



CONTOURNEMENT FERROVIAIRE
NÎMES - MONTPELLIER



OUVRAGES D'ART COURANTS

Paul-Antoine DULEY (BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS)



CONTOURNEMENT DE NÎMES ET MONTPELLIER
UN GRAND PROJET FERROVIAIRE
CONFIE À OC VIA

Une multiplicité de types d'ouvrages d'art

176 Ouvrages d'Art Courants (OAC)	47 multitravées	11 TPE (tablier à poutrelles enrobées) dont 9 PRA et 2 PRO
		29 PSDA (tablier dalle béton armé) dont 27 PRA et 2 PRO
		7 PSDP (tablier béton post-contraint)
	129 monotravées	16 PRAD (tablier à poutres précontraintes par fil adhérent)
		3 SDM (sauts de mouton)
		62 ouvrages préfabriqués dont : - 47 Opticadres® type PICF - 5 Optipieds® type PIPO - 10 voûtes dont 2 doubles
		48 ouvrages d'art coulés en place de type PICF ou PIPO ponts rail ballastés ou non et ponts routes ainsi que PIPAL ponts routes (passage inférieur fondé sur palplanches)

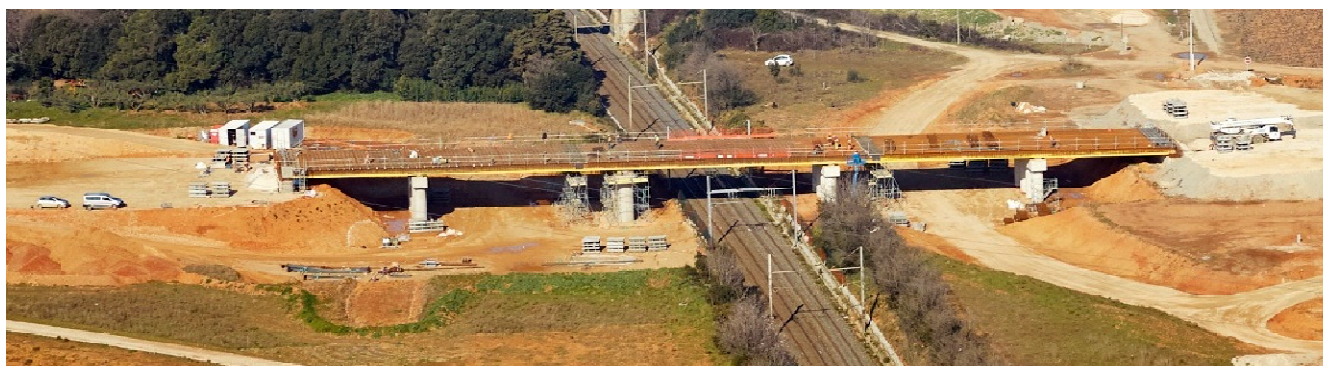
Les multitravées : les Tabliers à Poutrelles Enrobées (TPE)



TPE PRO au-dessus de la voie ferrée existante
Montpellier-Perpignan (rétablissement en service)



TPE PRO au-dessus de la future Gare TGV
« Montpellier - Sud de France »



TPE PRA (CNM) au-dessus de la voie ferrée existante Nîmes-Tarascon-Marseille
et au droit de la future Gare TGV de Nîmes-Manduel

Les multitravées : les Tabliers à Poutrelles Enrobées (TPE)



Eclissage boulonné des poutrelles en cours

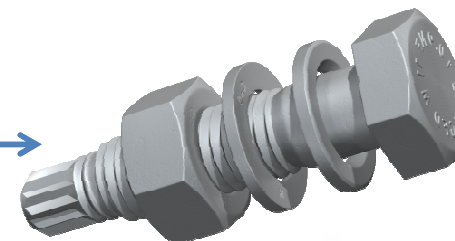
Mise en place des poutrelles à la grue, souvent sous coupure routière ou ferroviaire



Les multitravées : les Tabliers à Poutrelles Enrobées (TPE)

Quelques ordres de grandeur :

- Poutrelles PRO : HEA 900 ou HEB 1000 (250 à 300 kg/ml), nuance S460, espacement 75cm
- Poutrelles PRA CNM en zone courante (V350) :
 - HLB ou HLR 1000 à 1100 (400 à 600 kg/ml), nuance S355
 - espacement des poutrelles : 55-60 cm (seulement 150 mm entre poutrelles = mini selon Eurocode 3)
- Poutrelles PRA CNM en sortie de Gare TGV de Montpellier (V230) :
 - HEB 900 (300 kg/ml), nuance S355
 - espacement des poutrelles : 75cm
 - 2 fois moins de charpente que l'OA équivalent
circulé à 350 km/h ! (influence de la dynamique)
- Poids total de poutrelles : 9000 tonnes environ
- Du fait du faible espacement entre poutrelles,
point fixe des PRA réalisé par retombée béton
sous tablier et appuis à pot →
→ forte interface entre goujons des appuis à pot
et ferrailage calepiné par les poutrelles
- Eclissages boulonnés, 43000 boulons HRC diamètre M30, nuance 10.9,
serrage avec contrôle du couple par cisaillement de la tête de boulon,
acier galvanisé pour semelles inf. et acier noir pour semelles sup. et âmes



Les multitravées : les Tabliers à Poutrelles Enrobées (TPE)

Plusieurs méthodologies de calcul des éclissage ont été « expérimentées » sur le projet :

Approche n°1 « type guide du SETRA - Poutrelles enrobées », utilisée pour le PRO éclissé et les 2 premiers PRA :

La totalité de la capacité résistante de la semelle est reconstituée

→ éclissage des semelles très important

Etant donné que les poutrelles des PRA sont dimensionnées à la raideur (calcul dynamique) et non en résistance (taux de travail de 50% environ), l'approche SETRA est très (trop) défavorable.

Complément d'analyse :

- NF EN 1993 1-8, §3.12 : pour les assemblages de catégorie C (dimensionnement au glissement à l'ELU), mais aussi lorsque les attaches sont soumises aux vibrations (ou inversion d'effort), une distribution élastique des efforts entre fixations est à retenir.
 - L'article 23 de l'IN0035 demande notamment à respecter la norme NF P 22-460 dont le §6.4 évalue les efforts ELU suivant une distribution élastique → l'IN 0035 transposé à l'EN 1993-1-8 conduit à retenir la catégorie d'assemblage C.
- désormais, pour l'éclissage d'âme, on prend également en compte la part de moment transitant dans l'âme avec une distribution élastique des efforts.

Approche n°2 « type Eurocode 3 », utilisée pour les 2 PRA suivants :

Dimensionnement sur base des sollicitations maximales (réelles) dans l'ensemble du tablier

→ éclissage d'âme très important et même nombre total de boulons que pour l'approche 1

Approche n°3 « type Eurocode 3 », utilisée pour les 5 PRA restants

Dimensionnement sur base des sollicitations (réelles) dans la zone d'éclissage des semelles

→ nombre total de boulons divisé par 2 par rapport à l'approche 1

Les multitravées : les Tabliers à Poutrelles Enrobées (TPE)

Influence de la méthodologie de calcul de l'écissage sur le nombre de boulons d'un écissage :

N° de la méthodologie de calcul de l'écissage	1	2	3
Norme/règlement	Guide du SETRA « PRO poutrelles enrobées »	NF EN 1993 1-8	NF EN 1993 1-8
Écissage d'âme	$V_{ELU \max}$ dans la structure	$(V_{ELU \max} + M_{ELU \max})$ dans la structure x 1.1	$(V_{ELU \text{ réel}} + M_{ELU \text{ réel}})$ dans la zone d'écissage des semelles
Écissage de semelles	$M_{ELU \text{ plastique}} \times 1.1$	$M_{ELU \max} \times 1.1$ dans la structure	$M_{ELU \text{ réel}} \times 1.1$ dans la zone d'écissage des semelles
Nombre de boulons âme	24	64	36
Nombre de boulons semelles	120	80	40
Nombre total de boulons	144	144	76

Les boulons utilisés pour les écissages étant spéciaux (boulons type HRC), ils ont fait l'objet d'une commande groupée en début de projet, sur base des 2 premiers écissages calculés. Ces changements successifs de méthodologie de calcul ont engendré des problèmes de gestion de ce stock de boulons commandés.

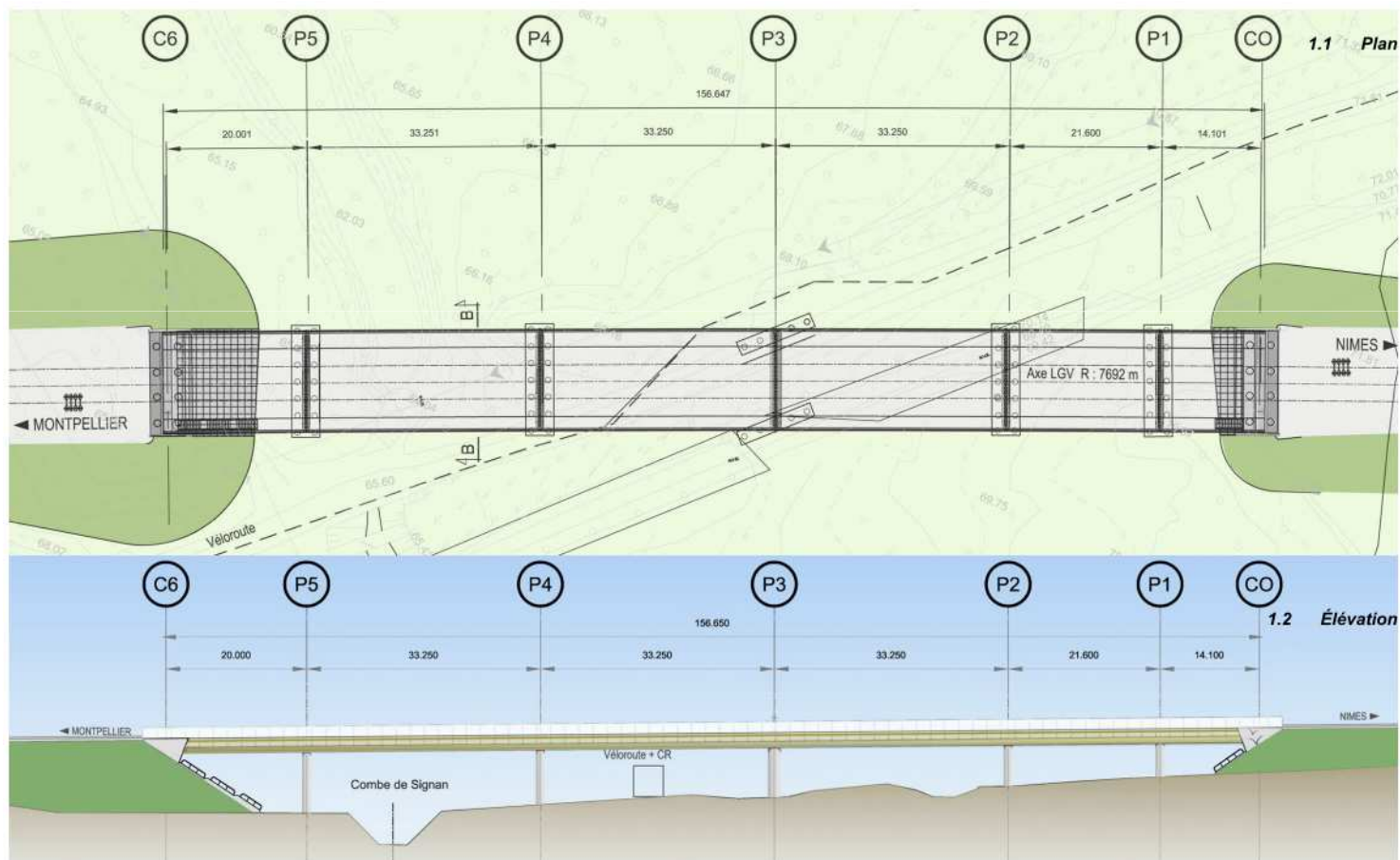
Autres vérifications menées :

- Vérification de la résistance plastique des semelles et âme de la poutrelle en section nette au droit de l'écissage
- Vérification à la fatigue des poutrelles et des écissages suivant le §8 de la NF EN 1993 1-9.

Les multitravées : un TPE variant en bi-poutre mixte

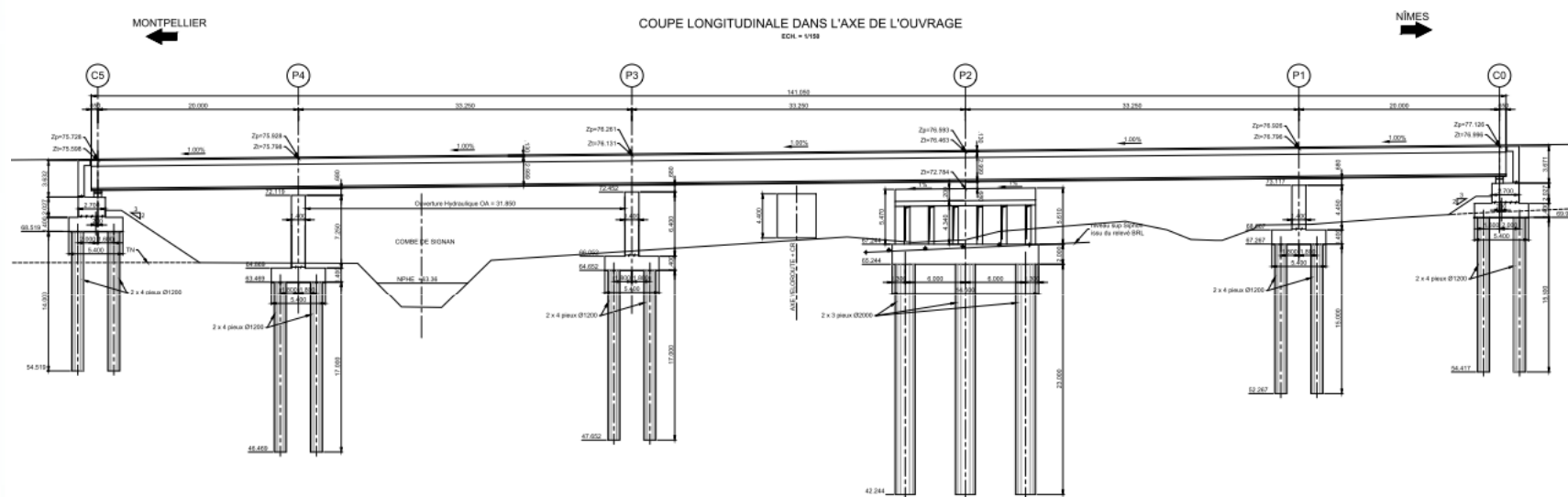
Ouvrage de la Combe de Signan « SC370-0 » (sud de Nîmes) :

- à l'APD : ouvrage prévu poutrelles enrobées (23 HLR 1100), longueur 157m
→ 1800 t de charpente + au moins 4 zones d'éclissages



Les multitravées : un TPE varianté en bi-poutre mixte

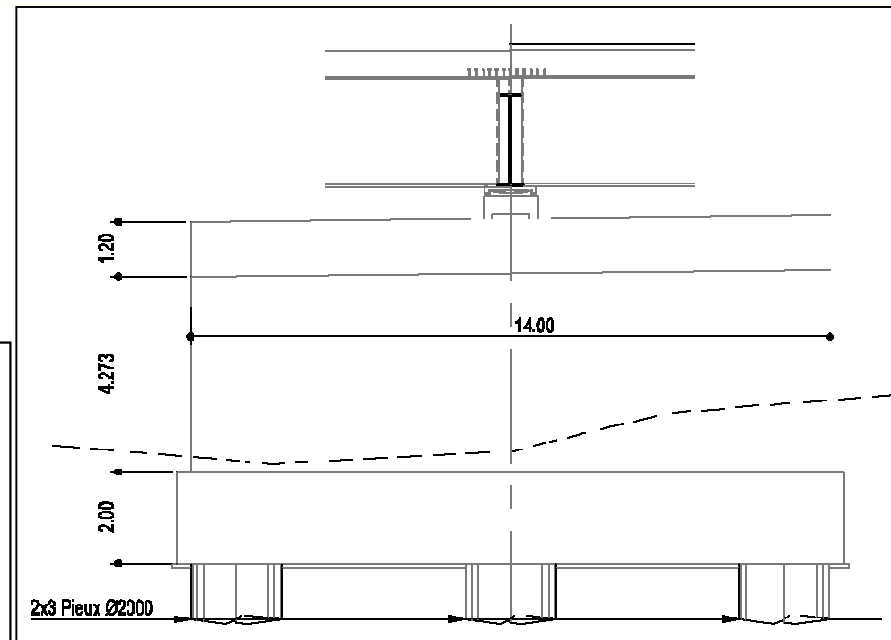
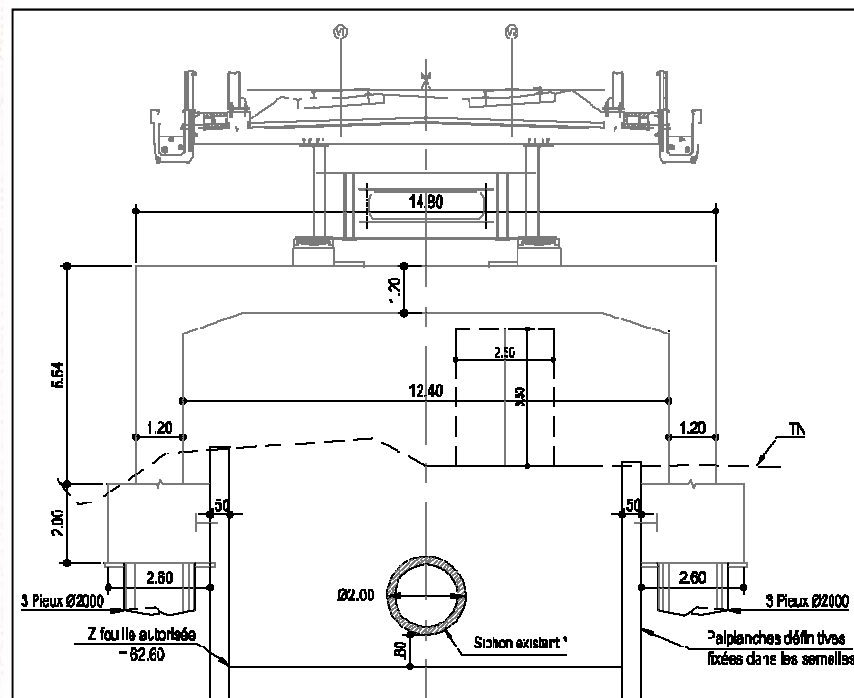
- en EXE : ouvrage varianté en bi-poutre mixte (pas de contrainte de gabarit sous ouvrage)
longueur 141m (raccourci d'une travée)
→ 420 t de charpente (poids divisé par 4)



- l'ouvrage enjambe une canalisation d'eau BRL très sensible → création d'une pile-portique P2 « arc de triomphe » qui fait également office de point fixe longitudinal pour l'ouvrage.

Les multitravées : un TPE varianté en bi-poutre mixte

Détail sur la pile-portique point-fixe
et ferrailage dense de la traverse



Les multitravées : un TPE varianté en bi-poutre mixte

Photo du 1^{er} lançage du 24/03/2015 :

Mur en retour
de la culée C5



Pile-portique
point fixe P2

Canalisation d'eau BRL
très sensible

10/04/2015

Les multitravées : les Tabliers Dalle Béton Armé (PSDA)



PRA 5 travées au dessus de la RN113

Quelques ordres de grandeur :

- 3 à 7 travées, de 9 à 22 m chacune
- Longueur totale de 32 à 127 m
- Ouvrages essentiellement fondés sur pieux du fait des importantes charges ferroviaires et du séisme
- Point fixe des PRA réalisé par tiges précontraintes



PRA 7 travées avec réalisation du tablier en 2 phases

Les multitravées : PRO à tablier béton post-contraint (PSDP)



Quelques ordres de grandeur :

- 3 et 4 travées, de 20m chacune environ
- Longueur totale de 60 à 80 m
- 2 OA au-dessus de cours d'eau
- 5 OA au-dessus de CNM

PRAD au-dessus du
Raccordement Fret de CNM
(voir diapo suivante)

PSDP de décharge hydraulique
(en cas de crue)

PSDP au-dessus d'un cours d'eau

Les monotravées : PRO à poutre PRécontrainte ADhérente (PRAD)

PRAD au-dessus du raccordement Fret de CNM

Tablier en poutres précontraintes préfabriquées
+ hourdis coulé en place

Remblai renforcé



Quelques ordres de grandeur :

- Utilisés pour assurer les rétablissements routiers au-dessus de CNM
- Culées perchées sur remblai renforcé avec parement en écailles béton
- Portée de 20m environ, dimensionnée pour permettre l'étalement éventuel du tablier en cas de désordre sur le remblai renforcé
- Poutres fabriquées par LB7® et Matière®

Les monotravées : les sauts de mouton (SDM)

1 SDM à poutres préfabriquées béton armé

CNM en section courante (V350)

Voie ferrée existante Nîmes-Montpellier



Quelques ordres de grandeur :

- Ouvrage portique fondé superficiellement sur le calcaire
- Longueur : 78m (4 plots de 20m environ avec connexion des piédroits et traverse par embrèvement béton)
+ murs de soutènement de 32m et 46m
- Portée entre nus de piédroits : 17m
- 66 poutres préfabriquées en béton armé de 29t chacune, mises en place de nuit sous coupure ferroviaire

Les monotravées : les sauts de mouton (SDM)

1 SDM à poutres préfabriquées précontraintes



Voie ferrée existante Nîmes-Montpellier

Ouvrage existant maçonné
sous la voie ferrée existante

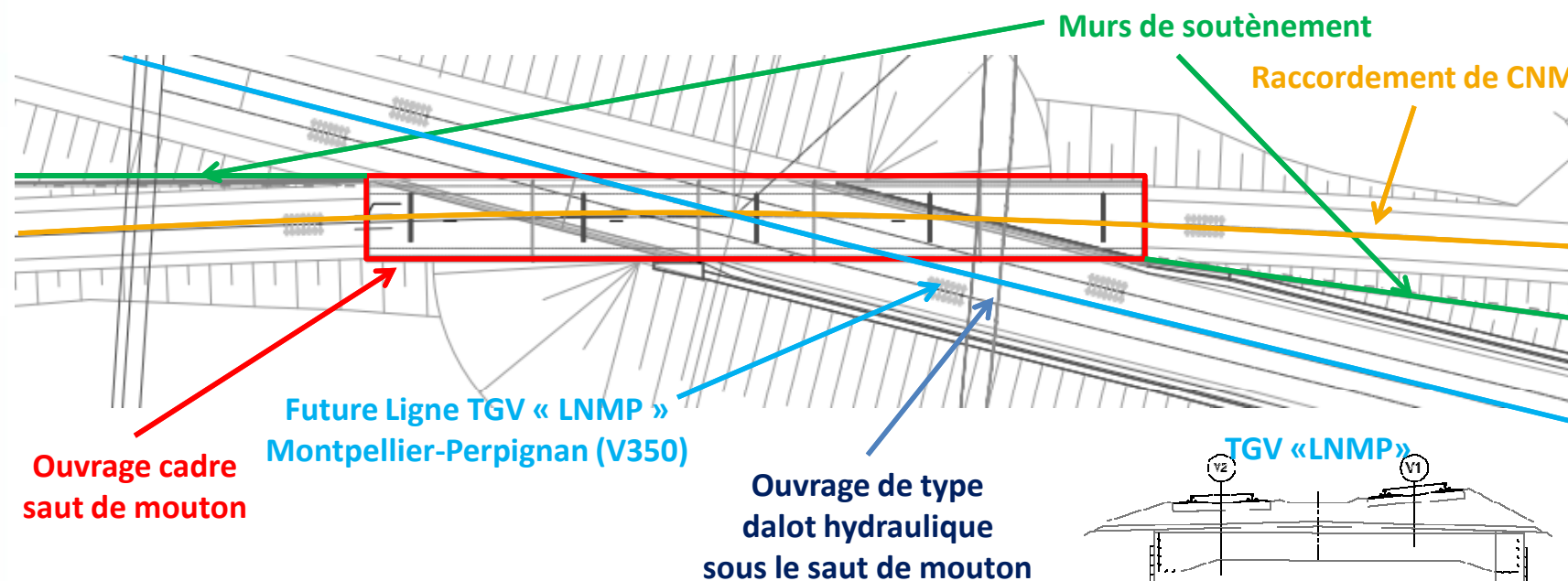
Prolongation de l'ouvrage
existant pour passage du CNM

Quelques ordres de grandeur :

- Ouvrage portique fondé en partie superficiellement et en partie sur pieux (toit du calcaire plongeant)
- Longueur : 119m (6 plots de 20m environ avec connexion des piédroits et traverse par embrèvement béton)
+ murs de soutènement de 60m (fondations superficielles) et 48m (sur pieux)
- Portée entre nus de piédroits : 15.7m
- Poutres préfabriquées mises en place de nuit sous coupure ferroviaire :
 - 132 poutres précontraintes courantes de 14t chacune (étudiées et fabriquées par LB7®)
 - 2 poutres d'about en béton armé de 28t chacune

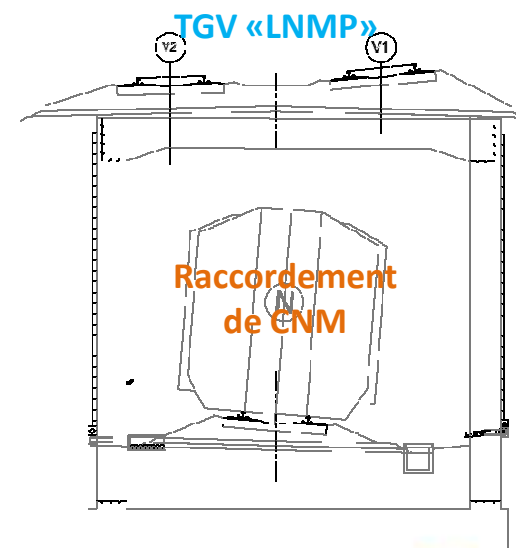
Les monotravées : les sauts de mouton (SDM)

1 SDM avec traverse en béton armé coulée en place



Quelques ordres de grandeur :

- Ouvrage cadre fondé superficiellement sur remblai et terrain argileux
- Longueur : 90m (5 plots de 13 à 19m avec connexion des piédroits et traverse par embrèvement béton)
+ murs de soutènement de 65m et 127m
- Portée entre nus de piédroits : 8.1m (1 voie de raccordement de CNM)
- Traverse coulée en place (pas de contrainte pour étayer)



Les monotravées : les cadres et portiques coulés en place

48 ouvrages cadre ou portique, PRA ou PRO, ballastés ou enterrés, le long du projet :





CONTOURNEMENT FERROVIAIRE
NÎMES - MONTPELLIER



OUVRAGES PREFABRIQUES MATIERE



CONTOURNEMENT DE NÎMES ET MONTPELLIER
UN GRAND PROJET FERROVIAIRE
CONFIE À OC VIA

TABLEAU RECAPITULATIF DES OUVRAGES MATIERE DU CNM

LOT	OPTICADRES/OPTIPIEDS	VOUTES	TOTAL PAR LOT
LOT 08	2	1	3
LOT 09	26	3	29
LOT 10 A	14	5	19
LOT 11	9	2	11
TOTAL	51	11	62

En conclusion, sur l'ensemble du projet CNM une variante ouvrage préfabriqué MATIERE a donc été proposée pour 62 Ouvrages qui étaient initialement prévus coulés en place à l'APD.

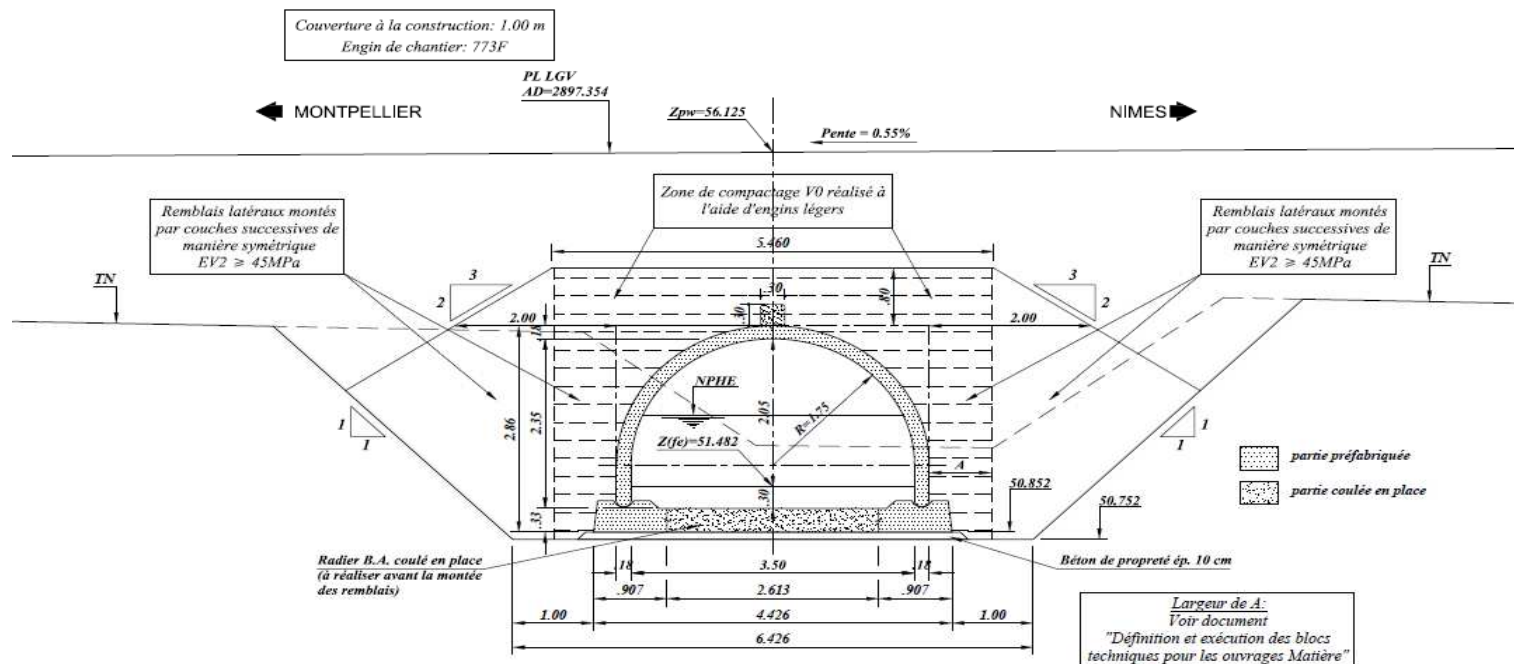
TYPES D'OUVRAGES PREFABRIQUES MATIERE ET CRITERES DE CHOIX

Six types d'ouvrages MATIERE sont à distinguer sur l'ensemble du projet

- ➡ Ouvrages type VOUTE CM2
- ➡ Ouvrages type VOUTE CM4
- ➡ Ouvrages type OPTICADRE
- ➡ Ouvrages type OPTIPIED
- ➡ Ouvrages type OPTIDALLE
- ➡ Ouvrage type MURS

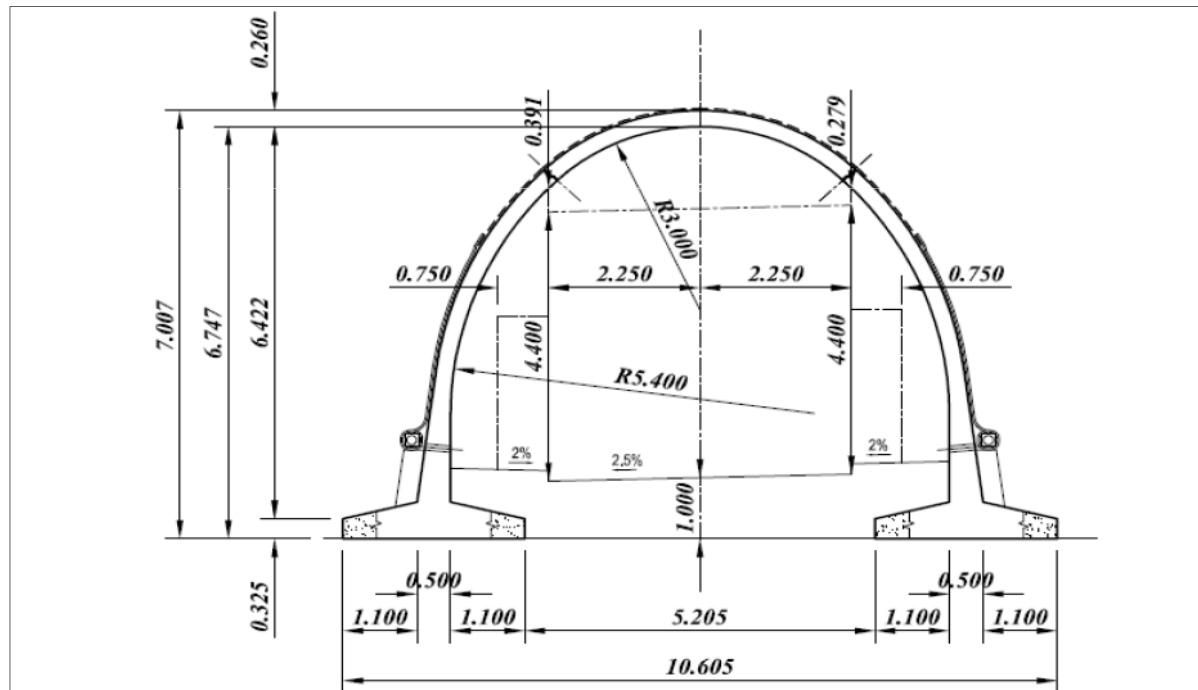
TYPES D'OUVRAGES PREFABRIQUES MATIERE ET CRITERES DE CHOIX

➡ Ouvrage type VOUTE CM2: Ce type d'ouvrage MATIERE est retenu pour les ouvrages ayant une couverture supérieure à 2m et une ouverture maximale d'environ 3m.



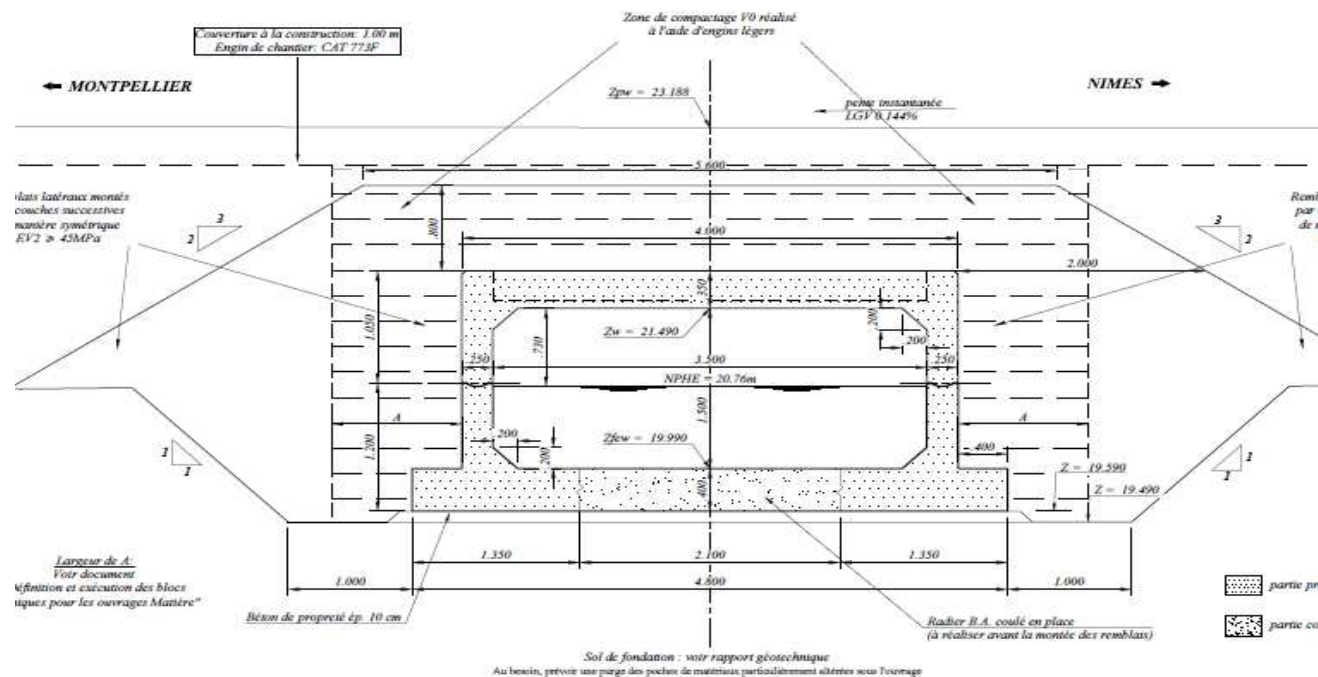
TYPES D'OUVRAGES PREFABRIQUES MATIERE ET CRITERES DE CHOIX

➡ Ouvrage type VOUTE CM4: Ce type d'ouvrage MATIERE est retenu pour les ouvrages ayant une couverture supérieure à 2m et une ouverture supérieure à 3m.



TYPES D'OUVRAGES PREFABRIQUES MATIERE ET CRITERES DE CHOIX

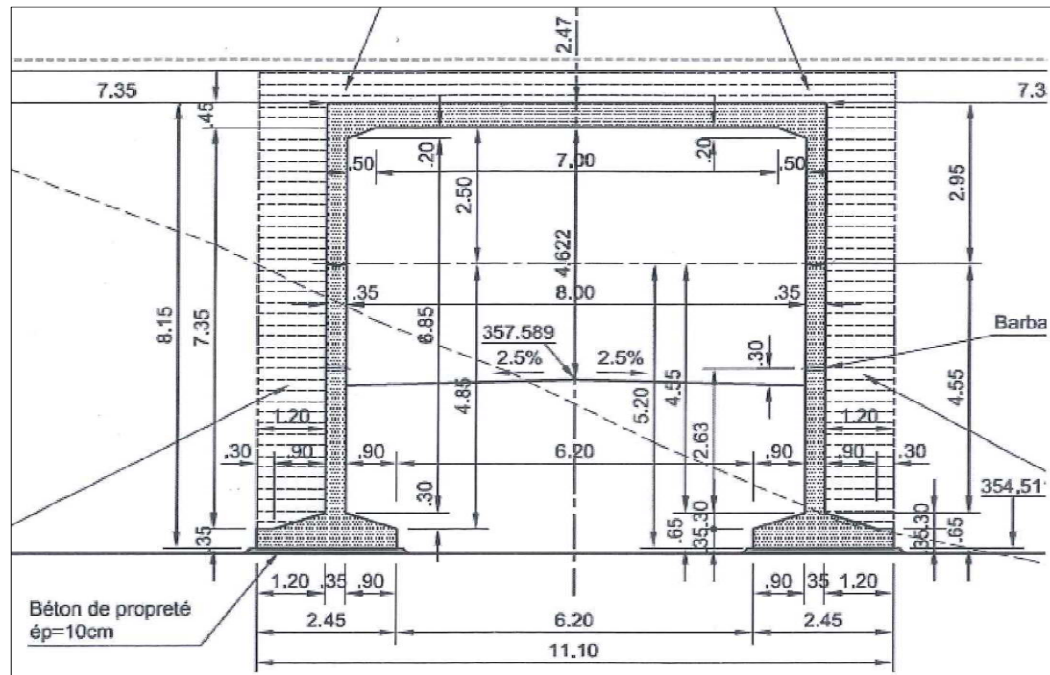
➡ Ouvrage type OPTICADRE : Ce type d'ouvrage MATIERE est retenu pour les ouvrages ayant une couverture inférieure à 2m et dont la portée n'excède pas 8m.



TYPES D'OUVRAGES PREFABRIQUES

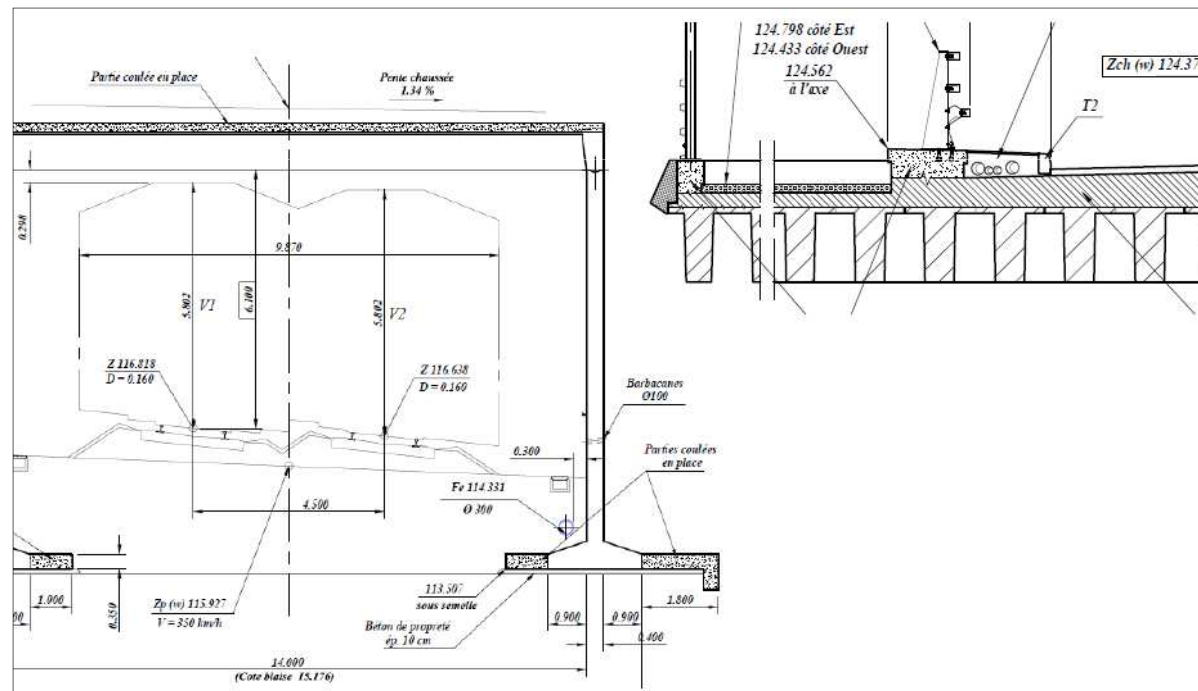
MATIERE ET CRITERES DE CHOIX

➡ **Ouvrage type OPTIPIED** : C'est une variante des OPTICADRES utilisée dans certaines configurations où le sol support présente de très bonnes caractéristiques. Les OPTIPIEDS peuvent être retenus uniquement dans le cadre des ponts route.



TYPES D'OUVRAGES PREFABRIQUES MATIERE ET CRITERES DE CHOIX

➡ Ouvrage type OPTIDALLE: Dalle nervurée rotulée sur piédroits avec semelles filantes. Cet type d'ouvrage est retenue dans le cadre des ponts-route franchissant la section courante.



TYPES D'OUVRAGES PREFABRIQUES MATIERE ET CRITERES DE CHOIX

➔ Ouvrage type MURS: Prévu comme variante des murs en retour des ouvrages cadres/portiques des ponts rails et ponts route



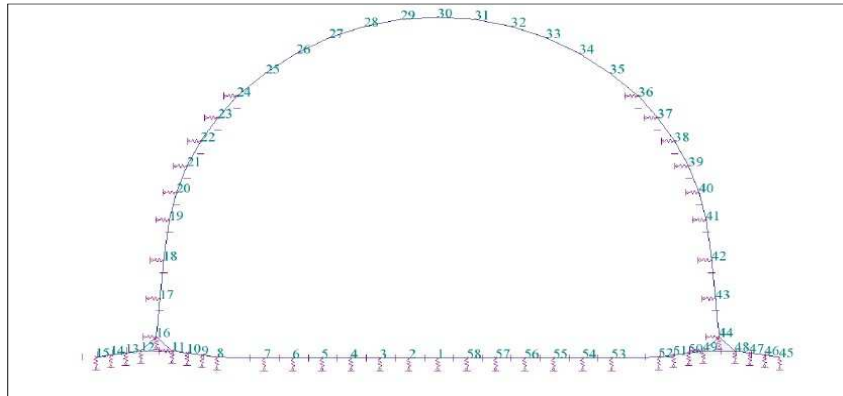
AVANTAGES DES OUVRAGES PREFABRIQUES

- ➔ Préfabrication hors chantier
- ➔ Optimisation des durées d'intervention sur site
- ➔ Limitation des bétonnages sur site
- ➔ Optimisation de la structure

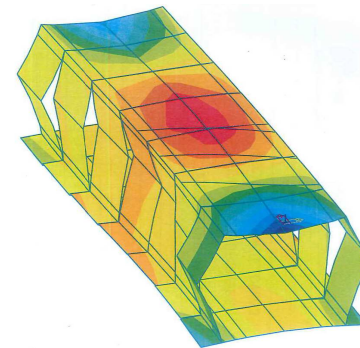


METHODOLOGIE DE JUSTIFICATION DES OUVRAGES MATIERE

- Les calculs statiques sont réalisés en modèles 2D sur des tranches de 1m à l'aide du logiciel Robot. L'interaction sol-structure (sol de fondation + remblai) est modélisée par des ressorts d'interaction.
- Les calculs d'analyse dynamique sont réalisés en 3D à l'aide du logiciel ESA PRIMA WIN de la société SCIA Engineering, suivant un module de calcul des coques spatiales.



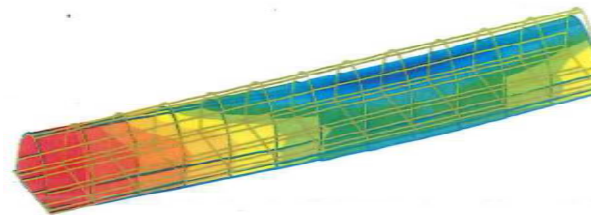
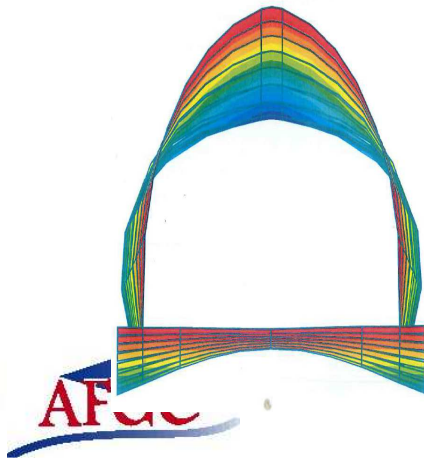
Capture modèle statique sur ROBOT



Capture modèle dynamique sur SCIA

POINTS DIMENSIONNANT POUR LES OUVRAGES MATIERE

- Statique : les charges (circulation, terre, etc.) et les conditions d'appuis dimensionnent l'ouvrage (LM 71 à l'axe prépondérant).
- Dynamique : pour les ouvrages de couverture supérieure à 4m environ, ce calcul n'est pas dimensionnant ; pour les couvertures inférieures, seule l'épaisseur de la traverse peut être impactée.
- Sismique : malgré les nombreux critères variables des vérifications, ce point n'est pas prépondérant dans le calcul de nos structures.



PHOTOS D'OUVRAGES EN COURS

