

La LGV Perpignan Figueras Perpignan - 30 et 31 mai 2007

L'AFGC et l'OTUA ont organisé les 30 et 31 mai 2007 une manifestation consacrée aux ouvrages de la ligne Perpignan Figueras.

Rappel du programme

Mercredi 30 mai 2007 - CONFÉRENCES

Président de séance : Claude Servant, Eiffage TP

- 11h00 Accueil des participants au Palais des Congrès
Marc Legrand, Président de TP Ferro
- 11h15 Présentation générale de la concession
Eusebio Corregel, Directeur Général de TP Ferro
- Genèse du projet - Film de présentation (15 mn)
- Le concessionnaire TP Ferro
- 12h00 Présentation de la Direction du Projet et du Groupement Constructeur Trans Euro Pyrénées
Jean-Claude Mutel, Trans Euro Pyrénées
- 12h30 Déjeuner
- 14h00 L'organisation de la maîtrise d'œuvre
Yves Metz, Ingérop
- 14h30 Présentation générale de la plateforme France
Yves Le Floch, Ingérop
- Les grandes lignes de la conception des ouvrages courants routiers et ferroviaires
- 15h00 Les ouvrages exceptionnels
Ziad Hajar, Eiffage Travaux Publics
- Les tabliers mixtes bi-poutres
- Les tabliers à poutres latérales
- 15h15 Les calculs spécifiques des ouvrages à tablier métallique
Patrice Schmitt, SNCF
- Le comportement dynamique
- Le comportement sismique
- 15h30 La réalisation des travaux
Jacques Guichard, Eiffage Travaux Publics
- 15h55 Discussion
- 16h10 Pause café
- 16h30 Le tunnel du Perthus
- Les tunneliers et les études de conception
Jean-Luc Trottin et Michel Ducrot, Eiffage TP
- Les études géotechniques
- La sécurité incendie
Pierre Guillemot, Trans Euro Pyrénées
- Les problèmes de vibration et environnementaux
Daniel André, SNCF
- La réalisation des travaux
Jean-Luc Trottin et Michel Ducrot, Eiffage TP
- 17h30 Présentation générale de la plateforme Espagne
Santiago Martin, TP Ferro

- 17h50 La voie, la signalisation et les équipements ferroviaires
Jean-Michel Grave, Forclum

- 18h15 Discussion

Jeudi 31 mai 2007 - VISITES

- 9h00 Visite du chantier de la plateforme Espagne
- 10h30 Visite du chantier du tunnel du Perthus
- 12h00 Déjeuner (côté France)
- 14h00 Visite de chantier de la plateforme France
- 16h00 Fin de la visite

Extraits des présentations

Présentation générale de la concession

Eusebio Corregel

TP Ferro est une entreprise qui est née de l'union de deux grands groupes européens ACS et Eiffage. Notre objectif en tant que concessionnaire du Projet est la construction, le financement, l'exploitation et l'entretien de la nouvelle ligne ferroviaire à grande vitesse prévue pour le trafic mixte entre Figueras et Perpignan.

Caractéristiques générales du contrat

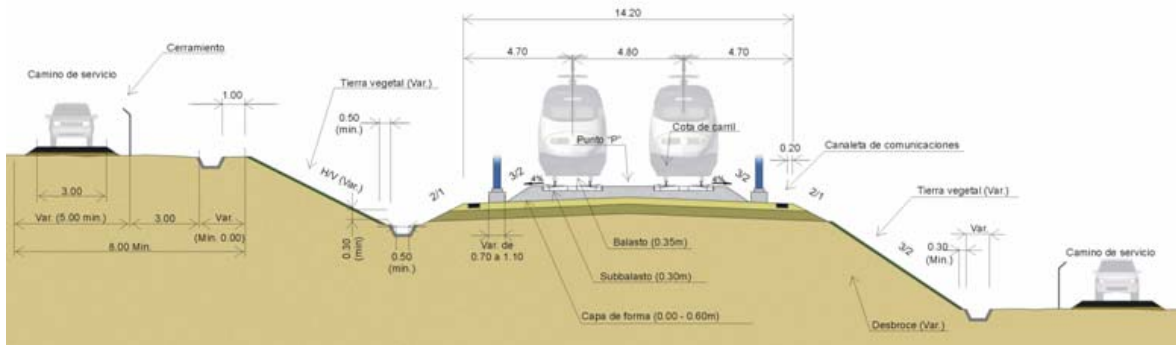
- ✓ Double concédant : Le Royaume d'Espagne et La République Française
- ✓ Contrat de Concession pour 50 ans
- ✓ Financement mixte par :
Des fonds propres;
Des subventions publiques;
Des emprunts externes avec recours limité
- ✓ Récupération de l'investissement au moyen de péages

Cout de la construction (en M. €)

Tunnel	302
Plateforme Espagne	125
Plateforme France	180
Equipement	123
Voie	96
Projet et Direction des Travaux	55
Approbations	7
Expropriations	27
Supervision	9
Ligne très haute tension	28
Total	952

Présentation de la Direction du Projet et du Groupement Constructeur Trans Euro Pyrénées
Jean-Claude Mutel

Caractéristiques techniques principales de la voie



- ✓ Longueur de la ligne en double voie 44,4 km, 24,6 en France et 19,8 en Espagne
- ✓ Deux voies uniques de raccordement à Perpignan de 2,9 et 4,6 km
- ✓ Écartement des rails au standard international (UIC), 1435 mm
- ✓ Distance entre axes des voies de 4,80 m
- ✓ Vitesse maximale de conception de la voie 350 km/h
- ✓ Voie sur dalle dans le tunnel, sur ballast pour le reste du tracé
- ✓ Caténaire adaptable au gabarit d'autoroute ferroviaire
- ✓ Système de détection de boîtes chaudes.
- ✓ Contrôle d'intrusion.
- ✓ Double alimentation électrique.
- ✓ Dispositifs de sécurité dans les deux têtes du tunnel.
- ✓ Accès aux équipes de secours et à l'héliport.

Sécurité de la ligne

- ✓ Systèmes de signalisation ERTMS niveaux 1 & 2.
- ✓ Détection de chute d'objets.
- ✓ Détection de gabarit, de méplats de roues et de pantographes levés.
- ✓ Construction d'une clôture sur toute la ligne.
- ✓ Détecteurs de vents latéraux
- ✓ Détecteurs de chute d'objets Passages Supérieurs
- ✓ Détecteurs d'Impact Vertical
- ✓ Détecteur Comportement Pantographe
- ✓ Détecteur Gabarit
- ✓ Détecteur d'Objets au sol

Caractéristiques du tunnel

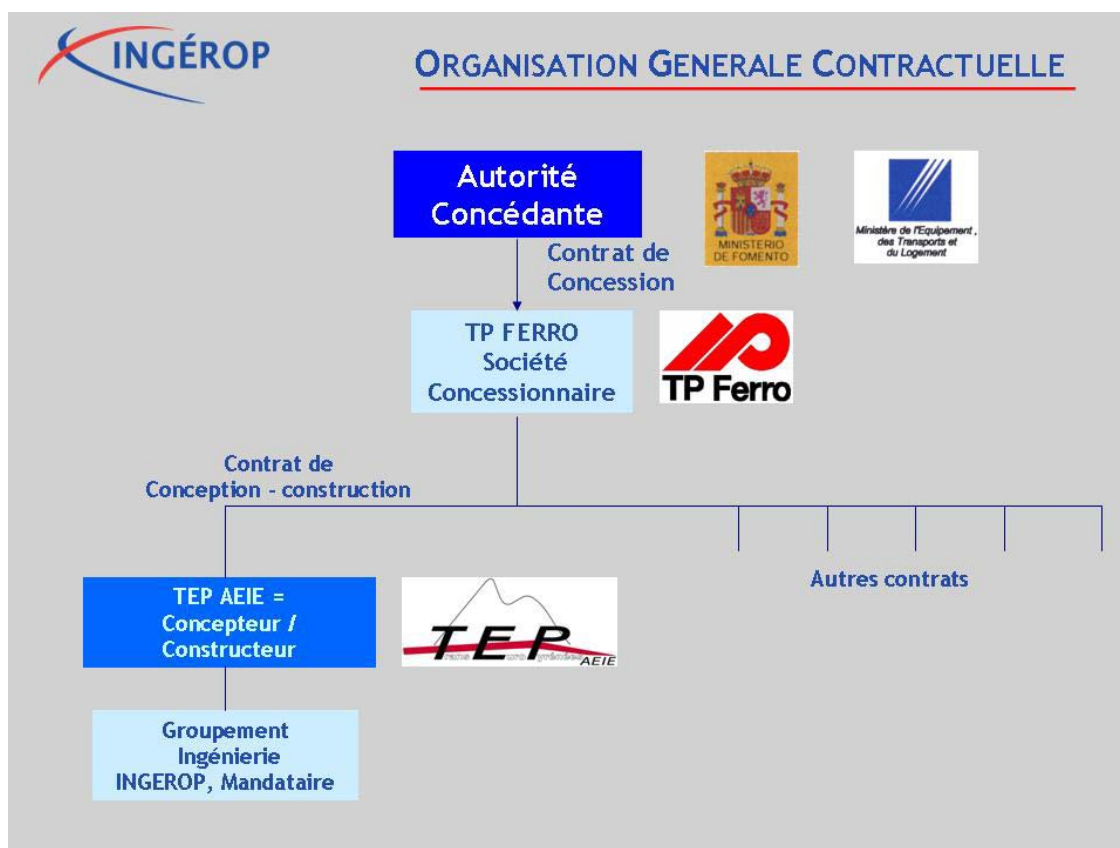
- ✓ Tunnel bitube de 8,2 km de longueur
- ✓ Deux faux tunnels de 100 m de longueur dans les têtes du tunnel
- ✓ Rayon d'excavation de chaque tube 4,98 m
- ✓ Rayon intérieur de chaque tube 4,25 m et 0,10 de marge
- ✓ 50 m² de section utile
- ✓ Distance entre les axes des tubes de 25 à 35 m
- ✓ Excavation depuis l'Espagne moyennant deux tunneliers
- ✓ Revêtement en béton préfabriqué

Sécurité du tunnel

- ✓ Galeries de communication tous les 200 m.
- ✓ Système de ventilation.
- ✓ Systèmes de détection et d'extinction d'incendies.



La plateforme France





Planning de la conception

Projet de Base : janvier à août 2004

Projet détaillé : septembre 2004 à juin 2005 (génie civil) ou juin 2007 (équipements)

Missions de l'Ingénierie

Les originalités du projet Perpignan-Figueras en tant que LGV :

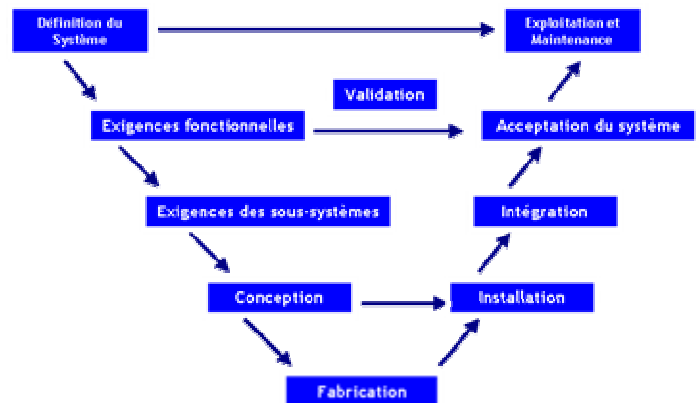
- ☐ Ligne mixte voyageur / fret / autoroute ferroviaire
- ☐ Vitesse de référence 350 km/h (voyageurs) sur ligne mixte
- ☐ Un tunnel bi-tube de 8,4 km
- ☐ Différence des sens de circulation de chaque côté des Pyrénées

Des données d'entrée

- ☐ Un cahier des charges avec des exigences de sécurité et de disponibilité
- ☐ Une DUP et une DIA avec des engagements
- ☐ Un référentiel propre
- ☐ Un programme d'exploitation

Spécificités de l'Ingénierie ferroviaire :

- Importance de la dimension Système
- Notions de FDMS,
- ☐ Fiabilité
- ☐ Disponibilité
- ☐ Maintenabilité
- ☐ Sécurité



Le schéma classique en V

Elles sont déclinées en 4 phases :

- ☐ Projet détaillé
- ☐ Etudes d'exécution
- ☐ Visa des études d'exécution
- ☐ Supervision de travaux et assistance à la mise en exploitation

Détail de la mission de conception

- ☐ Documents nécessaires à l'obtention des autorisations administratives : loi sur l'eau, installations classées ...
- ☐ Projet de Base
- ☐ Dossiers préliminaires de sécurité
- ☐ Dossier de sécurité du tunnel du Perthus
- ☐ Dossiers de sécurité avant la mise en service
- ☐ Projet détaillé par système

Projet détaillé des équipements ferroviaires

Détail du processus de production :

- ❑ Proposition de cahier des charges et d'exigences fonctionnelles, de choix techniques et de méthodes sur la base du cahier des charges de concession
- ❑ Validation par TEP
- ❑ Conception de l'Ingénierie qui apporte ses réponses techniques et spécifications détaillées
- ❑ Consultation des fournisseurs
- ❑ Intégration des propositions des fournisseurs
- ❑ Finalisation des projets détaillés

Etudes d'exécution et visa

Missions exclusives l'une de l'autre, par ouvrage élémentaire du Projet

Supervision des travaux

- ❑ Prestation comparable à une maîtrise d'œuvre partielle, excluant les activités relatives aux plannings travaux, aux métrés et à celles relatives aux valorisations et coûts
- ❑ Contrôle extérieur des travaux, des matériaux et matériels intégrés à l'ouvrage et de tout autre élément utilisé ayant une incidence sur la qualité

En particulier, l'ingénierie :

- ❑ Approuve et vérifie la mise en œuvre des plans d'assurance qualité, sécurité et préservation de l'environnement du Groupement Constructeur
- ❑ Approuve les procédures d'exécution des travaux et lève les points d'arrêts
- ❑ Arrête le chantier en cas de sérieux problèmes de qualité et de sécurité

Conclusion

- ❑ L'ingénierie au service du Groupement Concepteur / Constructeur
- ❑ Nécessité d'une direction de projet forte au sein du Groupement Concepteur/Constructeur, assurant les indispensables arbitrages entre l'ingénierie et les entreprises de construction
- ❑ Le succès ne peut être que partagé

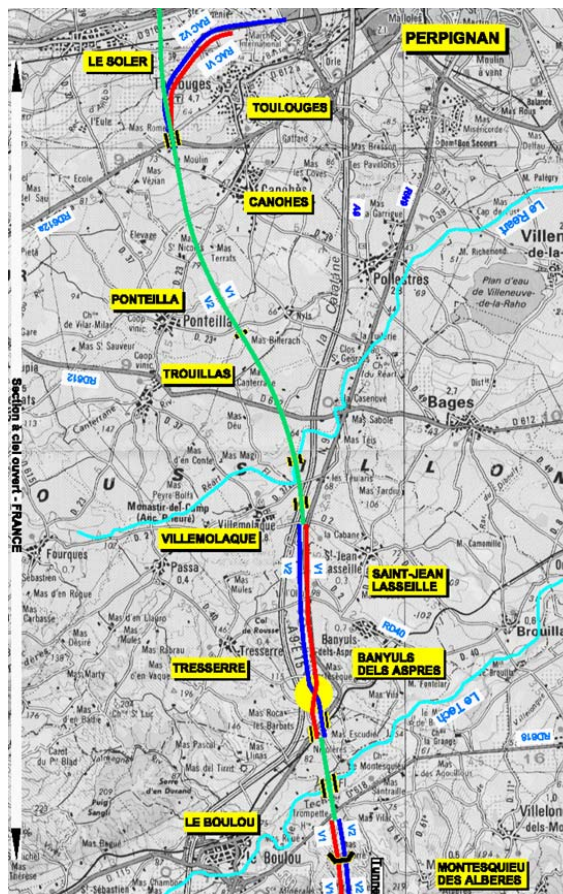
Présentation générale de la plateforme France

Les grandes lignes de la conception des ouvrages courants routiers et ferroviaires

Yves Le Floch

Caractéristiques principales du projet de la plateforme France

- Une plateforme à double voie d'une longueur de 17,3 km
- Deux plateformes à voie unique de longueurs 4,6 km (RacV2) et 2,9 km (RacV1) pour les raccordements avec le réseau classique RFF
- Une particularité : un changement de parité des voies effectué au moyen d'un ouvrage saut de mouton (situé au PK 12.92)



Contenu des études de projet

- Géométrie, tracé, topographie
- Géotechnique
- **Ouvrages d'art**
- Hydraulique :
 - ouvrages dimensionnés pour assurer la transparence hydraulique
 - élaboration du Dossier Loi sur l'eau
- Assainissement : présence de zones sensibles (rejets contrôlés), pollution accidentelle liée au trafic "fret"
- Etudes acoustiques
- Etude des milieux naturels (zones humides, espèces protégées, suivi environnemental,...)
- Etudes d'intégration paysagère
- Etudes architecturales
- Archéologie
- Equipements ferroviaires

Compatibilité avec plusieurs projets connexes

- Les installations terminales de Perpignan, à maîtrise d'ouvrage RFF, destinées à accueillir les voies de la section internationale (faisceau fret entre les 2 voies concédées, ponts routes au dessus de voies concédées et non concédées, etc...)
- projet DDE de sécurisation de la RN 9 entre Perpignan et Le Boulou (création de 2 giratoires sur la RN9, élargissement de la RN9 dans une section jumelée avec la LGV, 3 rétablissements de communications liés à ce projet)

- projet DDE de déviation de la RN 9 au Boulou, concernant le viaduc LGV franchissant la RN9
- projet CG 66 de doublement de la RD 612a, concernant le pont rail de franchissement de cette RD
- projet CG 66 de sécurisation de la RD 618, concernant le pont rail de franchissement de cette RD
- projet ASF d'élargissement de la A9 concernant le viaduc LGV franchissant l'A9

Les ouvrages d'art de la plateforme France

34 ouvrages :

- 4 viaducs ferroviaires (Rivière le Réart, A9, RN9, Rivière Le Tech)
- 2 sauts de mouton
- 1 portique triple
- 5 ponts rails à poutres préfabriquées
- 9 ponts routes (ponts dalle en béton armé ou précontraint)
- 13 ponts cadres en béton armé (rétablissements routiers ou ouvrages hydrauliques)
- **A noter** : 34 ouvrages pour 17 km, soit 2 ouvrages par km (forte densité)

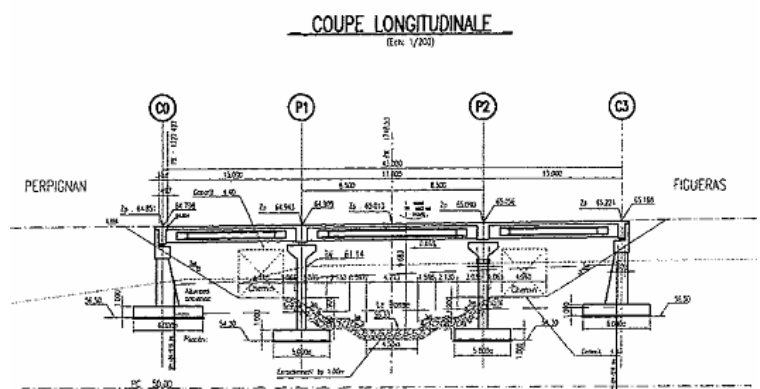
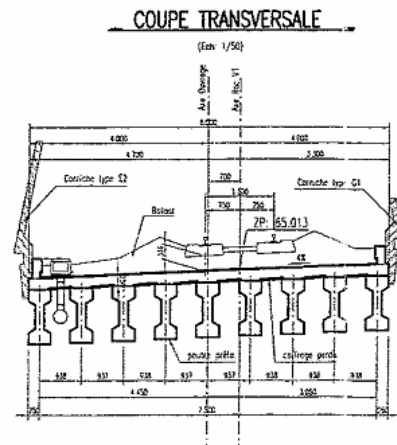
Exigences particulières du contrat de concession pour les ouvrages

- Objectif de durée de vie : 100 ans
- Fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité (FDMS)
- Structures classiques, durables, simples
- Structures de conception simple et largement éprouvées
- Entretien minimal compatible avec la circulation ferroviaire
- Bonne intégration dans l'environnement

Les ponts rails à poutres préfabriquées

- Ponts rails à 3 travées pour le franchissement de cours d'eau de moyenne importance
- Conception également retenue pour le franchissement de la voie ferrée Perpignan / Villefranche (1 travée iso) et le franchissement de la RD612a (6 travées)
- Portées modestes (9,60m à 16,50m) ne nécessitant pas l'emploi de poutres BP
- Fondations superficielles

Principaux avantages : pas besoin d'étalement en rivière, interruption des circulations des voies franchies limitée à la pose des poutres, gain de temps)



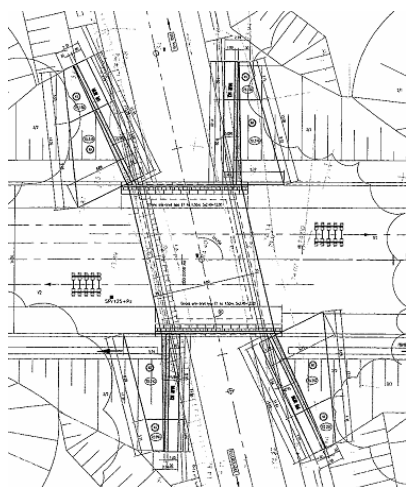
Les ponts rails cadres en béton armé

- Conception retenue pour les ouvrages hydrauliques ou de rétablissements modestes (cours d'eau ou voies circulées déviés pendant la réalisation de l'ouvrage)
- Ouverture droite : 5 à 10m
- Principaux avantages : ouvrages peu sensibles aux tassements, possibilité de standardisation des procédés de construction

Ces ouvrages sont:

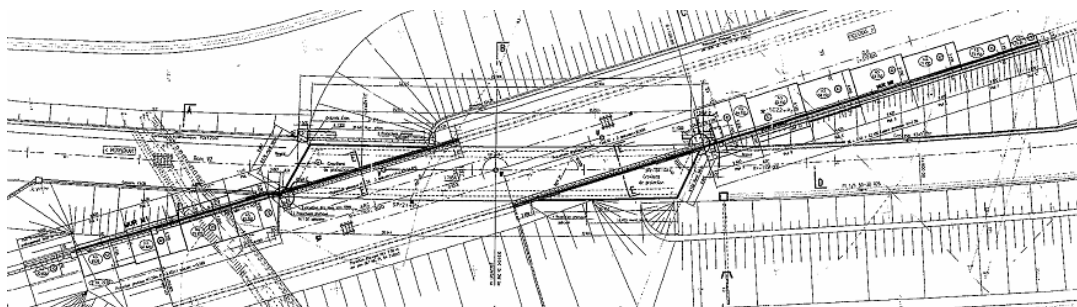
- soit ballastés (6 ouvrages) → longueur = 14,20m
- soit remblayés (7 ouvrages) → longueur maxi = 100m

Ces ouvrages sont prolongés par 4 murs en aile fondés superficiellement.



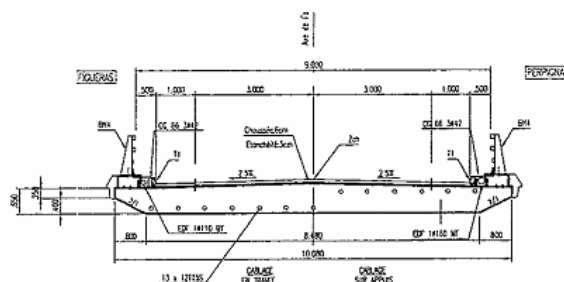
Les ponts routes

Conception retenue pour les rétablissements routiers au dessus de la LGV :



- Tablier BA (5 ouvrages) ou BP (4 ouvrages)
- Nombre de travées :
 - 3 → 7 ouvrages
 - 5 → 1 ouvrage (franchissement des voies de raccordement et du faisceau fret RFF)
 - 6 → 1 ouvrage (franchissement des voies V1 et V2 séparées et dénivelées, à proximité du saut de mouton d'inversion de la parité des voies)
- Tablier coulé sur étaieement (avec passe charretière)
- Fondations superficielles

Particularité : les culées sont perchées en tête de blocs techniques en sol traité (optimisation en cours de projet)



Le saut de mouton «NORD» (PK R2 3.40)

- Il permet le passage de la voie de raccordement Rac V2 sous la double voie V1 V2
- Ouvrage constitué d'un cadre BA de 71m de long, prolongé par des murs de soutènement fondés superficiellement sur 63m au Nord et 89 m au Sud

Hauteur cadre : 7,50m / ouverture cadre : 8m (voie unique)

Le saut de mouton «SUD» (PK 12.92)

- Il permet l'inversion des sens de circulation
- Cet ouvrage atteint une longueur importante, due aux angles très faibles de croisement des voies.
- Ouvrage constitué d'un cadre BA de 234m de long, prolongé par des murs de soutènement fondés superficiellement sur 240m au Nord et 231 m au Sud (hauteur maxi des murs = 11m)
- Ouvertures dans les piédroits du cadre liées à la grande vitesse (aérodynamique, section d'air minimale à respecter)
- Section du cadre identique pour les 2 sauts de mouton (réutilisation de l'outil coffrant)



Le portique triple (PRA 16.23)

- Franchissement de la RD 618 (RD sécurisée 2x1voie + 2 voies de desserte locale)
- Impossibilité de concevoir un ouvrage de franchissement aérien (type viaduc), suite aux contraintes ferroviaires empêchant l'implantation d'appareils de dilatation
- **Choix d'un ouvrage type portique triple sous remblais importants (hauteur = 10m)**
- Longueur ouvrage = 33m (9m / 15m / 9m)
- Largeur ouvrage = 52m
- Biais : 138 grades
- La traverse est une dalle pleine en BA composée de poutres préfabriquées en T inversé posées

côte à côte et servant de coffrage pour la dalle coulée en place.

- Épaisseur traverse :
 - portée centrale: 1,40m
 - portées latérales: 1,00m
- Préfabrication des poutres de la traverse sur site (90 poutres, poids maxi de 40 tonnes)
- Mise en oeuvre de 12 poutres par jour à la grue mobile
- Bétonnage complet de la traverse en continu, en 2 phases (2000m³ et 1700m³) en utilisant un béton spécifique retardé.



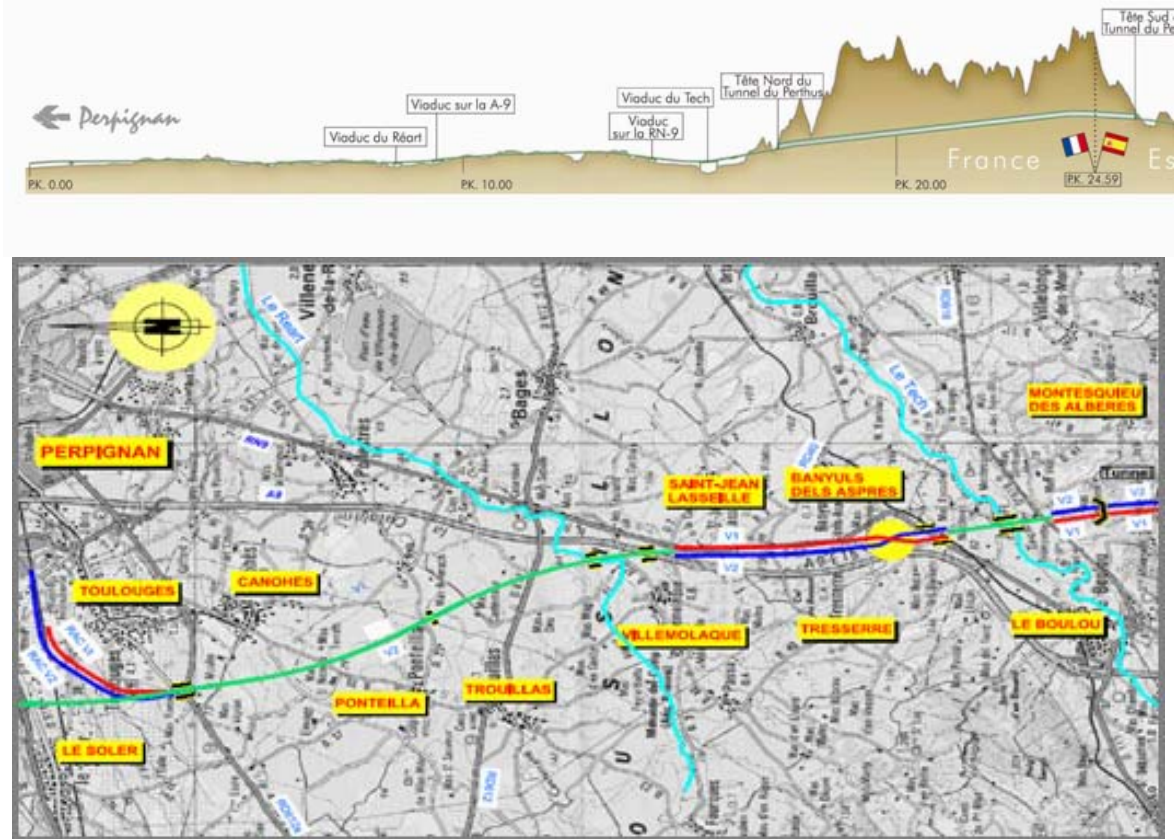
Equipements / superstructures

- **Ponts rails (à poutres ou cadres ballastés):**
 - corniches garde ballast ou écrans antibruit en rive
 - Étanchéité monocouche par feuilles préfabriquées
 - Caniveaux à câbles / caniveaux à eau
 - Appareils d'appuis élastomère fretté (ponts à poutres)
- **Ponts rails (cadres enterrés) :**
 - Gardes corps en rive d'ouvrage
 - Étanchéité bicouche par feuilles préfabriquées
- **Ponts routes :**
 - Trottoirs, BN4 et écrans antivandalisme en rive
 - Étanchéité monocouche couche par feuilles préfabriquées
 - Joints de chaussée "souple" (joint non apparent à revêtement amélioré), sauf pour l'ouvrage à 6 travées (joint mécanique)
 - appareils d'appuis élastomère fretté



Les viaducs de la plateforme France
Ziad Hajar

1- Présentation du projet



2- Les grandes lignes de la conception

◆ Exigences du contrat de concession

Durée de vie : 100 ans
Fiabilité - Disponibilité - Maintenabilité - Sécurité
Structures classiques, durables, ...
Entretien minimal
Bonne intégration dans l'environnement
Gabarit autoroute Ferroviaire
Largeur utile du tablier double voies = 13.80 m
.....

◆ Interopérabilité

Respect de la directive 96/48/CE du 23 Juillet 1996 relative à l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse (Sous-système infrastructure)

◆ Conception parasismique

- ✓ Zone sismique : Ib
- ✓ Classe des ouvrages : C
- ✓ Accélération nominale : $a_n = 2 \text{ m/S}^2$

Particularités des Ponts rails

- ✓ Masse importante
- ✓ Faible déformabilité

Originalité de la conception

- ✓ Recours à des dispositifs spéciaux

◆ Comportement dynamique

- ✓ Convois à grande vitesse (STI)
 - Train Dynamique Universel (A1 à A10)
 - Vitesse potentielle de la ligne (V_p) : 350 Km/h
 - Vitesse maxi ($1.20 \times V_p$) : 420 Km/h
- ✓ Exigences liées :
 - à la sécurité des convois
 - à la stabilité de la voie (contact rail-roue)
 - au confort des passagers
- ✓ Critères de vérifications (Livret 2.01)
 - Accélération verticale < 0,35 g
 - Gauche du tablier : 1.2 mm sur 3m
 - Flèche transversal : déviation angulaire < 3,5 mrad
 - Limitation des flèches verticales,
 -

3- Les tabliers mixtes (Tech et Réart)

- ◆ Tabliers Bi-poutres à double voies (LU = 13.80m)



- ◆ Viaduc du Réart (VIA 8.47) : 180 m
4 travées : 37m, 2x53m, 37m

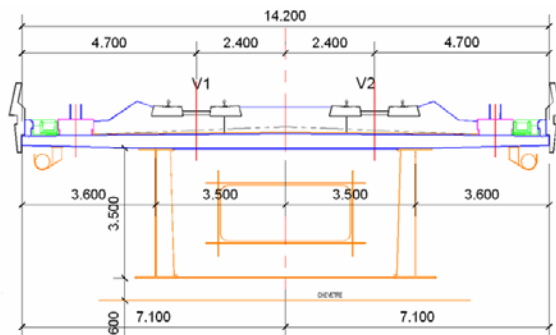


- ◆ Viaduc du Tech (VIA 15.65) : 392 m
8 travées : 37m, 6x53m, 37m



La conception du tablier

- ◆ Entraxe des Poutres : 7m
- ◆ Hauteur des poutres : 3.50m
- ◆ Hourdis béton B32 : 0.40m (entre poutres)

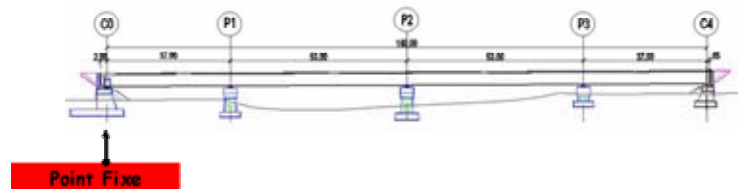


- ◆ Pièces de Pont (Diaphragmes) : esp. 9,25m et 10,60m
- ◆ Contreventement inférieur : Treillis en profilés
- ◆ Plancher de visite en caillebotis



La conception des appuis (Viaduc du Réart)

- ◆ Piles
Hauteur faible : 4,40m à 7m
Fût octogonal + Chevêtre marteau
- ◆ Culées
Semelle + Voiles + chevêtre
C0 : H ~ 10,90m
C4 : H ~ 9,50m
- ◆ Fondations superficielles



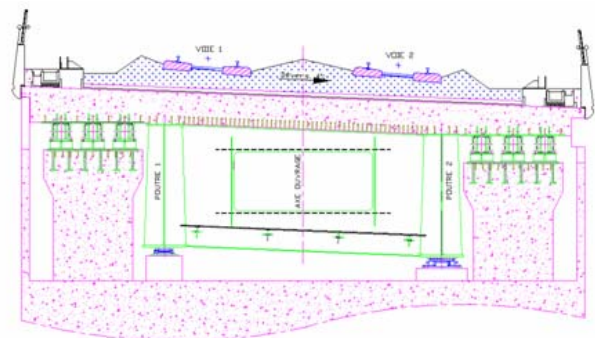
- ◆ Choix du point fixe longitudinal
Raideur élevée des piles : Efforts sismiques ↗
Fondations en rivière ↗

Culée C0 équipée de 6 ressorts-Amortisseurs
BC (ETIC-JARRET)

H sous séisme Longi. : 2900 t à 1300t
Précontrainte initiale des appareils =
Efforts de service : F0 ~ 6x150 t = 900 t



- ◆ Culée C0 - disposition des amortisseurs



- ◆ Les calculs sismiques
Calcul par pas de temps
Trois accélérogrammes calés sur an et site S1
Loi de comportement des dispositifs BC : $F = F_0 + K.X + C.Va$

- ◆ Résultats calcul temporel :
Déplacement maxi = 17 mm
Effort maxi = 1300 t (216 t/app.)

La conception des appuis (Viaduc du TECH)

- ◆ Piles
Hauteur : 21 m à 23m
Fût octogonal + Chevêtre marteau
- ◆ Culées
Semelle + Voiles + chevêtre
C0 : H ~ 22 m
C8 : H ~ 15 m
- ◆ Fondations superficielles
- ◆ Point fixe longitudinal
Culée C0 : choix envisagé puis abandonné
3 points fixes : Piles P1, P2, P3
AD à chaque extrémité : Déplacement sous freinage-démarrage < 30 mm

Le déroulement des travaux (Appuis)

- ◆ Fondations en rivière : réalisées à l'abri de batardaux
- ◆ Fûts de piles : Coffrage grimpant - Levées de 5 m
- ◆ Ferrailage : préfabriquée 2 levées (Limiter les zones de recouvrement - zone sismique)



Le déroulement des travaux (Tablier)

- ◆ Lançage Charpente (+ferrailage dalle partiellement)

Tech en 2 Phases (15 tronçons) : 1800 t
Réart en 1 Phase (7 tronçons) : 800 t



Phase 1 (sept. 2006)



Phase 2 (Janvier 2007)

- ◆ Hourdis BA coulé en place : Bétonnage par pianotage
Plots en travée de rive : 9,25 m
Plots en travées courantes : 10,60 m

4 - Les tabliers à poutres latérales (A9 et RN9)

Tabliers RAPL ?

Choix motivé par :

- Biais prononcé
- Souplesse au niveau implantation des appuis
- Minimiser la hauteur de remblai

VIA 14.35

Voies Franchies :

- RN9 (RD900) + Projet futur
- VF Elne-Céret

Longueur = 144m (4 travées : 27m, 49m, 41m, 27m)
Largeur variable : 15.75 m à 17.70 (Voies V1 et V2 s'écartant)
Tracé LGV : AD - PL en pente 1,18 %
Biais = 59 grades

VIA 9.41

Franchissement par la LGV de :

- l'A9 (élargissement futur - mise à 2x3 voies)
- Rétablissement RD2

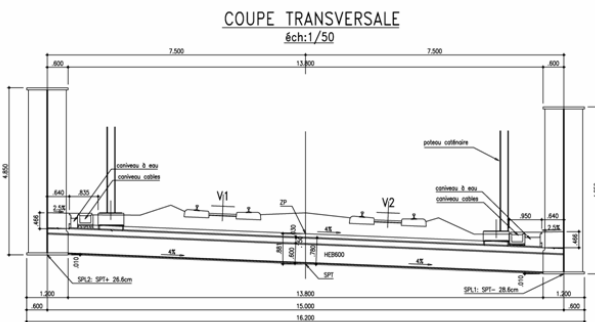
Longueur = 268.80 (5 et 6 travées : maxi ~ 62m)
Largeur : 15 m
Tracé LGV : Rayon 7692 m - PL en pente 1,25 %
Biais ~ 34 grades



Viaduc sur A9

La conception du tablier

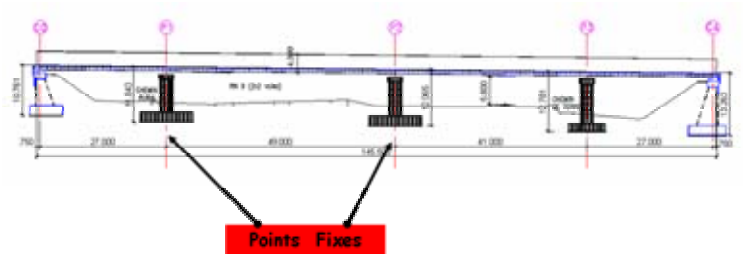
- ◆ Entraxe des Poutres : A9 = 15 m ; RN9 = 15,75 à 17,70m
- ◆ Hauteur des poutres : A9 = 4,85 m ; RN9 = 4m
- ◆ Dalle en PE : A9 = H600 ; RN9 = H700



- ◆ Assemblage des pièces de pont:
- ◆ Comportement dynamique :
 - ✓ Bon comportement général
 - ✓ Accélération verticale > 3.5 m/s² au droit des entretoises (entrée ou sortie des convois)
- ☞ Appuis néoprènes disposés sous entretoises d'about

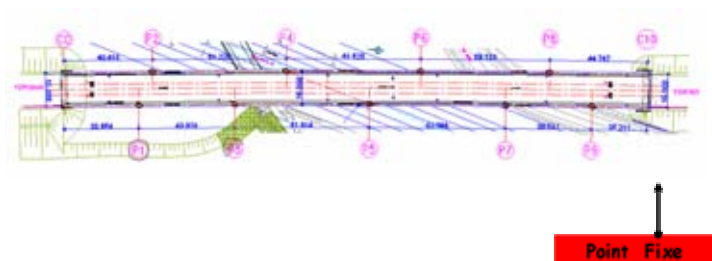
La conception des appuis (RN9)

- ◆ Piles
 - Hauteur : ~ 8 m à 9,60 m
 - Fût cylindrique + Chevêtre homothétique
- ◆ Culées
 - Semelle + Voiles + chevêtre
 - C0 : H ~ 10,80 m
 - C4 : H ~ 13,30 m
- ◆ Appareils d'appui : Sphériques (Maurer)
- ◆ Fondations superficielles
- ◆ Points fixes longitudinaux : P1 et P2
- ◆ Séisme Longitudinal : Coefficient de comportement = 1,6



La conception des appuis (A9)

- ◆ Piles
 - Hauteur : ~ 6,24 m à 7,24 m
 - Fût cylindrique + Chevêtre
 - Piles en TPC : P4 et P5
- ◆ Culées
 - Semelle + Voiles + chevêtre
 - C0 : H ~ 11 m
 - C10 : H ~ 6,30 m
- ◆ Appareils d'appui : Sphériques (Maurer)
- ◆ Fondations sur pieux forés ϕ 1200
- ◆ Point fixe longitudinal : Culée C10 équipée de 10 amortisseurs type BC
 - H sous séisme Longi. : 6000 t à 2100t
 - Précontrainte initiale des appareils :
 - Efforts de service : F0 ~ 10x150 t = 1500 t



- ◆ Séisme transversal : Coeff. De comportement ~ 2,5
- ◆ Efforts sismiques repris par les appareils d'appui
- ◆ Disposition des amortisseurs sur la culée C10 :
 - ◆ Aménagement spécifique pour entretien et démontage
 - ◆ Pièce de pont sur culée renforcée : Caisson



Le déroulement des travaux (Appuis)

- ◆ Contraintes liées à la proximité des voies en service :
 - VIA 14,35 : RN9 et VF
 - VIA 9.41 : Piles en TPC
- ◆ Fût et chevêtre : Coffrage bois
- ◆ Fût et chevêtre : Coffrage bois (Toute hauteur)



Le déroulement des travaux (Tablier)

- ◆ Assemblage Charpente : Pièces de pont (12000 et 24000 boulons HR respectivement RN9 et A9)
- ◆ Lançage VIA 14.35 (1 seule phase) : Largeur variable (système de ripage des chaises de lançage)



- ◆ Lançage VIA 9.41 (1 seule phase) : Vérins de traction (Poids ~ 4200 t = charpente + Béton dalle sur 15 cm)



5 - Les Principales Quantités

	Métal (t)	Béton (m3)	Acier HA (t)
REART	800	2730	560
TECH	1600	6500	1300
A9	2550	5320	560
RN9	1400	3570	390
TOTAL	6550 t	18120 m3	2810 t

6 - Les Principaux intervenants

- ◆ Architectes
 - ⇒ Architecture NEEL - SADE
- ◆ Conception et Contrôle des études d'exécution
 - ⇒ INGEROP - ARCADIS
- ◆ Etudes d'exécution
 - ⇒ Bipoutres : Métal = SNCF-IGOA
GC = COREDIA
 - ⇒ RAPL : Métal = IOA
GC = COGECI
- ◆ Entreprises
 - ⇒ Génie Civil : Eiffage TP
 - ⇒ Métal : Eiffel

Les calculs spécifiques des ouvrages à tablier métallique Patrice Schmitt

- Les ouvrages ferroviaires de la ligne ont nécessité deux types de calculs spécifiques :
 - ✦ Les calculs **dynamiques**
(Étude du comportement dynamique des tabliers sous le passage des convois ferroviaires, à grande vitesse)
 - ✦ Les calculs **sismiques**
(Étude des conséquences des séismes sur l'ouvrage et mise au point des dispositifs de protection éventuels)
- La SNCF (Direction de l'Ingénierie - Département des Ouvrages d'Art) a réalisé les études d'exécution de deux ouvrages majeurs :
 - ✦ le franchissement du **Tech**
(Bipoutre mixte de 392 m - 8 travées : 37 m - 6 x 53 m - 37 m)
 - ✦ Le franchissement du **Réart**
(Bipoutre mixte de 180 m - 4 travées : 37 m - 2 x 53 m - 37 m)

1. Les calculs dynamiques

- Sur lignes à grande vitesse, les ouvrages d'art sont soumis à des **sollicitations dynamiques**

particulièrement agressives, qui peuvent être à l'origine de phénomènes de résonance.

- Les risques sont de deux types :
 - perte du contact rail-roue (risque de déraillement)
 - Déconsolidation du ballast (instabilité latérale de la voie - usure précoce)
- **Phénomène physique** : le passage des essieux, régulièrement espacés, est assimilable à une excitation périodique, entretenant un mouvement forcé.
- La réponse de la structure dépend :
 - des fréquences propres ni du tablier (une résonance peut apparaître si $n_i = V/L$)
 - du pourcentage d'amortissement structurel ξ (la réponse est proportionnelle à $1/\xi$)

Dans le cas d'un ouvrage complexe (hyperstatique), le calcul de la réponse de l'ouvrage au passage d'un convoi nécessite un **calcul dynamique temporel**.

Hypothèses :

- Les forces excitatrices sont considérées comme des **forces ponctuelles constantes**, représentatives de la réaction d'appui au droit de chaque essieu.
- l'ouvrage présente des caractéristiques de **masse** et de **raideur nominales**.
- l'**amortissement structurel** ξ est pris égal à 0,5 % (ouvrage métallique)
- pour couvrir les trains actuels & les trains futurs potentiels, on effectue les calculs avec 10 convois différents (livret 2.01 ou Eurocode 1-2), pour les vitesses d'exploitation et 3 vitesses critiques [200 km/h ; 420 km/h]

Les critères ELS de vérification : ils sont au nombre de 3.

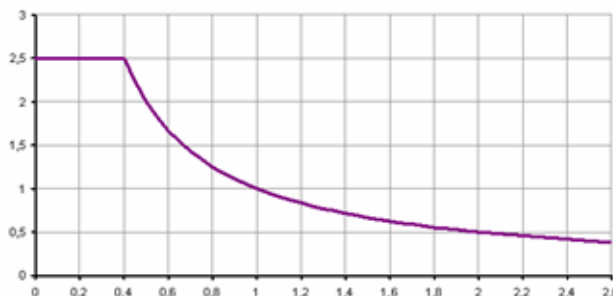
Critère	accélération verticale	gauche	Rotation sur appui
Valeur limite	0,35 g	0,4 mm.m ⁻¹	3,5 mrad
OA Tech	1,98 m.s ⁻²	0,200 mm.m ⁻¹	0,454 mrad
OA Réart	1,79 m.s ⁻²	0,218 mm.m ⁻¹	0,528 mrad

- Vérifications supplémentaires, relatives aux ouvrages métalliques : la fatigue dynamique
 - ✦ Sous l'effet des sollicitations dynamiques, les flèches observées sont plus importantes qu'en statique (pour certaines travées de l'ouvrage du Tech, le **coefficient d'amplification dynamique** atteint 1,48).

On peut donc craindre un endommagement en fatigue précoce non prévu par les vérifications habituelles.

2. Les calculs sismiques

- Les ouvrages de la ligne sont situés en zone sismique 1b (PS 92), site S1 (sol de bonne capacité portante).
 - ✦ Ils sont de classe C (arrêté du 15 septembre 1995), $\alpha_n = 2 \text{ ms}^{-2}$
 - ✦ Spectre élastique



- La conception parasismique :
 - ✦ Transversalement, les ouvrages sont bloqués sur tous les appuis.
 - ✦ Longitudinalement, 2 conceptions différentes :
 - Ouvrage sur le Tech : blocage longitudinal sur les piles P1, P2 et P3
 - Ouvrage sur le Réart : mise en œuvre de ressorts-amortisseurs précontraints

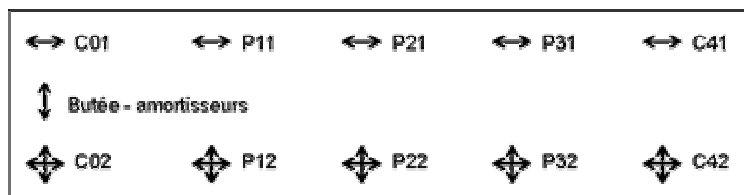


Schéma fonctionnel de l'ouvrage sur le Réart

- Autres hypothèses de calcul :
 - ✦ Les structures ont un comportement élastique dans toutes les directions (Coefficient de comportement $q = 1$)
 - ✦ Le pourcentage d'amortissement modal est pris égal à 5% (Piles en béton armé)
 - ✦ Aucune charge de trafic concomitante n'est considérée
 - ✦ Un modèle à barre tridimensionnel est mis en œuvre
 - ✦ Combinaisons modales C Q C
 - ✦ Les effets des directions sont cumulés suivant la règle générale :

$$E = E_1 \pm 0.3E_2 \pm 0.3E_3$$

- Pour l'ouvrage sur le Tech dans toutes les directions et pour l'ouvrage sur le Réart transversalement, les efforts sismiques sont directement issus du calcul modal.
- Pour l'ouvrage sur le Réart, dans la direction longitudinale :
 - Modélisation de la loi de comportement non-linéaire des amortisseurs

- Calcul temporel avec 3 accélérogrammes dont le spectre est représentatif du spectre normalisé.
- Les amortisseurs
- Fournisseur JARRET
- Loi de comportement :

$$F = F_0 + Kx + Cv^2$$



- Les ressorts - amortisseurs précontraints permettent :

De bloquer tout déplacement sous les effets combinés de : Dilatation + Interaction voie-ouvrage + Freinage / Démarrage (Effort horizontal équivalent : 8800 kN)
exigence forte, il est nécessaire de contrôler ***strictement les déplacements*** en service pour assurer la stabilité de la voie

Diminuer les efforts longitudinaux dus au séisme : Pour l'ouvrage sur le Réart, diminution de l'effort longitudinal de séisme de 29200 kN à 13000 kN (soit -55 %)

La réalisation des travaux
 Jacques Guichard

Résumé du projet

Une ligne ferroviaire internationale mixte (TGV et fret) de 44,4 km comprenant :

En France :

- Plateforme double voie de 17,3 Km
- Plateforme à voie unique de 4,6 + 2,9 Km
- Un inverseur de voies par saut de mouton

Un tunnel transfrontalier bitube de 8,3 Km (dont 1 Km en Espagne)

En Espagne :

- Plateforme à double voie de 18,8 Km

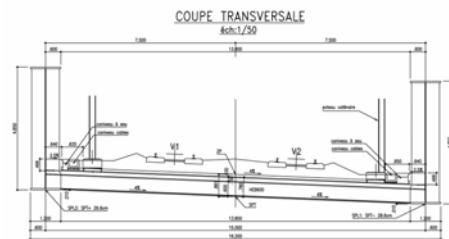
Les équipements ferroviaires et de sécurité (voies, signalisation, électrification, télécommunications)

Le chantier en chiffres

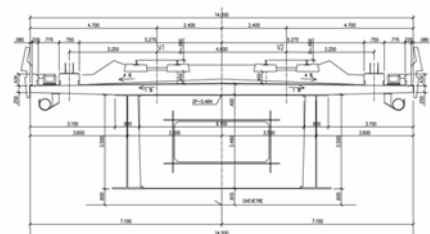
La Plateforme France comporte

- **34 ouvrages d'art :**
 - 4 viaducs ferroviaires (RAPL ou mixtes)
 - 2 sauts-de-mouton
 - 1 triple portique
 - 10 ponts rails (poutres préfabriquées ou cadre BA)
 - 10 ponts routes (dalle BA ou BP ou poutres préfabriquées)
 - 7 OH d'ouverture de plus de 5m
- **8 Bâtiments Techniques**
- **2.6 Km d'Ecrans Acoustiques**

Les viaducs à poutres latérales (RAPL)



Les viaducs mixtes



Le franchissement des deux fleuves est assuré par des tabliers de type bi-poutres portant un hourdis en béton armé, avec des travées courantes de 53m de portée



Viaduc sur le Tech

Les sauts de mouton

- Un pour l'inversion des voies entre la France et l'Espagne
- un pour permettre le raccordement aux installations terminales de Perpignan



Les ponts dalles



Les ponts à poutres préfabriquées

Le portique triple de la RD 618

Il s'agit d'un portique à 3 travées de 33m de longueur et environ 52m de large avec un biais de 138 grades



Les cadres en béton armé



Le chantier en chiffres : Terrassements et Assainissement

- 4 300 000m³ de déblais
- 3 700 000m³ de remblais
- 8 000 m de collecteurs
- 56 000m de fossés
- 8 650 m de voies rétablies ou de chaussées nouvelles
- 7 640 m de voies d'accès de service
- 11 400 m de voies latérales
- 120 OH de moins de 5m

Les ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques ont deux fonctions essentielles :

- Collecter et évacuer les eaux de la plateforme ferroviaire
 - Fossés terre ou bétons, caniveaux, collecteurs, canal
 - Traversées sous plateforme
 - Bassins d'écrêtement
- Rétablir la transparence vis-à-vis des eaux extérieures au projet
 - Ouvrages de franchissement (buses et cadres)
 - Fossés d'entonnement et fossés diffuseurs

Les grands terrassements



La tête Nord

La sécurité incendie dans le tunnel du Perthus

Pierre Guillemot

Les objectifs

- Empêcher l'incendie.
- Détecter l'incendie.
- Evacuer les personnes.
- Eteindre l'incendie.

Empêcher l'incendie

- Empêcher la formation de l'incendie
 - En restreignant les trains autorisés à entrer.
 - En utilisant des matériaux anti-feu.
- Empêcher l'incendie d'entrer dans le tunnel
 - En détectant sa présence à bord du train.
 - En empêchant les trains de s'arrêter dans le tunnel.

Détecter l'incendie

- A l'aide du chef de bord du train.
- A l'aide de la fibrolaser.
- A l'aide des opacimètres

Evacuer

- Etudes préalables :
 - Toxicité, chaleur, visibilité admissible pour évacuer les personnes.
 - Etude aérodynamique du tunnel.
 - Etude météorologique des deux têtes.
- Mise en sécurité de la zone d'évacuation par la ventilation, suivant :
 - Les conditions atmosphériques.
 - La position du train.
 - La position de l'incendie.
- Objectif : créer un chemin d'évacuation sûr et sans fumées pour faire sortir les personnes, sans danger.
- Prise en charge de l'évacuation des personnes par le personnel de bord.
 - Sortie du train.
 - Evacuation des personnes vers le tube sain.
 - Sortie du tunnel.
- Il faut donc garantir le fonctionnement des équipements de sécurité lors de l'évacuation (éclairage, communications...)

Eteindre

- Donner aux services de secours les outils nécessaires pour combattre le feu.
 - Eau
 - Communications
 - Véhicules rail-route
- L'extinction du feu pouvant prendre du temps, les matériels utilisés doivent résister au feu durant au moins deux heures.

Les problèmes de vibration et environnementaux dans le tunnel de Perthus

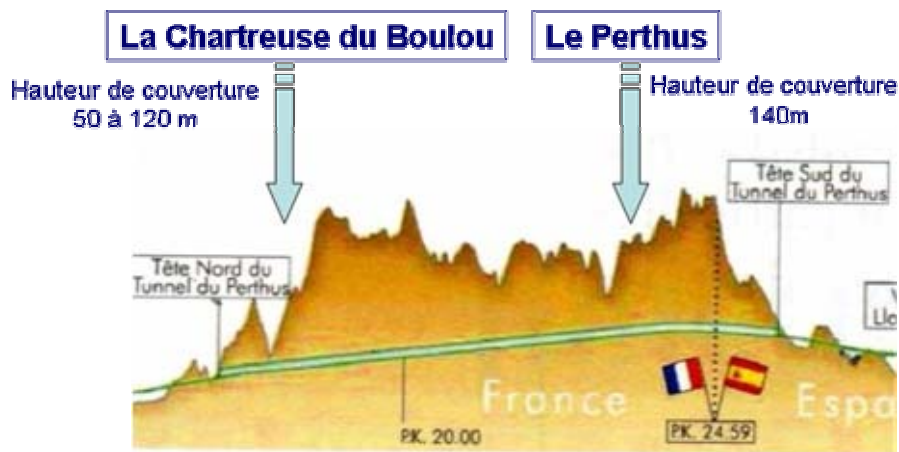
Daniel André

Problématique

- La transmission en surface des bruits et vibrations créés par le tunnelier et les engins de roulement pose le problème d'une éventuelle nuisance lors du passage des trains.
- **Quelle prévision** peut-on faire des risques de nuisance en période d'exploitation ?
- Le cas échéant, **comment y remédier ?**

=> Évaluer

- **Le niveau de vibration** et ses effets sur les personnes et les structures
- **Le niveau de bruit** induit par les phénomènes vibratoires.



Démarches appliquées (1)

Pour les nuisances vibratoires

1. **Établissement d'un modèle numérique de prévision** prenant en compte
 - l'excitation vibratoire d'origine ferroviaire
 - et la transmission des vibrations à travers le massif jusqu'en surface.
2. **Étalonnage du modèle par des mesures**
 - sur des sites de tunnels actuellement exploités présentant des similitudes avec le site du projet (type de pose de voie, type de circulation TGV et fret)
 - sur le site du Perthus - transmission dans le massif des vibrations générées par le chantier

Démarches appliquées (2)

Pour les nuisances sonores

- **Mesure des bruits** réémis par les structures des habitations de la commune du Perthus sous l'effet des vibrations du chantier
- **Évaluation du bruit** réémis en phase d'exploitation, à partir
 - des niveaux vibratoires attendus en phase d'exploitation (calculés par le modèle)
 - et du comportement des structures mis en évidence par les mesures précédentes

Déroulement des études

- ☐ Détermination des critères d'acceptabilité
- ☐ Mesures de vibration sur site exploité par des TGV (tunnel de Marseille)
- ☐ Mesures de vibration sur site exploité par des circulations fret (tunnel de Saint-Martin d'Estréaux)
- ☐ Mesures sur le site du Perthus (mesures de vibration et acoustiques)
- ☐ Modélisation et prévision des niveaux vibratoires et des niveaux sonores
 - ☐ pour la pose prévue (Rheda 2000)
 - ☐ Avec une autre pose de voie

Les mesures sur site et la modélisation sont confiées à AVLS

Critères d'acceptabilité

Difficulté: Il n'existe pas de réglementation française relative aux niveaux vibratoires maximaux admissibles chez les riverains de circulations ferroviaires.

Nuisance vibratoire tactile

- Application des seuils contenus dans l'Annexe A de la version de 1989 de la norme ISO 2631-2 « Estimation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps - Vibrations continues et induites par les chocs dans les bâtiments ».
- Cette norme donne des niveaux de vitesse vibratoire admissibles par bandes de tiers d'octave.

Nuisance acoustique

- Le phénomène est complexe
 - il s'agit du rayonnement acoustique des structures (phénomène de «régénération»)
 - la gêne des occupants dépend de l'émergence du signal par rapport à un niveau sonore résiduel pré-existant.
- Le niveau de pression acoustique généré par les vibrations sur les parois d'un local
 - peut être estimé à partir du spectre de vitesse vibratoire.
 - est à comparer au niveau sonore pré existant dans le local (exprimé en dB(A) en Leq 1s.)
- En général, dans les logements
 - le niveau sonore résiduel est très bas
 - on constate que les riverains font état d'une gêne lorsque le seuil de 30 dB(A) en Leq 1s est atteint ou dépassé au passage des trains.
 - Il apparaît que la gêne acoustique est produite pour des valeurs plus faibles que celles qui produisent la gêne tactile.

Domage aux structures

- La circulaire du 23 juillet 1986 du Ministère de l'Environnement définit les niveaux de vitesse vibratoire maximaux ne devant pas être dépassés sur les fondations des bâtiments, selon leur «sensibilité».

- Cette circulaire ne concerne en principe que les installations classées, mais fournit des indications susceptibles d'être utilisées par les experts.
- Pour les bâtiments les plus sensibles, la vitesse maximale crête admissible est de 2 mm/s aux plus basses fréquences.

Premières conclusions des mesures faites dans le tunnel TGV de Marseille

Les résultats de mesure de passage de TGV dans le tunnel de Marseille ont mis en évidence les points suivants :

- ❑ La réponse vibratoire en tunnel dépend des propriétés locales de la voie et de la structure du tunnel
- ❑ Niveau engendré par le passage des trains en surface,
 - avec une hauteur de couverture $\geq 60\text{m}$: pas ou très peu d'émergence / niveau de bruit résiduel
 - avec une hauteur de couverture $\leq 30\text{m}$: nette émergence / niveau de bruit résiduel.
- ❑ Mais dans tous les cas les mesures effectuées en tunnel et en surface indiquent que le niveau vibratoire est inférieur au seuil de sensibilité tactile (66dB)

Présentation générale de la plateforme Espagne Santiago Martin

Les Travaux exécutés dans le tronçon espagnol sont divisés en:

- Terrassements
- Viaducs (6)
- Faux Tunnel (2)
- Ouvrages de Drainage (32)
- PRO et PRA (12)

Terrassements

UNITÉ DE TRAVAUX	VOLUME TOTAL CUMULÉ
DÉBLAIS	3.500.000 m3
REMBLAIS	2.900.000 m3
BLOCS TECHNIQUES	350.000 m3
COUCHE DE FORME	200.000 m3
SOUS BALLAST	100.000 m3
	7.050.000 m3



Vue des talus remblais réensemencés

Autres ouvrages

TYPE DE TRAVAUX	TOTAL
OUVRAGE DE DRAINAGE	32
PASSAGES INFÉRIEURS	7
PASSAGES SUPÉRIEURS	5
MURS	5
LONGUEUR TOTALE	2.752 m



Deux faux tunnels





Les principaux viaducs en Espagne

- Llobregat 2 viaduc, 630 m.
- Llobregat 1 viaduc, 193 m.
- Gou viaduc, 230 m.
- Bosqueras viaduc, 90 m.
- Ricardell viaduc, 570 m.
- Muga viaduc, 510 m.



La voie, la signalisation et les équipements ferroviaires

Jean-Michel Grave

Challenge

- Organisation
 - GEIE TP Ferro (Concessionnaire)
 - GEIE TEP (Constructeur)
 - » GEIE IFP (Forclum Cobra, Installations superstructures)
 - » GEIE Voies (Witfeld Vias Tecsa)
 - » 3 autres GEIE
- Projet en conception construction
 - Conception
 - » 350 km/h
 - » Trafic mixte fret voyageur
 - Contrat de construction
 - FDMS, Essais, Autorisation de mise en service
 - Délai : 60 mois
- Projet Binational
 - Langue
 - STI (Spécifications techniques d'interopérabilité)
 - Directives Européennes
 - Législation sociale
 -



Ouvrage mis à disposition

- 48 km Plateformes profilée pré-équipée de caniveaux
 - Ponts, viaducs, tunnel et faux tunnels
 - Bâtiments techniques
- Objectifs Généraux
 - Sécurité
 - Confort
 - Disponibilité
 - Qualité et Longévité
 - Exposition climatique,
 - Equilibre financier
 - ...
 - Délai
 -



La voie

Tronçon GV de 45 km

- . Section France 17,3 km (voie sur ballast)
- . Tunnel 8,3 km (voie sur dalle)
- . Section Espagne 18,8 km (voie sur ballast)
- Voies de raccordement 2,9 km (voie classique)
- Aiguilles à usage divers
- Base de maintenance
- Objectifs et particularités
 - Profil « GV » et trafic fret
 - Raccordement intermédiaire provisoire
 - Approvisionnement des rails
 - Approvisionnement des ballasts

Cohabitation des installations de superstructures

- Courants de retour
- Circuits de voies (balises électroniques)

Système de signalisation

- Options TVM 430, KVB, ASFA non retenues (02-2006)
- ERTMS Niveau 2 (communication sol train par GSM-R)
 - 350 Km/h à 2,5 mn
- ERTMS Niveau 1 (communication sol train par balises)
 - 300 Km/h à 5 mn
- Signalisation simplifiée
- Version 2.2.0. , et Subset 108 1.1.0. (Mars 2007)

GSM-R

- Relations Sol trains
 - Conduite assistée
 - Communications sécurisées
- Relations PC-Campagne

Caténaire

- Caténaire 25 KV
 - Dimensionnement suivant STI EN 50 119
 - Certification CE à 350 Km/h
 - Hauteur 5m30, rehaussable à 5m60 (autoroute ferroviaire)
 - Cable de contact Cu Mg à 30 daN 150 mm²
 - Présence de viaduc, et de zones ventées
- Caténaire 1500 V
 - Vitesse 160 Km/h
 - Voies de raccordement à Perpignan
- 3 Zones neutres : tension, séparation de phase, fonctionnelle

Ventilation du tunnel

- Objectif : dilution pour permettre l'évacuation en sécurité
- Particularités : dépression nord sud, déclivité, rugosité, scénarios
- Technologie : « banana jet »

Télécommunications fixes

- Communications PC à PC
- Communications PC - PCL
- Communications internes à la concession (PABX)
- Communications ERTMS-GSMR
- Communications internes ERTMS (local, inter RBC,...)

- Communications GTC Tunnel
- Communications Secours
- Communications GTC Lignes
- Communications détecteurs en lignes
- Communications sous système énergie
- Etc...

PC et PCL

- PC de Barcelone
 - Circulations
 - Synoptique SI
 - ERTMS
 - Gestions de trafic
 - Energie
 - Systèmes de surveillance
 - Tunnel
 - Communications fixes
 - Communications GSMR (report)
 - Echanges Barcelone Figueres, Perpignan, GV Nord
- PCL
 - Report des fonctions du PC
 - Conduites des opérations en cas d'incident

Une ligne du futur

