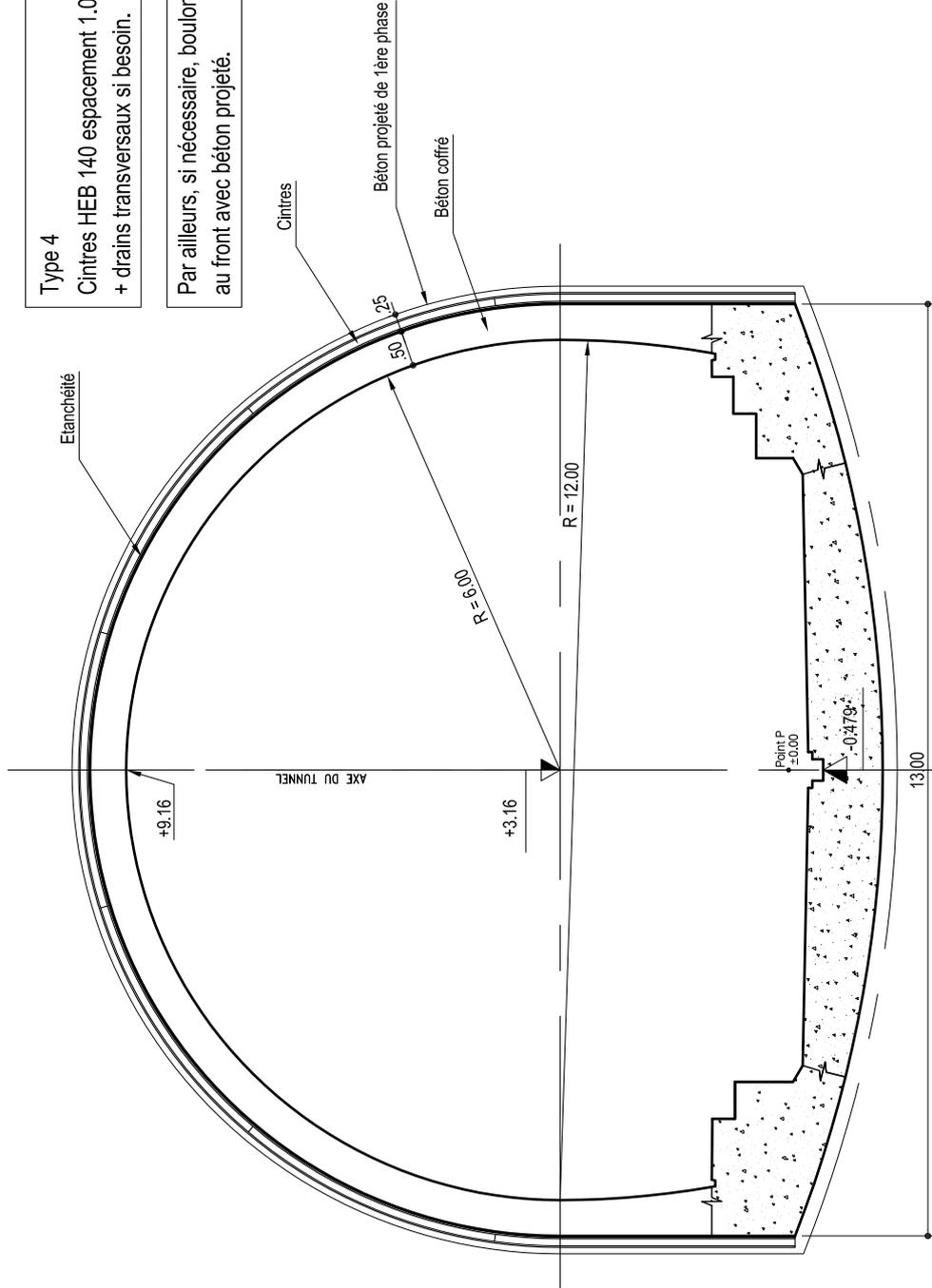
## Détail de positionnement des cintres

Ech: 1/20



**Type 4**  
Cintres HEB 140 espacement 1.00m  
+ drains transversaux si besoin.

Par ailleurs, si nécessaire, boulonnage  
au front avec béton projeté.



Etude d'opportunité du développement  
d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur  
PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 4

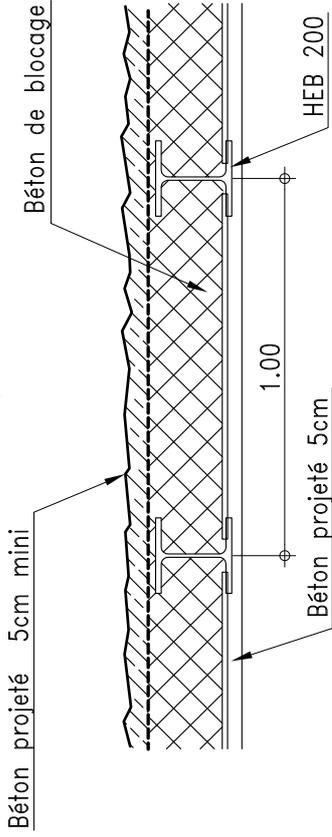
Incl.	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuillet
A	27/05/04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/100	5/7

# PROFIL TYPE 5 (sol classification AFTES : R5a)

## Détail de positionnement des cintres

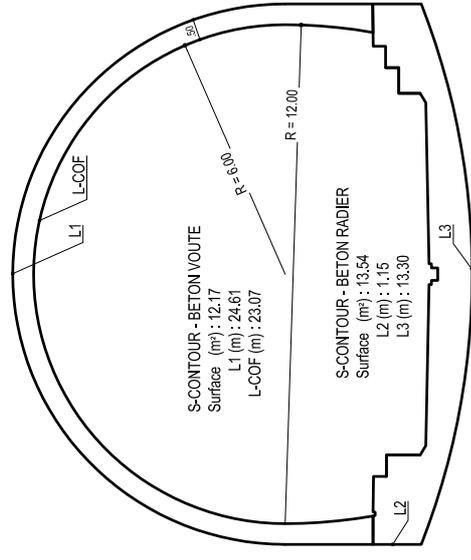
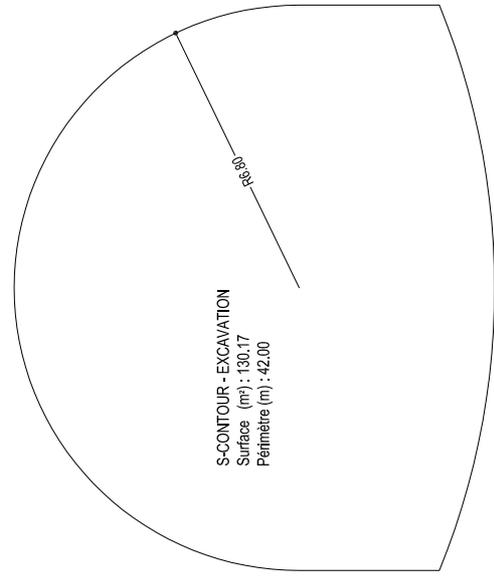
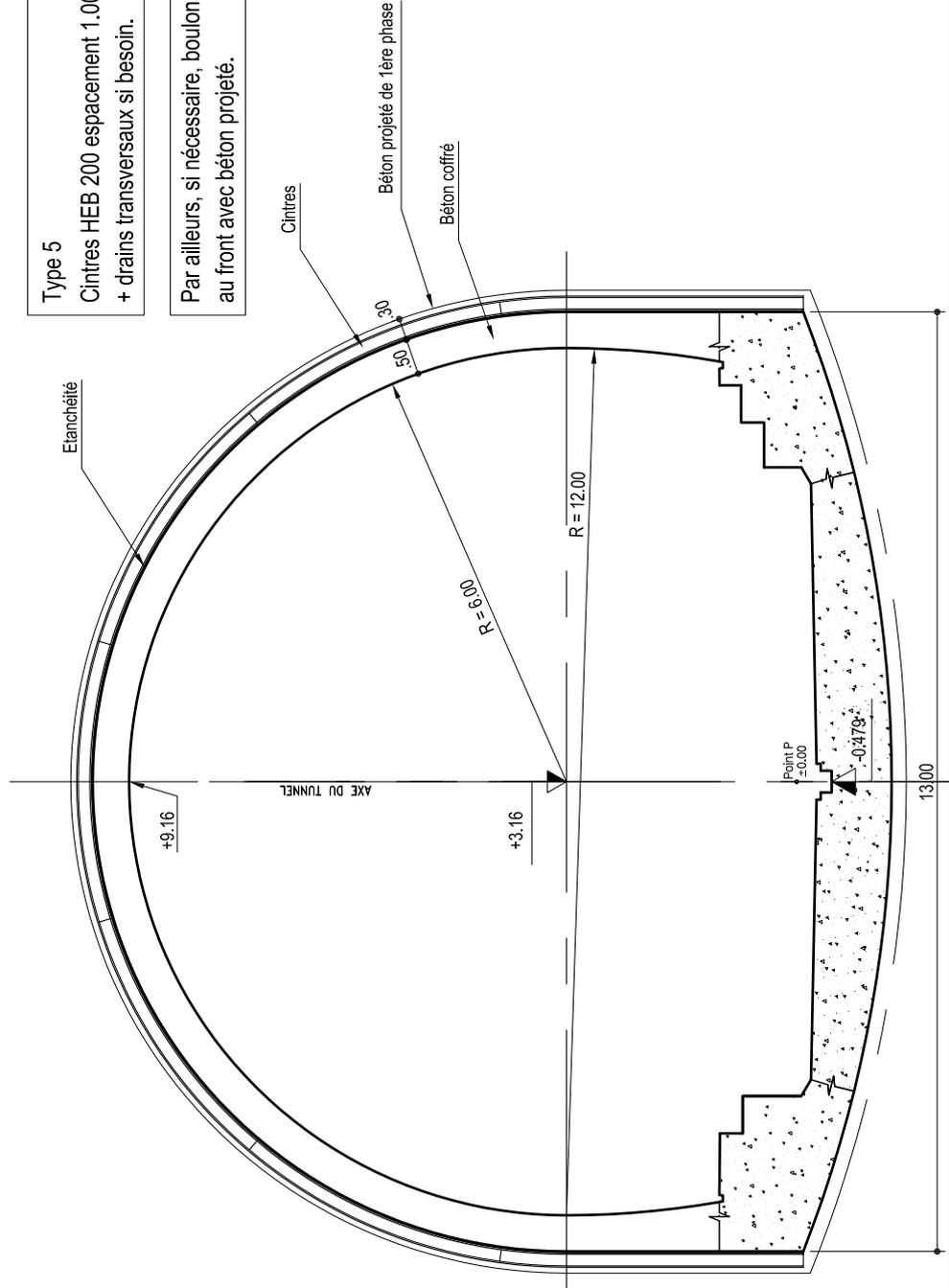
Ech: 1/20

Echelle: 1/100e



**Type 5**  
Cintres HEB 200 espacement 1.00m  
+ drains transversaux si besoin.

Par ailleurs, si nécessaire, boulonnage  
au front avec béton projeté.



RESEAU FERRE DE FRANCE

SETEC

Etude d'opportunité du développement  
d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur

PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 5

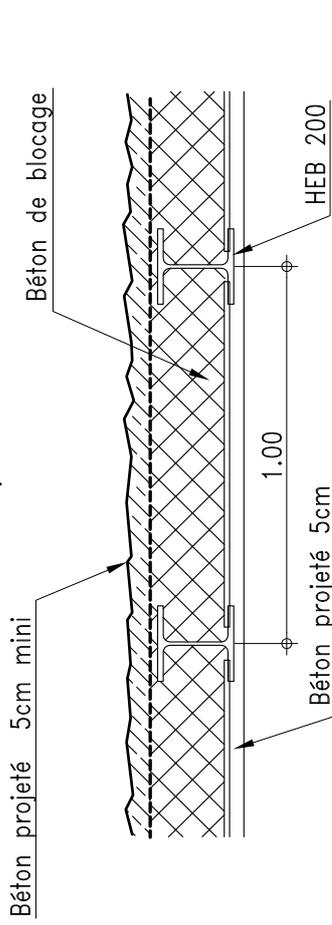
Incl.	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuille
A	27/05/04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/1700	6/7

# PROFIL TYPE 6 (sol classification AFTES : R5b et R6)

Echelle: 1/100e

## Détail de positionnement des cintres

Ech: 1/20



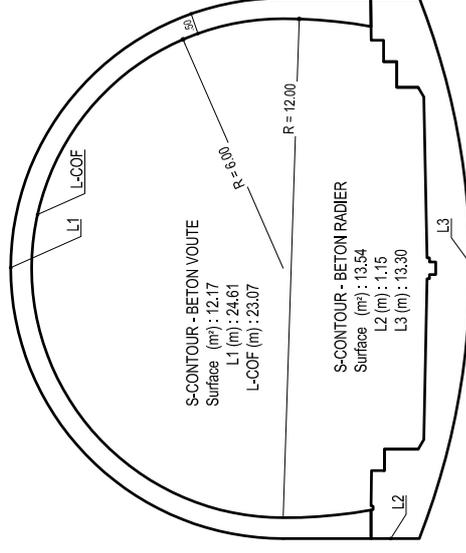
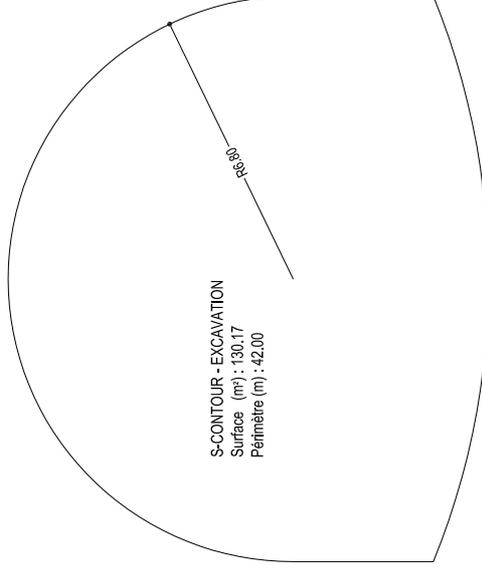
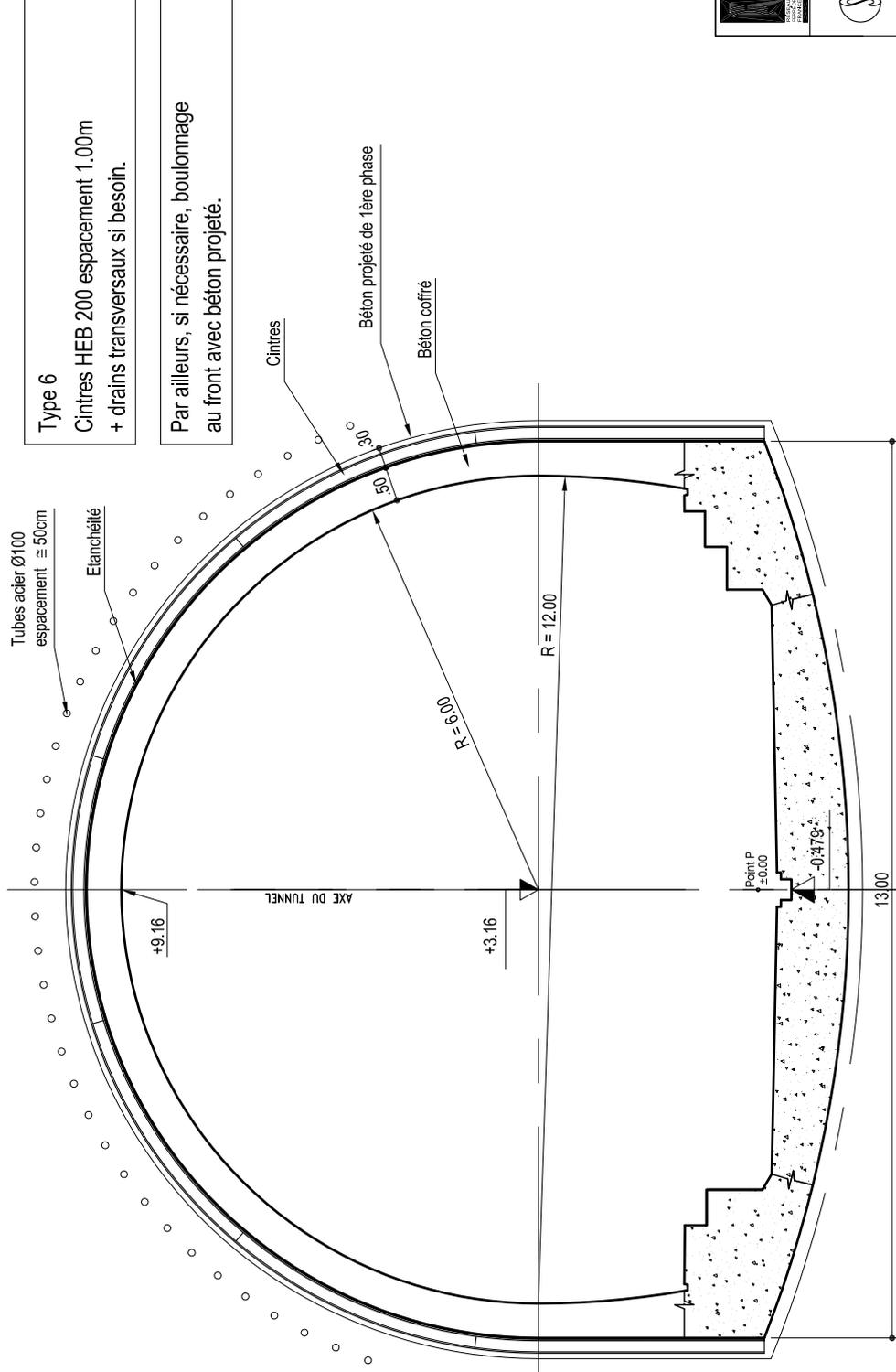
Tubes acier Ø100  
espacement ≈ 50cm

Eanchéité

Type 6

Cintres HEB 200 espacement 1.00m  
+ drains transversaux si besoin.

Par ailleurs, si nécessaire, boulonnage  
au front avec béton projeté.



Etude d'opportunité du développement  
d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur  
PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 6

Incl.	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuille
A	27/05/04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/1700	7/7

**Annexe 4 :**

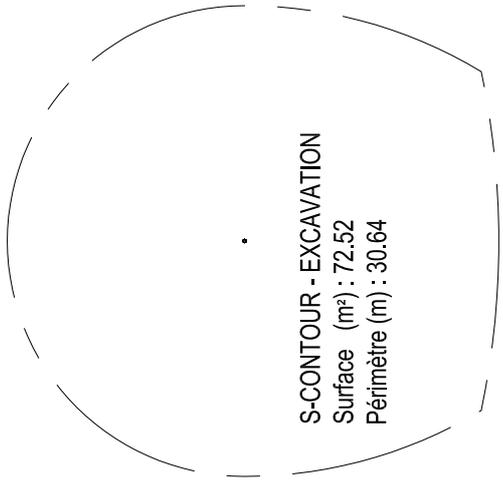
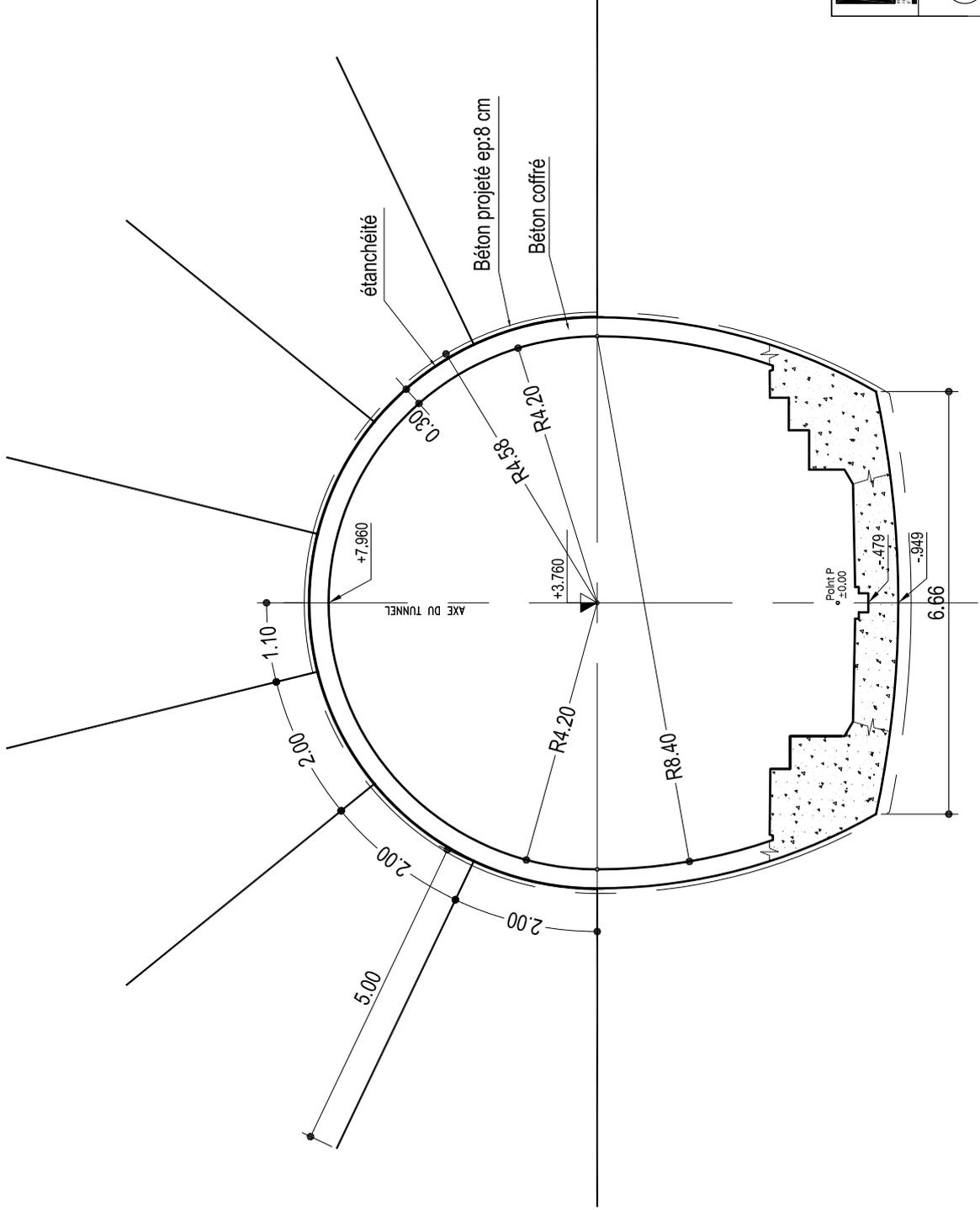
**Profils d'excavation/soutènement bitube**

---

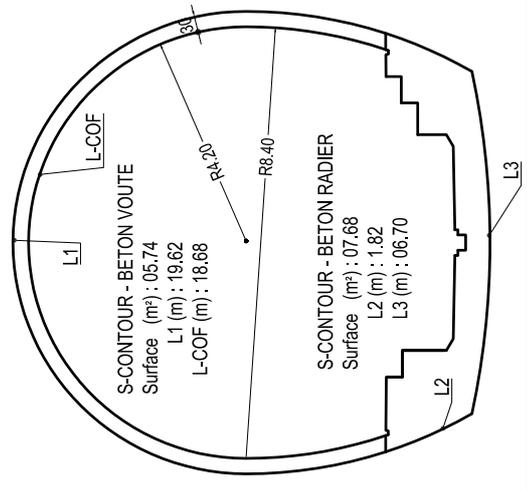
# PROFIL TYPE 1 (sol classification AFTES : R2b)

Echelle: 1/100e

Type 1  
 boulons HA 25 L=5.00m  
 Espacement des couronnes: 1.00m



S-CONTOUR - EXCAVATION  
 Surface (m²) : 72.52  
 Périmètre (m) : 30.64



S-CONTOUR - BETON VOUTE  
 Surface (m²) : 05.74  
 L1 (m) : 19.62  
 L-COF (m) : 18.68

S-CONTOUR - BETON RADIER  
 Surface (m²) : 07.68  
 L2 (m) : 1.82  
 L3 (m) : 06.70

RESEAU FERRE DE FRANCE

SETEC

Etude d'opportunité du développement  
 d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur

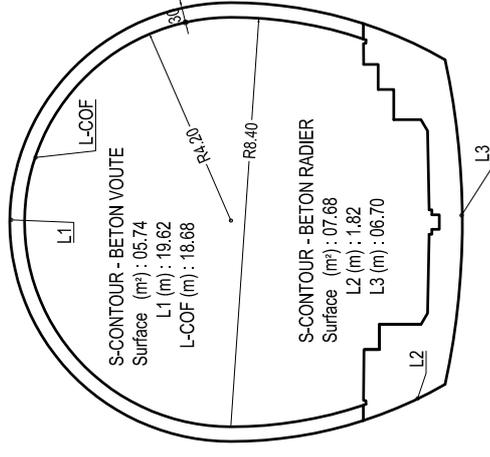
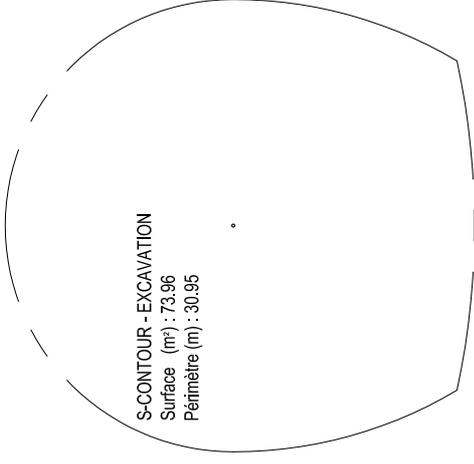
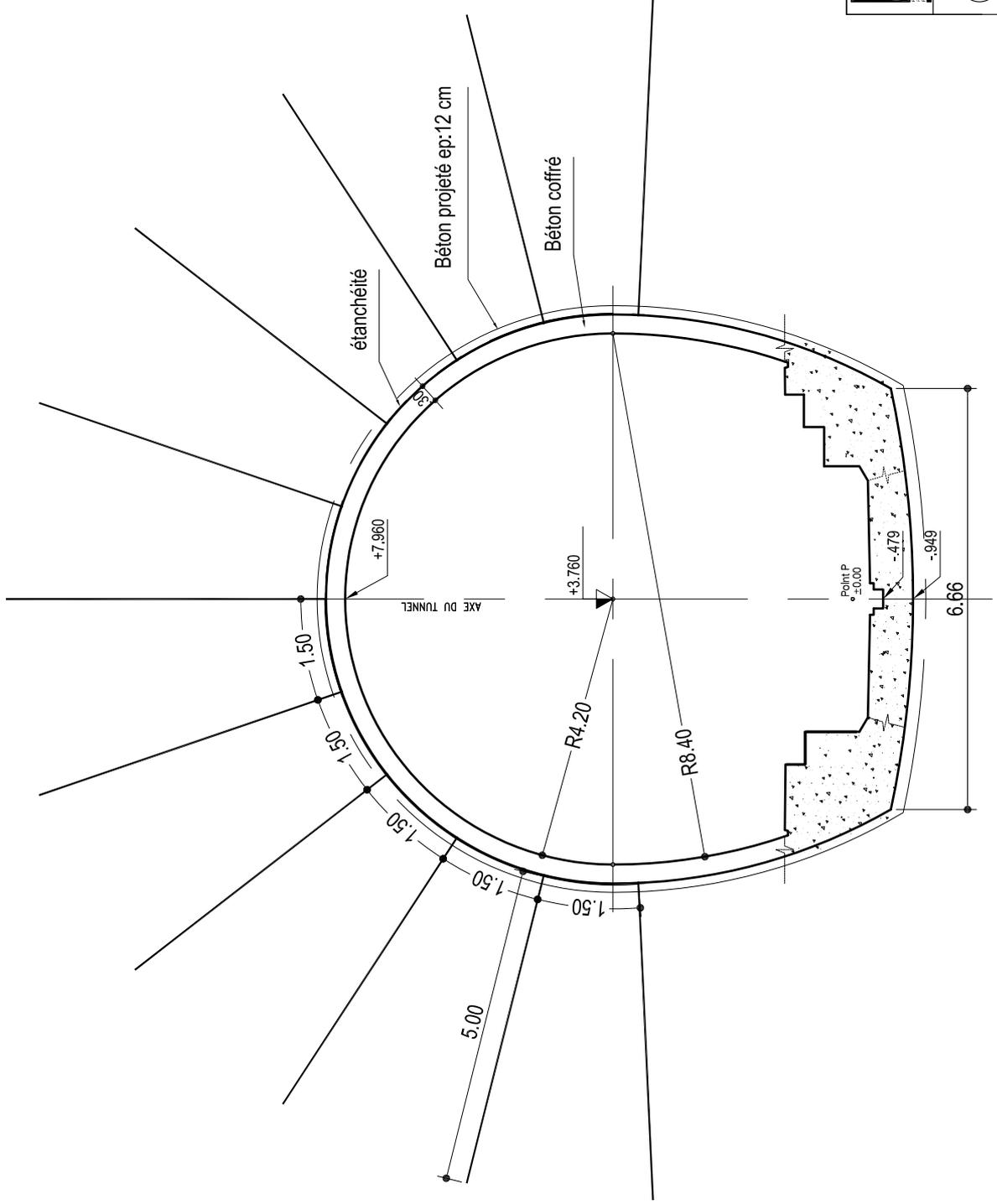
2 - Option Bitube  
 PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 1

Incl	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuille
A	13.07.04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/100	2/8

# PROFIL TYPE 2 (sol classification AFTES : R2b)

Echelle: 1/100e

Type 2  
 boulons HA 25 L=5.00m  
 Espacement des couronnes: 1.00m





RESEAU  
FERRE DE  
FRANCE



SETEC

Etude d'opportunité du développement  
 d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur

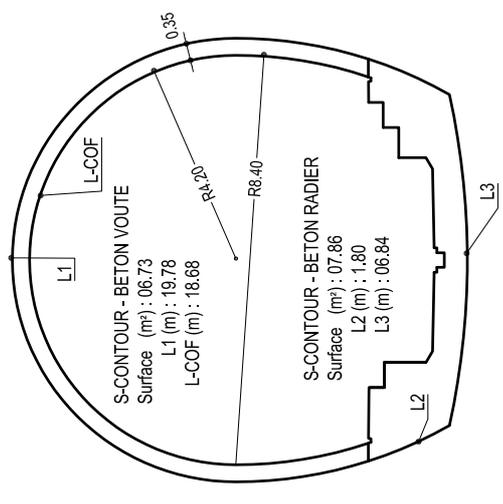
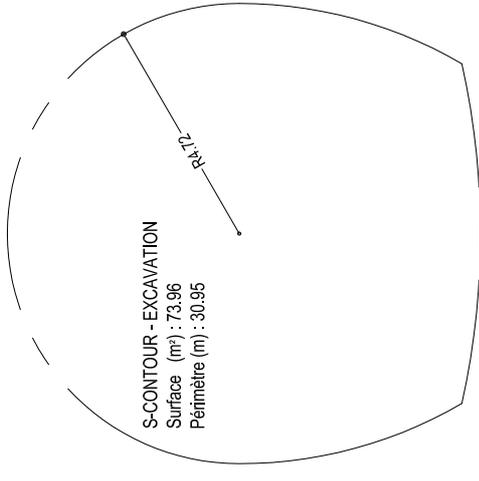
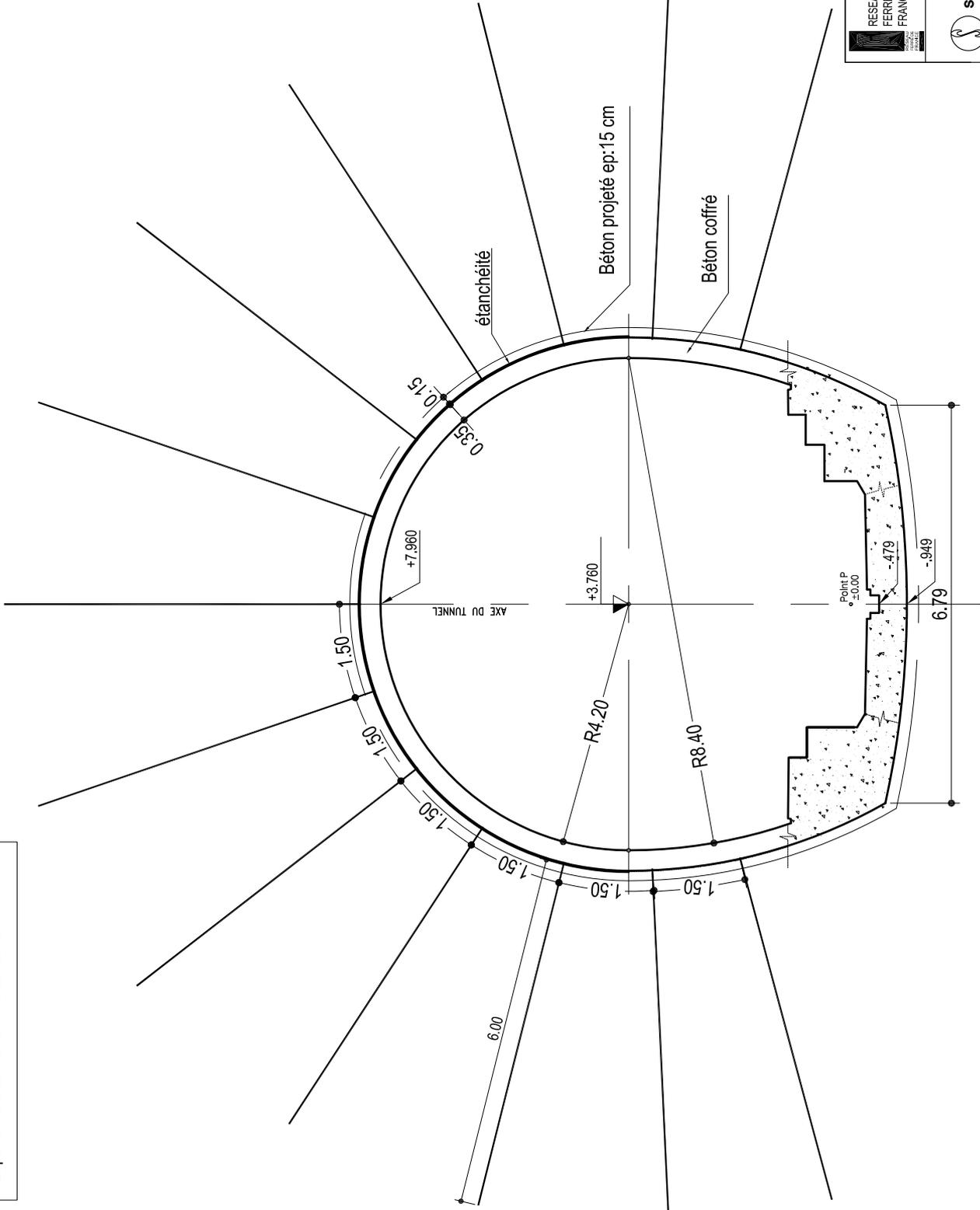
2 - Option Bitube  
 PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 2

Incl	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuillet
A	13.07.04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/700	3/8

# PROFIL TYPE 3 (sol classification AFTES : R3b)

Echelle: 1/100e

Type 3  
 boulons HA 25 L=6.00m  
 Espacement des couronnes: 1.00m



RESEAU FERRE DE FRANCE

SETEC

Etude d'opportunité du développement  
 d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur

2 - Option Bitube  
 PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 3

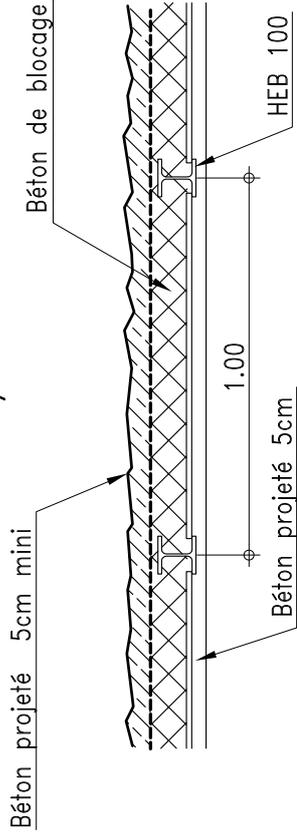
Incl	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuillet
A	13.07.04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/100	4/8

# PROFIL TYPE 4 (sol classification AFTES : R4)

Echelle: 1/100e

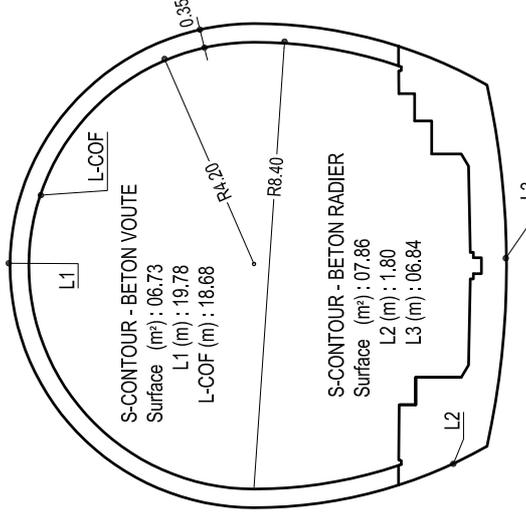
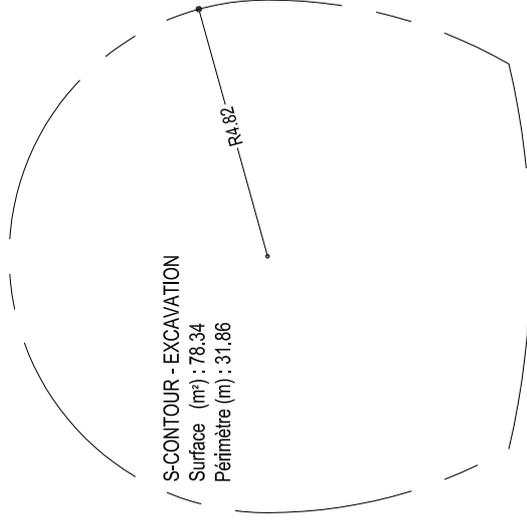
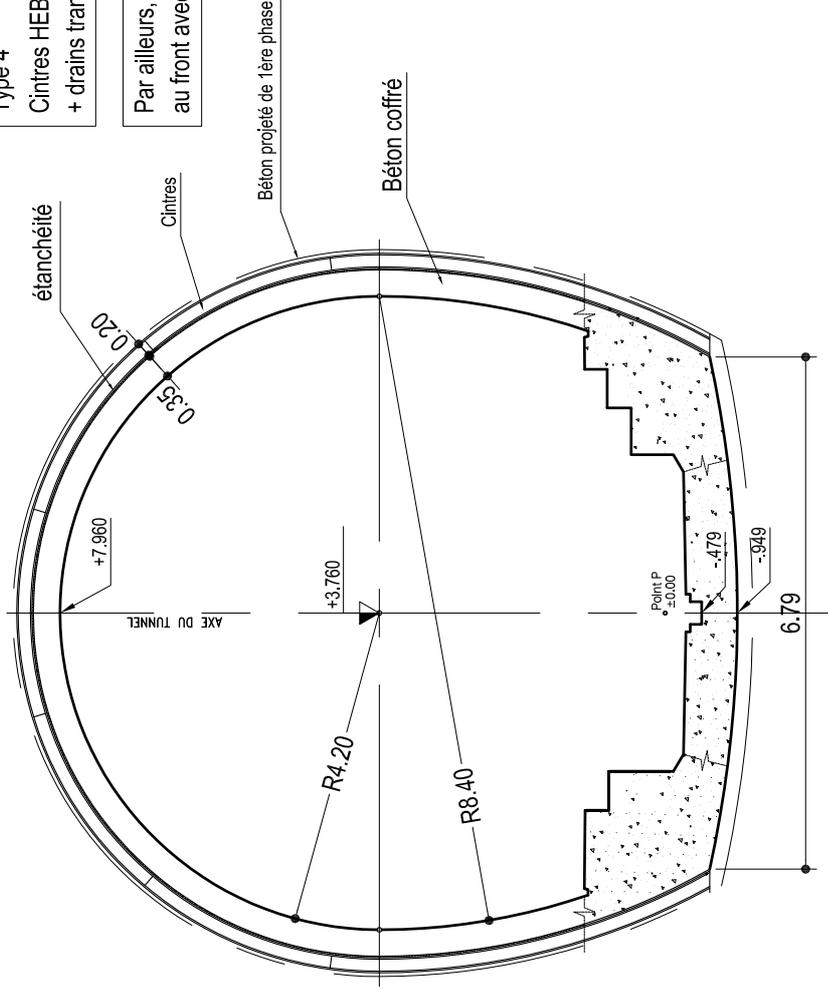
## Détail de positionnement des cintres

Ech: 1/20



**Type 4**  
Cintres HEB 100 espacement 1.00m  
+ drains transversaux si besoin.

Par ailleurs, si nécessaire, boulonnage  
au front avec béton projeté.



Etude d'opportunité du développement  
d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur

2 - Option Bitube  
PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 4

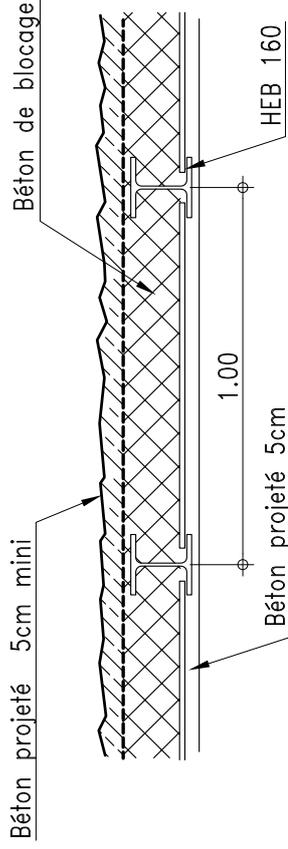
Incl.	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuille
A	13.07.04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/700	3/8

# PROFIL TYPE 5 (sol classification AFTES : R5a)

## Détail de positionnement des cintres

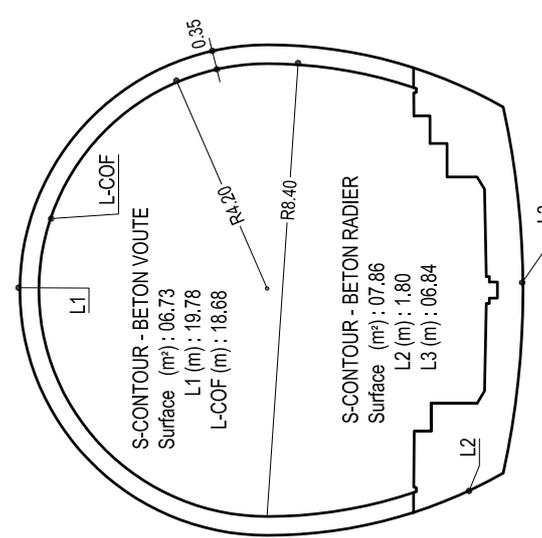
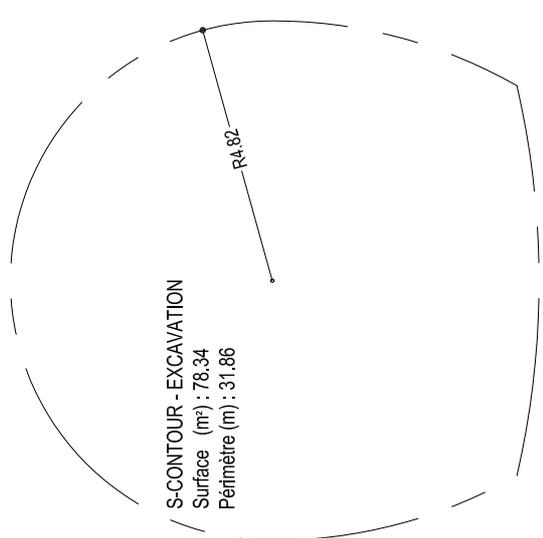
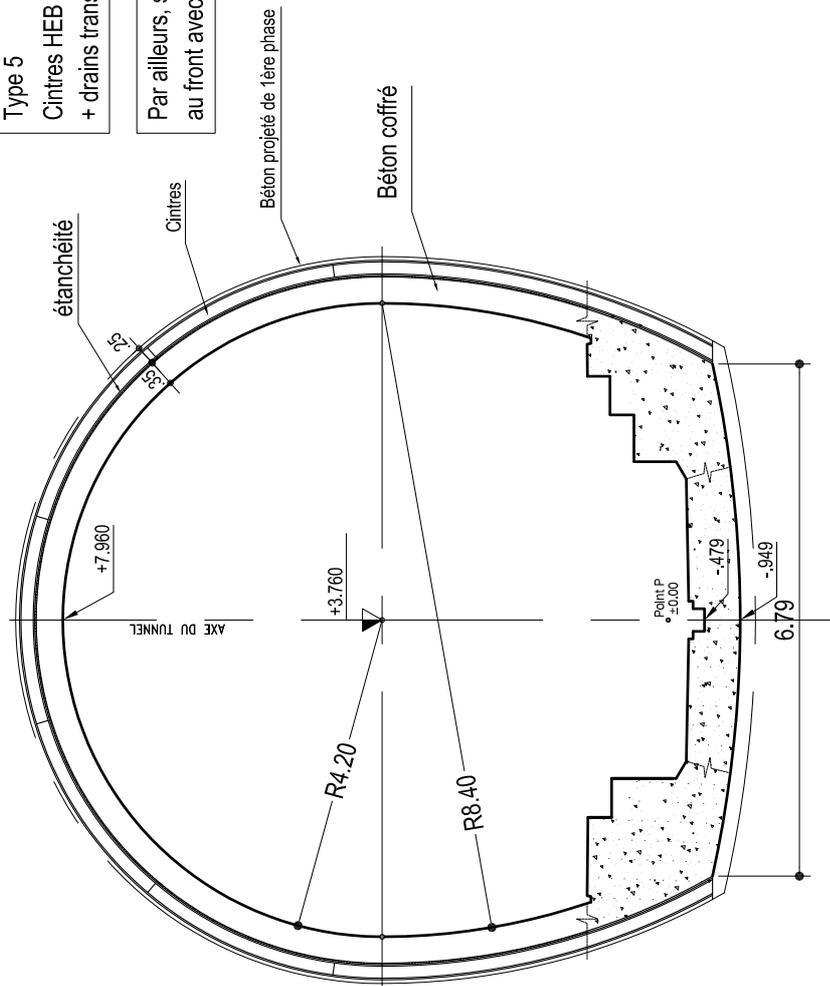
Ech: 1/20

Echelle: 1/100e



**Type 5**  
Cintres HEB 160 espacement 1.00m  
+ drains transversaux si besoin.

Par ailleurs, si nécessaire, boulonnage  
au front avec béton projeté.



Etude d'opportunité du développement  
d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur

2 - Option Bitube  
PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 5

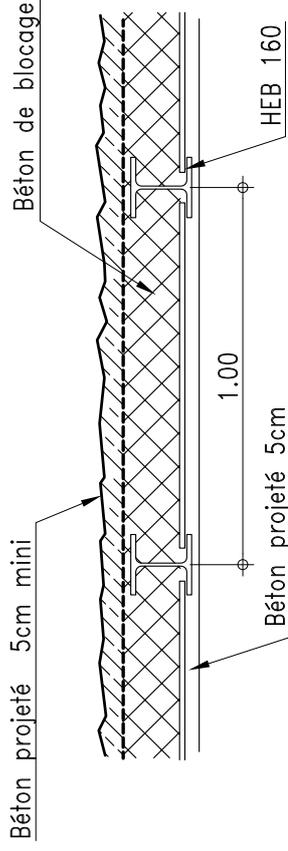
Incl	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuille
A	13.07.04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/700	8/8

# PROFIL TYPE 6 (sol classification AFTES : R5b et R6)

Détail de positionnement des cintres

Ech: 1/20

Echelle: 1/100e



Tubes acier Ø100  
espacement ≈ 50cm

Etanchéité

Cintres

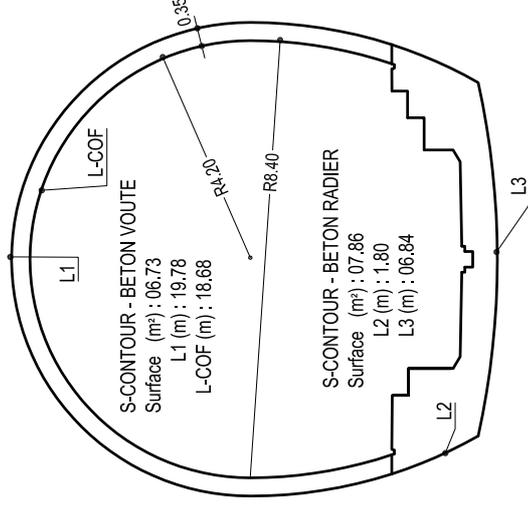
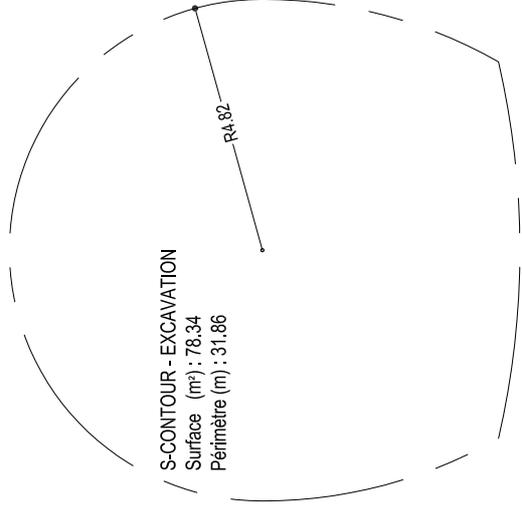
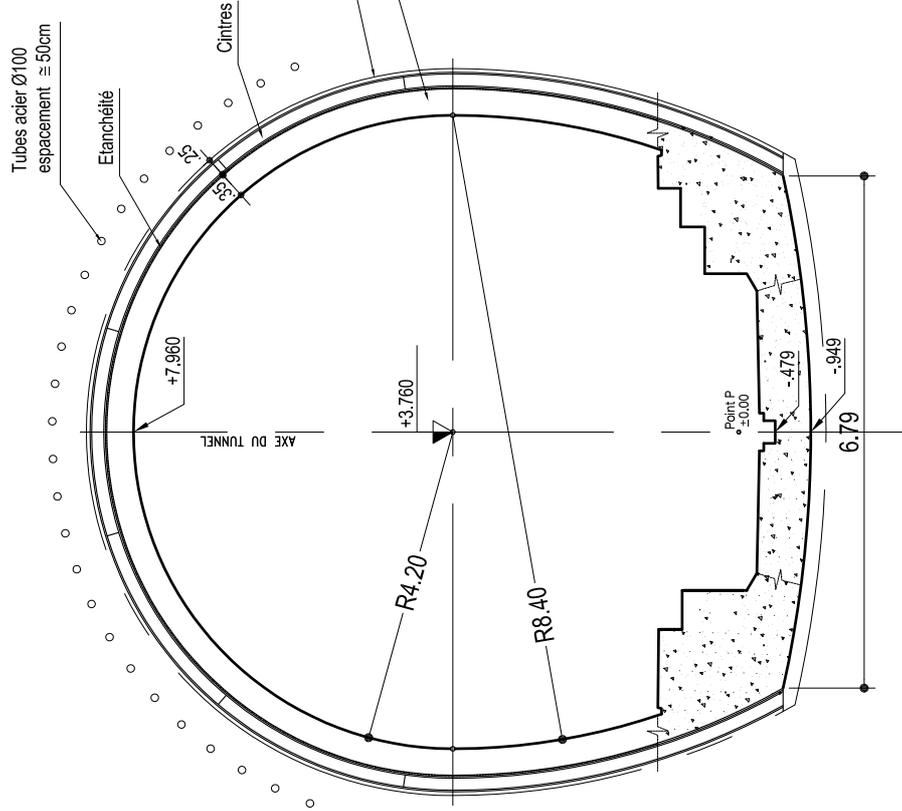
Béton projeté de 1ère phase

Béton coffré

Type 6

Cintres HEB 160 espacement 1.00m  
+ drains transversaux si besoin.

Par ailleurs, si nécessaire, boulonnage  
au front avec béton projeté.



Etude d'opportunité du développement  
d'une ligne LGV voyageurs vers Toulon et la Côte d'Azur

2 - Option Bitube  
PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE 6

Incl.	Date	Libellé	Établi	Véifié	Echelle	Feuille
A	13.07.04	Première diffusion	T.M.	C.B.	1/700	7/8

**Annexe 5 :**  
**Estimation unitaire par profils types**

---

ESTIMATION UNITAIRE MONOTUBE

Etude d'opportunité du développement d'une ligne LGV voyageurs vers TOULON et la Côte d'Azur

PROFILS EN TUNNEL

Estimation du mètre linéaire courant selon le type de section (en € HT valeur mai 2002)

SECTION COURANTE (section d'air 85 m²)															
	Unité	Prix Unit. (€)	P1		P2		P3		P4		P5		P6		
			Quantité	Montant (€ HT)											
<b>1- DEBLAIS</b>															
Déblai théorique en terrain profil A	m³	50,0	121,3	6 065	122,4	6 120	126,0	6 300	-	-	-	-	-	-	
Déblai théorique en terrain profil B	m³	100,0	-	-	-	-	-	-	128,8	12 880	130,2	13 020	130,2	13 020	
Déblai théorique en terrain profil C	m³	180,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Déblai hors-profil	m³	70,0	2,7	189	2,8	196	2,8	196	2,8	196	2,9	203	2,9	203	
<b>TOTAL DEBLAIS</b>				<b>6 254</b>		<b>6 316</b>		<b>6 496</b>		<b>13 076</b>		<b>13 223</b>		<b>13 223</b>	
				34%		33%		31%		46%		43%		34%	
<b>2- SOUTÈNEMENT</b>															
Boulons scellés	kg	4,1	193	791	250	1 025	347	1 423	-	-	-	-	-	-	
Cintre HEB	kg	1,6	-	-	-	-	-	-	882	1 411	1 618	2 589	1 618	2 589	
Cintres réticulés	ml	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Béton projeté non fibré	m³	351,0	2,2	772	2,2	772	2,2	772	2,2	772	2,2	772	2,2	772	
Treillis soudé	kg	4,8	57,2	275	57,2	275	57,2	275	57,2	275	57,2	275	57,2	275	
Béton projeté fibré	m³	430,0	-	-	1,0	430	1,7	731	4,2	1 806	5,4	2 322	5,4	2 322	
Béton projeté hors profil	m³	365,0	2,7	986	2,8	1 022	2,8	1 022	2,8	1 022	2,9	1 059	2,9	1 059	
Béton de radier provisoire	m³	120,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0	360
Voûte parapluie	kg	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 200	8 140
<b>TOTAL SOUTÈNEMENT</b>				<b>2 824</b>		<b>3 524</b>		<b>4 223</b>		<b>5 286</b>		<b>7 017</b>		<b>15 517</b>	
				15%		18%		20%		19%		23%		39%	
<b>3- ETANCHEITE</b>															
Étanchéité	m²	45,0	25,1	1 130	25,3	1 139	25,7	1 157	26,2	1 179	26,4	1 188	26,4	1 188	
<b>TOTAL ETANCHEITE</b>				<b>1 130</b>		<b>1 139</b>		<b>1 157</b>		<b>1 179</b>		<b>1 188</b>		<b>1 188</b>	
				6%		6%		6%		4%		4%		3%	
<b>4- COFFRAGE</b>															
Coffrage-outil du revêtement	ml	350,0	1	350	1	350	1	350	1	350	1	350	1	350	
Coffrage revêtement	m²	18,3	23,1	423	23,1	423	23,1	423	23,1	423	23,1	423	23,1	423	
Coffrage banquette+ amorce voûte	m²	35,0	3	105	3	105	3	105	3	105	3	105	3	105	
<b>TOTAL COFFRAGE</b>				<b>878</b>											
				5%		5%		4%		3%		3%		2%	
<b>5- BETON ARME ET NON ARME</b>															
Béton de propreté en radier	m³	191,0	1,3	248	1,3	248	1,3	248	1,3	248	1,3	248	1,3	248	
Béton de radier et banquette	m³	120,0	13,3	1 596	13,3	1 596	13,5	1 620	13,5	1 620	13,5	1 620	13,5	1 620	
Béton de revêtement	m³	120,0	9,7	1 164	9,7	1 164	12,2	1 464	12,2	1 464	12,2	1 464	12,2	1 464	
Béton hors-profil	m³	120,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Armatures	kg	1,2	1 725	2 070	1 725	2 070	1 928	2 314	1 928	2 314	1 928	2 314	1 928	2 314	
<b>TOTAL BETON ARME ET NON ARME</b>				<b>5 078</b>		<b>5 078</b>		<b>5 646</b>		<b>5 646</b>		<b>5 646</b>		<b>5 646</b>	
				27%		26%		27%		20%		18%		14%	
6-EXHAURE DE CHANTIER	ml	200,0	1	200	1	200	1	200	1	200	1	200	1	200	
7-PROVISION POUR RECONNAISSANCE à l'avancement	u	250,0	1	250	1	250	1	250	1	250	3	750	3	750	
8- GENIE CIVIL POUR EQUIPEMENTS	ft	2 000,0	1	2 000	1	2 000	1	2 000	1	2 000	1	2 000	1	2 000	
				11%		10%		10%		7%		6%		5%	
<b>MONTANT TOTAL HT EN €/ML</b> TP05=441,6 valeur mai 2002				<b>18 614</b>		<b>19 385</b>		<b>20 850</b>		<b>28 515</b>		<b>30 902</b>		<b>39 402</b>	
<b>MONTANT TOTAL HT EN €/ML</b> TP05=462,7 valeur janv 2004				<b>19 550</b>		<b>20 360</b>		<b>21 900</b>		<b>29 950</b>		<b>32 450</b>		<b>41 380</b>	

1 - Creusement/Soutènement	9 078	9 840	10 719	18 362	20 240	28 740
2 - revêtement/étanchéité	7 086	7 095	7 681	7 703	7 712	7 712
3 - Génie civil pour équipements	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
5 - Exhaure de chantier	200	200	200	200	200	200
6 - Provision pour reconnaissance à l'avancement	250	250	250	250	750	750
<b>TOTAL</b>	<b>18 614</b>	<b>19 385</b>	<b>20 850</b>	<b>28 515</b>	<b>30 902</b>	<b>39 402</b>

EXCAVATION						
Surface (m²)	121,31	122,40	125,98	128,76	130,17	130,17
Périmètre (m)	40,54	40,73	41,32	41,76	42,00	42,00
VOÛTE						
Surface (m²)	9,72	9,72	12,17	12,17	12,17	12,17
Périmètre extérieur (m)	24,30	24,30	24,61	24,61	24,61	24,61
Périmètre intérieur (m)	23,07	23,07	23,07	23,07	23,07	23,07
RADIER						
Surface (m²)	13,30	13,30	13,54	13,54	13,54	13,54
Périmètre latéral (m)	1,19	1,19	1,15	1,15	1,15	1,15
Périmètre inférieur (m)	13,08	13,08	13,30	13,30	13,30	13,30
Epaisseur de béton projeté (m)						
	0,08	0,12	0,15	0,25	0,30	0,30
ration treillis soudé (kg/m³)						
	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
nb de clous (u)						
	10,00	13,00	15,00			
longueur des clous (m)						
	5,00	5,00	6,00			
masse linéique des clous (kg/m)						
	3,850	3,850	3,850			
masse linéique des cintres (kg/m)						
				33,700	61,300	61,300

**ESTIMATION UNITAIRE BITUBE**

**Etude d'opportunité du développement d'une ligne LGV voyageurs vers TOULON et la Côte d'Azur**

**PROFILS EN TUNNEL**

Estimation du mètre linéaire courant selon le type de section (en € HT valeur mai 2002)

		SECTION COURANTE (section d'air 1x52 m²)											
		Famille A				Famille B				Famille C			
		P1		P2		P3		P4		P5		P6	
Unité	Prix Unit. (€)	Quantité	Montant (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)
<b>1- DEBLAIS</b>													
Déblai théorique en terrain profil A	m³	50,0	72,5	3 625	74,0	3 700	74,0	3 700	-	-	-	-	-
Déblai théorique en terrain profil B	m³	100,0	-	-	-	-	-	-	78,3	7 830	78,3	7 830	78,3
Déblai théorique en terrain profil C	m³	180,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Déblai hors-profil	m³	70,0	2,4	168	2,4	168	2,4	168	2,5	175	2,5	175	2,5
<b>TOTAL DEBLAIS</b>				<b>3 793</b>		<b>3 868</b>		<b>3 868</b>		<b>8 005</b>		<b>8 005</b>	
				28%		28%		28%		42%		39%	
<b>2- SOUTÈNEMENT</b>													
Boulons scellés	kg	4,1	154	631	212	869	300	1 230	-	-	-	-	-
Cintre HEB	kg	1,6	-	-	-	-	-	-	437	699	912	1 459	912
Cintres réticulés	ml	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Béton projeté non fibré	m³	351,0	1,9	667	1,9	667	1,9	667	1,9	667	1,9	667	1,9
Treillis soudé	kg	4,8	49,4	237	49,4	237	49,4	237	49,4	237	49,4	237	49,4
Béton projeté fibré	m³	430,0	-	-	0,8	344	1,4	602	2,4	1 032	3,4	1 462	4,4
Béton projeté hors profil	m³	365,0	2,4	876	2,4	876	2,4	876	2,5	913	2,5	913	2,5
Béton de radier provisoire	m³	120,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0
Voûte parapluie	kg	3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 650
<b>TOTAL SOUTÈNEMENT</b>				<b>2 411</b>		<b>2 993</b>		<b>3 612</b>		<b>3 548</b>		<b>4 738</b>	
				18%		21%		24%		19%		23%	
<b>3- ETANCHEITE</b>													
Etanchéité	m²	45,0	20,3	914	20,6	927	20,5	923	21,4	963	21,4	963	21,4
<b>TOTAL ETANCHEITE</b>				<b>914</b>		<b>927</b>		<b>923</b>		<b>963</b>		<b>963</b>	
				7%		7%		6%		5%		5%	
<b>4- COFFRAGE</b>													
Coffrage-outil du revêtement	ml	350,0	1	350	1	350	1	350	1	350	1	350	1
Coffrage revêtement	m²	18,3	18,7	342	18,7	342	18,7	342	18,7	342	18,7	342	18,7
Coffrage banquette+ amorce voûte	m²	35,0	3	105	3	105	3	105	3	105	3	105	3
<b>TOTAL COFFRAGE</b>				<b>797</b>									
				6%		6%		5%		4%		4%	
<b>5- BETON ARME ET NON ARME</b>													
Béton de propreté en radier	m³	191,0	0,7	134	0,7	134	0,7	134	0,7	134	0,7	134	0,7
Béton de radier et banquette	m³	120,0	7,7	924	7,7	924	7,9	948	7,9	948	7,9	948	7,9
Béton de revêtement	m³	120,0	5,7	684	5,7	684	6,7	804	6,7	804	6,7	804	6,7
Béton hors-profil	m³	120,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Armatures	kg	1,2	1 005	1 206	1 005	1 206	1 095	1 314	1 095	1 314	1 095	1 314	1 095
<b>TOTAL BETON ARME ET NON ARME</b>				<b>2 948</b>		<b>2 948</b>		<b>3 200</b>		<b>3 200</b>		<b>3 200</b>	
				22%		21%		22%		17%		15%	
6-EXHAURE DE CHANTIER	ml	200,0	1	200	1	200	1	200	1	200	1	200	1
7-PROVISION POUR RECONNAISSANCE à l'avancement	u	250,0	1	250	1	250	1	250	1	250	3	750	3
8- GENIE CIVIL POUR EQUIPEMENTS	ft	2 000,0	1	2 000	1	2 000	1	2 000	1	2 000	1	2 000	1
				15%		14%		13%		11%		10%	
<b>MONTANT TOTAL HT EN €/ML</b> TP05=441,6 valeur mai 2002				<b>13 313</b>		<b>13 983</b>		<b>14 850</b>		<b>18 963</b>		<b>20 653</b>	
<b>MONTANT TOTAL HT EN €/ML</b> TP05=462,7 valeur janv 2004				<b>13 980</b>		<b>14 690</b>		<b>15 600</b>		<b>19 920</b>		<b>21 690</b>	

1 - Creusement/Soutènement	6 204	6 861	7 480	11 553	12 743	19 638
2 - revêtement/étanchéité	4 659	4 672	4 920	4 960	4 960	4 960
3 - Génie civil pour équipements	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
5 - Exhaure de chantier	200	200	200	200	200	200
6 - Provision pour reconnaissance à l'avancement	250	250	250	250	750	750
<b>TOTAL</b>	<b>13 313</b>	<b>13 983</b>	<b>14 850</b>	<b>18 963</b>	<b>20 653</b>	<b>27 548</b>

EXCAVATION						
Surface (m²)	72,52	73,96	73,96	78,34	78,34	78,34
Périmètre (m)	30,64	30,95	30,95	31,86	31,86	31,86
VOÛTE						
Surface (m²)	5,74	5,74	6,73	6,73	6,73	6,73
Périmètre extérieur (m)	19,62	19,62	19,78	19,78	19,78	19,78
Périmètre intérieur (m)	18,68	18,68	18,68	18,68	18,68	18,68
RADIER						
Surface (m²)	7,68	7,68	7,86	7,86	7,86	7,86
Périmètre latéral (m)	1,82	1,82	1,80	1,80	1,80	1,80
Périmètre inférieur (m)	6,70	6,70	6,84	6,84	6,84	6,84
Epaisseur de béton projeté (m)	0,08	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30
ration treillis soudé (kg/m³)	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
nb de clous (u)	8,00	11,00	13,00			
longueur des clous (m)	5,00	5,00	6,00			
masse linéique des clous (kg/m)	3,850	3,850	3,850			
masse linéique des cintres (kg/m)				20,400	42,600	42,600

**ETUDES PREALABLES AU DEBAT  
PUBLIC SUR LA LGV PACA**

**EVALUATION DU COUT DES TUNNELS**

---

**2<sup>ème</sup> Partie - Fiches d'évaluation par itinéraire**

**Novembre 2004**

Etude réalisée pour le compte de RFF par :

---



SETEC International  
5 chemin des Gorges de Cabriès  
13127 VITROLLES  
Tél : 04.42.89.92.72 - Fax : 04.42.89.93.20

---

ÉTUDES PREALABLES AU DEBAT PUBLIC SUR LA LGV PACA

EVALUATION DU COUT DES TUNNELS

2EME PARTIE : FICHES D'EVALUATION PAR ITINERAIRE

---

TABLE DES MATIERES

1. PRÉSENTATION.....	2
2. TABLEAU DE SYNTHÈSE .....	3
3. RECUEIL DE FICHES PAR OUVRAGE.....	4

---

## Évaluation du coût des tunnels

### 2<sup>ème</sup> partie – Fiches d'évaluation par itinéraire

---

#### 1. PRÉSENTATION

Le recueil de fiches d'évaluation du coût des tunnels donné dans ce qui suit fournit, pour chaque itinéraire envisagé, un descriptif technique synthétique où sont abordées les rubriques suivantes :

- Ø principales caractéristiques : il s'agit d'une rapide description donnant notamment la longueur approximative de la traversée souterraine examinée ; le type d'ouvrage considéré (monotube ou bitube) est également précisé,
- Ø géologie : cette rubrique situe le contexte géologique (lithostratigraphie des terrains) et structural (fracturation, pendage, plis, chevauchements) du (des) massif(s) ou du (des) relief(s) à franchir,
- Ø contraintes et difficultés géotechniques : sont listés ici les principales difficultés d'exécution liées à l'environnement géologique du massif traversé, ainsi que le classement de la zone vis-à-vis du risque sismique (donnée importante pour le dimensionnement des ouvrages de tête),
- Ø ouvrages de tête : les ouvrages de tête sont classés en trois catégories :
  - catégorie • terrains rocheux francs,
  - catégorie , terrains rocheux altérés / fracturés ou sols nécessitant des confortements standards (ex : clouage + béton projeté),
  - catégorie *f* terrains potentiellement instables nécessitant des confortements lourds (ex : poutres ancrées par tirants précontraints) ; cette rubrique précise la catégorie considérée pour chaque tête au vu du contexte géomécanique attendu ; enfin, si le site est jugé sensible en termes d'impacts visuels, un traitement architectural est recommandé,
- Ø profils de soutènement type : cette rubrique donne la répartition en pourcentage du linéaire total des différents profils de soutènement / excavation en fonction du contexte géologique attendu et de la coupe prévisionnelle pressentie à ce stade,
- Ø évaluation du coût : coût global et coût kilométrique moyen de l'ouvrage (têtes incluses, hors équipements ferroviaires) en millions d'Euros hors taxes, valeur 01/2004.

## 2. TABLEAU DE SYNTHÈSE

L'évaluation du coût des ouvrages à l'étude (linéaire total : 234 km) est résumée dans le tableau suivant :

**TABLEAU DE SYNTHESE**

ITINERAIRE	LINEAIRE APPROXIMATIF EN TUNNEL (km)	TYPE D'OUVRAGE <sup>(1)</sup>	COÛT GLOBAL (M€HT)	Coût kilométrique (M€H.T. / km)
NORD AIX	6	M	280	46,7
NORD ARBOIS	13	M	647	49,8
SUD ARBOIS	10	M	442	44,2
CENTRE VAR	4	M	176	44,0
HAUT VAR	10	M	529	52,9
CENTRE VAR - NORD TOULON	11	M	586	53,3
DURANCE - CENTRE VAR	9	M	364	40,5
NORD AIX - HAUT VAR	11	M	514	46,7
LITTORAL	15	M	733	48,9
SUD SAINTE BAUME	8	M	339	42,4
	14	B	1 008	72,0
	6	M	264	44,0
NORD TOULON	2	M	82	41,0
NORD TOULON - PLAINE DES MAURES	2	M	87	43,5
PLAINE DES MAURES	1	M	43	43,0
ESTEREL - W CANNES	12	M	597	49,8
POURSUITE AU-DELA DE SIAGNE	12	M	524	43,7
RACCORDEMENT 3 <sup>ème</sup> VOIE ANTIBES / NICE	15	M	741	49,4
POURSUITE Ø VALLEE DU VAR	20	M	992	49,6
RACCORDEMENT EST NICE	11	M	625	56,8
PROLONGEMENT Ø ITALIE	23	M	1 359	59,1
NICE - ITALIE	19	M	1 191	62,7

(1) M : Monotube B : bitube

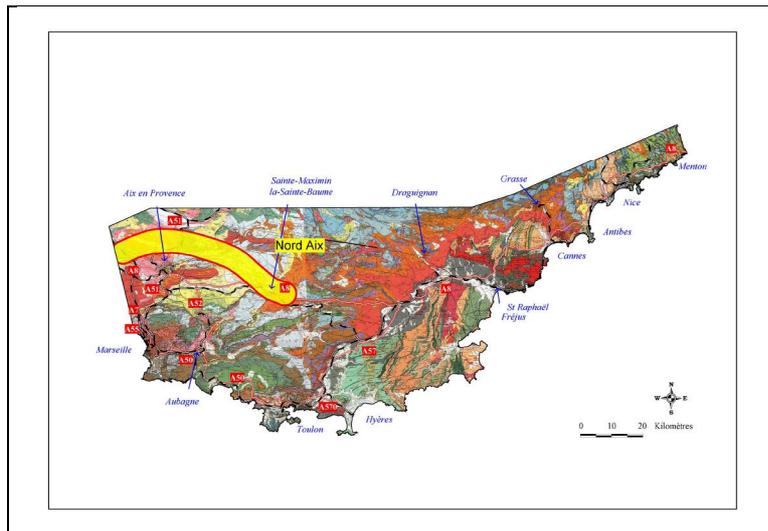
### 3. RECUEIL DE FICHES PAR ITINÉRAIRE

Les fiches d'évaluation par itinéraire (descriptif technique et estimation), données dans les pages qui suivent, sont classées suivant l'ordre du tableau de synthèse ci-avant.

-----oOo-----

## ITINERAIRE : NORD AIX

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Nord Aix nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir le massif de la Trévaresse et les reliefs situés au Nord de la montagne Sainte Victoire.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 6 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement franchit la cuesta calcaire oligocène de la Trévaresse, puis les reliefs formés par les assises calcaires du Crétacé inférieur du Bois du Ligourès. Il recoupe ensuite la Montagne des Ubacs et les reliefs du Bois de la Gardiole formés d'assise calcaréo-marneuses du Jurassique plissées et chevauchantes vers le Nord.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Traversées des zones de fractures (karsts possibles) et des accidents tectoniques,
- Risque de venue d'eau en charge dans des roches décohésionnées par la fracturation,
- Stabilité des faciès sableux (Trévaresse) et marneux (Montagne des Ubacs),
- Aléa sismique : zone II, zone Ib localement.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	21,0	%
P2	:	23,5	%
P3	:	18,5	%
P4	:	13,2	%
P5	:	16,0	%
P6	:	6,8	%
P6'	:	1,0	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

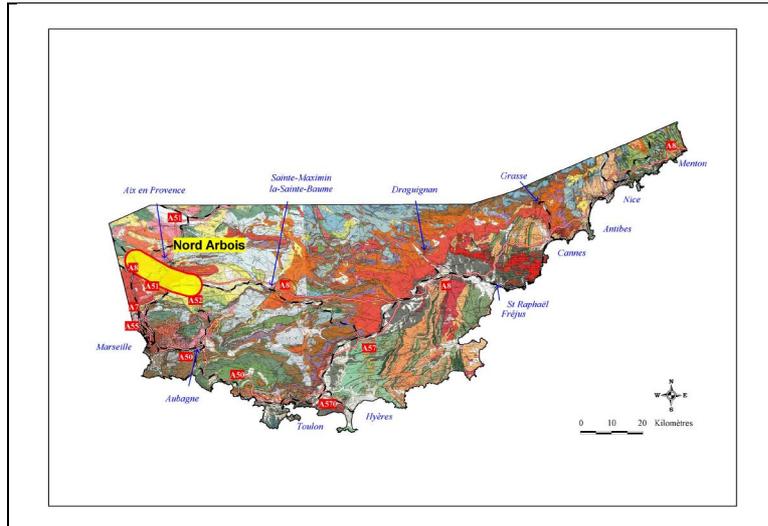
Catégorie • à , en fonction du degré de fracturation de la roche. traitement architectural à prévoir localement (Cuesta de la Trévaresse).

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 280 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 46,7 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : NORD ARBOIS

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Nord Arbois nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir les reliefs d'Eguilles et du massif du Montaignet, ainsi que les zones urbaines denses au Sud d'Aix-en-Provence.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 13 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement franchit d'abord le relief d'Eguilles formé de calcaire urgonien massif, puis les collines argileuses oligocènes du pays sud-aixoïse, et s'inscrit ensuite dans la série éocène (alternance de formations calcaires et argileuses) du massif du Montaignet. Il s'achève dans les argiles rognaciennes du bassin de l'Arc.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Présence de terrains argileux instables (oligocène, séquences argileuses éocènes, argiles rognaciennes).
- Risque de gonflement dans les argiles oligocènes.
- Venue d'eau à prévoir au contact calcaire / argile dans la série éocène.
- Aléa sismique : zone Ib.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1 :	6,2	%
P2 :	19,0	%
P3 :	11,7	%
P4 :	22,1	%
P5 :	26,9	%
P6 :	13,0	%
P6' :	1,1	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

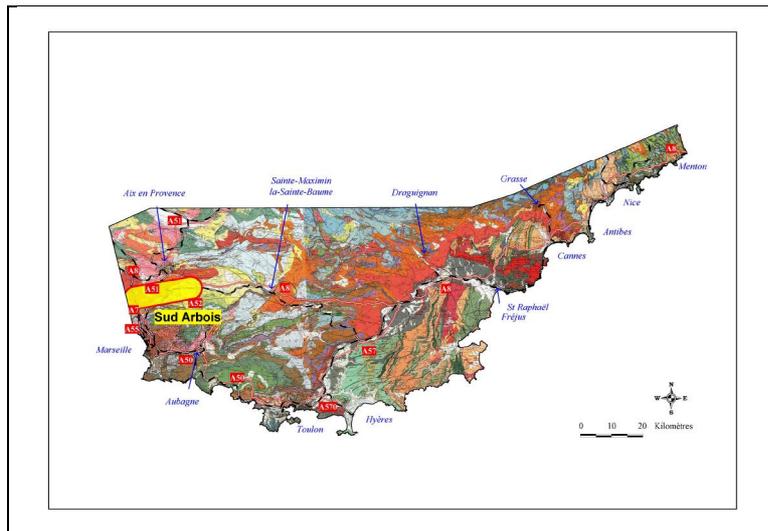
Catégorie *f* (terrains argileux instables) sauf pour le relief d'Eguilles classé en catégorie *•* (calcaires francs). Un traitement architectural est recommandé pour tous les ouvrages de tête.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 647 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 49,8 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : SUD ARBOIS

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Sud Arbois nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir les reliefs formés par les collines de Cabriès et de Bouc-Bel-Air et le massif du Montaiguët, ainsi que les zones urbaines denses situées entre Marseille et Aix-en-Provence.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 10 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement s'inscrit d'abord sur la bordure Sud du plateau de l'Arbois où il recoupe des collines formées de calcaires et marnes de l'Eocène, puis se développe ensuite à travers les reliefs correspondant au prolongement méridional du massif du Montaiguët. Les terrains traversés sont constitués d'une alternance de séquences calcaires et argileuses d'âge paléocène - éocène. L'ouvrage s'achève vers l'Est dans les argiles du Rognacien du bassin de l'Arc.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Présence de terrains argileux instables (têtes côté Est).
- Venues d'eau possibles au droit des failles et aux contacts calcaires / argiles.
- Stabilité à court terme et comportement différé des faciès argileux.
- Aléa sismique : zone Ia / Ib.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1 :	8,4	%
P2 :	40,0	%
P3 :	29,4	%
P4 :	5,7	%
P5 :	10,8	%
P6 :	5,4	%
P6' :	0,3	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

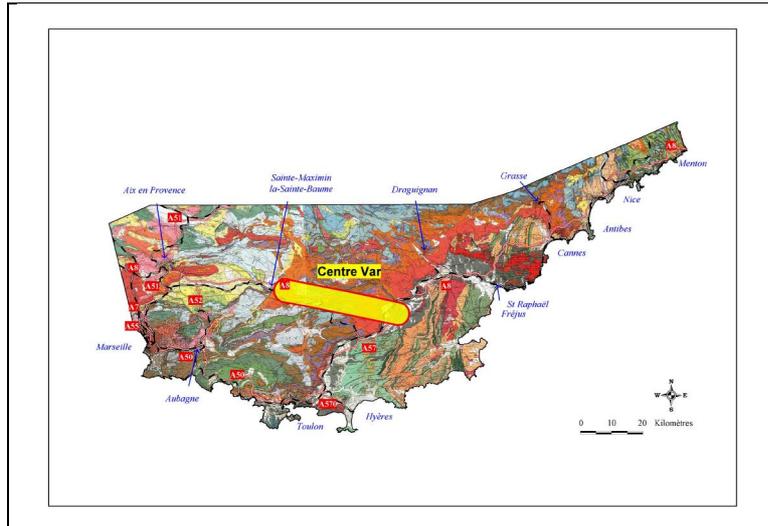
Catégorie • à , en faciès calcaire (têtes côté Ouest) ; catégorie *f* en faciès argileux (sorties côté Est). Un traitement architectural est à prévoir pour tous les ouvrages de tête..

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 442 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 44,2 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : CENTRE VAR

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Centre Var nécessite la construction de plusieurs tunnels pour permettre le franchissement de la cuesta marquant l'arrivée dans le sillon permien au Sud du Luc.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 4 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement recoupe d'abord la cuesta triasique du Luc pour s'inscrire ensuite dans le sillon permien. D'Ouest en Est, les terrains traversés correspondent ici aux calcaires et dolomies du Muschelkalk, aux grès bigarrés du Buntsandstein et aux pélites rouges du Permien.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Présence de karst dans les terrains du Muschelkalk.
- Stabilité des terrains schisteux plissé et fracturés.
- Venues d'eau possibles au contact avec le Permien dans des terrains fragilisés par la fracturation.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	27,0	%
P3	:	45,7	%
P4	:	21,4	%
P5	:	4,0	%
P6	:	1,9	%
P6'	:	-	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

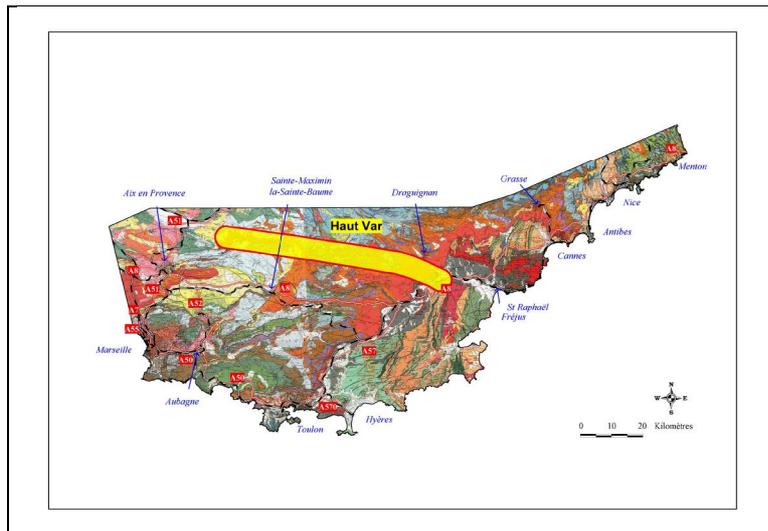
Catégorie • à dans les calcaires du Muschelkalk ; ailleurs catégorie , (terrains fracturés ou schisteux, éboulis en surface). Un traitement architectural est à prévoir pour tous les ouvrages de tête.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 176 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 44,0 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : HAUT VAR

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'aménagement du projet dans le Haut Var nécessite la réalisation de plusieurs tunnels en raison d'un relief de collines assez accidenté.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 10 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

D'Ouest en Est, l'aménagement s'inscrit d'abord au sein des reliefs jurassiques (calcaires et dolomies) de la terminaison Nord de l'unité de Sainte-Victoire ; ces terrains, charriés sur des formations tertiaires, sont très fracturés et plissés. Il traverse ensuite une succession de reliefs calcaréo-dolomitiques du Lias, également très fracturés, décollés sur le Trias gypseux (semelle de charriage) qui est recoupé en plusieurs endroits.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Terrains hétérogènes fortement tectonisés (mauvaise tenue à court terme).
- Franchissement des contacts tectoniques et des semelles de charriage injectés de Trias gypseux (terrains hétérogènes instables, risque de cavités et de venues d'eau en charge).
- Présence de karsts.
- Aléa sismique : zone Ib (partie Ouest de l'itinéraire).

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	8,4	%
P3	:	26,0	%
P4	:	27,0	%
P5	:	26,4	%
P6	:	10,7	%
P6'	:	1,5	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

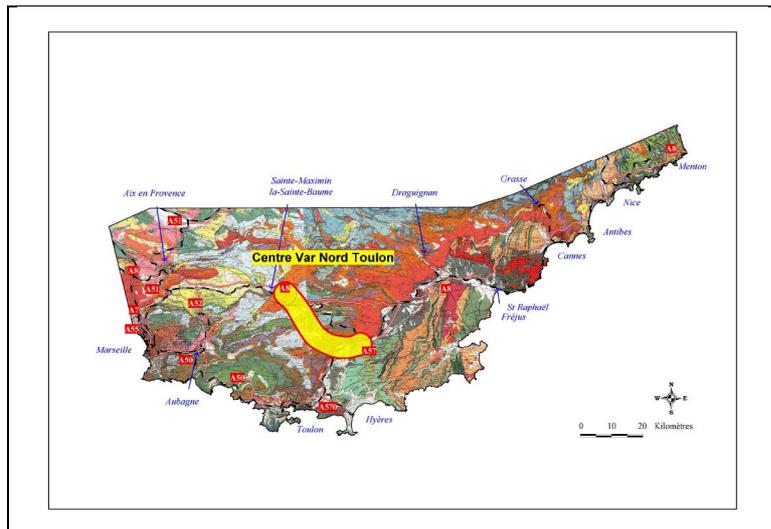
Catégorie , en règle générale (terrains fracturés). Un traitement architectural est recommandé dans la plupart des cas.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 529 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 52,9 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : CENTRE VAR – NORD TOULON

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Cet itinéraire nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir la montagne de la Loube, puis la barre de Rocbaron marquant l'entrée dans le sillon permien au Sud de Puget.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 11 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement traverse d'abord le massif de la Loube, formée de terrains jurassiques (calcaires, dolomies, marnes), décollés sur le Trias gypseux, et chevauchant vers le Nord sur les marnes et calcaires du Crétacé. Il recoupe ensuite la cuesta jurassique de Cuers avant de s'inscrire dans le sillon permien ; les terrains traversés, très fracturés, sont représentés successivement par les calcaires et dolomies du Lias, le Trias gypseux, les grès bigarrés (Trias inférieur) et les pélites rouges du Permien.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Traversée des dislocations tectoniques (front de chevauchement, semelle de décollement et de cisaillement) injectées de Trias gypseux (terrains hétérogènes instables, risque de cavités et de venues d'eau en charge).
- Karsts possibles dans les formations jurassiques.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	3,8	%
P2	:	5,2	%
P3	:	21,6	%
P4	:	33,2	%
P5	:	17,0	%
P6	:	12,2	%
P6'	:	7,0	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

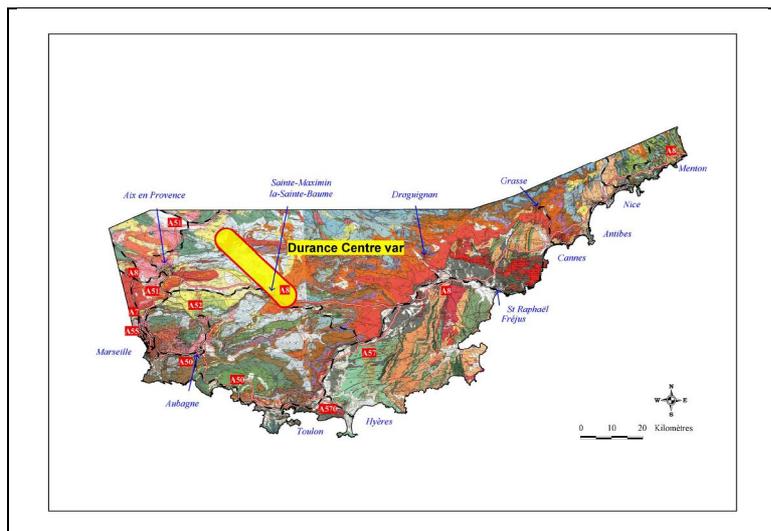
Majoritairement classés en catégorie , (terrains fortement fracturés). Traitement architectural recommandé (têtes orientées côté Est notamment).

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 586 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 53,3 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : DURANCE – CENTRE VAR

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

La liaison entre le Val de Durance et le Centre Var traverse un relief accidenté appartenant au massif de la Sainte-Victoire ; plusieurs tunnels sont donc nécessaires.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 9 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

Du Nord vers le Sud, l'aménagement traverse d'abord les structures jurassiques (calcaires, dolomies) plissées et charriées vers le Nord, rattachées à la terminaison septentrionale de l'unité de la Sainte-Victoire. Il s'inscrit ensuite à travers la série calcaréo-dolomitique du Jurassique supérieur du massif d'Ollières qui présente une structure monoclinale à pendage faible vers le Sud Ouest.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Terrains hétérogènes fortement tectonisés au Nord (mauvaise tenue à court terme).
- Karsts possibles localement, en particulier au droit des zones fracturées.
- Aléa sismique : zones Ib/Ia.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	18,3	%
P2	:	49,0	%
P3	:	23,0	%
P4	:	2,3	%
P5	:	5,0	%
P6	:	1,4	%
P6'	:	1,0	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

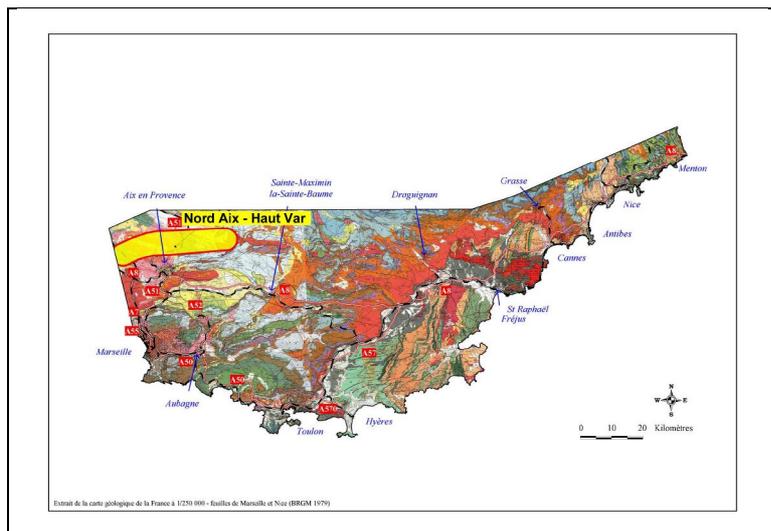
Catégories • à  $f$  en fonction du degré de fracturation de la roche. Traitement architectural à prévoir pour tous les ouvrages de tête.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 364 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 40,5 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : NORD AIX – HAUT VAR

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Nord Aix – Haut Var nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir le massif de la Trévaresse et les reliefs situés au Nord de la montagne Sainte Victoire.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 11 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement franchit la Cuesta calcaire oligocène de la Trévaresse, puis les reliefs formés par les assises calcaires du Crétacé inférieur du Bois du Ligourès et du Grand Sambuc où elles sont affectées d'une intense fracturation.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Traversées des zones de fractures (karsts possibles) et des accidents tectoniques.
- Risque de venue d'eau en charge dans des roches décohésionnées par la fracturation.
- Stabilité des faciès sableux (Trévaresse).
- Aléa sismique : zone II, zone Ib localement.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	21,0	%
P2	:	23,5	%
P3	:	18,5	%
P4	:	13,2	%
P5	:	16,0	%
P6	:	6,8	%
P6'	:	1,0	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

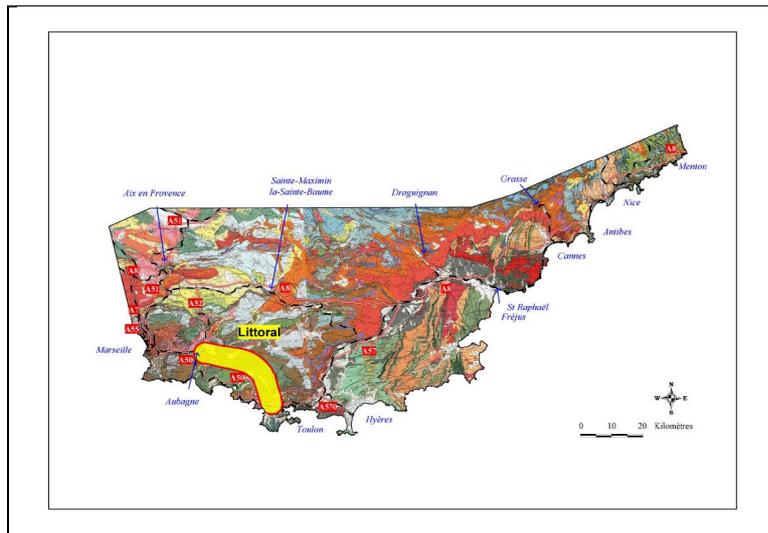
Catégorie • à , en fonction du degré de fracturation de la roche. Traitement architectural à prévoir localement (Cuesta de la Trévaresse).

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 514 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 46,7 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : LITTORAL

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Littoral nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir les reliefs accidentés qui séparent les agglomérations marseillaise et toulonnaise (contreforts du massif de la Sainte Baume côté Marseille, Gros cerveau et Mont Caume côté Toulon).

Leur longueur cumulée est estimée à environ 15 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

De Marseille vers Toulon, l'aménagement traverse successivement les reliefs formés par les calcaires urgoniens qui délimitent le massif de la Sainte-Baume du bassin du Beausset, puis recoupe le massif du Gros Cerveau. Cet édifice, rattaché à l'unité de Bandol, est formé principalement de calcaires jurassiques et crétacés. Cette série est plissée, décollée sur le Trias gypseux, et charriée vers le Nord sur le bassin du Beausset : la déformation y est intense, notamment au Sud où l'ouvrage recoupe un empilement d'écaillés tectoniques triassiques.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Présence de karsts possible dans les faciès calcaires.
- Traversée des contacts de chevauchement et des écaillés triassiques du massif du Gros Cerveau (terrains disloqués, hétérogènes et potentiellement instables).

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	7,4	%
P2	:	16,0	%
P3	:	31,8	%
P4	:	8,8	%
P5	:	16,4	%
P6	:	15,7	%
P6'	:	3,9	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

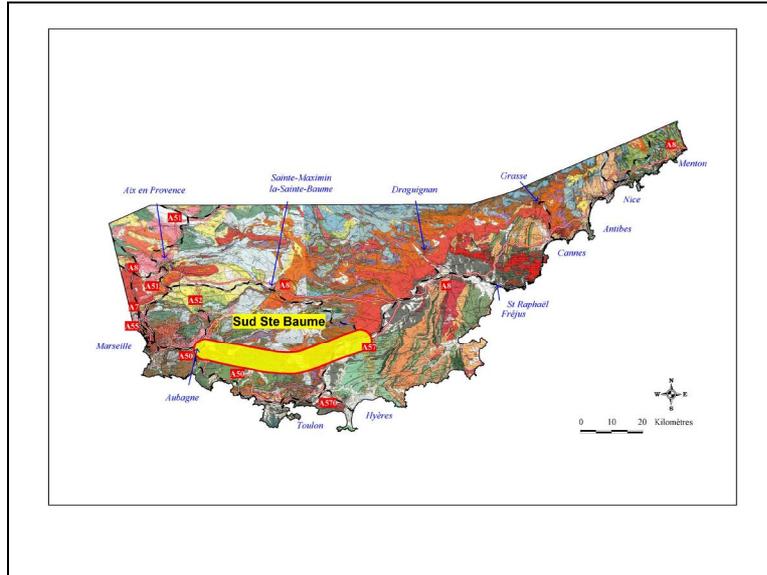
Majoritairement classés en catégorie , (terrains fracturés). Un traitement architectural est à prévoir dans tous les cas.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 733 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 48,9 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : SUD SAINTE-BAUME

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Sud Sainte Baume nécessite un linéaire important de tunnels pour franchir toute la partie Sud du massif qui se caractérise par un relief montagneux. Un ouvrage exceptionnel (L = 14 km) est nécessaire pour franchir le plateau du Siou Blanc. A l'Est, l'itinéraire s'achève dans le sillon permien.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 28 km.

Il s'agit de tunnels monotube, sauf pour l'ouvrage central (L = 14 km) qui est prévu en bitubes.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement s'inscrit, parallèlement à la direction structurale, dans la série calcaire jurassico – crétacée de la bordure Nord du bassin du Beausset ; cette série, charriée vers le Nord sur les formations de la Sainte-Baume, présente une importante fracturation (NE-SW et NW-SE) qui a favorisé le développement de phénomènes karstiques. A l'Est, l'itinéraire traverse un synclinal liassique (calcaire et dolomies) faillé sur ses bordures, et s'achève dans le sillon permien après avoir traversé le Trias gypseux et les calcaires et les dolomies du Muschelkalk.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Traversée des zones disloquées par la fracturation (terrains décohésionnés, instables, risque de venue d'eau en charge).
- Franchissement des karsts : l'existence de réseaux actifs est possibles à la cote du projet.
- Franchissement du Trias gypseux à l'Est : terrains tectonisés hétérogènes instables, vides de dissolution possibles.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	5,7	%
P2	:	17,5	%
P3	:	33,0	%
P4	:	17,0	%
P5	:	18,0	%
P6	:	8,0	%
P6'	:	0,8	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

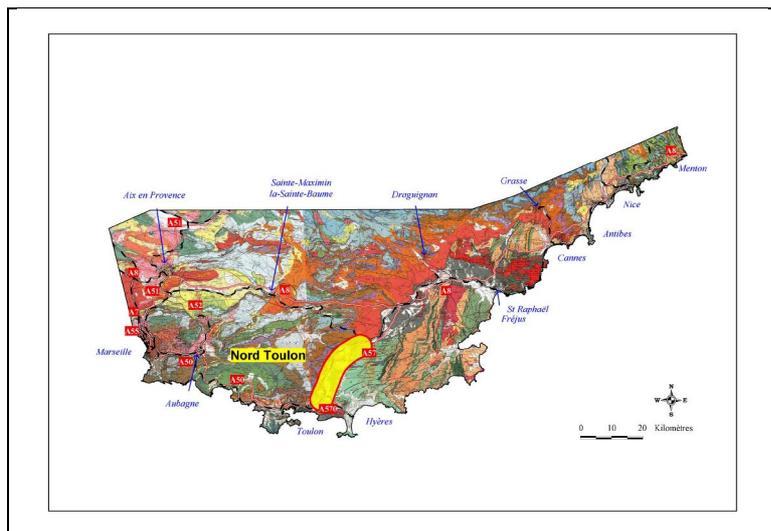
Majoritairement classés en catégorie , (terrains fracturés). Un traitement architectural est recommandé dans tous les cas.

### Ø EVALUATION DU COUT

	Monotube 1 – 8 km	Bitube – 14 km	Monotube 2 – 6 km
Coût global	339 M€ H.T.	1 008 M€ H.T.	264 M€ H.T.
Coût kilométrique moyen	42,4 M€ H.T. / km	72,0 M€ H.T. / km	44,0 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : NORD TOULON

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Nord Toulon nécessite la construction d'environ 2 km de tunnels pour franchir les reliefs au Sud de Carnoules.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

Le relief de collines traversé est constitué de terrains primaires schisteux (formation des phyllades bleues du Réal Martin) ; ces collines constituent les contreforts occidentaux du socle cristallin du massif des Maures.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Pas de difficulté particulière, mais l'on est en présence de terrains schisteux plissés et fracturés.
- Schistosité recoupée travers bancs.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	60,0	%
P3	:	40,0	%
P4	:	-	%
P5	:	-	%
P6	:	-	%
P6'	:	-	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

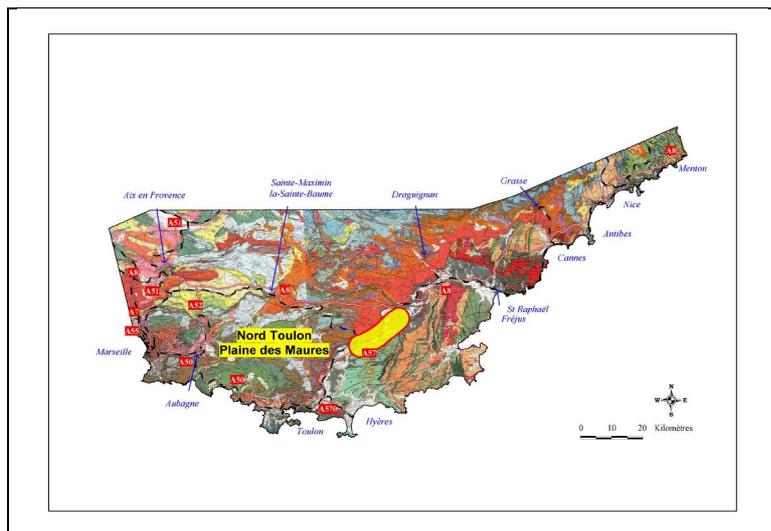
Catégorie , (terrains schisteux ± altérés) ; un traitement architectural est recommandé.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 82 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 41,0 M€ H.T. / km

ITINERAIRE : NORD TOULON – PLAINE DES MAURES

Ø SITUATION



Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Nord Toulon – Plaine des Maures nécessite la construction d'environ 2 km de tunnels pour franchir les reliefs au Sud de Gonfaron.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

Ø GEOLOGIE

L'aménagement traverse un relief de collines formées de terrains primaires schisteux (phyllades détritiques de Carmaures) affectés de failles tardives Est-Ouest ; l'une d'entre elles met en contact cette formation avec les pélites gréseuses du Permien.

Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Terrains schisteux plissés et fracturés : la schistosité peut prendre une orientation défavorable à la stabilité localement,
- Franchissement des zones de failles : roche fragilisée ; circulations d'eau possibles.

Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	27,0	%
P3	:	49,4	%
P4	:	23,6	%
P5	:	-	%
P6	:	-	%
P6'	:	-	%

Ø OUVRAGES DE TETE

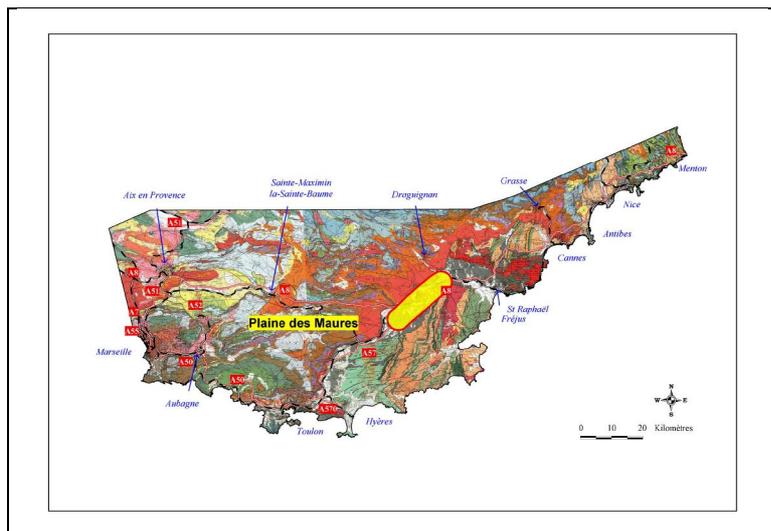
Catégorie , (altération des schistes, éboulis) ; un traitement architectural est recommandé.

Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 87 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 43,5 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : PLAINE DES MAURES

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

L'itinéraire Plaine des Maures nécessite la construction d'environ 1 km de tunnel pour franchir les reliefs au Sud des Arcs.

Il s'agit d'un ouvrage monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'ouvrage traverse un édifice formé de terrains métamorphiques primaires, représentés par des micaschistes injectés de matériel granitique, recoupés par un granite aplitique qui constitue l'ossature du relief. Sur les bordures, des failles mettent en contact ces terrains avec les pélites du Permien.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Terrains schisteux plissés intensément déformés et fracturés : les anisotropies de la roche peuvent prendre des orientations défavorables à la stabilité.
- Traversée des zones de contact avec le granite intrusif (terrains hétérogènes fortement anisotropes).
- Stabilité des terrains de couverture et d'altération aux entrées en terre.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	25,0	%
P3	:	-	%
P4	:	65,0	%
P5	:	10,0	%
P6	:	-	%
P6'	:	-	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

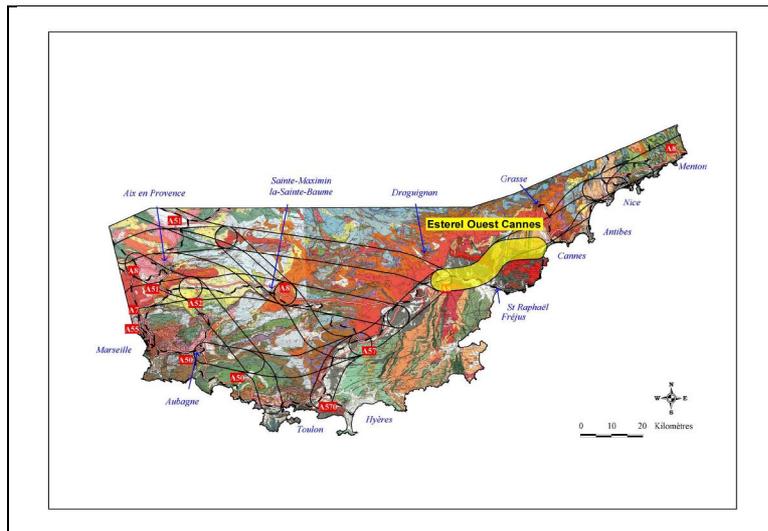
Catégorie , (terrains altérés recouverts d'alluvions) ; un traitement architectural est recommandé.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global et kilométrique : 43,0 M€ H.T.

## ITINERAIRE : ESTEREL – OUEST CANNES

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Dans l'hypothèse d'un raccordement de la LGV PACA sur la ligne existante à l'Ouest de Cannes, le franchissement du massif de l'Esterel nécessite la construction de plusieurs tunnels.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 12 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement emprunte le corridor formé par la dislocation stéphano-permienne qui isole les massifs de Tanneron et de l'Esterel. Les terrains concernés sont variés et hétérogènes : schistes et grès houillers, grès et roches volcaniques (rhyolite) du Permien, gneiss mylonitiques et roches métamorphiques catazonales. L'ensemble est fortement fracturé.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Tenue des terrains dans les zones de failles et de contacts tectoniques.
- Stabilité du manteau d'altération au niveau des têtes.
- Hétérogénéité de comportement des terrains carbonifères (niveau charbonneux, grès, schistes argileux).
- Aléa sismique : zones Ia / Ib.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	8,5	%
P3	:	35,0	%
P4	:	45,5	%
P5	:	9,0	%
P6	:	2,0	%
P6'	:	-	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

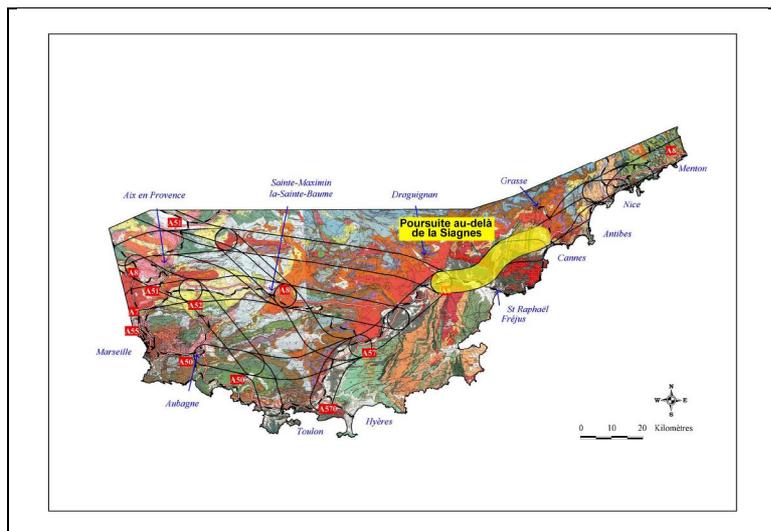
Catégorie , (terrains schisteux ± altérés et fracturés) ; un traitement architectural est à prévoir pour tous les ouvrages de tête.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 597 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 49,8 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : POURSUITE AU-DELA DE LA SIAGNE

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Dans l'hypothèse d'un raccordement de la LGV PACA au-delà de la vallée de la Siagne, le franchissement des reliefs du massif de l'Estérel puis du Tanneron nécessite la construction de plusieurs tunnels.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 12 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

L'aménagement emprunte d'abord la dislocation stéphano-permienne du Reyran (gneiss mylonitiques, schistes, conglomérats et grès) puis traverse le massif métamorphique de Tanneron (gneiss, migmatites, micaschistes). La structure des terrains métamorphiques s'exprime par une foliation redressée d'orientation méridienne et par une fracturation tardive N – S et E – W.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Tenue des terrains métamorphiques dans les zones fracturées (roche cataclasée).
- Stabilité du manteau d'altération en configuration aval pendage (ouvrages de tête).
- Hétérogénéité de comportement des terrains carbonifères avec présence de niveaux charbonneux.
- Aléa sismique : zones Ia / Ib.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	17,6	%
P2	:	35,0	%
P3	:	30,5	%
P4	:	11,6	%
P5	:	4,5	%
P6	:	0,8	%
P6'	:	-	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

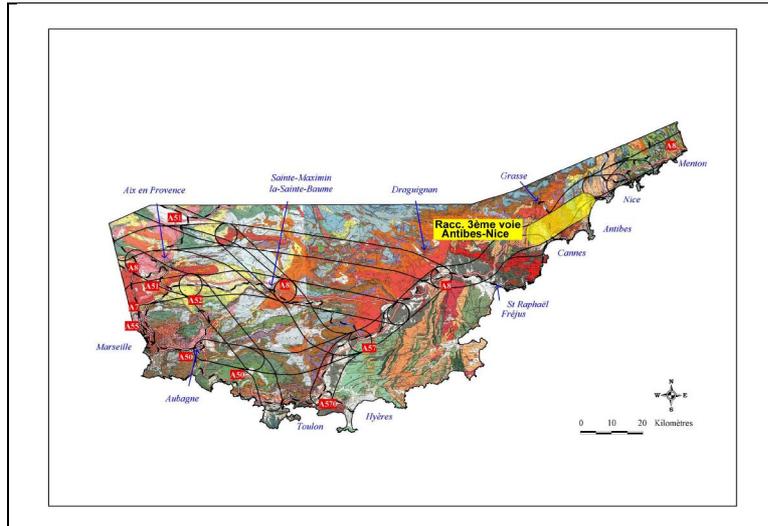
Catégorie , (roches schisteuses ± altérées en surface) ; un traitement architectural est recommandé, notamment au débouché sur la vallée de la Siagne.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 524 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 43,7 M€ H.T. / km

ITINERAIRE : RACCORDEMENT 3<sup>eme</sup> VOIE ANTIBES / NICE

Ø SITUATION



Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Au-delà de la vallée de la Siagne, le prolongement de la LGV jusqu'à la 3<sup>eme</sup> voie Antibes – Nice nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir les collines de Valbonne et les zones urbaines denses.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 15 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

Ø GEOLOGIE

D'Ouest en Est, l'aménagement recoupe le socle métamorphique gneissique, puis la couverture sédimentaire du Trias (grès, calcaires et dolomies, argiles, gypse) et du Jurassique (marnes calcaires et dolomies) ; cette série, légèrement plissée, présente un pendage général vers l'Est et une fracturation NNE – SSW. Il se poursuit ensuite à travers un épandage de conglomérat andésitique miocène, surmonté d'argiles et conglomérats pliocènes, eux-mêmes recouverts d'un manteau loessique à l'extrémité Est de l'ouvrage.

Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Traversée des terrains du Trias gypseux (terrains hétérogènes et instables, cavités de dissolution possibles).
- Franchissement des zones de failles, probablement karstifiées, qui affectent les terrains du Jurassique et du Muschelkalk (forte fracturation, risque de cavités et de venues d'eau).
- Stabilité des terrains argileux du Pliocène et du recouvrement loessique.
- Aléa sismique : zones Ib/II.

Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	15,7	%
P3	:	32,5	%
P4	:	14,3	%
P5	:	27,0	%
P6	:	9,2	%
P6'	:	1,3	%

Ø OUVRAGES DE TETE

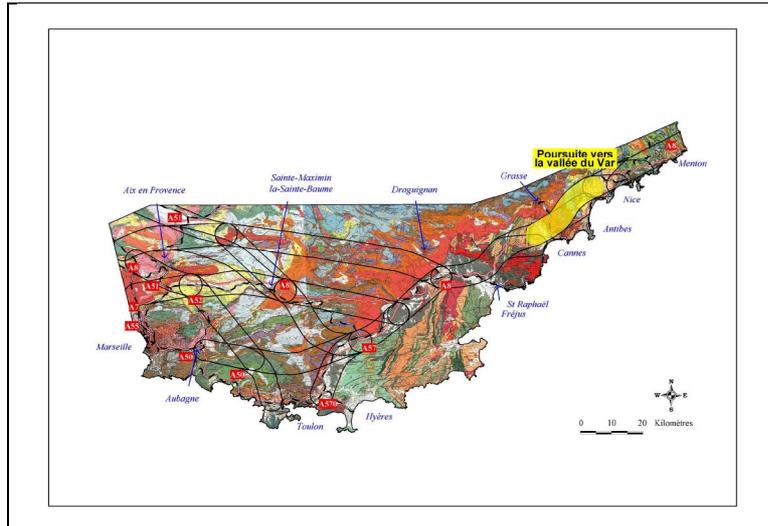
Catégorie *f* (rocher fracturé) et catégorie *f* (terrain argileux). Un traitement architectural est recommandé pour tous les ouvrages de tête.

Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 741 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 49,4 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : POURSUITE à VALLEE DU VAR

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Au-delà de la vallée de la Siagne, le prolongement de la LGV jusqu'à la vallée du Var nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir les reliefs et les zones urbaines denses qui se développent entre les deux vallées.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 20 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

D'Ouest en Est, l'aménagement recoupe le socle métamorphique gneissique, puis la couverture sédimentaire du Trias (grès, calcaires et dolomies, argiles, gypse) et du Jurassique (marnes calcaires et dolomies) ; cette série décrit localement un synclinal à cœur tertiaire (marnes éocènes), puis une structure anticlinale jurassique (dolomies). Il s'achève à l'Est dans les formations pliocènes du delta du Var (argiles et conglomérats). La série jurassique est affectée à des degrés divers par une fracturation N-S.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Traversée des terrains du Trias gypseux (terrains hétérogènes et instables, cavités de dissolution possibles).
- Franchissement des zones de failles, probablement karstifiées, qui affectent les terrains du Jurassique et du Muschelkalk (forte fracturation, risque de cavités et de venues d'eau).
- Stabilité des terrains argileux (Eocène, Pliocène).
- Aléa sismique : zone Ib/II.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	3,2	%
P2	:	14,0	%
P3	:	19,6	%
P4	:	17,2	%
P5	:	35,0	%
P6	:	9,5	%
P6'	:	1,5	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

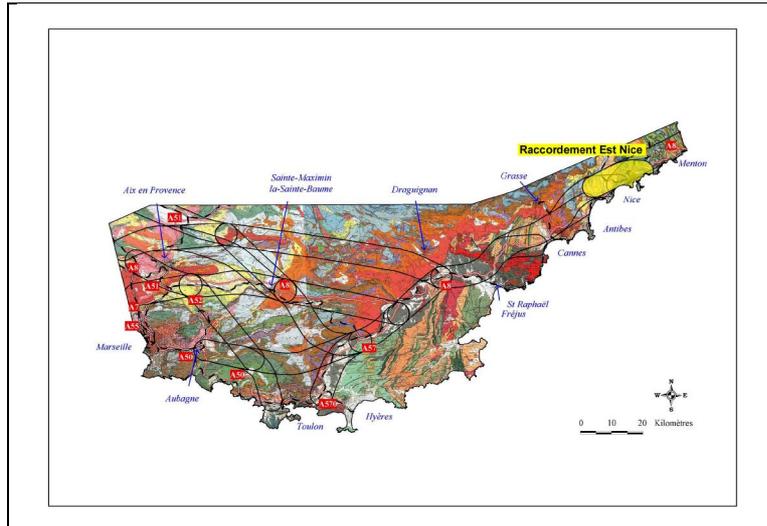
Catégorie • en rocher franc, catégorie , en rocher fracturé et catégorie *f* en terrain argileux. Un traitement architectural est à prévoir dans la majorité des cas.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 992 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 49,6 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : RACCORDEMENT EST NICE

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Au-delà de la vallée du Var, le prolongement de la LGV jusqu'à l'Est de Nice nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir les reliefs niçois et les zones urbaines denses.

Leur longueur cumulée est estimée à environ 11 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

D'Ouest en Est, l'aménagement recoupe d'abord la série plio-quadernaire des conglomérats du Var, puis s'inscrit à travers l'édifice subalpin de l'arc de Nice. Cet édifice est constitué d'une série principalement calcaréo-marneuse, allant du Trias supérieur gypseux au Crétacé supérieur marneux, intensément déformée par une évolution tectonique en chevauchements vers l'WSW et vers le Sud ; cette évolution s'exprime par un empilement d'écaillés superposées décollées sur le Trias. Vers le littoral, l'ensemble est fortement plissé et disloqué par des cisaillements NW-SE.

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Franchissement des contacts tectoniques et surfaces de chevauchement injectées de Trias gypseux qui affectent la série secondaire de l'arc de Nice (forte fracturation, risque de venues d'eau en charge dans des terrains désorganisés par la tectonique).
- Stabilité des terrains argilo-marneux du Crétacé.
- Stabilité du manteau d'éboulis et d'altération au niveau des têtes.
- Aléa sismique : zone II.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	-	%
P3	:	22,8	%
P4	:	18,0	%
P5	:	35,5	%
P6	:	15,4	%
P6'	:	8,3	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

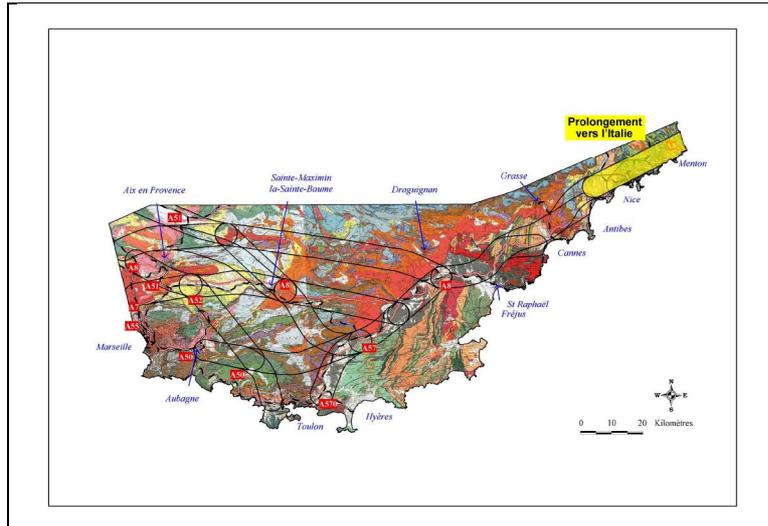
Majoritairement classés en catégorie *f* (terrains potentiellement instables). Un traitement architectural est à prévoir pour tous les ouvrages de tête.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 625 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 56,8 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : PROLONGEMENT JUSQU'EN ITALIE

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

La poursuite du projet jusqu'en Italie implique la construction de plusieurs tunnels pour franchir les reliefs montagneux de la Riviera (terminaison des arcs alpins de Nice et de la Roya).

De la vallée du Var à la frontière italienne, leur longueur cumulée est estimée à environ 23 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

D'Ouest en Est, l'aménagement recoupe d'abord la série plio-quadernaire des conglomérats du delta du Var, puis traverse les reliefs subalpins des Arcs de Nice et de la Roya ; ces reliefs sont constitués par un empilement d'unités jurassico-crétacées décollées au niveau du Trias gypseux (Keuper), et chevauchantes vers l'Ouest et le Sud. La série calcaréo-marneuse jurassico-crétacée y est fortement déformée par la superposition de plissements, cisaillements et failles tardives. Ces structures isolent localement un synclinal tertiaire marneux (synclinal de Menton).

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Franchissement des contacts tectoniques et surfaces de chevauchements injectées du Trias gypseux (terrains tectonisés potentiellement instables, risque de venues d'eau en charge, risque de cavités de dissolution dans le gypse).
- Stabilité des terrains argilo-marneux du Crétacé et du Tertiaire.
- Stabilité du manteau d'éboulis et d'altération au niveau des têtes.
- Aléa sismique : zone II.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	-	%
P3	:	12,0	%
P4	:	15,4	%
P5	:	45,6	%
P6	:	19,8	%
P6'	:	7,2	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

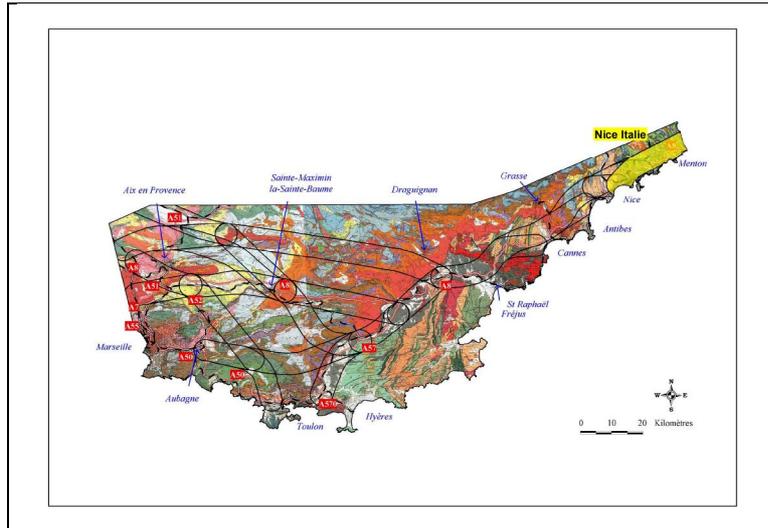
Majoritairement classés en catégorie *f* (terrains potentiellement instables). Un traitement architectural est à prévoir pour tous les ouvrages de tête.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 1 359 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 59,1 M€ H.T. / km

## ITINERAIRE : NICE à ITALIE

### Ø SITUATION



### Ø PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Au départ de Nice, la création d'une LGV jusqu'en Italie nécessite la construction de plusieurs tunnels pour franchir les reliefs montagneux de la Riviera (terminaison des arcs alpins de Nice et de la Roya).

De la Nice à la frontière italienne, leur longueur cumulée est estimée à environ 19 km.

Il s'agit d'ouvrages monotube.

### Ø GEOLOGIE

La liaison Nice-Italie traverse les reliefs subalpins des arcs de Nice et de la Roya ; ces reliefs sont constitués par un empilement d'unités jurassico-crétacées décollées au niveau du Trias gypseux (Keuper), et chevauchantes vers l'Ouest et le Sud. La série calcaréo-marneuse jurassico-crétacée y est fortement déformée par la superposition de plissements, cisaillements et failles tardives. Ces structures isolent localement un synclinal tertiaire marneux (synclinal de Menton).

### Ø CONTRAINTES - DIFFICULTES GEOTECHNIQUES

- Franchissement des contacts tectoniques et surfaces de chevauchements injectées du Trias gypseux (terrains tectonisés potentiellement instables, risque de venues d'eau en charge, risque de cavités de dissolution dans le gypse).
- Stabilité des terrains argilo-marneux du Crétacé et du Tertiaire.
- Stabilité du manteau d'éboulis et d'altération au niveau des têtes.
- Aléa sismique : zone II.

### Ø REPARTITION PROFILS TYPE

P1	:	-	%
P2	:	-	%
P3	:	-	%
P4	:	11,7	%
P5	:	53,2	%
P6	:	26,0	%
P6'	:	9,1	%

### Ø OUVRAGES DE TETE

Tous les ouvrages de tête sont classés en catégorie *f* (terrains potentiellement instables). Un traitement architectural est à prévoir dans tous les cas.

### Ø EVALUATION DU COUT

Coût global : 1 191 M€ H.T.  
Coût kilométrique moyen : 62,7 M€ H.T. / km