

# LGV PERPIGNAN FIGUERAS LES OUVRAGES D'ART DE LA PLATEFORME EXTÉRIEURE FRANCE

**Patrick CHARLON, Jérémie BAUMGARTNER, Thierry THIBAUX**

Eiffage TP

L'axe ferroviaire à grande vitesse du Sud-ouest de l'Europe incluant le tronçon reliant Perpignan à Figueras, fait partie des projets prioritaires du Réseau Transeuropéen des Transports de l'Union Européenne.

Dans ce cadre, en décembre 2003, les Etats français et espagnol ont attribué, au groupement TP FERRO constitué par les groupes Eiffage et ACS-Dragados la concession pour la construction et l'exploitation de la ligne ferroviaire à grande vitesse entre Perpignan et Figueras (dite Section Internationale). Il s'agit d'une ligne de trafic mixte aux standards UIC, interopérable et pouvant accueillir à la fois des trains voyageurs à grande vitesse et des trains de fret.

Le 17 Février 2004, les représentants des deux gouvernements et ceux de la société concessionnaire, ont signé le contrat de concession établissant les conditions relatives à la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien de la Section Internationale. Ce sera la deuxième fois en Europe, après le Tunnel sous la Manche, que des états confient la concession d'un ouvrage binational à un groupement privé.

La durée de la concession est de 50 ans incluant le délai de 60 mois nécessaire à la construction.

## 1. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU PROJET

La section internationale est une ligne nouvelle à double voie d'environ 44,4 km, située entre Le Soler (près de Perpignan) et Figueras. Elle comprend :

- En France : une plateforme à double voie d'une longueur de 17,3 km entre le Soler et l'entrée du tunnel , et deux plateformes à voie unique de longueurs 4,6 km et 2,9 km pour les raccordements avec le réseau traditionnel au Soler.
- Un tunnel transfrontalier bitube (tunnel du Perthus) de 8,3 km de longueur, dont environ 7,3 km sur le territoire français,
- En Espagne: une plateforme à double voie d'une longueur de 18,8 km entre la tête de tunnel et Figueras.
- Un changement de parité des voies effectué au moyen d'un saut de mouton situé au Nord du tunnel du Perthus.
- L'ensemble des équipements ferroviaires et de sécurité correspondants, y compris les installations de contrôle du trafic ferroviaire situées en dehors de la section internationale et nécessaires à son fonctionnement.

La voie est mise en place sur ballast dans les zones à l'air libre et sur dalle béton dans le tunnel. La nouvelle ligne est alimentée en courant alternatif 2x25.000 V. La signalisation répond à la norme ERTMS niveau 2, et satisfait donc aux exigences européennes d'interopérabilité.



*Figure 1 : Profil en long du projet*

## 2. LES OUVRAGES D'ART DE LA PLATEFORME FRANCE

La plateforme extérieure France située entre le raccordement au réseau ferré à Perpignan et le tunnel du Perthus, comporte 34 ouvrages d'art (non compris les OH dont l'ouverture est inférieure à 5m) :

- 4 viaducs ferroviaires
- 2 sauts de mouton et un portique triple,
- 5 ponts à poutres préfabriquées,
- 13 cadres en Béton Armé,
- 9 ponts routes (dalle BA ou BP).

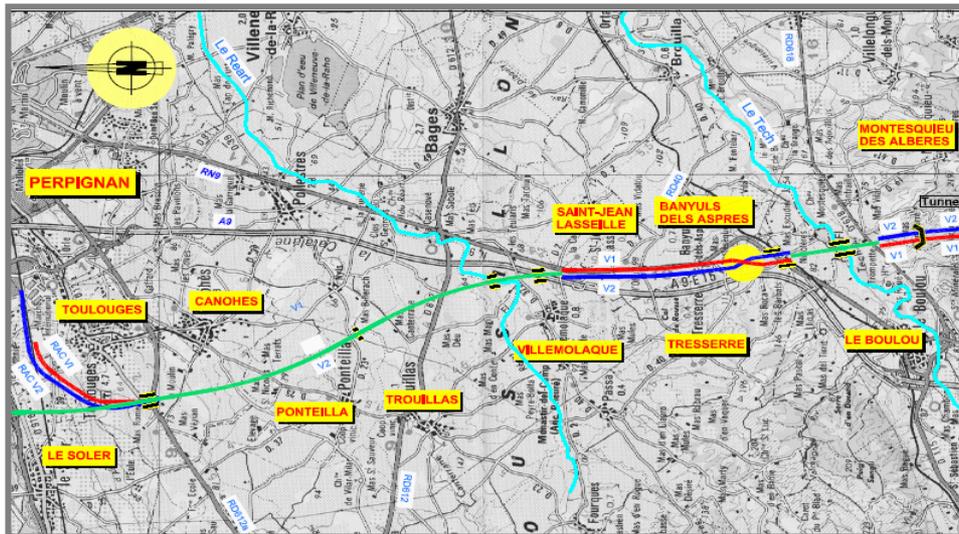


Figure 2 : Vue en plan du projet de la plateforme France

Pour le franchissement des brèches importantes, il a été fait appel à des tabliers métalliques ou mixtes largement utilisés sur les lignes à grande vitesse construites en France : LGV méditerranée et récemment sur la LGV EST où une vingtaine d'ouvrages métalliques ou mixtes ont été réalisés sur les différents tronçons.

En ce qui concerne les ouvrages de portées moyennes, le choix du constructeur s'est porté sur des ponts rails de type ponts à poutre préfabriquées. Ces solutions permettent une mise en place sans cintre sur la voie ou cours d'eau franchis, et offre un gain de temps dans l'exécution des travaux.

Pour les rétablissements routiers et le cas de franchissement de brèches de moindre importance, les solutions classiques de type pont dalle et cadres en béton armé sont retenues.

### 3. LES GRANDES LIGNES DE LA CONCEPTION

#### 3.1. Exigences particulières du contrat de concession

Le cahier des charges techniques de la concession stipule que des dispositions sont à prendre pour satisfaire aux exigences particulières du projet, notamment en ce qui concerne l'objectif de durée de vie de 100 ans, la Fiabilité, la Disponibilité, la Maintenabilité et la Sécurité (FDMS) de l'ouvrage.

Pour les ouvrages d'art, leur conception devait privilégier des structures classiques, durables simples de conception et largement éprouvées, permettant un entretien minimal compatible avec la maîtrise de la circulation ferroviaire tout en restant esthétique et bien intégré dans l'environnement.

#### 3.2. Conception parasismique

La ligne nouvelle est située en zone sismique, les ouvrages ont donc été conçus en application des règles de conception et de réalisation parasismiques en vigueur (Zone sismique 1b).

Les ponts rails se caractérisent par d'une part une masse importante des tabliers (poids propre de la structure et poids élevé des équipements ferroviaires) et d'autre part des appuis peu déformables sous l'effet de circulation des trains (freinage-démarrage notamment). Ces contraintes spécifiques à la conception des ouvrages ferroviaires, vont à l'encontre de la souplesse et la légèreté recherchées en conception parasismique.

Aussi il a été retenu pour les viaducs côté France des structures de tablier en ossature mixte acier-béton beaucoup moins lourde qu'en solution caisson en béton précontraint dans le but de réduire les effets dus au séisme.

Une des particularités de la conception adoptée est le recours à des dispositifs spéciaux de type ressort-amortisseur précontraint, assurant une double fonction :

- le blocage longitudinal du tablier sous les efforts de service (Freinage/démarrage, interaction voie-ouvrage, effets thermiques,...),
- la réduction des efforts ultimes transmis aux appuis sous séisme (par dissipation d'énergie), ainsi que le recentrage du tablier après un événement sismique.

Lors des études de conception, plusieurs solutions ont été envisagées avec ou sans dispositifs spéciaux, et ont conduit à équiper deux des quatre viaducs de ce type de dispositifs.

Cette conception originale, présentait un intérêt technico-économique, car elle permettait une réduction substantielle des efforts sismiques transmis aux appuis, et offrait l'avantage de garantir un fonctionnement sûr en service, tout en limitant l'intervention sur les organes d'appui à la suite d'un événement sismique majeur.

### 3.3. Spécifications relatives au comportement dynamique

L'étude du comportement dynamique des ouvrages sous passage des convois à grande vitesse, revêt une importance particulière. Elle vise à vérifier les critères garantissant la sécurité des convois, la stabilité de la voie (contact rail - roue), et le confort des passagers.

La vitesse potentielle de référence considérée dans la conception de la ligne est de 350 Km/h. Conformément aux directives des Spécifications Techniques d'Interopérabilité (STI) relatives au sous-système infrastructure, les justifications sont menées en balayant une plage de vitesse allant jusqu'à 420 Km/h, soit une majoration de 20% de la vitesse potentielle de la ligne.

L'analyse dynamique est conduite en considérant le Train Dynamique Universel A composé de 10 convois élémentaires A1 à A10, et les vérifications effectuées sont celles du Livret 2.01 de la SNCF (Accélération verticale, gauche du tablier, flèche,.....).

## 4. LES OUVRAGES D'ART COURANTS

### 4.1. Les ponts à poutres préfabriquées

Pour franchir les cours d'eau de moyenne importance, les ouvrages retenus sont des tabliers à trois travées dont le tablier est constitué de poutres préfabriquées en béton armé reliées par un hourdis en BA coulé en place. Ce type de structures permet de s'affranchir de l'étalement du tablier dans le lit de la rivière et offre un gain de temps dans la réalisation des ouvrages.



*Photo 1 - PRA 0.94 – Pont à poutres préfabriquées*

Ce type de tablier a également été adopté pour des ouvrages de franchissement de voie en circulation (franchissement de la voie ferrée Perpignan-Villefranche : 1 travée isostatique et franchissement de la RD612a : tablier à 6 travées).

Le recours à des poutres en béton armé et non en béton précontraint a été motivé par d'une part les portées modestes de ces ouvrages, et d'autre part une meilleure maîtrise et une simplification de la préfabrication.

Les poutres préfabriquées en béton armé ont des longueurs variant de 9.60 à 16.50 m.

Les culées sont constituées d'un chevêtre filant porté par un file de voiles encastrés dans une semelle fondée superficiellement.

Les piles sont composées de fûts rectangulaires, coiffés d'un chevêtre intégrant les butées antisismiques, et permettant la pose des poutres.

Le matériel utilisé pour la réalisation de ces ouvrages est le suivant :

- Coffrage des semelles avec des coffrages manu portables de type PERI Domino.
- Coffrage des poteaux de culée avec des banches métalliques de type Outinord.
- Coffrage des piles et culées (mur de front) avec des banches PERI de type Trio.
- Coffrage des chevêtres avec un coffrage bois fabriqué sur le chantier.
- Le fond de moule des entretoises est constitué d'une boîte à sable sur toute sa surface.
- Le coffrage perdu est utilisé pour le tablier entre poutres et pour les faces verticales des entretoises.

L'enchaînement des travaux est réalisé à l'aide de deux équipes de production, la première étant affectée à la réalisation des appuis et la seconde à l'exécution du tablier.



#### 4.2. Les cadres en Béton Armé

Les ouvrages hydrauliques ou de rétablissement de voiries modestes, dont l'ouverture droite est comprise entre 5 et 10 m, sont des ouvrages classiques pour ce domaine de portée, de type cadres en Béton Armé prolongés par des murs de soutènement en ailes.

Ces ouvrages permettent le franchissement de voies circulées ou de cours d'eau, qui sont temporairement déviés durant la réalisation de l'ouvrage.



Photo 2 : PRA 9.00 – Cadre BA ballasté

Ce type d'ouvrages satisfaisant de point de vue hydraulique, peu sensible aux tassements, se prêtent à la standardisation de leurs procédés de construction.

Cadres sous remblai : 7 Ouvrages  
Cadres ballastés : 6 Ouvrages

Leurs longueurs varient de 14.20 m pour les cadres ballastés à 100.00 m pour les cadres enterrés.

Les murs en aile sont fondés sur semelles superficielles munies pour la plupart de bèches nécessaires pour la reprise des effets dynamiques de poussée des terres due au séisme.

Le matériel et les équipes permettant d'enchaîner les travaux de cette famille d'ouvrages, sont les suivants :

- Un outil coffrant de type manu portable PERI domino pour les radiers, semelles et rives de dalle.
- Des banches de type PERI Trio pour les piédroits et murs, habillées ou non de matrice à galets définis par l'architecte pour rappeler l'architecture locale.
- Un étaieement de type Mills tours et plateaux pour les dalles.

Une équipe est affectée à la réalisation du cadre et une autre aux murs en retour.

#### 4.3. Les ponts routes

L'ensemble des rétablissements routiers au dessus de la LGV sont des ouvrages courants à travées multiples (généralement trois) dont le tablier est constitué d'une dalle pleine en béton armé ou en béton précontraint :

Tablier en dalle BA : 5 ouvrages  
Tablier en dalle BP : 4 ouvrages

Sur 9 ponts route, 7 sont à trois travées, 1 à 5 travées et 1 à 6 travées.

La conception des ouvrages est identique pour l'ensemble, à savoir des culées perchées sur bloc technique en sol traité, et des appuis intermédiaires à embase pleine, et 1 à 3 fûts en partie supérieure en fonction de la largeur du tablier. La réalisation de ces ouvrages s'est enchaînée sur le principe d'un déroulement en tiroir.

Trois équipes sont affectées aux travaux :

- une équipe semelles et appuis.
- une équipe tablier.
- une équipe équipements, corniches et finitions.

Dans le processus constructif, les fondations sont coffrées avec des coffrages manu portables de type PERI Domino, ainsi que tous les relevés et abouts.

Les piles sont coffrées avec des banches métalliques de type Outinord, et l'étaieement de type passe charretière est réalisé avec du matériel Mills. Les profilés de franchissement sont des HEB 400 ou HEB 600 et le coffrage d'encorbellement est de type Nony.



*Photo 3 : PRO 13.41 – Pont dalle BP*

Les moyens tant humains que matériels mis en place, permettent de bétonner un tablier par mois.

## 5. LES SAUTS DE MOUTON ET PORTIQUE

La section nouvelle Perpignan-Figueras comporte deux ouvrages exceptionnels type saut de mouton

Le premier (SDM R2 3.40) se situe au nord de la ligne. Le raccordement de la LGV aux installations terminales de Perpignan nécessite le passage de la voie 2 sous la plateforme au niveau de l'origine de la concession à double voie (prolongement future de la LGV entre Perpignan et Montpellier). L'ouvrage est constitué d'un cadre en béton armé de 71 m de longueur prolongé par des murs de soutènement sur 63 m au nord et 89 m au sud.

Le second (SDM 12.92) se situe sur la partie sud du tracé et permet l'inversion des sens de circulation. En effet le changement de parité des voies est prévue sur le tronçon côté France, permettant aux trains circulant généralement sur la voie de gauche en France de se retrouver sur la voie de droite en Espagne.

L'ouvrage permettant le croisement des deux voies atteint une longueur importante compte tenu des angles de franchissement très faibles. Il est constitué d'un cadre en béton armé de 234 m de longueur prolongé par deux murs de soutènement sur environ 240m au Nord et 231m au sud. D'autre part pour des considérations aérodynamiques liées à la circulation à grande vitesse (section d'air mini à respecter) des ouvertures sont ménagés dans les piédroits du cadre.

La réalisation du cadre a nécessité en tout premier lieu le terrassement d'une tranchée afin de pouvoir installer la grue à tour et commencer les travaux de radier.

Les travaux du cadre sont organisés en trois postes de travail à l'avancement. Le premier était la réalisation du radier, le second, les élévations et enfin le troisième la traverse.

Deux équipes de production ont été affectées aux travaux, la première pour la réalisation des radiers et des traverses et la seconde pour la réalisation des élévations.

Les piédroits sont bétonnés par plots de 13.60m de longueur, sur toute la hauteur et réalisés par pianotage, à l'aide d'un outil coffrant.

Les cages d'armatures sont préfabriquées sur site en deux parties puis mises en place et stabilisées à l'aide de profilés métalliques. La traverse a été réalisée à l'aide d'une table coffrante et des passerelles de rives équipées de panneaux modulaires.



*Photo 4 – SDM 12.92 – Vue aérienne vers le Nord*



*Photo 5 : SDM 12.92 - Réalisation des piédroits*

La table coffrante devait permettre outre un déplacement et un réglage rapide, la libre circulation à l'intérieur du cadre afin de bétonner les piédroits qui se trouvaient isolé entre le chantier du radier et de la traverse, le cadre se situant dans une tranchée. Pour cela, la table a été conçue avec une passe charretière.

Les murs ont été réalisés à la suite du cadre. L'équipe qui a réalisé le radier du cadre a enchaîné sur les fondations des murs en retour. Ensuite, l'équipe des piédroits a enchaîné sur la réalisation des élévations de murs en conservant le même outil coffrant et en l'adaptant à la hauteur des voiles

Le principe de réalisation des élévations des murs en retour est similaire à celui des piédroits.

Cette organisation a permis de tenir les objectifs de trois bétonnages par semaine.

#### **Le PRA 16.23 (Portique BA)**

Au croisement de la RD 618, la LGV est située à environ 17m de la chaussée. Les contraintes ferroviaires (impossibilité d'implanter un appareil de dilatation) n'ont pas permis de recourir à une solution de franchissement "aérienne" par un ouvrage ballasté, et imposaient que la voie soit installée sur un remblai. Le choix de la structure devant supporter une charge de remblai relativement importante s'est porté sur un portique à trois travées de 33 m de longueur et environ 52 m de largeur avec un biais de 138 grades.



*Photo 6 : PRA 16.23*

La traverse du portique est une dalle pleine en béton armé composée de poutres préfabriquées en T inversée, posées côte à côte et servant de coffrage pour la dalle coulée en place.

Compte tenu des fortes charges appliquées, l'épaisseur finie de la traverse est de 1.40m pour le plot central le plus chargé, et de 1m pour les deux plots latéraux.

Les piédroits, reposant sur des semelles superficielles, ont été chacun divisé en quatre plots de 12m de long, reliés entre eux par des joints à embrèvement.

Les coffrages PERI permettaient de couler les plots sur toute leur hauteur (environ 10m).

Les armatures ont été préfabriquées dans des gabarits au sol, placées à leur emplacement définitif, et retenues par des étais Tirants Poussant.

En ce qui concerne la traverse du portique, et compte tenu des caractéristiques de sol, de l'épaisseur de la dalle (1.40m sur le tablier central) et des délais, la solution était a été écartée au profit des poutres préfabriquées, réalisées hors du chemin critique.

Ces poutres préfabriquées, au nombre de 90 et d'un poids maximum de 40 tonnes, ont été réalisées sur un banc de préfabrication contigu à l'ouvrage.

La pose s'est faite à l'aide d'une grue mobile de grande capacité au rythme de 12 poutres par jour.

Le bétonnage de la dalle a été effectué en deux phases (2000m<sup>3</sup> et 1700m<sup>3</sup>) en utilisant une formule spécifique de béton retardé.

## 6. LES TABLIERS MIXTES BI-POUTRES : VIADUCS DU TECH ET DU REART

### 6.2. Généralités

Le viaduc du Tech (VIA15.65) permet le franchissement par la LGV du fleuve "Le Tech" qui marque la frontière entre les communes de Tresserre (côté Nord) et de Montesquieu des Albères (côté Sud), celui du Réart (VIA 8.47) le franchissement du fleuve Le réart entre les communes de Trouillas (au nord) et Villemolaque (au sud).

L'harmonisation des travures de ces deux viaducs (travées courantes de 53 m et travées de rive de 37m) a permis de retenir des caractéristiques quasi identiques pour la structure du tablier.

Le viaduc du Tech comporte 8 travées de : 37m , 6x53m , 37m pour une longueur totale entre axes des appuis de 392m, tandis que le viaduc du Réart est un ouvrage à 4 travées de : 37m , 2x53m , 37m pour une longueur totale de 180m.

La gamme de portées retenue est tout à fait habituelle pour des bi-poutres ferroviaires.

### 6.3. Le tablier

La structure mixte du tablier est de conception classique. Elle comprend 2 poutres principales de 3.50 m de hauteur et 7m d'entraxe, surmontée par un hourdis en béton armé B32, de 14.20 m de largeur et 40 cm d'épaisseur dans sa partie centrale et 25 cm en extrémité de dalle. L'élancement du tablier est d'environ l/14 (y compris dalle).

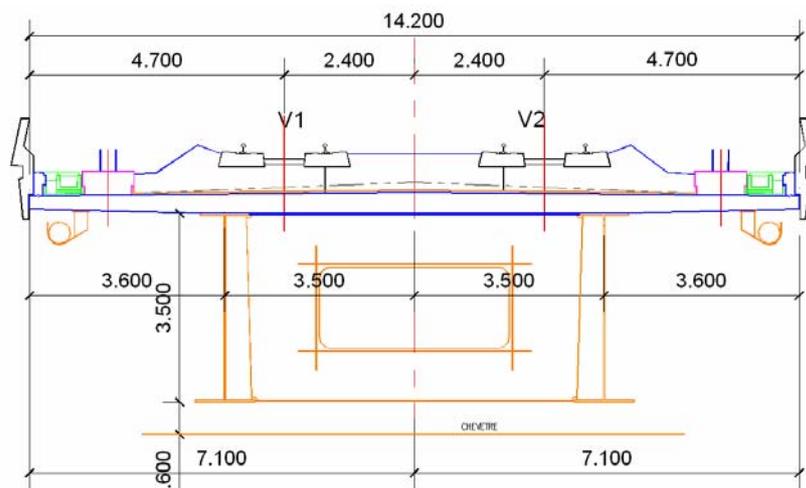


Figure 3 : VIA 15.65 - Coupe transversale

Le contreventement transversal est assuré par des pièces de pont ( diaphragmes) espacées de 9.25 m en travée de rive et 10.60m en travée courante, complétées en partie inférieure par un treillis en profilés (entretoises PRS, HEA 180, cornières) reliant les semelles inférieures des poutres. Une passerelle de visite est prévue entre les semelles inférieures. Elle est constituée d'un plancher en caillebotis prenant appui sur le contreventement métallique.



Par rapport aux ouvrages similaires réalisés récemment sur la LGV Est européenne, pour lesquels le contreventement inférieur est assuré par des hourdis en béton armé réalisés le plus souvent en dalles préfabriquées, les concepteurs ont privilégié une structure classique en treillis métallique plus légère, principalement pour des considérations sismiques.

#### 6.4. Les appuis

La forme des piles est identique pour les deux viaducs. Elles sont constituées d'un fût de forme octogonale proche du cercle afin de favoriser l'écoulement des eaux, avec un fruit de 3%, surmonté d'un chevêtre marteau de 3m de hauteur. Un dispositif de protection contre les affouillements est prévu autour des fondations des piles situées dans le lit majeur du Tech. Ce dispositif est constitué d'un tapis d'enrochement mis en œuvre autour des semelles, contre les batardeaux.

Les culées sont constituées d'un chevêtre filant porté par une file de voiles en patte d'éléphant encastres dans une semelle fondée superficiellement.

Le viaduc du Réart est équipé de 6 dispositifs parasismiques (Ressorts-amortisseurs de type BC fabriqués par la société JARRET) disposés sur la culée C0, dont l'intérêt est une réduction sensible des efforts longitudinaux sous séisme (1300 t au lieu de 2900t).

Ils ont été disposés par groupes de 3 sur des platines pré-scellées en tête de massifs en béton armé encastres dans le chevêtre de la culée. Les appareils sont "coincés" entre deux butées métalliques soudées sur une platine générale connectée à la partie en encorbellement de la dalle. L'about de la dalle dans cette zone a été épaissi à 80 cm sur toute sa largeur et sur une longueur de 4 m.

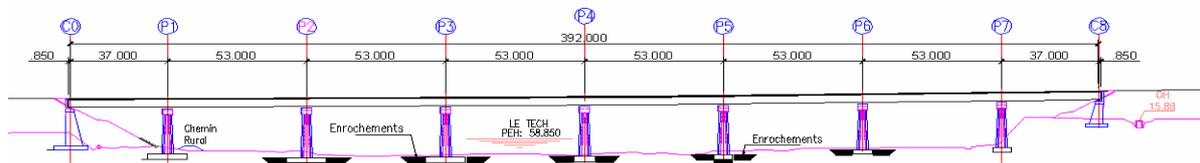


Figure 4 : Viaduc du TECH – Coupe longitudinale

Le viaduc du Tech, comporte trois points fixes (Piles P1 à P3) dans le sens longitudinal.

Transversalement, les déplacements sont bloqués sur la file ouest

#### 6.5. Les méthodes d'exécution et le déroulement des travaux

##### Réalisation des appuis

Les fondations des piles en rivière ont été réalisées à l'abri d'un batardeau en palplanches. Les fûts de piles sont réalisés à l'aide d'un coffrage grimpant, permettant des levées de 5m. Le cycle de réalisation d'une pile est le suivant:

Fondation	Réalisation de la semelle avec le ferrailage de la 1ère levée
Levée 1	Coffrage et bétonnage de la levée 1
Levée 2	Démontage du noyau intérieur Mise en place des échelles et des passerelles intérieures définitives Pose du noyau intérieur après reconfiguration Mise en place du ferrailage préfabriqué Mise en place du coffrage extérieur sur le coffrage de la levée 1 et bétonnage
Levée 3	Démontage du noyau intérieur et mise en place des équipements Décoffrage de la totalité du coffrage extérieur Installation de la passerelle intermédiaire Mise en place du ferrailage préfabriqué Coffrage après reconfiguration et bétonnage de la levée 3
Levée 4	Dito levée 2
Chevêtre	Décoffrage et mise en place équipements Installation de la passerelle en tête de pile Installation du coffrage Mise en place du ferrailage préfabriqué Fermeture du coffrage et bétonnage



*Photos 7a et 7b : VIA 15.65 – Coffrages des piles (fûts et chevêtres)*

#### Réalisation du tablier

L'ensemble des éléments métalliques du tablier a été fabriqué à l'usine Eiffel de Lauterbourg, en Alsace, puis livré sur site par convois exceptionnels. Les poutres principales des viaducs du Tech et du Réart ont été découpées respectivement en 15 et 7 tronçons.

L'ouvrage sur le Réart a été assemblé dans son intégralité (avec le contreventement inférieur et le plancher de visite en caillebotis) sur la plateforme de montage située à l'arrière de la culée C4. Le tablier a donc été mis en place en une seule phase de lancement, à l'aide de treuil à câbles ancré sur la plateforme.



*Photos 8a et 8b : VIA 8.47 – Fin de lancement – Vue des amortisseurs sur les massifs de la culée*

L'ouvrage sur le Tech a été mis en place en deux phases de lancement. Comme pour l'ouvrage sur le Réart, la charpente était lancée finie (caillebotis & contreventements compris).

Le ferrailage de la dalle composé de cages élémentaires ont été préfabriquées au sol dans des gabarits et pour une partie (hors zone d'appuis et de porte à faux) posées sur les PRS avant le lancement du tablier métallique.

Le bétonnage de la dalle, par plots de 9.25 m en travées de rive et 10.60 en travées courantes, a été réalisé à l'aide d'un équipage mobile, suivant la méthode classique de pianotage, en terminant par les plots sur appuis



Photo 9 : Réalisation du hourdis – Equipages mobiles

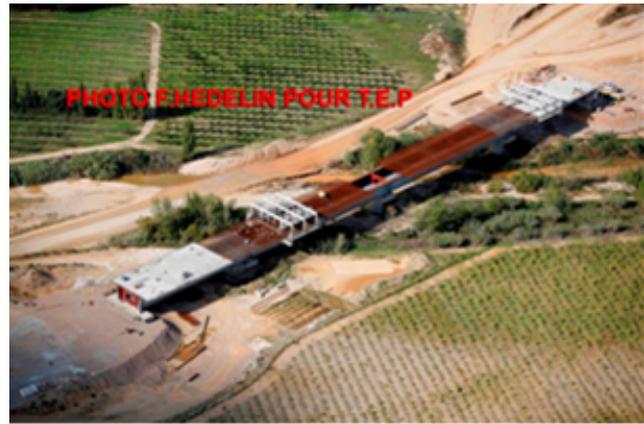


Photo 10 : Vue aérienne du Viaduc du Réart

L'équipage mobile est constitué :

- d'un coffrage intérieur rétractable disposant d'une rallonge pour traiter les zones de 9,25m et 10,60m de long, correspondant à l'espacement des diaphragmes.
- d'un coffrage extérieur repris par une poutraison transversale reposant sur les PRS du tablier,
- d'un système de vérins hydrauliques pour le réglage et des treuils électriques pour la translation de l'outil.

L'utilisation de deux outils coffrant permet le bétonnage d'un plot par jour.



Photo 11 : VIA 15.65 – Charpente en cours d'assemblage sur plateforme

Photo 12 : VIA 15.65 – fin de la 1ère phase de lancement (sept. 2006)



## 7. LES TABLIERS RAPL : VIADUCS DE FRANCHISSEMENT DE L'A9 ET LA RN9

Pour les franchissements de l'autoroute A9 et de la RN9, et dans le but de minimiser les remblais d'accès en vue d'une meilleure intégration de l'ouvrage, il a été fait appel à des tabliers réalisés à l'aide de poutres latérales métalliques (RAPL), reliées en partie inférieure par une dalle en poutrelles enrobées disposées transversalement. Ce type de structure est bien adapté aux franchissements avec un biais prononcé et permet une grande souplesse au niveau de l'implantation des appuis.

Le viaduc de la RN9 comporte 4 travées de 27m, 49m, 41m et 27m pour une longueur totale de 144m. Celui de l'A9, d'une longueur de 268.80m entre axes des culées, comporte 5 travées pour la poutre Est et 6 travées pour la poutre Ouest (Travée maxi ~ 62 m).

Le tablier du PRA 14.35 supporte deux voies dont l'entraxe est variable de 5.748m (C4) à 7.696m (C0). Le tablier est également à largeur variable, l'entraxe des poutres est de 17.70 sur la culée Nord et 15.75 m sur la culée sud.

Celui du VIA 9.41 supporte deux voies de 4.80m d'entraxe, et présente une largeur constante de 15m entre axes des poutres.

La structure du tablier comprend deux poutres métalliques à âme pleine, de 4 m (PRA 14.35) et 4.85m (VIA 9.41) de hauteur.

La dalle en poutrelles enrobées est constituée de profilés H600 (VIA 9.41) ou H700 (PRA 14.35) reliés aux poutres principales par éclissages boulonnés. L'ensemble des profilés est noyé dans une dalle en béton B32, de 75 cm et 85cm d'épaisseur respectivement.

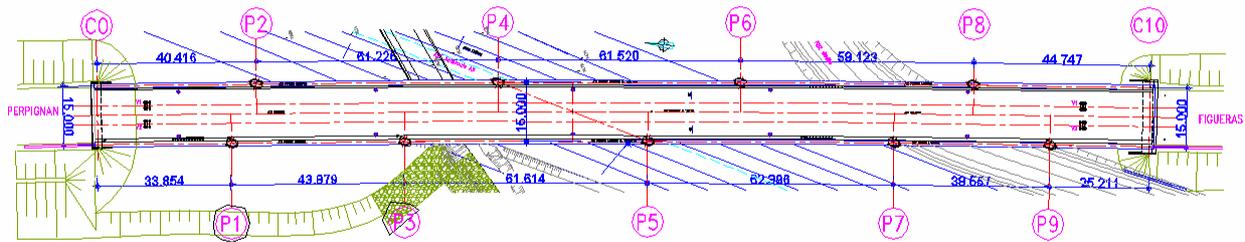


Figure 5 : VIA 9.41 – Vue en plan

## 7.1. Les appuis

Les piles sont constituées de 2 fûts indépendants de section oblongue, implantés dans l'axe de chaque poutre. Chaque fût est surmonté par un chevêtre homothétique de la section de celui-ci.

La hauteur des piles varie de 8.11 à 9.55m (PRA 14.35) et 6.24 à 7.24 m (VIA 9.41).

L'ensemble des appuis du PRA 14.35 est fondé sur semelles superficielles. Les appareils d'appui sont des appuis sphériques fournis par Maurer. Longitudinalement les efforts horizontaux sont bloqués sur les piles P1 et P2.

Pour le VIA 9.41, les piles sont fondées sur deux files de 3 pieux  $\phi$  1200 espacées de 3.60m. La culée C0 est fondée sur 2 files de 5 pieux  $\phi$  1200, tandis que la culée C10, point fixe de l'ouvrage vis-à-vis des effets longitudinaux est fondée sur 3 files de 6 pieux  $\phi$  1200.

Longitudinalement les efforts horizontaux sont bloqués sur la culée C10. Transversalement ils sont bloqués sur les piles de la file ouest.

La culée C10 point fixe de l'ouvrage, est équipée de 10 ressorts-amortisseurs. Les efforts longitudinaux sous séisme sont ainsi divisés par un facteur d'environ 3 (environ 2100 t au lieu de 6000 t). La disposition des amortisseurs a nécessité des aménagements du coffrage de la culée et de l'about du tablier visant à faciliter le montage, l'entretien et le démontage éventuel des appareils. Ils ont été disposés par groupe de 2 sur des platines scellées en tête de massifs en béton armé, encastrés dans le chevêtre de la culée. Les appareils sont "coincés" entre deux butées métalliques soudées sur en sous face du tablier.



Photo 13 : VIA 9.41 - Accostage Avant bec sur culée C10 – Vue générale des amortisseurs

La pièce de pont sur cette culée est constituée d'un caisson à plusieurs alvéoles délimitées par les raidisseurs longitudinaux disposés dans l'axe des butées, et des raidisseurs transversaux permettant la diffusion des efforts vers les poutres principales. Les âmes du caisson sont percées pour le passage des armatures longitudinales relativement denses dans cette zone.

## 7.2. Les méthodes d'exécution et le déroulement des travaux

### Réalisation des appuis

L'exécution de ces deux ouvrages devait intégrer les contraintes liées à la proximité et au franchissement de voies en service : (La RN9 et la Voie ferrée Elne-Céret pour le PRA 14.35, et l'autoroute A9 pour le VIA 9.41).

Les dispositions constructives et le phasage de réalisation, ont été établis en étroite concertation avec les exploitants des différentes voies concernées (ASF, DDE66, RFF-SNCF,...).

A noter, en particulier, la réalisation des appuis piles P4 et P5 implantées dans le TPC de l'autoroute, qui a nécessité la neutralisation des voies rapides de l'autoroute.



*Photos 14a et 14b : VIA 9.41 – Piles en TPC – Réalisation des pieux forés*

Les 9 piles du VIA 9.41 et les 6 piles du PRA 14.35 ont été coulées à l'intérieur d'un coffrage bois spécifique à chaque ouvrage.

#### Réalisation du tablier

Le transport des éléments de poutres principales, fabriqués à l'usine Eiffel de Lauterbourg a été réalisé par des convois exceptionnels. Le poids des éléments atteint 80 tonnes pour ceux de l'A9.

Pour les deux ouvrages, toute la longueur du pont a été assemblée sur la plateforme, la mise en place n'a donc nécessité qu'une seule phase de lançage.

Le coffrage perdu entre profilés transversaux, et une partie du ferrailage de la dalle sont disposés avant lançage. L'étanchéité entre éléments du coffrage est assurée par application d'un cordon mastic, et une première phase de bétonnage sur une épaisseur de 15 cm, est réalisée dans les zones surplombant les voies en service.

Les lançages des tabliers ont été tous les deux peu ordinaires :

- Comme indiqué précédemment, L'ouvrage franchissant la RN9 comporte un tablier de largeur variable. Il a donc été choisi de lancer l'ouvrage selon un axe parallèle à l'une des poutres, avec des guidages latéraux fixes. Sur l'autre poutre, les appuis de lançage sont équipés d'un système de ripage permettant de maintenir en permanence les chaises de lançage à l'axe de l'âme des poutres. Ce système était constitué d'un caisson sur lequel pouvait circuler la chaise au fur et à mesure de l'avancement du tablier.



*Photos 15a et 15b : VIA 14.35 - Tablier en cours de lançage*

- Concernant l'ouvrage sur l'A9, le poids total à déplacer était d'environ 4 200 T, et l'effort de poussage à mobiliser, de l'ordre de 280 t. Aussi, le système habituel de traction (treuil-moufle-câble) a été remplacé par un système de vérins et câbles de précontrainte. Les torons étaient fixés au bec de traction, à l'arrière du tablier, les vérins sur le chevron de la culée C0. Au fur et à mesure de l'avancement des câbles par les vérins, l'ouvrage progressait ainsi par pas de 250 mm. En définitive, le lancement complet de l'ouvrage a demandé une cinquantaine d'heure de travail.

Les amortisseurs ont été installés à leur position définitive sur la culée C10, avant l'opération de lançage, soit sensiblement en sous face du tablier. A la fin du lançage, le tablier est descendu à son niveau définitif, par dévérinage. Les butées métalliques soudées en sous face du tablier, viennent ainsi épouser les 10 appareils préalablement disposés par groupe de 2.

Le bétonnage de la dalle est effectué à l'avancement par plot de 20m.

Après bétonnage de la dalle, le point fixe a pu être assuré par les amortisseurs, qui ont été soudés sur des platines préscellées sur le chevêtre de C10.



Photos 16a et 16b : VIA 9.41- Tablier en cours de lançage - dispositif de poussage sur culée (vérin 12T15s)

## 8. LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Béton :	60000 m <sup>3</sup>
Aciers passifs :	8400 t
Précontrainte :	55 t
Charpente métallique :	6550 t

## 9. LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Les Concédants : Etats Français et espagnol (Commission intergouvernementale)
- Le Concessionnaire - Maître d'ouvrage : TP FERRO
- Groupement constructeur - Maître d'œuvre : TEP AEIE (Trans Euro Pyrénées)
- Architectes : Architecture NEEL - SADE
- Groupement d'ingénierie : INGEROP – SENER – ARCADIS : TUCRAIL
- Conception et contrôle extérieur des OA de la plateforme France : INGEROP – ARCADIS
- Entreprises
  - Génie civil : Eiffage TP
  - Terrassements : Fougerolle Ballot
  - Métal : Eiffel
- Principaux sous-traitants
  - Béton : BCP (Lafarge)
  - Aciers passifs : SAMT
  - Précontrainte : Eiffage TP – département précontrainte
  - Amortisseurs sismiques : JARRET - ETIC
  - Etanchéité : SOPREMA
  - Joints de chaussée et joints Garde ballast : RCA
  - Préfabrication des poutres : Lagarrigue
  - Etudes d'exécution :
    - Viaducs mixtes : SNCF – IG.OA (Métal) – COREDIA (GC)
    - Viaducs RAPL : IOA (Métal) – COGECI (GC)
    - Ponts Route : COGECI-BEA-SIAM
    - Ponts cadres et Ponts à Poutres : CERT
    - Sauts de mouton et portique triple : Eiffage TP – STOA