

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



Comparaison des méthodes d'estimation des études précédentes

Juin 2008



marseille barcelone toulon lyon nice paris monaco gènes Antibes Londres Bruxelles Milan



marseille milan nice montpellier amsterdam les arcs lyon aubagne bordeaux aix-en-provence toulon



Etudes complémentaires suite au Débat Public

Méthodologie :
Point sur les méthodes d'estimation et hypothèses utilisées dans
les études antérieures

Version E
Octobre 2007

SOMMAIRE

Objectif et contenu	3
Contenu de la note	3

PARTIE 1. METHODES ET HYPOTHESES EMPLOYEES PAR LES DIFFERENTES ETUDES ANTERIEURES..... 4

1.	RAPPEL DES ETUDES ANTERIEURES	4
2.	METHODOLOGIE DES ETUDES ANTERIEURES	5
2.1.	Etudes SCETAUROUTE	5
2.2.	Etudes SETEC	9
2.3.	Synthèse de RFF	10
2.4.	EtudesBG / GM	10
	LES COUTS PRIS DANS LES ETUDES ANTERIEURES	11
3.	11	
3.1.	Conditions économiques	11
3.2.	Frais de MO , MOE , SAV et PPR	11
3.2.1.	Etudes SCETAUROUTE	11
3.2.2.	Etudes SETEC	11
3.2.3.	Synthèse RFF	12
3.2.4.	Etudes BG / GM	12
3.3.	Coût de la section courante hors ouvrages d'art non courants	12
3.3.1.	Etudes SCETAUROUTE	12
3.3.2.	Etudes SETEC	12
3.3.3.	Autres études sous maîtrise d'ouvrage RFF concernant les aménagements sur le réseau classique	13
3.3.4.	Etudes BG / GM	13
3.4.	Coût des viaducs	14
3.4.1.	Etudes SCETAUROUTE	14
3.4.2.	Etudes SETEC	14
3.4.3.	Etudes BG / GM	15
3.5.	Coût des tunnels	15
3.5.1.	Etudes SCETAUROUTE	15
3.5.2.	Etudes SETEC	16
3.5.3.	Etudes BG / GM	20
3.5.4.	Prix retenus par RFF	22
3.6.	Coût des équipements ferroviaires	23
3.6.1.	Etudes SCETAUROUTE	23
3.6.2.	Etudes SETEC	23
3.6.3.	Etudes BG / GM	23
3.7.	Coût des raccordements entre lignes ferroviaires	24
3.7.1.	Etudes SCETAUROUTE	24
3.7.2.	Etudes SETEC	25
3.7.3.	Etudes BG / GM	25
3.8.	Coût des gares	25
3.8.1.	Etudes SCETAUROUTE	25
3.8.2.	Etudes SETEC	25
3.8.3.	Etudes AGAM-MPM et AUdat	26
4.	CONCLUSION DE LA PARTIE 1	27

OBJECTIF ET CONTENU

La prestation vise à comparer le coût de l'ensemble des scénarii réalisés lors des études antérieures et de l'expertise active, dans le cadre de la LGV PACA.

CONTENU DE LA NOTE

La présente note est la première partie du volet de définition de la méthodologie d'estimation qui doit permettre de comparer le coût des scénarii envisagés dans le cadre de la LGV PACA de façon homogène. Elle porte sur les méthodes et hypothèses utilisées lors des études antérieures

La deuxième partie de ce volet est constitué de la présentation de la méthode générale et unique qui sera utilisée pour la ré-estimation de tous les scénarii afin d'établir des estimations cohérentes autorisant les comparaisons relatives

L'estimation elle-même est donnée dans la partie II-1 du présent rendu (« résultats généraux - estimations »).

Partie 1. Méthodes et hypothèses employées par les différentes études antérieures

1. RAPPEL DES ETUDES ANTERIEURES

L'analyse des méthodes et des hypothèses portent sur les études antérieures suivantes :

Intervenants :

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

Les études menées pour le compte de :

- L'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Marseillaise (AGAM) et la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole (CUMPM),
- L'Agence d'Urbanisme de l'Aire Toulonnaise (AUdat) :

ont été réalisées par BONNARD & GARDEL Ingénieurs Conseils et GM consultants (nommé ci-après BG/GM).

Etudes :

- SCETAUROUTE :
 - o « Rapport d'études techniques - Ligne à Grande Vitesse en région PACA », novembre 2004 (SCET) ;
- SETEC :
 - o « Esquisse de variantes en souterrain sous Marseille et Toulon », mai 2004 (SETEC1),
 - o « Esquisse de nouvelles variantes desservant le triangle Aix-Marseille - Aubagne », Septembre 2004 (SETEC2),
 - o « Etude d'aménagement de la traversée de Marseille », Janvier 2005 (SETEC3),
 - o « Evaluation du coût des tunnels », nov. 2004 (SETEC4).

A noter que RFF a emprunté à ces deux ensembles d'étude pour sa synthèse : « Synthèse des études techniques de la ligne nouvelle », Janvier 2005.

- BG / GM :

Etudes sous Maîtrise d’Ouvrage AGAM /MPM :

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

Etudes sous Maîtrise d’Ouvrage AUdat /TPM :

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

2. METHODOLOGIE DES ETUDES ANTERIEURES

2.1. Etudes SCETAUROUTE

Pour évaluer les coûts du projet, des « cartes de coûts » ont été établies sur la totalité de l’aire d’étude.

Compte tenu des caractéristiques spécifiques de celle-ci (topographie, occupation des sols, géologie et hydrographie, contraintes environnementales,...), les coûts sont principalement liés :

- à la nécessité de devoir réaliser des ouvrages exceptionnels (tunnels, viaducs),
- à l’importance des postes terrassements,

- au dégagement des emprises, y compris acquisitions foncières.

A partir du recueil des données et à partir d'une base de données comprenant des ratios de coûts issus de projets ferroviaires antérieurs (LGV Méditerranée, LGV Rhône Alpes, LGV Nord), nécessairement adaptés aux spécificités régionales, les principales causes de variation des coûts d'investissement du projet sont identifiées et valorisées.

L'estimation des coûts de construction (génie civil) est découpée en 11 macro-prix :

NIVEAUX	MACROPRIX
1	Acquisitions foncières - Dégagement des emprises
2	Réseaux et servitudes
3	Volumes de terrassements (Déblais et remblais)
4	Déséquilibres du mouvement des terres (déficits ou excédents)
5	Besoins en matériaux nobles
6	Difficultés géotechniques
7	Hydraulique - Drainage
8	Tunnels
9	Viaducs
10	Ouvrages d'art courants
11	Alimentation électrique

A partir de la cartographie des coûts, les différents itinéraires sont estimés sommairement et avec le même degré de précision. Ainsi, chaque section de LGV fait au préalable l'objet d'une analyse pour déterminer le linéaire propre à chaque catégorie : pour cela l'itinéraire est repéré sur la synthèse de la carte des coûts ainsi que sur ses différents niveaux.

Afin d'obtenir une meilleure estimation, certains niveaux de la carte des coûts sont complétés par des informations essentielles, telles que :

- la longueur de viaduc,
- la longueur de tunnel,
- les volumes de terrassements,
- dans certains cas : des sujétions particulières (matériaux nobles, OH, ...).

L'estimation de ces points particuliers repose sur les mêmes principes que la carte des coûts, seule la précision des métrés appliqués aux ratios est affinée.

En plus de ces coûts calculés à partir des cartes de macro prix, certains postes ont été estimés de façon spécifique :

- **Les dépenses de construction des équipements ferroviaires** (pose de la voie et du ballast, signalisation, caténaires et sous-stations, télécommunications, bâtiments), relativement indépendantes de leur localisation géographique n'ont pas fait l'objet d'un macroprix spécifique et ne sont donc pas prises en compte dans la carte de synthèse des coûts (ratio kilométrique global indépendant de la localisation géographique).
- **Les coûts des gares voyageurs** ont été pris en compte ultérieurement, de façon individualisée.
- **Le coût des mesures d'intégration du projet dans l'environnement** (protections acoustiques, aménagements paysagers, ...) n'a pas fait l'objet d'un macro prix spécifique. En effet, au stade actuel de l'étude d'opportunité, les mesures de réduction des impacts environnementaux ne peuvent être évaluées précisément. La définition de ces mesures est dépendante des phases de concertation ultérieures.

Les prix finaux établis dans le cadre des études Scetauroute, et repris pour partie au débat public comprennent en plus des éléments suscités:

- + Frais de MO / MOE : estimés forfaitairement à 12% du coût des travaux
 - + SAV : 6% des coûts de construction de la section courante et 20% des coûts de construction des sections en tunnels
- Enfin, une provision pour risques d'environ 13% a également été rajoutée pour chaque scénario présenté au débat public.

Niveau par niveau (macro prix par macro prix), les cartes des coûts mettent en évidence les lieux de passage de l'infrastructure les plus favorables vis-à-vis de chacun des critères d'analyse.

Les différents macro-prix pris en compte dans les niveaux de la carte sont définis dans le tableau suivant :

NIVEAUX	POSTES/NATURE DE TRAVAUX	MACROPRIX
1	Acquisitions foncières	<ul style="list-style-type: none"> · Acquisitions foncières · Dégagement des emprises · Acquisition et démolition de bâtis · Réaménagement · Occupations temporaires · Archéologie
2	Réseaux et servitudes	<ul style="list-style-type: none"> · Déplacement des réseaux · Servitudes minières
3	Volumes de terrassements	<ul style="list-style-type: none"> · Préparation et installation de chantier · Extraction (y compris décapage terre végétale) · Remblais (y compris traitements) · Assises
4	Déséquilibres du mouvement des terres	<ul style="list-style-type: none"> · Dépôts · Emprunts · Transport des matériaux
5	Besoins en matériaux nobles	<ul style="list-style-type: none"> · Fourniture et mise en œuvre de matériaux nobles
6	Difficultés géotechniques	<ul style="list-style-type: none"> · Dispositions confortatives
7	Hydraulique - Drainage	<ul style="list-style-type: none"> · Ouvrages hydrauliques · Drainage de la plate-forme ferroviaire
8	Tunnels	<ul style="list-style-type: none"> · Tunnels
9	Viaducs	<ul style="list-style-type: none"> · Viaducs
10	Ouvrages d'art courants	<ul style="list-style-type: none"> · Ouvrages d'art courants · Chaussée et équipements des rétablissements de communication
11	Alimentation électrique	<ul style="list-style-type: none"> · Connexion au réseau RTE

2.2. Etudes SETEC

Les études de SETEC ont utilisé des ratios de coûts issus de projets similaires, tels que :

- La LGV Rhin-Rhône, la LGV Perpignan-Figueras et les études de la liaison LGV Lyon-Turin, pour les estimations de l'étude **SETEC2**,
- L'élargissement de la voie Aix-Marseille, Lyon-Turin ferroviaire, la LGV Perpignan-Figueras, la LGV Rhin-Rhône, le tunnel sous la Manche, le tunnel Saint Gothard en Suisse et le tunnel de Groene Hart en Hollande pour les estimations de l'étude **SETEC3**.

L'évaluation des tunnels a été réalisée à partir de macro-prix appliqués aux ouvrages linéaires.

Les ouvrages linéaires suivant incluant les dépenses suivantes sont ainsi distingués :

- L'excavation et le soutènement des ouvrages linéaires ;
- L'étanchéité et le revêtement ;
- Les réseaux d'exhaure et d'équipements de sécurité ;
- Les reconnaissances à l'avancement ;

Auxquels, il est ajouté les ouvrages non ponctuels :

- Les ouvrages de tête ;
- Les ouvrages spécifiques : niches de sécurité, niches pour tendeur, by-pass ou galeries de secours ;
- Les ouvrages extérieurs de sécurité et d'exploitation et en particulier les accès, les bâtiments, les locaux techniques, les bassins incendie ;
- Les équipements de sécurité : éclairage, balisage, signalisation ;
- Les reconnaissances préalables (sondages, galerie de reconnaissance si nécessaire).

SETEC réalise une évaluation des ouvrages linéaires à partir d'une hypothèse géotechnique des ensembles géomorphologiques homogènes.

Les autres ouvrages à réaliser sont intégrés sous forme d'un pourcentage de la totalité du coût de construction des ouvrages linéaires. Ce pourcentage s'élève à 80 - 85% intégrant les sommes à valoir usuellement retenues à hauteur de 20% pour ce niveau d'étude.

2.3. Synthèse de RFF

L'estimation du coût de la ligne nouvelle de RFF est basée sur les études réalisées :

- Par le bureau d'études SCETAUROUTE pour la plupart des études de la ligne nouvelle ;
- Par le bureau d'études SETEC pour le volet spécifique aux tunnels et pour la recherche de solutions de création d'une ligne nouvelle dans les agglomérations de Marseille et Toulon.

2.4. EtudesBG / GM

Les estimations réalisées par BG / GM sont essentiellement basées sur les prix d'ordre retenus par RFF pour le chiffrage des scénarios qu'il a présentés au débat public.

Elles sont basées sur les deux principes suivants :

- Globalisation des estimations RFF (sans considérer l'avant-métré des ouvrages par exemple...), pour les secteurs de tracé nouveau comparable à la cohérence utilisée
- Utilisation des mêmes macro-prix unitaires que RFF, SCETAUROUTE ou SETEC ont utilisé pour les secteurs où projets sont a priori comparables.

Quatre secteurs sont distingués :

Secteur de la traversée de Marseille (des Tuileries à la gare LGV de St Marcel incluse)

Les prix d'aménagement de la traversée de Marseille donnés par l'étude de SETEC3 ont servi de référence.

Secteur de la vallée de l'Huveaune (de St Marcel à la trémie de débranchement de la 3ème voie vers Aubagne incluse) :

Les différences entre les projets de référence SETEC3 et ceux étudiés par BG / GM ont conduit ce BE à utiliser les prix issus des études SETEC3 corrigés par extrapolation et d'autre prix de références et expériences propres.

Tronçon Aubagne - Cuers :

L'itinéraire Sud Ste Baume étudié par SCETAUROUTE, proche du tracé AMTN, sert de référence pour le calcul des coûts des ouvrages tunnels sur le tronçon Aubagne-Cuers.

Le coût des tunnels a été déduit des coûts de tunnel de SETEC (« Evaluation du coût des tunnels », nov. 2004 adaptés pour tenir compte de la différence des vitesses de projet (270 km/h dans les études de BG et 300 km/h dans les études de SETEC), et des différences de longueur de tunnels.

Au-delà de Cuers

Les prix de l'estimation RFF sont intégralement repris.

3. LES COUTS PRIS DANS LES ETUDES ANTERIEURES

3.1. Conditions économiques

Les estimations sont exprimées hors taxes aux conditions économiques de :

- janvier 2004 pour les rapports
 - o de SCETAUROUTE (SCET),
 - o « Evaluation du coût des tunnels » de SETEC,
 - o les études de BG (MPM1, MPM4, MPM5, TPM1 et TPM3),
 - o la synthèse RFF
- non précisé pour les études de SETEC (SETEC1, SETEC2 et SETEC3).

3.2. Frais de MO , MOE , SAV et PPR

3.2.1. Etudes SCETAUROUTE

Les **frais de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre** sont estimés forfaitairement à 12 % du coût des travaux. Ils ne sont pas inclus dans les ratios présentés sur la carte de synthèse des coûts.

Les **sommes à valoir** ne sont pas incluses dans la carte de synthèse des coûts. Elles correspondent à des provisions pour la couverture des imprécisions dues au niveau d'étude. Elles s'élèvent à 6 % des coûts de construction de la section courante et 20 % des coûts de construction des tunnels.

Les **provisions pour risques** ne sont pas précisées.

3.2.2. Etudes SETEC

Dans le rapport **SETEC1**, les **aléas et études** représentent 16 % du coût des travaux. Nous n'avons pas plus de précisions sur le contenu détaillé de ce pourcentage.

Dans le rapport **SETEC2**, les **études** sont comprises dans les coûts unitaires : elles s'élèvent à 16 % du coût des travaux. Les **SAV et PPR** ne sont pas précisées.

Dans le rapport **SETEC3**, les **SAV** pour aléas sont de 10 %. Les frais de **MO/MOE** et les **PPR** ne sont pas identifiés.

Pour l'évaluation du coût des tunnels (**SETEC4**), les **études et divers** (« recueil de données, études de conception et contrôle des travaux, procédures administratives, concertations locales,

acquisitions foncières, frais de communication et de Maîtrise d’Ouvrage ») représentent 16 % du coût des travaux. **Les aléas comprenant les SAV et les PPR**, sont évalués à 20 % du coût des travaux pour le poste tunnel en section courante et 10 % pour les autres postes de travaux.

3.2.3. Synthèse RFF

RFF a retenu les coûts SETEC pour les tunnels (yc 16% d’études et aléas) et les estimations SCETAUROUTE pour la section courante hors tunnels.

Or les frais de MO/MOE relatifs aux tunnels ont été comptés côté SCETAUROUTE dans la section courante. RFF a ainsi compté deux fois les frais de MO/MOE des tunnels.

3.2.4. Etudes BG / GM

BG / GM considère une marge pour aléas de 30 % et une marge supplémentaire non quantifiable, incluses dans ses coûts unitaires.

3.3. Coût de la section courante hors ouvrages d’art non courants

3.3.1. Etudes SCETAUROUTE

Les ratios obtenus en section courante résultent de la sommation des niveaux 01 à 07 et du niveau 10 de la carte des coûts. Ils sont compris entre 5 et 10 M€ HT par km. Ces coûts n’incluent ni les EF (cf. §2.5.1), ni les frais de MO/MOE, ni les SAV et PPR.

3.3.2. Etudes SETEC

Dans l’étude de solutions à Marseille via le massif de l’Etoile (SETEC2), le ratio en section courante est de 9 M€ HT par km (2 voies). Ce coût inclut les études (16%) mais pas les EF (3 M€ HT par km).

Dans l’étude d’aménagement de la traversée de Marseille (SETEC3), le prix d’un élargissement à 4 voies (trois voies existantes dans le cadre des travaux du Contrat de Plan et une voie seulement créée entre les Tuileries et St Barthélémy et dans la vallée de l’Huveaune) est de 11 M€ HT par km.

Ce coût ne comprend ni les équipements ferroviaires (3 M€ HT par km), ni les SAV (10%).

3.3.3. Autres études sous maîtrise d'ouvrage RFF concernant les aménagements sur le réseau classique

Concernant les coûts d'aménagement sur le réseau classique (3^{ème} et / ou 4^{ème} voie dans les fuseaux existants), il est à noter que les études d'insertion réalisées par SNCF IG dans le cadre de la préparation au Débat Public, tout en s'appuyant, comme l'ont fait les autres BET sur les ratios connus des opérations de troisième voie en PACA, ont affiné le chiffrage par une estimation des coûts des impacts fonciers et sur le bâti.

3.3.4. Etudes BG / GM

Pour permettre une comparaison homogène avec les prix présentés par les autres BET, il a été retranché des prix cités dans les rapports BG / GM les coûts des équipements ferroviaires (2.9 M€ HT par km), ce qui n'était pas le cas dans les rapports de BG / GM.

Toutefois, une marge pour aléas de 30 % et une marge supplémentaire non quantifiable sont incluses dans ces coûts unitaires.

Secteur de la traversée de Marseille (des Tuileries à la gare LGV de St Marcel incluse) :

- **11 M€ HT par km** pour l'élargissement à 4 voies entre les Tuileries et St Barthélémy (équivalent au prix SETEC),
- **7 M€ HT par km** pour le tronçon de deux voies nouvelles entre le viaduc sur l'Huveaune en sortie du tunnel tête St Marcel, (cf. MPM4.vol1 p51) et le raccordement au couloir ferroviaire existant dans le secteur des installations fret de St Marcel.

Secteur de la vallée de l'Huveaune

Tandis que les études de SETEC considèrent la réalisation de deux voies supplémentaires sans correction de tracé sur la ligne existante (V120 pour les 4 voies), BG procède à plusieurs corrections de courbes et d'alignements sur la ligne existante en raison d'un rehaussement de la vitesse de V125 à V200.

Par conséquent, le prix d'aménagement de la ligne existante est évalué à :

- **14 M€ HT par km** pour une voie supplémentaire dans les zones sans correction de courbe,
- **35 M€ HT par km** pour quatre voies dans les zones avec correction de courbe.

Tronçons Aubagne - Cuers

Les prix unitaires moyens utilisés dans ce secteur sont de :

- 4 M€ HT par km sur le tronçon Gémenos - Cuers,
- 7 M€ HT par km sur le secteur de Gémenos.

Au-delà de Cuers

Les prix de l'estimation RFF sont intégralement repris.

3.4. Coût des viaducs

3.4.1. Etudes SCETAUROUTE

Les viaducs sont estimés à l'unité sur la base de leurs longueurs et de ratios kilométriques.

Le rapport de SCETAUROUTE précise que les ratios considérés sont généralement compris entre 30 M€/km et 50 M€/km, suivant les difficultés constructives. Ce qui revient à un ratio de 2 000 à 3 330 euros / m² compte tenu de l'hypothèse de 15 m proposée pour la largeur utile des ouvrages (cette valeur permet d'assurer l'implantation d'une double voie de LGV voyageurs avec un entraxe de 4,5 m).

De fait, le coût linéaire de viaduc véritablement pris dans les calculs est de 38.5 M€/km pour tous les tronçons.

Ce coût ne prend pas en compte les équipements ferroviaires, les frais de MOE/MO, les SAV et les PPR.

3.4.2. Etudes SETEC

Dans les études de variantes pour traverser le triangle Aix - Marseille - Aubagne (**SETEC2**) les viaducs sont estimés à 35 M€/km, EF et études (16%) compris, mais SAV et PPR non précisées.

Dans les études d'aménagement de la traversée de Marseille (**SETEC3**), les viaducs sont estimés à 30 M€/km, les EF compris, les SAV (10%) non comprises, les frais MO/MOE et les PPR non précisés.

3.4.3. Etudes BG / GM

Les viaducs sont estimés à 30 M€/km. □ Ce coût prend en compte les équipements ferroviaires, les frais de MOE/MO, les SAV et les PPR.

Une marge pour aléas de 30 % et une marge supplémentaire non quantifiable sont incluses dans ces coûts unitaires.

3.5. Coût des tunnels

3.5.1. Etudes SCETAUROUTE

Pour mémoire, SCETAUROUTE n'a chiffré ni les tunnels marseillais ni toulonnais.

Pour les tunnels des sections de LGV voyageurs, l'hypothèse d'un **monotube de 100 m² de section d'air** a été prise en compte (vitesse supérieure à 270 km/h □; ligne voyageurs). Suivant les difficultés géologiques rencontrées et la longueur des tunnels à réaliser, leur coût est estimé dans une fourchette variant entre **30 M€/km et 50 M€/km**. Ces prix comprennent les têtes de tunnels.

Pour les tunnels de plus de 10 km, l'hypothèse d'un ouvrage bitubes a été faite. Le coût d'un **ouvrage bitubes** se déduit des cartes des coûts en appliquant un coefficient de 1.5. Par conséquent, son estimation varie entre **45 et 75 M€/km**.

On obtient par application de la carte des coûts, les coûts kilométriques moyens des tunnels suivants : □

Itinéraires	Coût kilométrique (M€ HT / km)
NORD AIX	36
NORD ARBOIS	37
SUD ARBOIS	34
CENTRE VAR	41
HAUT VAR	34
CENTRE VAR - NORD TOULON	39
DURANCE - CENTRE VAR	36
NORD AIX - HAUT VAR	35
LITTORAL	34
SUD AIX – SUD STE BAUME	46
SUD STE BAUME	46
SUD STE BAUME OPTIMISEE	42
NORD TOULON	40
NORD TOULON - PLAINE DES MAURES	25

PLAINE DES MAURES	35
ESTEREL – W CANNES	29
RACCORDEMENT 3ème VOIE ANTIBES / NICE	35
POURSUITE □ VALLEE DU VAR	39
RACCORDEMENT EST NICE	49
PROLONGEMENT □ ITALIE	51
NICE - ITALIE	51

Ces coûts ne prennent pas en compte les équipements ferroviaires, ni les frais de MOE/MO ni les sommes à valoir.

3.5.2. Etudes SETEC

SETEC a réalisé à la demande de RFF, une étude consacrée à l'examen du coût des tunnels (SETEC4) hors périmètre marseillais.

Dans cette étude, une analyse précise de la géologie des terrains traversés a été réalisée, permettant de diviser les sections de tunnel en plusieurs zones de profils de soutènement type. Les seules données d'entrée disponibles sont les cartes géologiques BRGM au 1/50000, les connaissances de la géologie provençale et les retours d'expérience de travaux souterrains réalisés dans la région. Sont mis en évidence :

- 6 profils de soutènement type en fonction du contexte géologique : P1 (rocher de résistance élevée) à P6 (sols plastiques),

Les ratios de prix du génie civil section courante par section type sont les suivants :

Profil type	Monotube (€ H.T.) Section d'air de 85 m ²	Bitube (€ H.T.) Section d'air de 2 x 52 m ²
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

- on distingue 3 catégories d'ouvrages en tête : catégorie 1 (terrains rocheux francs) à catégorie 3 (terrains potentiellement instables).

Les coûts de tunnels sont calculés en prenant les hypothèses de départ suivantes :

- $V = 300$ km/h,
- Technique de construction : méthodes traditionnelles,
- $L < 10$ km : monotube ; $L \geq 10$ km : bitube.

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

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

Au final, **le coût des ouvrages monotubes est compris entre 40.5 M€/km t 62.7 M€/km** (voir le tableau de la page suivante). La solution bitubes représente un surcoût de l'ordre de 40 % par rapport à la solution monotube.

Itinéraires	Coût kilométrique (M€ HT / km)
NORD AIX	46,7
NORD ARBOIS	49,8
SUD ARBOIS	44,2
CENTRE VAR	44,0
HAUT VAR	52,9
CENTRE VAR - NORD TOULON	53,3
DURANCE - CENTRE VAR	40,5
NORD AIX - HAUT VAR	46,7
LITTORAL	48,9
SUD SAINTE BAUME	42,4 (Massif du Douard - Fontblanche)
	72,0 (bitube) (Plateau du Siou Blanc)
	44,0 (Massif du Suqué – Cuesta de Cuers)
NORD TOULON	41,0
NORD TOULON - PLAINE DES MAURES	43,5
PLAINE DES MAURES	43,0
ESTEREL – W CANNES	49,8
POURSUITE AU-DELA DE SIAGNE	43,7
RACCORDEMENT 3 ^{eme} VOIE ANTIBES / NICE	49,4
POURSUITE ⇨ VALLEE DU VAR	49,6
RACCORDEMENT EST NICE	56,8
PROLONGEMENT ⇨ ITALIE	59,1
NICE - ITALIE	62,7

Dans l'étude de la traversée de Marseille (**SETEC3**), l'estimation du tunnel bitube sous St Charles est obtenue en majorant de 60 % l'estimation d'un monotube dans le même contexte.

Les coûts de tunnels donnés par SETEC sont nettement supérieurs en moyenne à ceux de SCETAUROUTE.

Comparons les coûts de SETEC à ceux donnés par SCETAUROUTE pour les itinéraires en commun (à la réserve près qu'il n'est pas possible d'assurer que les chiffres ci-après intègrent bien les SAV correspondantes):

Itinéraires	Coûts SCETAURROUTE (M€ HT / km)	Coûts SETEC (M€ HT / km)	Ecart %
NORD ARBOIS	37	42.9	16%
SUD ARBOIS	34	38.1	12%
CENTRE VAR	41	37.9	-7%
HAUT VAR	34	45.6	34%
CENTRE VAR - NORD TOULON	39	45.9	18%
DURANCE - CENTRE VAR	36	34.9	-3%
NORD AIX - HAUT VAR	35	40.3	15%
LITTORAL	34	42.2	24%
NORD TOULON	40	35.3	-12%
NORD TOULON - PLAINE DES MAURES	25	37.5	50%
PLAINE DES MAURES	35	37.1	6%
ESTEREL – W CANNES	29	42.9	48%
RACCORDEMENT 3 ^{ème} VOIE ANTIBES / NICE	35	42.6	22%
POURSUITE ⇨ VALLEE DU VAR	39	42.8	10%
RACCORDEMENT EST NICE	49	49.0	0%
PROLONGEMENT ⇨ ITALIE	51	50.9	0%
NICE - ITALIE	51	54.1	6%

Moyenne : 14 %

Cet écart n'est pas excessif à ce niveau d'études. Cependant des divergences importantes apparaissent sur certains itinéraires notamment Haut-Var, Esterel Cannes et Nord Toulon - Plaine des Maures.

- Pour le secteur de la traversée de Marseille (SETEC3), avec la même méthode que celle exposée ci-dessus, SETEC considère les prix suivants :
 - 42 M€/km pour les solutions « Directe » et « Blancarde » (hors équipements ferroviaires) pour un tunnel monotube de 63 m² de section d'air correspondant à une vitesse V200,
 - 67 M€/km pour la solution « St Charles » (bitubes), un tunnel monotube dans le même contexte étant estimé à 42 M€/km (hors équipements ferroviaires), majoré de 60 % pour un tunnel bitube.
- Pour le tunnel d'Aubagne, le prix unitaire est de 40 M€/km.

3.5.3. Etudes BG / GM

Dans ce paragraphe, il a été retranché des prix cités dans les études BG / GM les coûts des équipements ferroviaires (3 M€ HT par km) par soucis d'homogénéité. Toutefois, une marge pour aléas de 30 % et une marge supplémentaire non quantifiable sont incluses dans ces coûts unitaires.

Le prix des têtes de tunnel n'étant pas précisé, il est supposé qu'il est inclus dans le coût du tunnel au km.

Secteur de la traversée de Marseille

Pour les variantes V1, V2, V3a (monotube), V3b et V3c, les études BG / GM reprennent le prix unitaire du tunnel de la solution « Blancarde » ou « Directe » de l'étude de la traversée de Marseille réalisée par SETEC (SETEC3), soit **42 M€/km**.

Pour les variantes V3 et V3a (bitubes), les études AGAM-MPM reprennent les prix unitaires du tunnel de la solution « St Charles » (SETEC3), soit **67 M€/km**.

Les coûts de la traversée de Marseille obtenus sont finalement :

- Pour V = 220 km/h :

Solution	Section d'air (m ²)	Dont tunnels (km)	Coût des tunnels (M€)
V1 (par St-Barthélémy)	63	10.1	455
V2 (par Blancarde)	63	11.1	678
V3 (par St-Charles)	2 x 71 excavée	11.2	889

- Pour V = 200 km/h :

Solution	Section d'air (m ²)	Dont tunnels (km)	Coût des tunnels (M€)
V3a monotube (par St-Charles)	60	13.8	798
V3a bitube (par St-Charles)	2 x 71 excavée	14.3	1063
V3b (par St-Charles)	60	13.5	785
V3c (par St-Charles)	60	12.6	743

Secteur de la vallée de l'Huveaune

Pour le chiffrage du projet AMTN dans la vallée de l'Huveaune, BG / GM a considéré sensiblement les prix de SETEC (SETEC3) (42 M€/km étude BG pour 40 M€/km étude SETEC). □

Tronçons Aubagne - Cuers □

Afin d'estimer les tunnels entre Aubagne et Cuers, BG / GM a reporté les prix de SETEC du scénario Sud Ste Baume (SETEC4) en les adaptant à leur tracé.

- Tronçon Aubagne-Gémenos (cf. §10.3.3 de MPM4 vol1 et 2ème partie de SETEC4 p14)

	Section excavée (m ²)	Longueur (km)	Coût (M€/km)
AGAM-MPM	90	1.45	42
SETEC	125	4.2	42.4

- Tronçon Gémenos-Cuers via Toulon Nord (cf. §10.3.3 de MPM4 vol1 et 2ème partie de SETEC4 p14)

	Section excavée (m ²)	Longueur (km)	Coût (M€/km)	
AGAM-MPM	105	11.93	48	
SETEC	125	3.8	42.4	51 M€/km pour un monotube à contexte équivalent
		14	72 (bitubes)	
		6	44	

Pour ce tronçon, BG / GM a extrapolé les coûts de SETEC, en faisant d'une part une correction à la baisse de 10 % du prix moyen des monotubes (43 M€/km selon BG), pour tenir compte de la différence de section excavée (105 contre 125 m²), et d'autre part, une correction à la hausse de l'ordre de 25 % pour tenir compte du fait, que les tunnels du scénario AMTN sur ce tronçon, sont relativement courts.

Remarque : BG / GM utilise le prix moyen des tunnels monotubes du scénario Sud Sainte Baume entre Aubagne et Cuers ($42.4 \times 8 + 44 \times 6 = 603$ M€ pour 14 km, soit $603/14 = 43$ M€/km), pour évaluer ses tunnels monotubes entre Gémenos et Cuers. Or, les tracés Sud Ste Baume et

AMTN sont relativement différents, et par conséquent les contraintes géologiques sans doute différentes.

Si on suppose que les contextes sont équivalents entre les deux tracés, BG / GM devrait considérer comme prix moyen de tunnel entre Gémenos et Cuers, le prix moyen de tous les tunnels confondus (monotubes et bitubes, ramenés à des prix de monotubes en contexte équivalent) entre ces deux mêmes lieux, soit :

$$42.4 \times 3.8 + 51 \times 14 + 44 \times 6 = 1139 \text{ M€ pour } 23.8 \text{ km, soit } 1139/23.8 = 48 \text{ M€/km.}$$

- Tronçon Gémenos-Cuers via Toulon Est (cf. §6.2.3 de TPM3 vol1)

Il a été retenu comme ci-dessus le prix de **48 M€/km** pour les tunnels monotubes entre Gémenos et Cuers via Toulon Est.

3.5.4. Prix retenus par RFF

RFF a choisi de retenir les estimations des ouvrages souterrains les plus prudentes à ce stade (où aucune reconnaissance géotechnique n'a été menée) et retenu en conséquence les coûts SETEC.

D'autre part, pour les traversées de Marseille et Toulon, RFF s'est basé sur les chiffres donnés par SETEC dans son étude intitulée « Esquisse de variantes en souterrain sous Marseille et Toulon », mai 2004. Or cette étude avait été réalisée avec comme hypothèse une vitesse de 270 km/h, tandis que les autres études de SETEC pour la traversée de Marseille par exemple ont pris comme hypothèse une vitesse de 200 km/h. L'impact de la vitesse sur les longueurs des tunnels et leur section et donc sur les coûts est très important, comme le montre les tableaux suivants :

- Traversée de Marseille pour V= 270 km/h (SETEC1)

Solution	Longueur (km)	Dont tunnels (km)	Coût* (M€)
St Charles	27	25.5	2400
St Just	24	22	2100
La Rose	25	22.5	2200

* dont 16 % de frais d'études ». Les SAV et PPR ne sont pas identifiées.

- Traversée de Marseille pour V= 200 km/h (SETEC3)

Solution	Longueur (km)	Dont tunnels (km)	Coût* (M€)
Blancarde	24.5	16.15	1100
St Charles	25.5	19.5	1500
Directe	23.75	15.25	920

* dont 10 % d'« aléas ». Les frais d'études et les PPR ne sont pas identifiés.

Si on veut comparer les coûts de traversée de Marseille donnés par l'AGAM-MPM, qui a choisi des vitesses de 200 et 220 km/h, à ceux donnés par RFF, on doit se baser sur les solutions de SETEC où V = 200 km/h (cf. tableau précédent).

3.6. Coût des équipements ferroviaires

3.6.1. Etudes SCETAUROUTE

Le ratio de 2.9 HT par km de ligne (2 voies) a été pris en compte pour les équipements ferroviaires, pour l'ensemble des couloirs considérés.

Ce ratio comprend l'armement de la voie, les installations fixes de traction électrique pour une alimentation 2x25 kV ainsi que les équipements de signalisation au sol pour la TVM 430.

Ce ratio, analogue à celui avéré sur d'autres LGV déjà réalisées, est en grande partie indépendant du site d'implantation de la section de la ligne. Les seules variations pourraient le cas échéant être dues au coût d'amenée de l'énergie électrique haute tension sur la LGV. Ce coût supplémentaire est donné par le niveau 11 de la carte des coûts.

3.6.2. Etudes SETEC

Le ratio de 3 M€ HT par km de ligne (2 voies) a été pris en compte pour les équipements ferroviaires.

3.6.3. Etudes BG / GM

De la même manière, le ratio de 3 M€ HT par km de ligne (2 voies) a été pris en compte pour les équipements ferroviaires.

3.7. Coût des raccordements entre lignes ferroviaires

3.7.1. Etudes SCETAUROUTE

Chaque raccordement fait l'objet d'une estimation particulière selon le linéaire de voie unique mis en œuvre, ainsi que le nombre de sauts de mouton.

- Le coût de la voie unique est estimé à **0.6 fois le coût d'une double voie** selon la méthode de la carte des coûts.
- Le coût du saut de mouton est situé dans une fourchette de **2 à 3 M€ HT par km**, dépendant des caractéristiques de celui-ci (longueur, biais).

Les estimations des raccordements sont données dans le tableau suivant :

Itinéraire	Descriptif	Coût Raccordement (M€)
Durance	Rac sur LN 5	185
Haut Var	Rac sur LN Toulon-Nice	40
Durance - Centre Var	-	0
Nord Aix	Rac sur LN 5	130
Nord Aix - Haut Var	Rac sur LN 5	130
Nord Arbois	Rac sur LN 5	215
Sud Arbois	Rac sur LN 5	110
Vallée de l'Arc	-	0
Centre Var	Rac sur LN Toulon-Nice	90
Plaine des Maures	-	0
Nord Toulon Plaine Maures	-	0
Centre Var Nord Toulon	Rac sur LN Toulon-Nice	80
Littoral	Rac sur LC Toulon-Nice à Aubagne et à Toulon Ouest	65
Nord Toulon	Rac sur LC Toulon-Nice à Toulon Est	45
Sud Ste Baume	Rac sur LC Marseille-Toulon à Aubagne	100
Sud Aix Ste Baume	-	0
Cannes ouest - Napoule	Rac sur LC Toulon-Nice	55
Nice Ouest	Rac sur LC Toulon-Nice	75
Nice Est	Rac sur LC Toulon-Nice	80

3.7.2. Etudes SETEC

Dans les études de variantes pour traverser le triangle Aix - Marseille - Aubagne (**SETEC2**), les raccordements ont été estimés à :

- 50 M€ (2km) pour le raccordement (un saut de mouton) sur la LGV Méditerranée,
- 100 M€ (2km) pour le raccordement à Aubagne dans les solutions « Nord » et « Sud »,
- 150 M€ (2km) pour le raccordement à Aubagne dans la solution « Centre ».

3.7.3. Etudes BG / GM

□ Les coûts des raccordements sont précisés dans le rapport TPM3 vol1 § 6.2 :

- 20 M€ pour le raccordement de la ligne nouvelle (sortie du tunnel sous Marseille) à la ligne classique à St Marcel dans la vallée de l'Huveaune,
- 60 M€ pour les raccordements à la ligne existante depuis et en direction de Toulon Centre, dans le secteur de la gare de Toulon Est (avec 20 M€/km pour les viaducs simple voie et 6 M€/km pour la simple voie hors viaduc).

En ce qui concerne les coûts des raccordements à la ligne existante à Toulon Nord (scénario AMTNa cf. MPM4), ils sont compris dans le coût de la gare TGV de Cuers qui s'élève à 75 M€.

3.8. Coût des gares

3.8.1. Etudes SCETAUROUTE

Les provisions retenues pour l'implantation des gares nouvelles ont été décidées par RFF. □ Ces estimations sont forfaitaires : quelle que soit la gare, son coût s'élève à **50 M€**.

Nota : aucune gare souterraine n'était prévue dans les scénarios étudiés par SCETAUROUTE.

3.8.2. Etudes SETEC

Dans l' « Etude d'aménagement de la traversée de Marseille » (**SETEC3**), des estimations pour la gare souterraine ont été réalisées. Elles se décomposent ainsi :

- Dans le cas d'un tunnel monotube traversant Marseille en souterrain (solution gare souterraine à la Blancarde), 2 km de tube ferroviaire supplémentaire sont construits à 40 M€ du km ;

- Dans le cas d'un tunnel bitubes (solution « St Charles »), un élargissement des deux tubes est nécessaire, ce qui s'évalue à 15 M€ du km ;
- Dans tous les cas où la gare est souterraine, il faut prévoir un tube d'attente voyageur et ses puits d'accès, ce qui est estimé à 45 M€.

La superstructure en surface des gares (parkings, hall d'accueil, ...) est évaluée à 50 M€.

Au final, les gares sous Marseille sont estimées à :

- 175 M€ pour la gare Blancarde (monotube),
- 155 M€ pour la gare St Charles (bitubes),
- 50 M€ pour la gare de la solution « directe » (superstructure en surface).

3.8.3. Etudes AGAM-MPM et AUdat

Les gares sont estimées cas par cas :

- **Etudes sous maîtrise d'ouvrage AGAM-MPM :**
 - Solution V1 - Gare de St Marcel : 75 M€,
 - Solution V2 - Gare souterraine de la Blancarde : 175 M€ (issu des prix SETEC),
 - Solution V3 - Gare souterraine de St Charles (bitubes): 155 M€ (issu des prix SETEC),
 - Solution V3a, b, c - Gare souterraine de St Charles (monotube): 175 M€,
 - Gare TGV dénivelée de Toulon Nord (y.c. franchissement et raccordement ligne existante) : 75 M€.
- **Etudes sous maîtrise d'ouvrage AUdat / TPM :**

La gare TGV Toulon Est dénivelée (y.c. écartement des voies en viaduc et surcoût bâtiment et foncier) est estimée à 130 M€.

4. CONCLUSION DE LA PARTIE 1

Les estimations réalisées par SCETAURROUTE, SETEC et BG / GM divergent dans leurs approches méthodologiques et dans leurs résultats. Il n'est pas possible de les comparer directement de manière objective sur des critères communs.

Les éléments constituant les estimations ne regroupent pas les mêmes informations ni les mêmes niveaux de détails. La précision de ces éléments n'est pas suffisante pour qu'ils soient décomposés et regroupés en critères communs.

Dans la partie 2, il est présenté une méthodologie d'estimation qui va permettre de ré-estimer tous les scénarii de façon homogène.