

Le Contournement ferroviaire de Nîmes et Montpellier (CNM)

Visite AFGC des 8 / 9 avril 2015

« Les ETUDES d'EXECUTION »

Dominique REGALLET (Bouygues TP)

Sommaire de la présentation

- 1) L'organisation des études d'EXE de Génie Civil
- 2) Les études d'EXE des Ouvrages Linéaires (terrassement / assainissement / rétablissements)
- 3) Les études d'EXE des Ouvrages d'Art
- 4) Les interfaces OL / OA
- 5) Les interfaces GC / EF

L'ORGANISATION DES ÉTUDES D'EXÉCUTION de GÉNIE CIVIL

Planning des études de GC

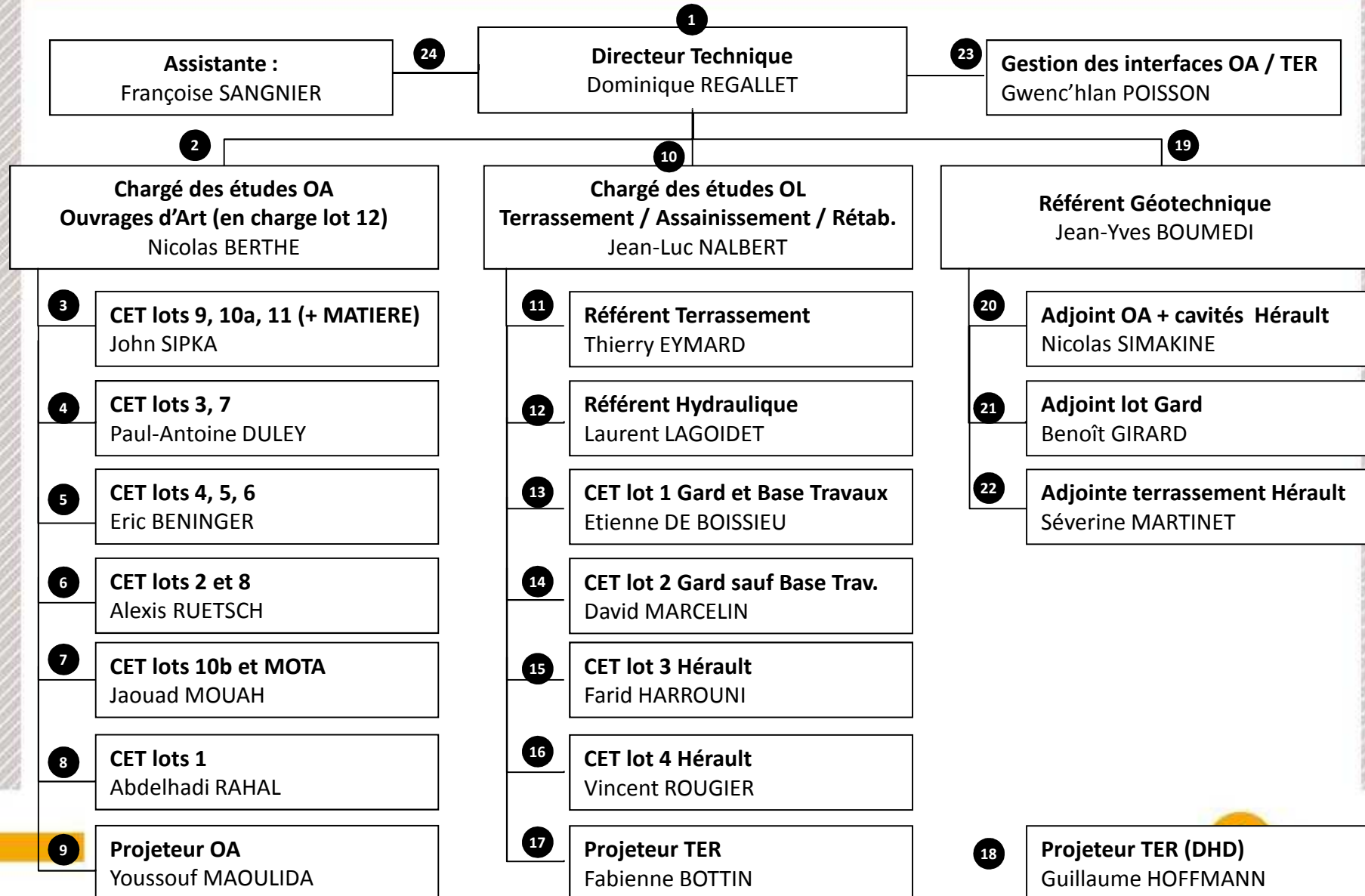
- Études APD de la partie Infrastructures : juin 2012 → juillet 2013 = dossier APD5 servant d'entrant pour les études d'EXE.
- Ingénieries = SETEC et SYSTRA (+ ponctuellement BYTP & SPIE Batignolles TPCI), assurant également le rôle de MOE.
- Choix des BE d'EXE début juillet 2013, pour un démarrage effectif des études d'exécution GC (OA + TER) en septembre 2013, par une revue de conception (optimisations et/ou homogénéisation des ouvrages).
- Démarrage des travaux GC fin 2013 pour une durée de 2 ans → fin 2015.
- Études d'exécution avancées à plus de 90% aujourd'hui :
 - ✓ Etudes OA quasi terminées soit durée de 1,5 ans.
 - ✓ Etudes terrassement / assainissement terminées mi 2015, soit presque 2 ans.

L'organisation des études : la DT Infra

- Une Direction Technique Infrastructures (DT Infra), rattachée à la Direction de Projet, a été mise en place afin de gérer le développement des études d'exécution, celles-ci étant réalisées par les bureaux d'études sous-traitants.
- Principales missions de la DT Infra :
 - ✓ Analyser et communiquer les données d'entrée (APD5 et autres documents).
 - ✓ Piloter la production des notes et plans d'exécution, et vérifier les données de sortie.
 - ✓ Assurer un rôle de coordination et communication, et gérer les interfaces (OA vs terrassements, assainissement, réseaux, équipements ferroviaires (EF), exigences du mainteneur, etc.).
 - ✓ Apporter son expertise dans la phase d'exécution.
 - ✓ Piloter le dossier de récolement nécessaire à la préparation du dossier des ouvrages exécutés.

La Direction Technique Infrastructures (GC) :

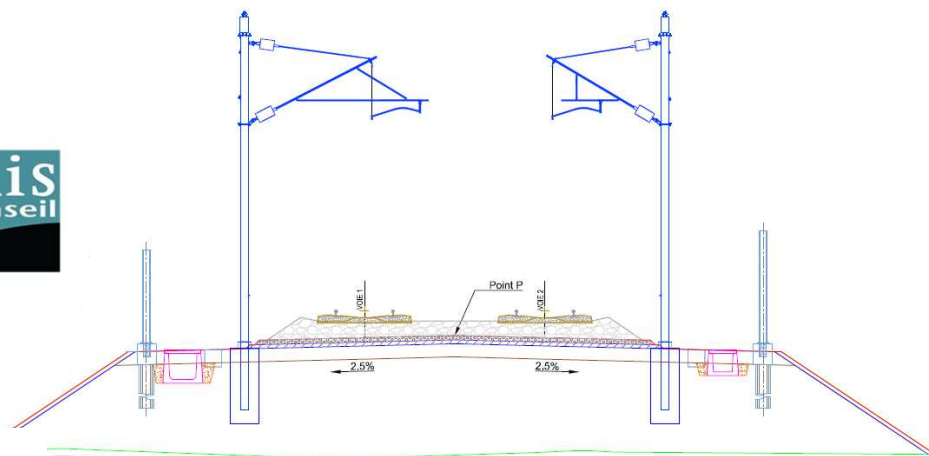
25 personnes en pointe



Terrassement – Assainissement : découpage des Etudes

Quelques chiffres

- 4 lots études géographiques d'environ 20km
- 1 équipe de coordination et de production d'études internes de 10 personnes
- 6 bureaux d'études en sous-traitance directe et indirecte
- 4 bureaux de contrôle



- + de 1 200 dossiers d'exécutions
- correspondant à + de 6 500 plans et près de 50 000 profils en travers

Ouvrages d'Art : découpage des Etudes

- Au vu de la multiplicité des types d'ouvrages → découpage en lots d'études en fonction du type d'ouvrages, plutôt que par tronçons géographiques.

Lot	Type de franchissement	Type d'ouvrage	Bureau d'études
1	PRA	Bowstring / quadripoutres béton armé / bipoutre mixte	ACGO (ARTES / C ² ODA / GRONTMIJ / OTCE)
2	PRA	Quadripoutres béton armé	BMCI
3	PRA	Sauts de mouton	AIA
4	PRO	PRAD	ARCADIS
5	PRO	PSDP	ARCADIS
6	PRA	Viaducs mixtes	SPIE BATIGNOLLES TPCI / SECOA
7	PRA	Poutrelles enrobées	AIA
8	PRA	Portiques PRA	BMCI
9	PRA	Cadres ouverts PRA	COGECI / SIAM Ingénierie
10a	PRA	Dalots	SETI
10b	PRA	Dalles béton armé	INGEROP
11	PRO	Cadres ouverts / fermés PRO	SETI
12	PRO	Tranchée de Manduel	SPIE BATIGNOLLES TPCI

- 62 ouvrages parmi les ouvrages de type portiques, cadres et dalots sont préfabriqués par le sous-traitant MATIERE, les ouvrages de type voûte sont d'ailleurs étudiés par ce dernier.

Soit 11 BE différents + 3 bureaux de contrôle
mobilisés en Ouvrages d'Art



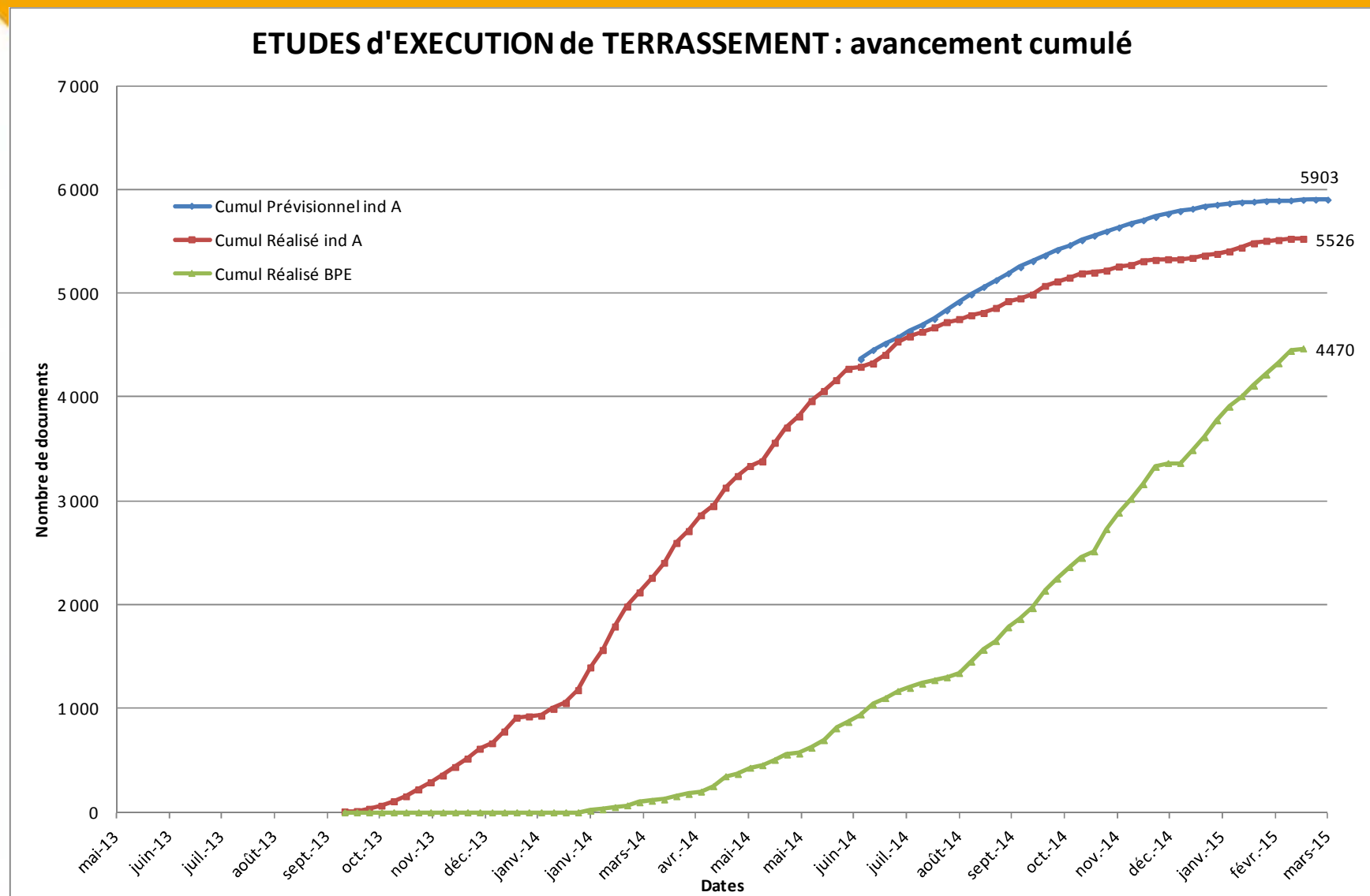
setec mtp



Près de 12 000 documents GC : TER + OA

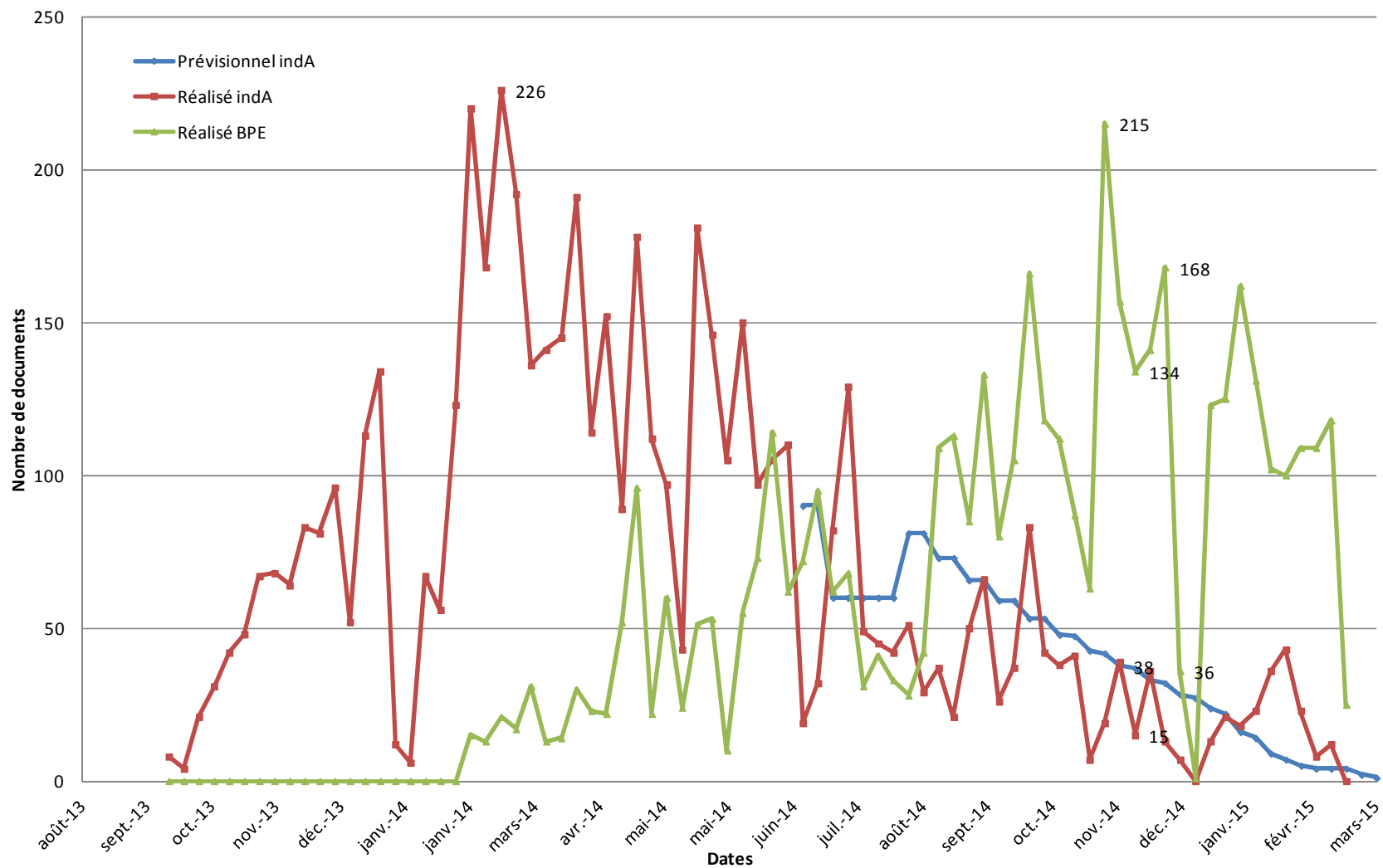
Date : 02/03/2015	Total documents			BPE
	diffusé	prévisionnel	% avanc ^t	
<u>1) BE TER :</u>	5 750	6 105	94%	4 405 77%
<u>2) BE OA :</u>	4 863	5 148	94%	4 373 90%
<u>3) BE TER + OA :</u>	10 613	11 253	94%	8 778 83%

Courbe de diffusion des plans d'OL (Ouvrages Linéaires)

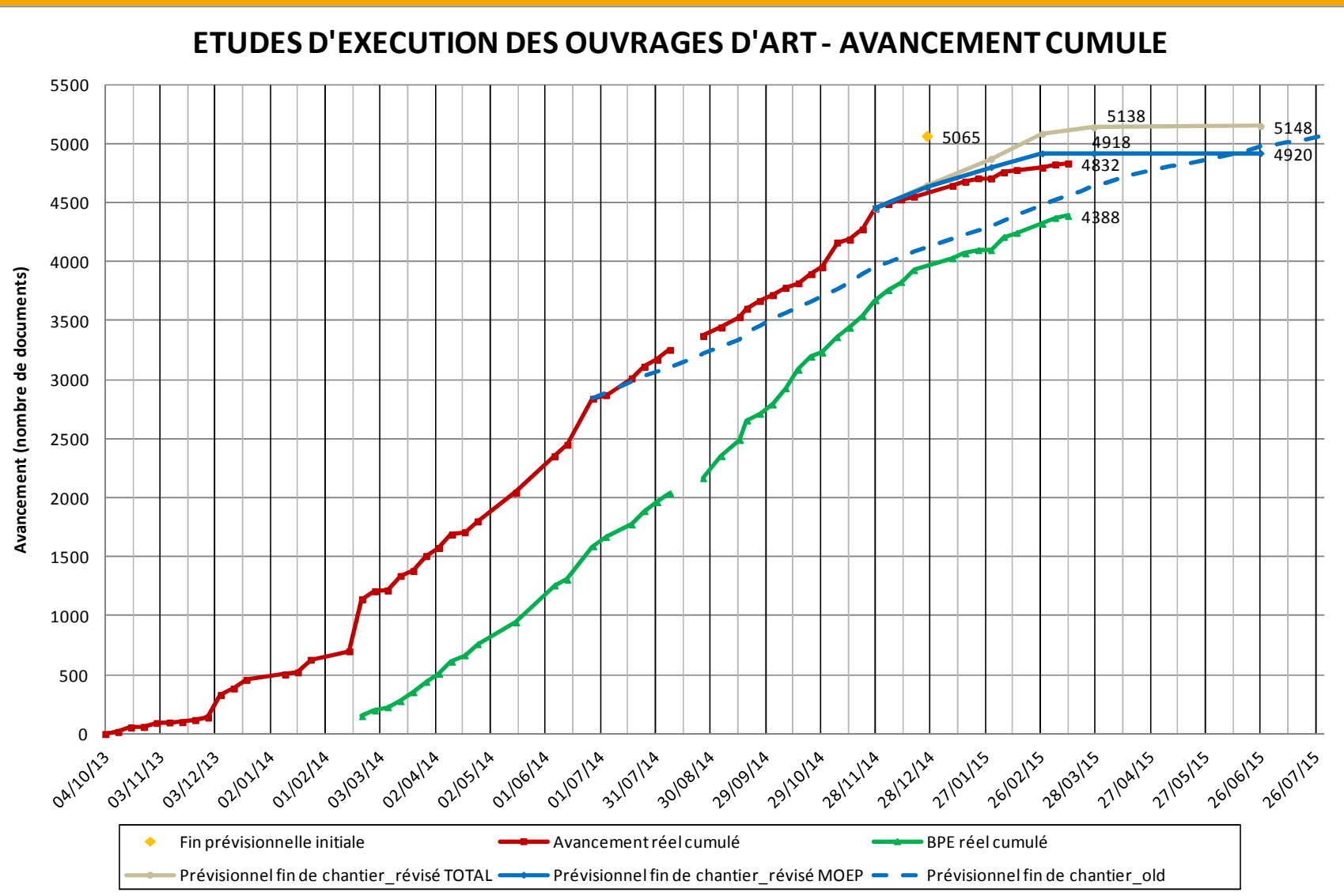


Courbe de diffusion des plans d'OL (Ouvrages Linéaires)

ETUDES d'EXECUTION TERRASSEMENT : avancement hebdomadaire

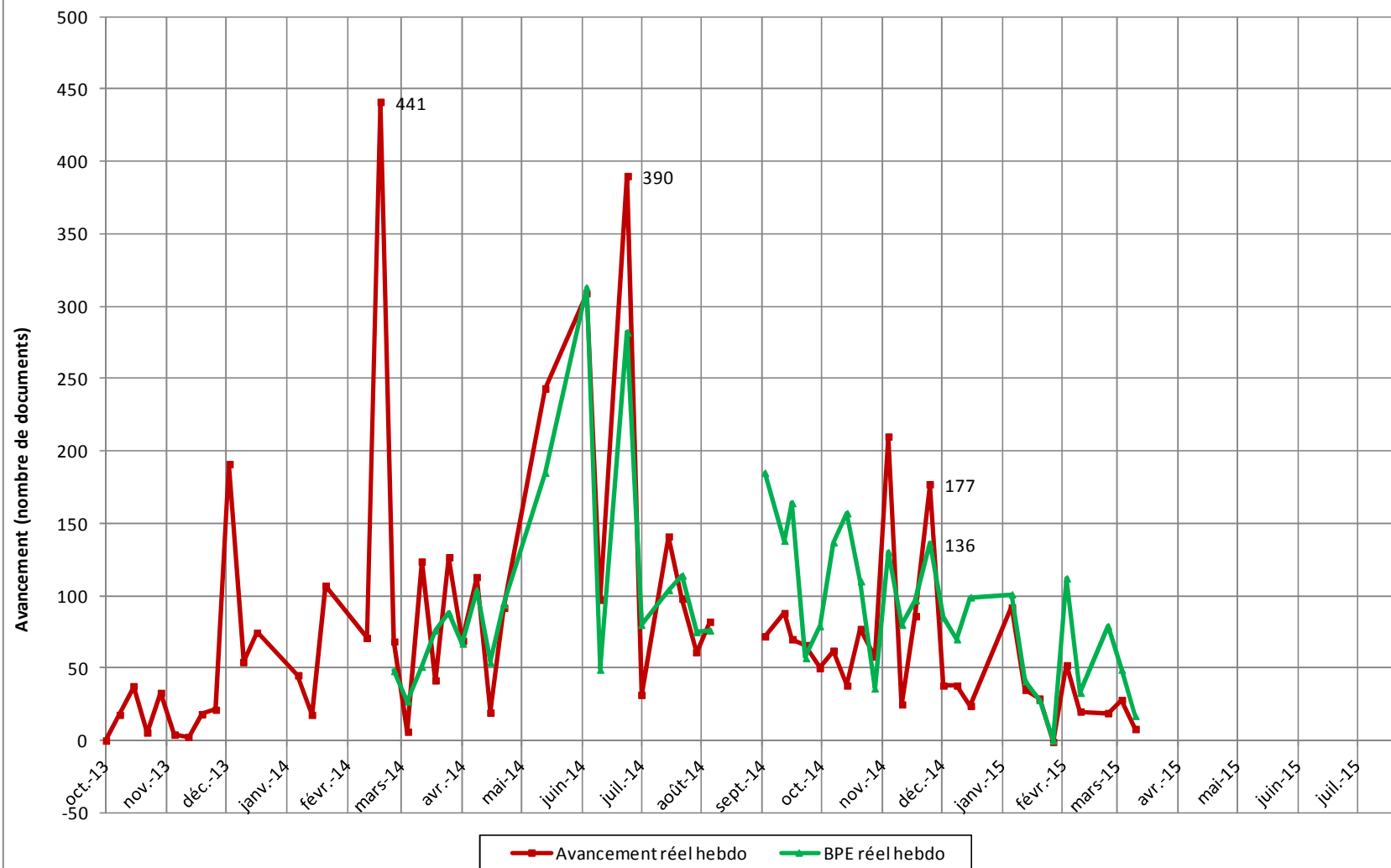


Courbe de diffusion des plans d'OA



Courbe de diffusion des plans d'OA

ETUDES D'EXECUTION DES OUVRAGES D'ART - AVANCEMENT HEBDO



Principales difficultés rencontrées en études

- **Planning** du projet très tendu + mobilisation des équipes travaux simultanément sur l'ensemble du tracé => environ 30 à 40% des ouvrages ont dû faire l'objet d'un processus études accéléré, nécessitant des ressources adéquates à tous les échelons de la chaîne de production et de contrôle.
- Etudes **d'EXE basée sur un dossier APD** et non PRO => niveau de définition moins abouti.
- Gestion des **interfaces** : le très grand nombre d'intervenants sur ce projet nécessite :
 - ✓ Une gestion et un partage de l'information maîtrisé.
 - ✓ Des données d'entrée vérifiées et fiables (création de FVE = Fiche de Validation des Entrants).
 - ✓ Que les mises à jour soient intégrées en temps réel dans les études d'exécution.

LES ETUDES d'EXE des OUVRAGES LINEAIRES : -terrassement -assainissement -rétablissements

Terrassement – Assainissement : principales difficultés rencontrées en études

Mise en place d'un assainissement séparatif:

- 80 km de caniveau U
- plus de 100 ouvrages de traversés
- 75 bassins multifonctions et de compensations à l'imperméabilisation
- plus de 200 noues

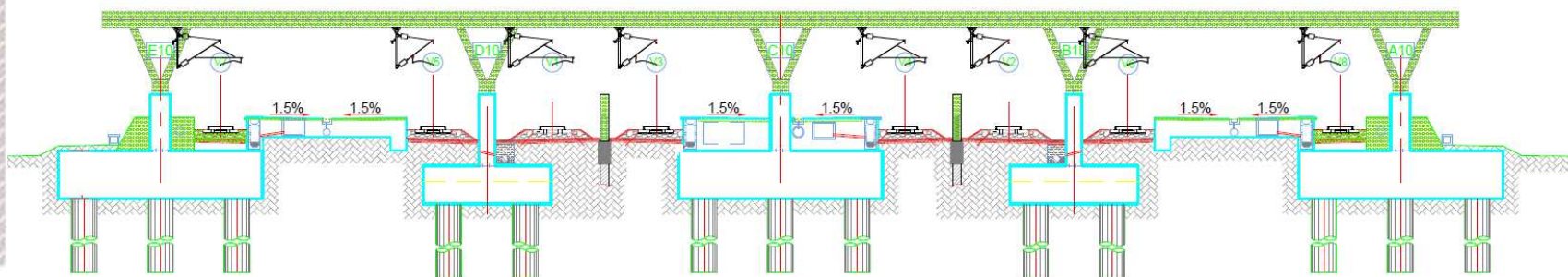


Les interfaces Equipements Ferroviaire liées à la mixité:

- plus de 100 PF annexes
- double système de signalisation (lumineux et GSMR)



La Gare de Montpellier:



Assainissement séparatif

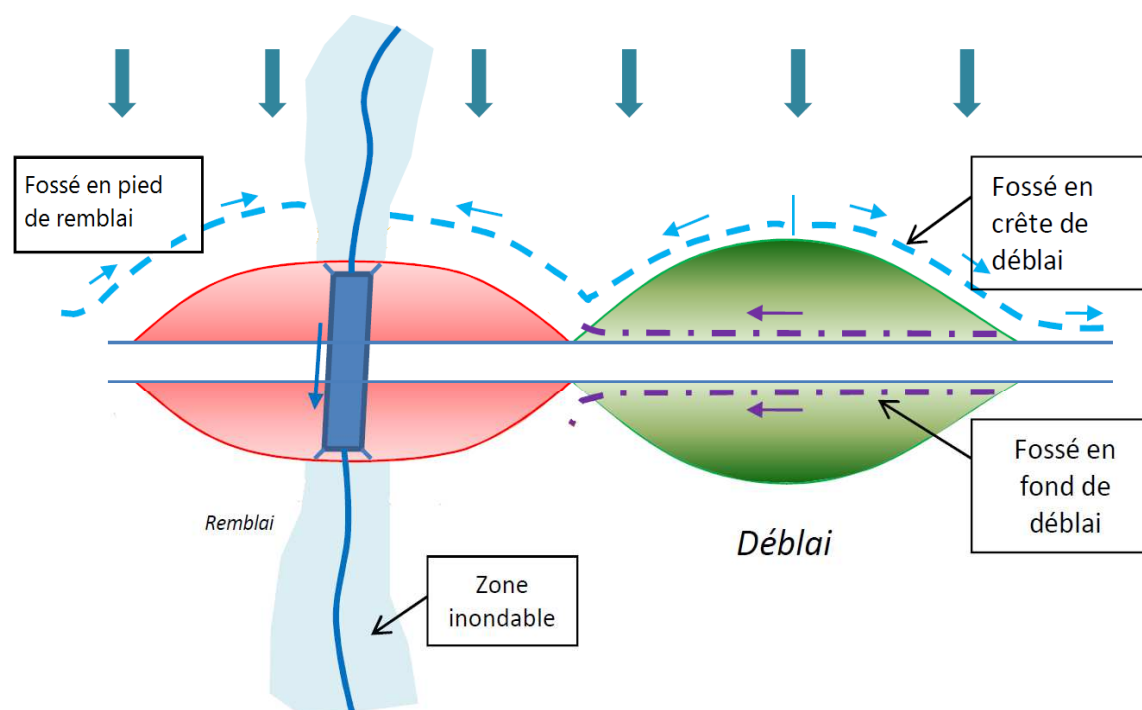
Cas LGV Classique

Pour la protection contre l'érosion vis-à-vis des apports du BVN (Bassin Versant Naturel) :

- Fossé de pied de remblai côté BV
- Fossé de crête de déblai côté BV

Pour l'assainissement de la PF (Plateforme ferroviaire) :

- Drainage de fond de déblai V1-V2
- Eventuel OH de traversée V1-V2 en sortie de déblai



Assainissement séparatif

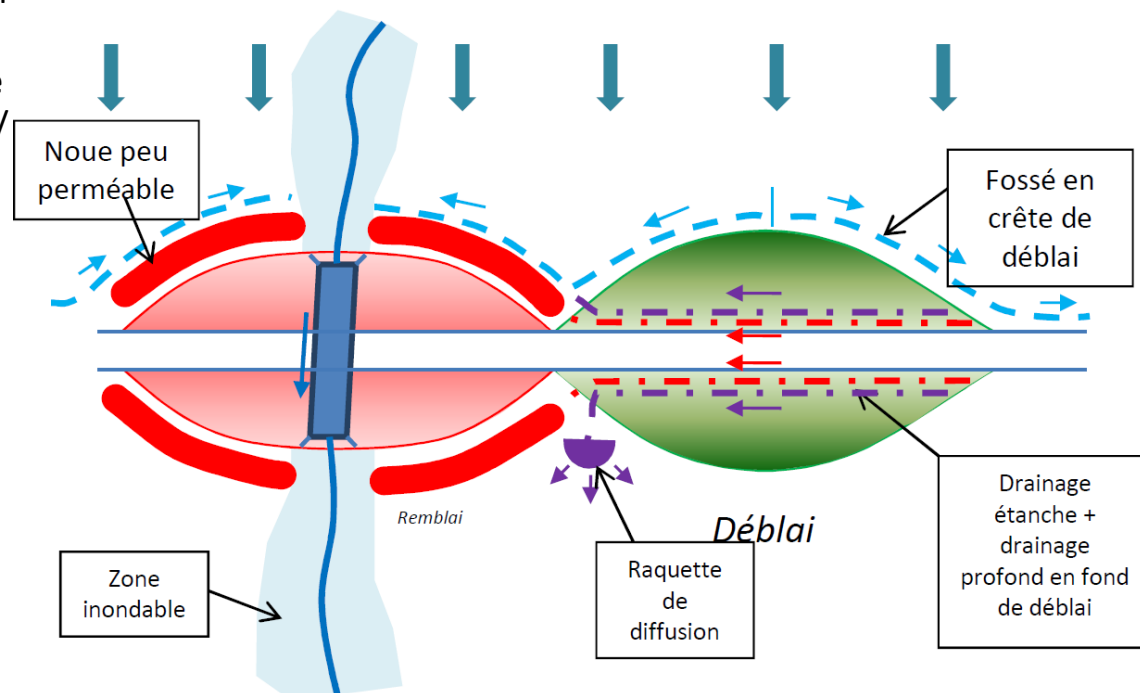
Cas LGV Mixte – zone à sensibilité environnementale modérée

Pour la protection contre l'érosion vis-à-vis des apports du BVN :

- Fossé de pied de remblai côté BV
- Fossé de crête de déblai côté BV

Pour l'assainissement de la PF :

- Drainage **étanche** de fond de déblai V1-V2 rejeté **dans les noues**
- **Drainage profond du déblai séparé** (superficiel pour EP + drain profond / rabattement nappe)
- **Noue en pied de remblai V1-V2**
- Eventuel OH de traversée en sortie de déblai



Assainissement séparatif

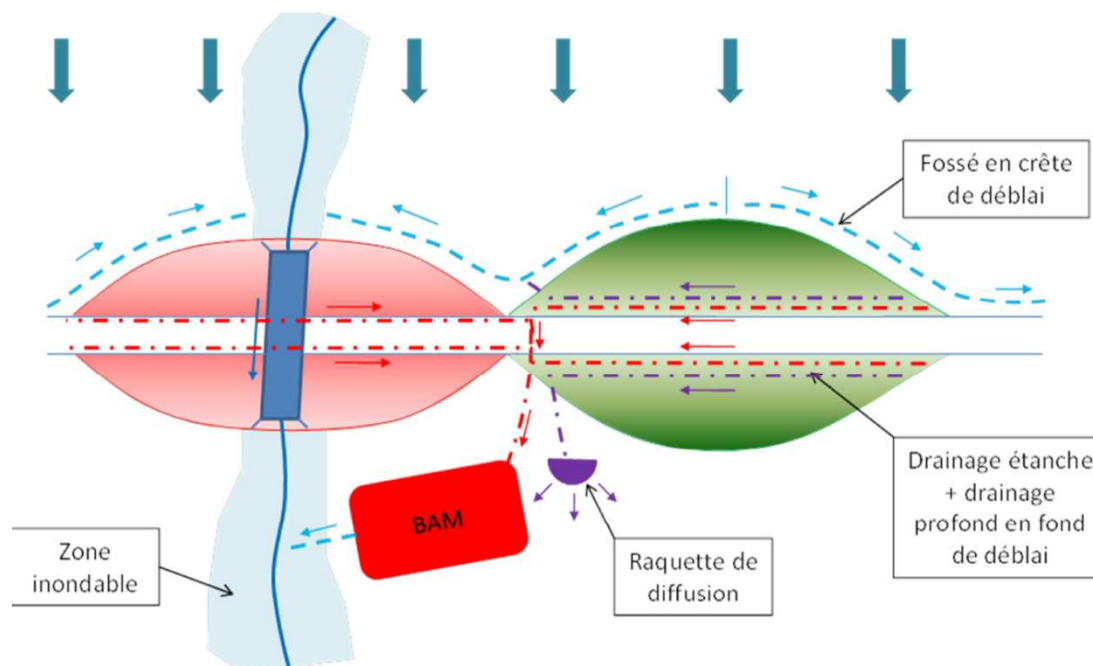
Cas LGV Mixte – zone à sensibilité environnementale forte

Pour la protection contre l'érosion vis-à-vis des apports du BVN :

- Fossé de pied de remblai côté BV
- Fossé de crête de déblai côté BV

Pour l'assainissement de la PF :

- Drainage **étanche** de fond de déblai V1-V2 rejeté **dans les noues**
- Drainage profond du déblai séparé
- **Caniveau de crête de remblai**
- **OH systématique de traversée V1-V2 en déblai et/ou en remblai**
- **Bassin multifonction**



Assainissement séparatif

Conclusion

Mixité = risque de pollution accidentel

Mise en place d'un assainissement séparatif – CNM en chiffre :

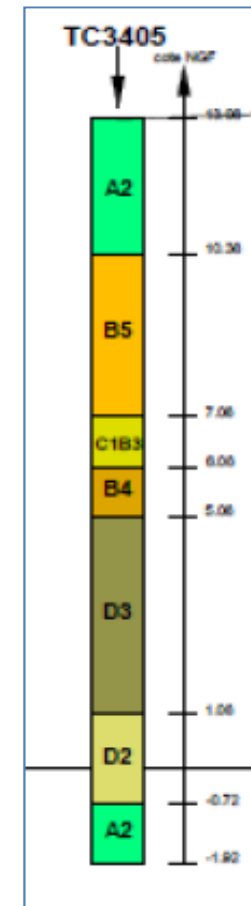
- 80 km de caniveau U
- plus de 100 ouvrages de traversées V1-V2
- 75 bassins multifonctions et de compensations à l'imperméabilisation
- plus de 200 noues



Stabilité des remblais à 3H/2V

Contexte et hypothèses d'étude

- Matériaux disponibles sur le Gard : Villafranchien (Fvb) sable +/- graveleux +/- argileux rouge à jaune
- En APD : Fvb caractérisé $c'=0\text{kPa}$ et $\phi'=35^\circ$ à 38°
- En EXE : prise en compte de l'hétérogénéité de nature du Fvb (voir coupe ci-contre)
 - ⇒ Nécessité d'affiner la caractérisation c'/ϕ' des Fvb en identifiant des familles de matériaux homogènes
 - ⇒ Vérification des dispositions constructives afin d'assurer la stabilité des remblais en 3H/2V



Stabilité des remblais à 3H/2V

Méthodes d'investigations en EXE

- Essais d'identification au laboratoire
- Cisaillements rapides à la grosse boîte (labo de Rouen ou Reims)
- Cisaillements lents à la petite boîte (taille standard)
- Cisaillements triaxiaux CU+u sur fraction fine
- Sondages dans remblais construits : pressiométriques et phicométrique

Stabilité des remblais à 3H/2V

Exemples de familles identifiées

- Les matériaux de découverte de l'emprunt de Vergèze

Matériaux	Classe GTR	Comportement mécanique	C' (kPa)	φ' (°)
Découverte de l'emprunt de Vergèze	Limons A1/B5	Mixte	10	31

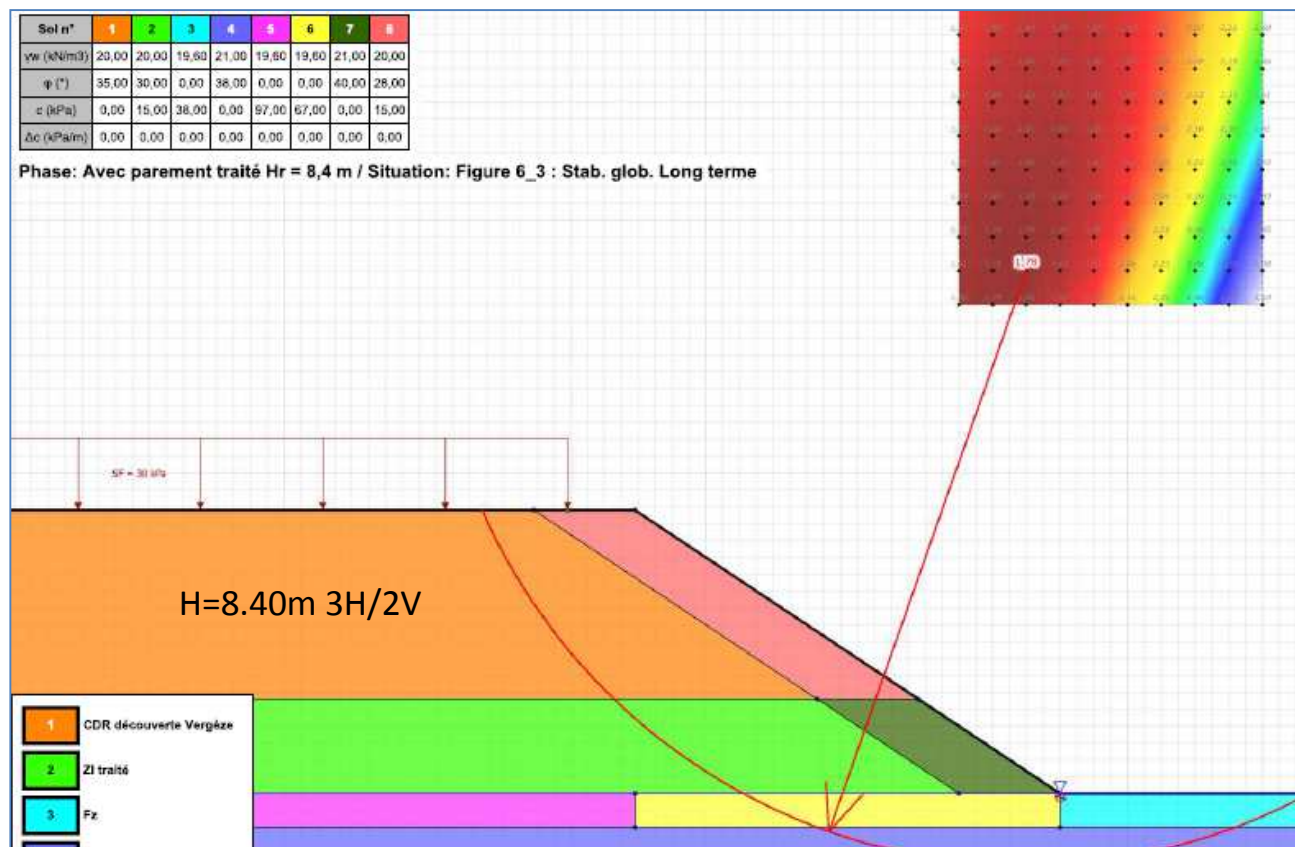
- Les matériaux de la base travaux de Générac

Matériaux	Classe GTR	Comportement mécanique	C' (kPa)	φ' (°)
Base travaux	Grave à galets sablo argileux C1B5	Dilatant	0	37

Stabilité des remblais à 3H/2V

Remblai construit avec les matériaux de découverte de Vergèze

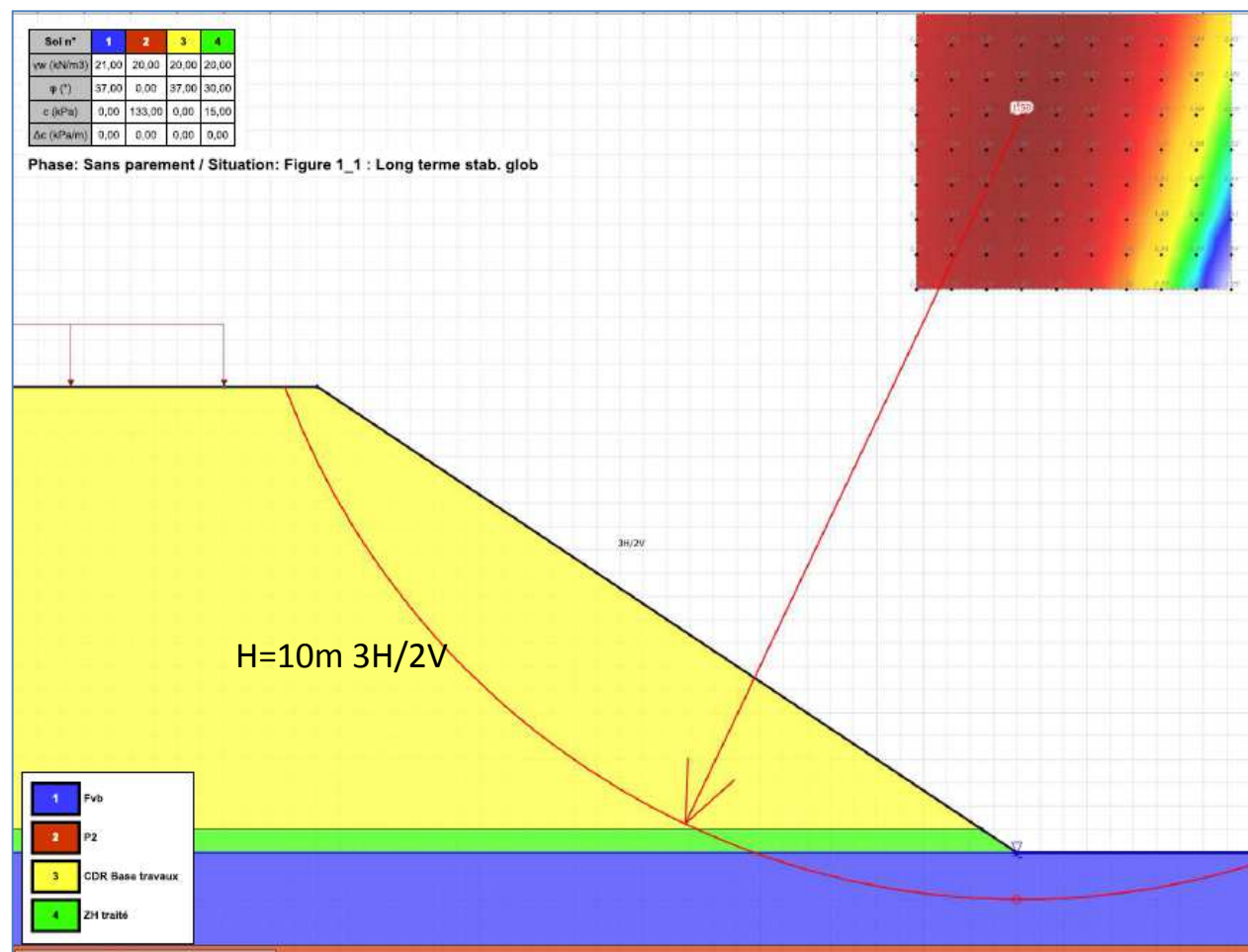
⇒ parement traité



Stabilité des remblais à 3H/2V

Remblai construit avec les matériaux de la base travaux de Générac

⇒ **Stabilité OK**



Dérivations Hydrauliques et Enrochements

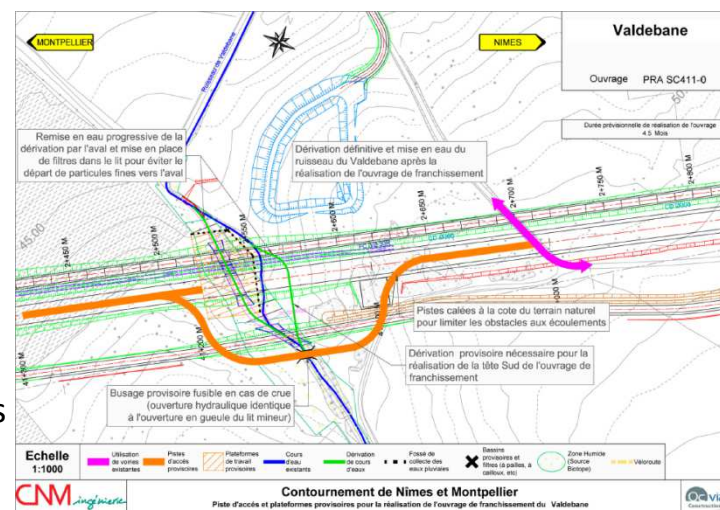
Dérivations Hydrauliques et Enrochements

CNM en chiffre :

- 13 dérivations hydrauliques définitives
- 11 remises en eau du lit initial du cours d'eau après dérivation provisoire
- 68 OA à protéger contre les risques d'érosion

Contrainte environnementales et technique :

- Validation de la Police de l'eau (DDTM, ONEMA)
- Respect des données générales hydrologiques (superficie BVN, débit QMNA5, débit Q100 et enjeux identifiés vis-à-vis des risques d'inondation)
- Respect de la qualité écologique (état patrimonial, qualité ou potentialité piscicole)
- Respect de l'état du lit mineur, des berges et de la ripisylve, l'usage du cours d'eau (pêche, pisciculture, prélèvement, etc.)
- Etc.



Dérivations Hydrauliques et Enrochements

Exemple : DHD du Gour

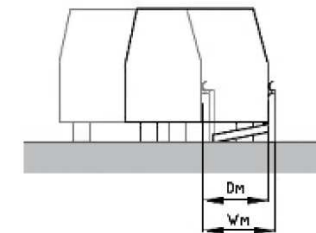


Dispositifs de retenue

Dispositifs de retenues

Problématique :

- Mise en œuvre de la norme EN 1317 sur les DDR
- Le choix du fabricant peut impacter directement la largeur utile de l'ouvrage ou de la PF



Difficultés :

- Manque d'apport technique de sous-traitants (SLER, Aximum)
- Coordination entre différents fournisseurs (3 fournisseurs sur CNM)
- Certaines parties de la norme (raccordement) ne sont pas officielles
- Des guides d'applications du CEREMA sont en cours de rédaction (ex. : Dispositifs de retenues routiers marqués CE sur OA – publié le 02/02/2015)

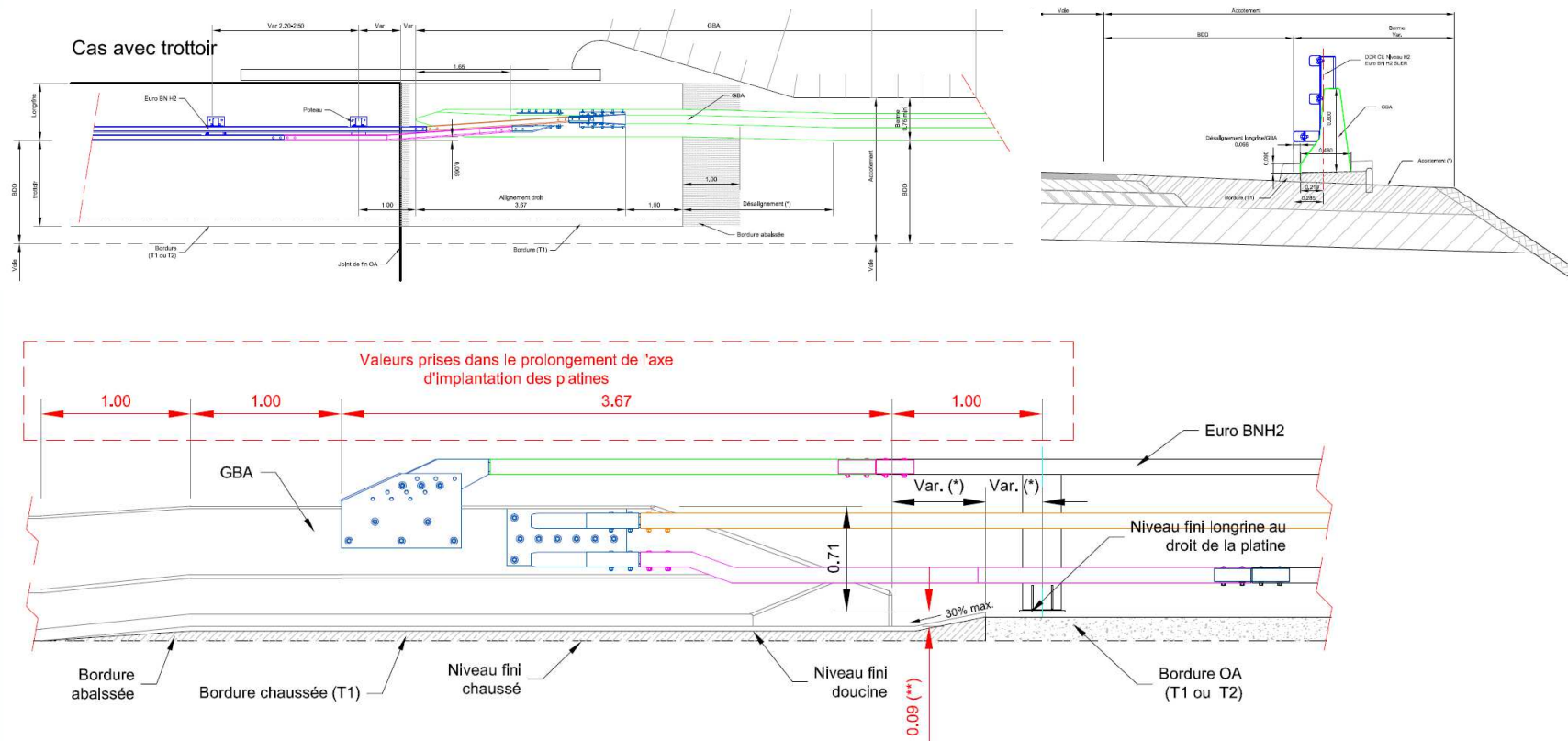
Solutions :

- Nécessité absolue d'anticiper **au plus tôt** le choix des fournisseurs
- Mise au point de plans-types communs en fonction des fournisseurs
- Validation directe des fournitures par les gestionnaires (CG, DIR)



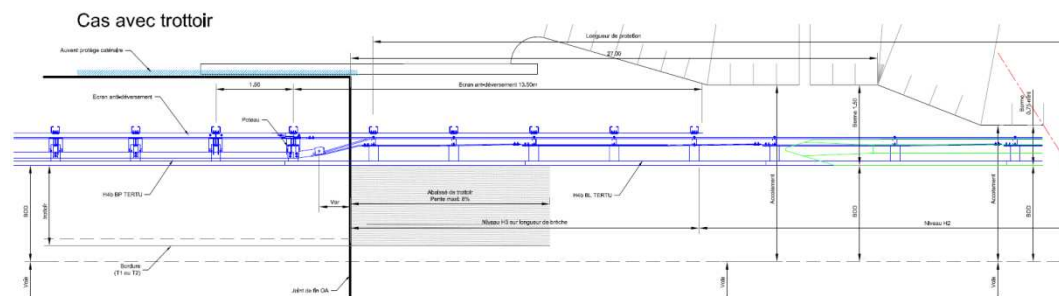
Exemple transition : OA = Euro BN H2 $\rightarrow$ GBA (H2) $\rightarrow$ OL = GS Evol 1.5 (N2)

Translition EURO BN H2 => GBA

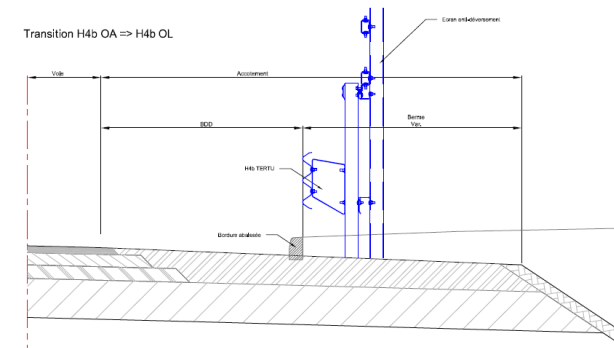


Dispositifs de retenue

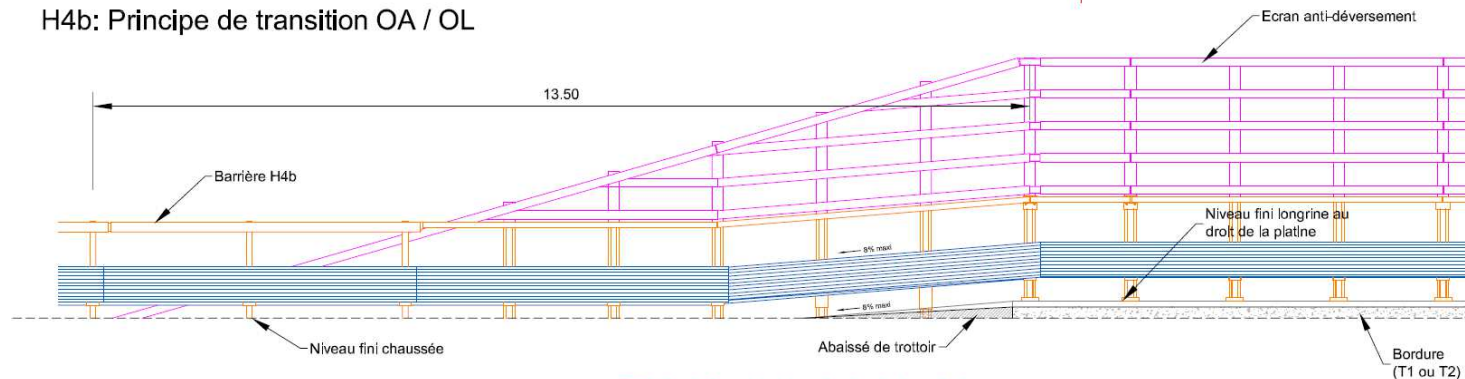
Exemple transition : OA = H4b+écran anti-déversement → GBA(H2) → OL = GS Evol 1.5 (N2)



DDR type H4b



H4b: Principe de transition OA / OL



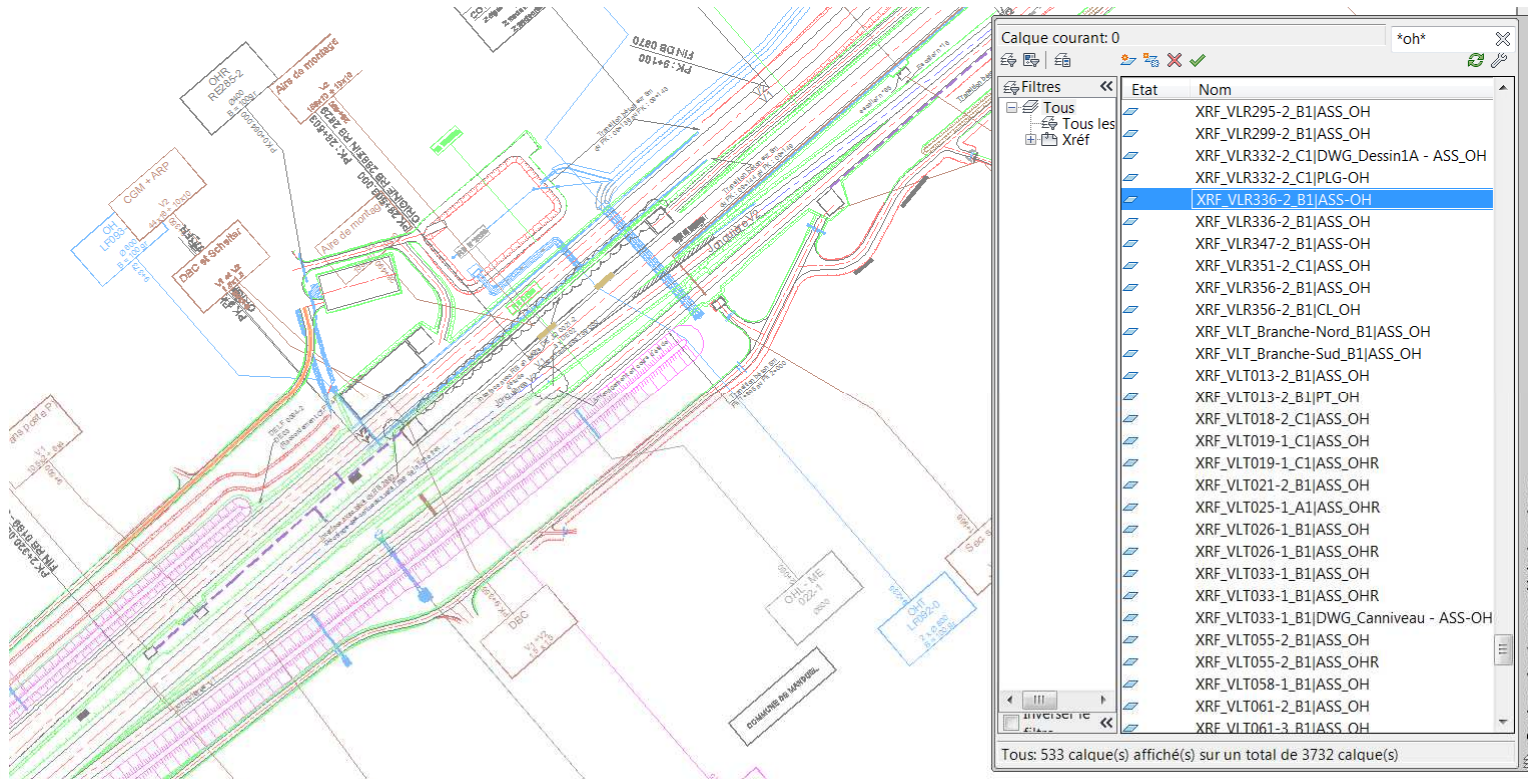
(*) Suivant le biais et le calpinage des poteaux, la distance entre le nez de la GBA et la fin de l'OA est variable. Ainsi, si cette distance ne permet pas d'avoir un abaisse à 30% max, l'abaisse pourra être réalisé dans une seconde phase, après la réalisation de la GBA

(**) Valeur de 9cm entre niveau longrine et niveau doucne à respecter impérativement pour avoir un raccord Euro BNH2/GBA conforme

Plans d'assemblage & SIG (Système d'Information Géographique)

De l'importance de la mise en place au démarrage d'une charte graphique...

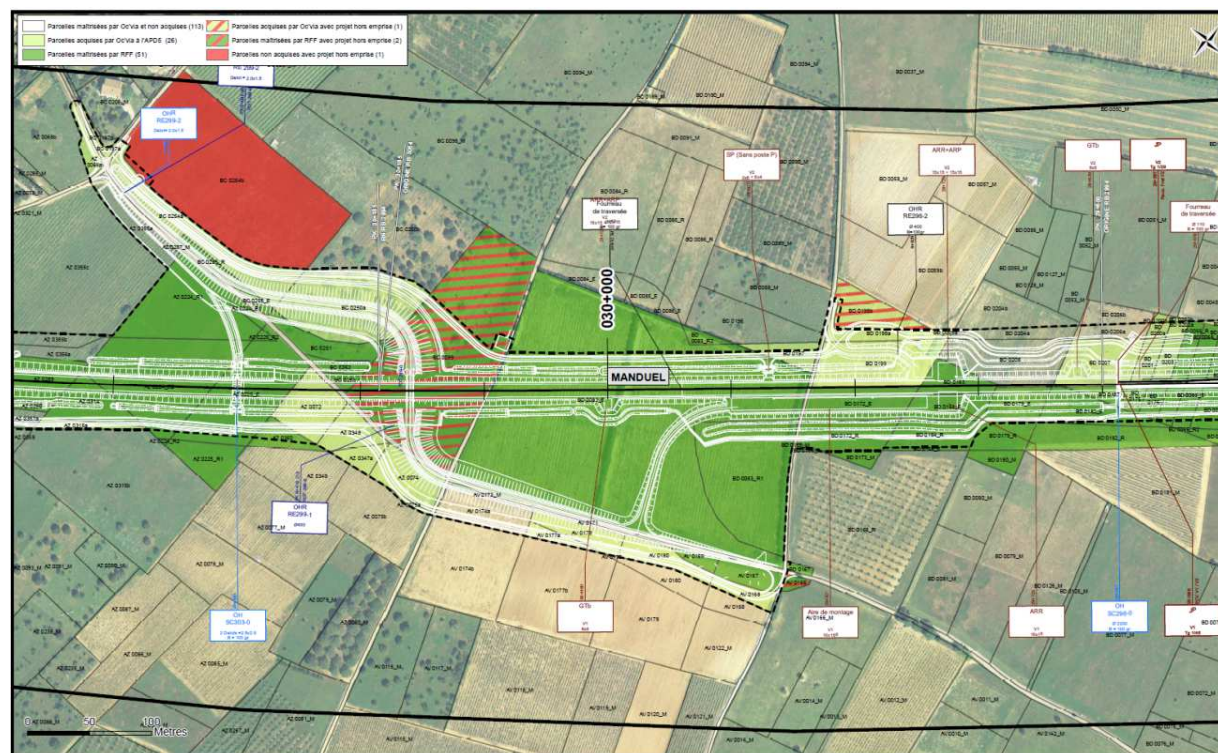
- ✓ Mise en place d'un charte graphique DAO (AutoCAD) rigoureuse (nomenclature des calques standardisée, etc.)
- ✓ Respect de la charte graphique pour l'ensemble des (changement d'habitudes de travail)
- ✓ Géolocalisation des plans de coffrage / plans d'ensemble OA



Plans d'assemblage & SIG

Avantages

- ✓ Facilité de mise aux points et d'édition de plans d'assemblage sur mesure à destination des équipes travaux, foncier, réseaux, des équipements ferroviaires, des paysagistes...
 - > **gestion facilitée des étapes ultérieures de la construction**
- ✓ Facilité d'insertion dans un SIG



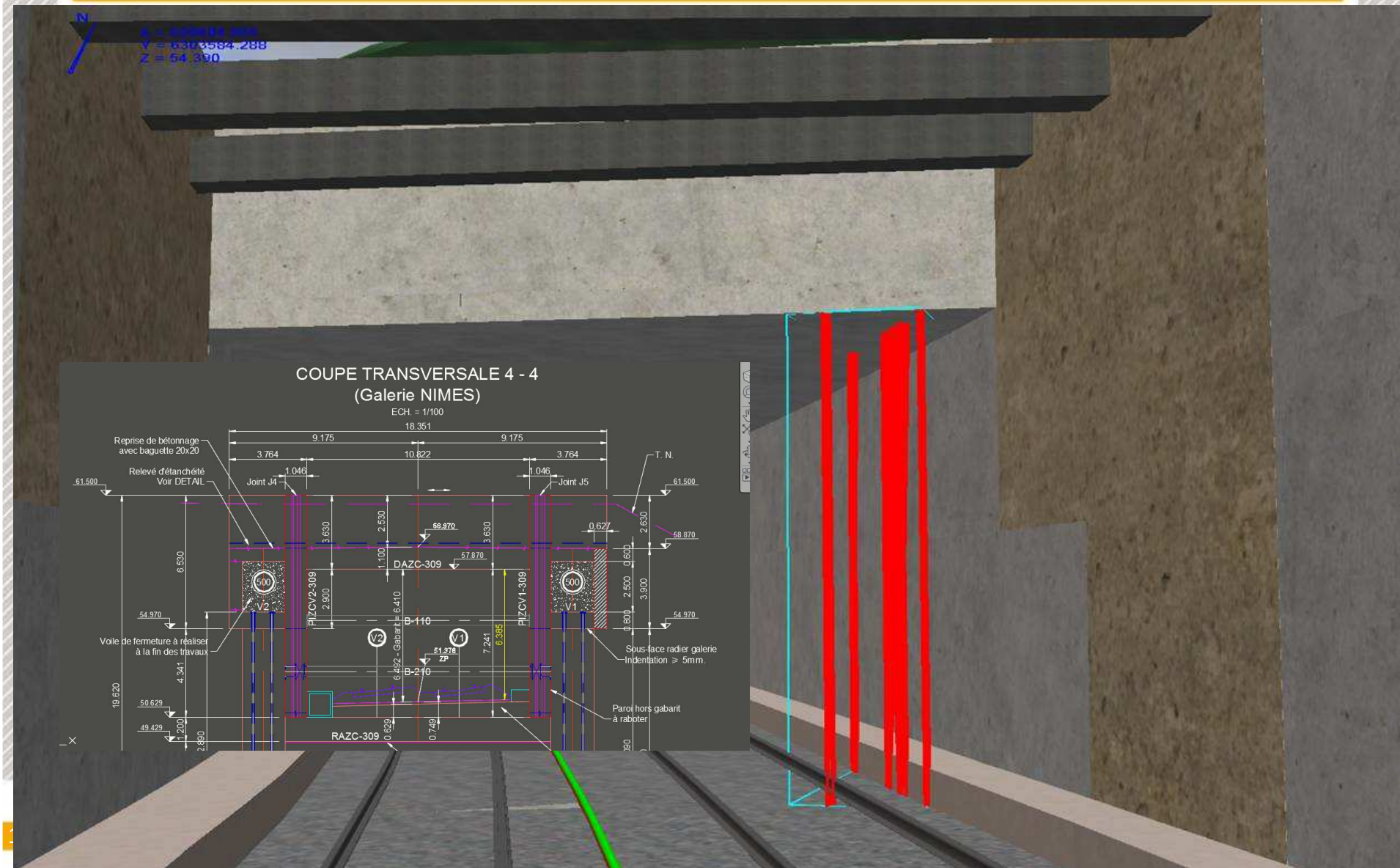
Modélisation numérique, BIM, SIG...

Objectifs & REX :

- ✓ Objectif = test avec la modélisation d'une zone complexe (la TC de Manduel) pour analyser les différentes interfaces.
- ✓ Prestation réalisée par la société VIANOVA → Montage du modèle rapide à partir des plans d'EXE.
- ✓ Mise en évidence de certains clashes.
- ✓ Cette prestation devrait être réalisée plutôt en phase de conception (APD) pour identifier les conflits en amont.
- ✓ Le planning très tendu de l'opération CNM n'a pas permis d'aller plus loin dans cette démarche.
- ✓ La difficulté qui subsiste est le « compartimentage » entre :
 - les logiciels de terrassement (MENSURA, MACAO, CIVIL 3D...),
 - la maquette numérique
 - et le SIG.L'objectif étant pour le futur de travailler avec un seul outil.

Maquette numérique VIANOVA : exemple de la TC de Manduel



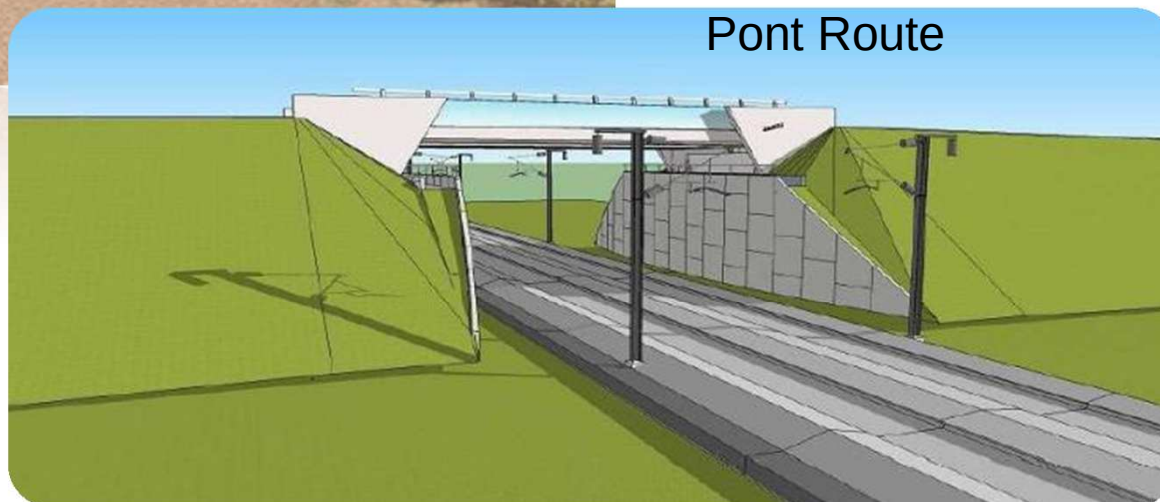


LES ETUDES d'EXE des OUVRAGES d'ART

Les ouvrages d'art courants



Pont rails



Pont Route

Les ouvrages d'art courants

- **176 OAC répartis**
 - 47 PRA
 - 43 PRO
 - 86 OH de largeur supérieure ou égale à 2,50 m

	SEA	BPL	CNM
km (eq) projet	345	215	80
Nbre OAC	401	204	176
Ratio u/km	1,16	0,95	2,20
Dist. (km)	0,860	1,054	0,455

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 ouvrages d'art non-courants

- 11 Viaducs
 - Viaduc de franchissement de l'A54 (1)
 - Viaducs de franchissement du Vistre et de la Sarelle (2)
 - Viaduc de franchissement du Vidourle (3) et les Ouvrages Hydrauliques de décharge
 - Ouvrage de franchissement de la RN113 (4)
 - Viaducs de franchissement du Lez et de la Lironde (5)
- 1 tranchée couverte à Manduel (6)



IMPACT DU COEFFICIENT ALPHA 1.33

- . CNM : ligne mixte, grande vitesse voyageurs et fret ferroviaire.
- . Tome 11 du RTPPP : coefficient de majoration des charges ferroviaires standards, noté α , pris égal à 1.33.
⇒ Cette majoration des charges ferroviaires de 33% a une influence importante sur le dimensionnement des ouvrages.

. Charges verticales :

- Majoration des charges ferroviaires → augmentation des sollicitations des tabliers → augmentation du ferrailage des tabliers B.A. / augmentation de la charpente métallique pour les ouvrages métalliques et les tabliers à poutrelles enrobées.
- Majoration des charges ferroviaires → augmentation des efforts verticaux transmis aux piles et culées → augmentation des charges verticales transmises aux fondations → augmentation des fondations.

. Charges horizontales freinage/accélération :

- Majoration des charges horizontales de freinage/accélération → augmentation similaire des efforts horizontaux longitudinaux transmis aux points fixes longitudinaux des ouvrages → surdimensionnement des appareils d'appuis concernés, des piles ou culées concernées et de leurs fondations.
- Majoration des charges horizontales de freinage/accélération → rigidité requise également augmentée de 33 % pour limiter le déplacement longitudinal relatif entre tablier et culée, ou entre deux tabliers successifs → augmentation du diamètre des pieux et/ou augmentation de leur entraxe → augmentation de la semelle.

. Charges horizontales de force centrifuge :

- Majoration des charges horizontales de force centrifuge → augmentation similaire des efforts horizontaux transversaux transmis aux piles et culées des ouvrages → surdimensionnement des appareils d'appuis concernés, des piles et culées et de leurs fondations.

IMPACT DU COEFFICIENT ALPHA 1.33 – EXEMPLES

. Tabliers courants : augmentation des charges ferroviaires d'environ 6 à 11 % de la charge totale reprise par le tablier (poids propre + équipements + charges ferroviaires)

. SC539-0 dalle B.A.

- Tablier : incidence limitée au ratio d'armature, augmenté d'environ 7%

- Fondations des piles : augmentation des quantités d'environ 10% (car séisme non dimensionnant).

. SC831-0 bipoutre mixte / quadripoutre B.A.

- Pieux : +10% de béton sur PC4 / +20% de béton sur PC12

- Semelles : +18% de béton sur PC4 / +20% de béton sur PC12

. SC576-0 quadripoutre B.A.

Comparaison du dimensionnement des pieux avec $\alpha = 1.33$ et $\alpha = 1$

	Combinaisons fondamentales	Combinaisons fondamentales
Valeur de alpha	1.33	1.00
Nombre de pieux	6	6
Diamètre	1600mm	1400mm
Longueur des pieux	15.45m	16.00m
Ferraillage longitudinal	16 HA32	16 HA32
Ferraillage transversal	Cerces HA16 @150mm	Cerces HA16 @150mm

CALCULS IRS (Interaction Rail Structure)

. Succession d'ouvrages rapprochés => nécessité d'effectuer des calculs IRS d'Interaction Rail Structure (réponse combinée du système voie-ouvrage aux actions variables) sous les effets thermiques et de freinage, sur 7 ouvrages ou succession d'ouvrages :

Ouvrage			BE
SC580-0 / SC581-0 / SC582-0	RAPL / WARREN / RAPL	Vidourle	SECOA
SC495-0 / SC497-0	Bipoutre mixte / quadripoutre B.A.	Vistre	SECOA
SC576-0	Quadripoutre B.A.	Vidourle	BYTP
SC571-0	Quadripoutre B.A.	Vidourle	BYTP
SC566-0	Quadripoutre B.A.	Vidourle	BYTP
SC563-0	Quadripoutre B.A.	Vidourle	BYTP
SC831-0	Bipoutre mixte / quadripoutre B.A. / bow-string	Lez / Lironde	ARTES / C2ODA

. Longueur totale > 90m

. Voies LGV-CNM réalisées avec des rails (Longs Rails Soudés) continus au-dessus des joints de dilatation

⇒ Les liaisons qui existent entre les rails et les tabliers génèrent, par l'intermédiaire du ballast, des efforts d'interaction rails/structure (IRS)

. EN 1991-2 (§6.5.4)

. Fiche UIC774-3 R (déc. 2000)

. Raideurs TCT pour les efforts freinage / démarrage

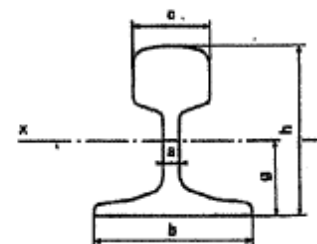
. Raideurs CT pour les efforts température / retrait / charges verticales

CALCULS IRS – CARACTERISTIQUES DES RAILS

Les rails mis en œuvre sur les voies de la **LGV CNM** sont des rails UIC60. Ce sont d'ailleurs les seuls pour lesquels le § EN1991-2:6.5.4.5.1 des Eurocodes définit les valeurs limites à respecter pour les contraintes additionnelles dues à l'IRS.

Leurs caractéristiques sont :

- module d'élasticité : $E_{\text{rail}} = 200 \text{ GPa} = 2.0 \cdot 10^8 \text{ kPa}$
- coefficient de dilatation : $\alpha_{\text{rail}} = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m/}^\circ\text{C}$



	Pour 1 rail :	Pour les 2 rails d'une voie :
Section :	$s_1 = 0.007686 \text{ m}^2$	$S = 2 \cdot 0.007686 = 0.0154 \text{ m}^2$
Inertie :	$iz_1 = 3055 \text{ cm}^4$	$Iz = 2 \cdot 3055 = 6110 \text{ cm}^4$
Hauteur :	$h = 172 \text{ mm}$	$h = 172 \text{ mm}$
Position du CdeG :	$g = 80.95 \text{ mm}$	$g = 80.95 \text{ mm}$
Masse linéique :	$M_1 = 60.34 \text{ kg/ml}$	$M = 2 \cdot 60.34 = 120,68 \text{ kg/ml}$

Le calage du niveau de référence V350 du dessus des rails par rapport au niveau supérieur du hourdis béton dans l'axe des tabliers est défini sur le schéma de l'**Annexe A2** :

- épaisseur de l'étanchéité : 0.03m
- épaisseur de grave bitume : 0.10m
- épaisseur ballast + traverses + rails : $0.66 + 0.05 = 0.71 \text{ m}$

On en déduit le calage de la base des rails par rapport au niveau supérieur du hourdis béton dans l'axe des tabliers :

$$\Delta z(\text{rails-hourdis}) = 0.03 + 0.10 + 0.71 - 0.172(\text{hauteur des rails}) = 0.67 \text{ m}$$

CALCULS IRS – CRITERES A VERIFIER

. Contraintes dans les rails

- Appelons :
- σ_0 les contraintes subies par les rails en zone courante hors ouvrage
 - σ_G les contraintes subies par les rails sur ouvrage.

Conventionnellement l'inertie de flexion des rails est négligée et les contraintes σ_0 et σ_G sont évaluées au niveau du CdeG des rails.

L'article EN1991-2:6.5.4.5.1 définit :

- la combinaison des actions variables à retenir pour les vérifications d'IRS : elle est définie par la somme des actions suivantes :
 - actions thermiques extrêmes
 - actions de freinage / démarrage extrêmes
 - actions ("verticales de trains" et "gradients thermiques ") conduisant aux rotations extrêmes sur l'about de tablier concerné par la continuité des rails
 - retrait des ouvrages

Bien que ces actions ne soient pas concomitantes elles sont conventionnellement additionnées avec des coefficients de pondération tous égaux à 1.00

- les limites à respecter pour les contraintes additionnelles $\Delta\sigma_G = \sigma_G - \sigma_0$ générées dans les rails par les effets d'IRS:

Les valeurs limites autorisées pour des rails UIC60 sont :

- compression additionnelle due à l'IRS : $\Delta\sigma_{G_comp} = +72$ MPa
- traction additionnelle due à l'IRS : $\Delta\sigma_{G_traction} = -92$ MPa

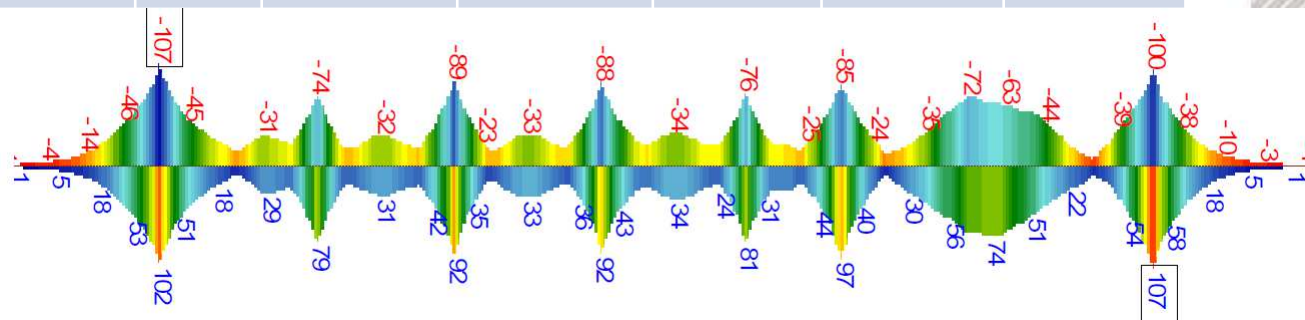
. Déplacements

- Déplacement horizontal sous charges de freinage / démarrage < 5mm
- Déplacement horizontal sous charges verticales de trafic < 8mm
- Déplacement vertical sous l'ensemble des actions variables < 2mm

CALCULS IRS – SYNTHÈSE DES RESULTATS

Ouvrage			BE	Compression additionnelle ($< 72\text{MPa}$)	Traction additionnelle($> -92\text{MPa}$)	Ux charges freinage / démarrage ($< 5\text{mm}$)	Ux charges verticales de trafic ($< 8\text{mm}$)	Uz actions variables ($< 2\text{mm}$)
SC580-0 / SC581-0 / SC582-0	RAPL / WARREN / RAPL	Vidourle	SECOA	120MPa Dépassement *	-73MPa	1.8mm	6.0mm	1.9mm
SC495-0 / SC497-0	Bipoutre mixte / quadripoutre B.A.	Vistre	SECOA	99MPa Dépassement *	-107MPa Dépassement *	3.6mm	1.1mm	0.7mm
SC576-0	Quadripoutre B.A.	Vidourle	BYTP	71MPa	-61MPa	4.2mm	4.2mm	0.3mm
SC571-0	Quadripoutre B.A.	Vidourle	BYTP	65MPa	-52MPa	3.2mm	3.7mm	0.3mm
SC566-0	Quadripoutre B.A.	Vidourle	BYTP	62MPa	-52MPa	3.8mm	3.8mm	0.3mm
SC563-0	Quadripoutre B.A.	Vidourle	BYTP	62MPa	-57MPa	3.7mm	3.7mm	0.3mm
SC831-0	Bipoutre mixte / quadripoutre B.A. / bow-string	Lez / Lironde	ARTES / C2ODA	107MPa Dépassement *	-107MPa Dépassement *	5mm	1.5mm	1.1mm

*** Dépassements ayant conduit à
des études complémentaires
menées par IGEV**



Les calculs dynamiques

Critères à respecter sous passage des 10 convois HSLM jusqu'à $1.2 \times V_{\max}$ (voir NF EN 1990/A1, annexe A2) :

- L'accélération verticale du tablier est limitée à 3.5 m/s^2 pour une voie ballastée (§ A2.4.4.2.1)
- Le gauchissement du tablier est limité à (§ A2.4.4.2.2) :
 - 1.5 mm/3m pour une vitesse $> 200 \text{ km/h}$
 - 3 mm/3m pour $120 < \text{vitesse} \leq 200 \text{ km/h}$
- La flèche totale maximale du tablier sous trafic ferroviaire (EN 1990/A1 §A2.4.4.2.3), mesurée le long de chacune des voies, est limitée à $L/600$ dans le cas général, et à $L/800$ dans le cas d'un ouvrage à 2 voies lorsqu'une seule voie est chargée (EN 1990/A1/NA §A2.4.4.2.3). Cette étude est effectuée dans le cadre de l'étude statique du tablier sous convoi LM71.
- Sortie des rotations aux extrémités limitée à $2/h$ selon l'IN0032
- Pour chaque convoi étudié, le coefficient d'amplification dynamique est le rapport entre la flèche maximale dynamique (y_{dyn}) et la flèche maximale statique (y_{stat}).
La majoration dynamique vaut : $\phi'_{\text{dyn}} = \max | y_{\text{dyn}} / y_{\text{stat}} | - 1$
Conformément à l'annexe nationale EN1991-2 AN clause 6.4.6.4(5), la majoration dynamique due aux imperfections de voies est prise égale à 0.
Conformément à l'EN1991-2 §6.4.6.5 (3), on vérifie la nécessité de justifier la tenue structurelle des ouvrages avec un coefficient de majoration dynamique supérieur à celui retenu dans les études statiques pour les charges LM71 et SW/0. Cette vérification est réalisée en comparant les flèches maximales obtenues, à rigidité EI égale, avec le calcul statique pour les charges LM71 et SW/0 d'une part et avec le calcul dynamique d'autre part.

Les calculs dynamiques

Pour les Ouvrages d'Art Non Courants (13 viaducs et 3 sauts de mouton) : un calcul dynamique par ouvrage

Pour les Ouvrages d'Art Courants PRA multitravées :

- Tabliers à Poutrelles Enrobées (9 PRA) :

- 1 calcul par ouvrage car ouvrages sensibles / élancés et type de poutrelles différent entre les différents ouvrages donc difficile de raisonner par famille

- Pont dalle Béton Armé (27 PRA) :

- si un calcul par ouvrage : 27 calculs à 5000 € = 135 000 €

- raisonnement par familles d'ouvrages sur base de différents critères :

- nombre de travées (les 4/5/6/7 travées sont moins sensibles que les 3 travées)
 - longueur des travées
 - balancement des travées (rapport des travées les plus longues et les plus courtes)
 - élancement des travées (épaisseur du tablier/longueur de travée)
 - biais

- on aboutit à 9 calculs représentatifs

- 2 tabliers ont été bétonnés en C50/60 (au lieu de C35/45) afin d'augmenter leur raideur et respecter les critères dynamiques (sans modifier le dimensionnement de l'ouvrage)

De façon générale, il est très difficile /impossible de prévoir le résultat du calcul car phénomènes de résonnance

- le calcul sous masse mini ($G_{\min}$) n'est pas forcément plus défavorable que celui sous masse maxi ($G_{\max}$)
- pics d'accélération généralement obtenus pour des vitesses supérieures à 350 km/h
- 2 PRA TPE du projet ont la même géométrie mais un est circulé à 350 km/h et l'autre à 230 km/h :
 - le premier a un poids total de poutrelles 2x supérieur au deuxième !

Cas particulier : Etudes dynamiques du Warren du Vidourle

- Géométrie de l'ouvrage :
 - Portée : 90,00m
 - Entraxe des poutres treillis : 14,10m
 - Hauteur des poutres à la clé : 12,50m
 - Hauteur des longerons sous voies et pièces de pont : 1,20m
- Etudes dynamiques, menées par :
 - SECOA, BE en charge des études d'exécution,
 - SYSTRA, en charge du contrôle visa,
 - C2ODA, intervenu en tant qu'expert,aboutissent à des conclusions différentes (accélération, vitesse critique).
- Difficultés à converger
Plusieurs itérations nécessaires (voir tableau ci-après)
- Réponse dynamique de l'ouvrage très dépendante :
 - des principes de modélisation,
 - de la définition du poids,
 - de la répartition des charges permanentes,
 - de la définition des caractéristiques mécaniques du tablier.

Warren du Vidourle : synthèse des itérations

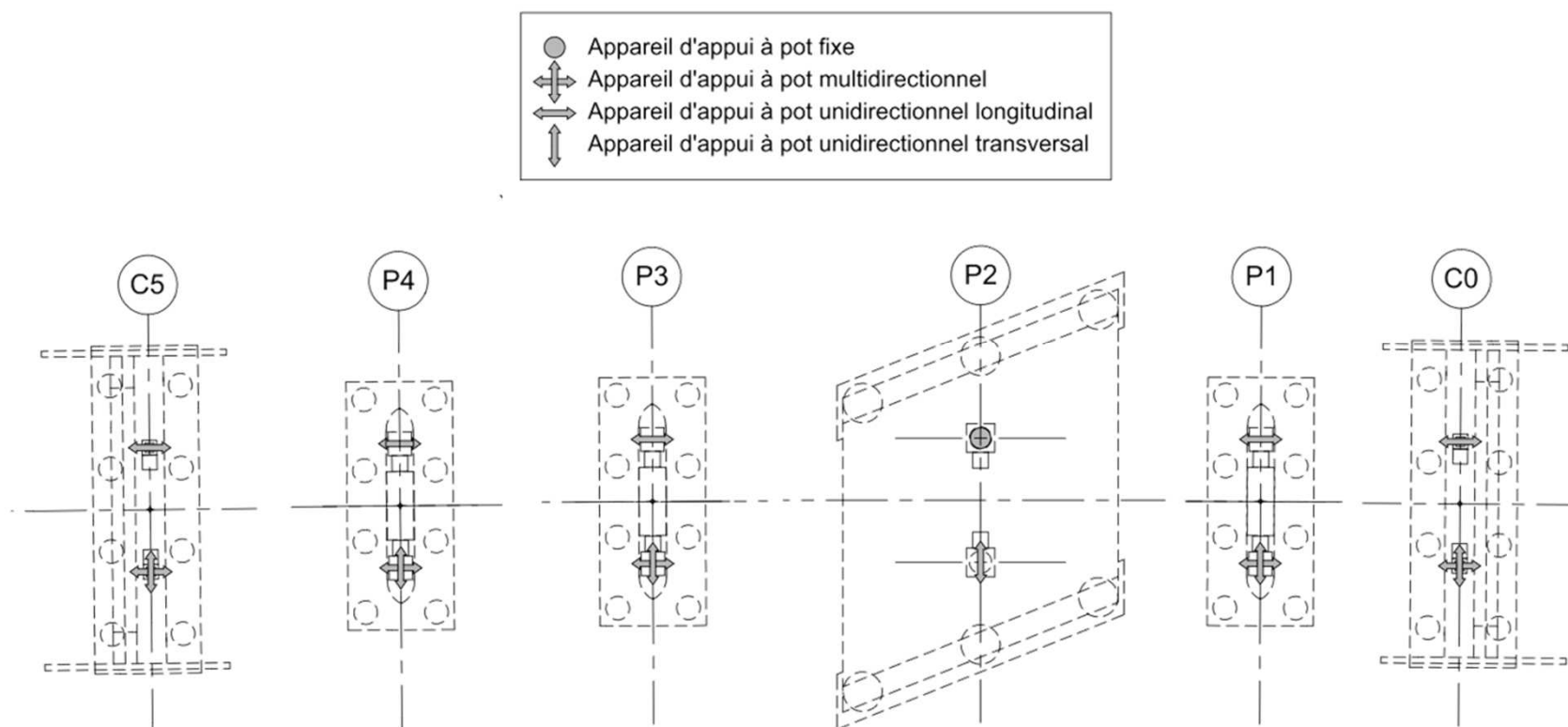
N° itération	H pièces de pont (m)	H longerons (m)	Ep. Ballast	Modèle	Charges permanentes	Surcharges ferroviaires	Amortisse- ment (%)	Accélération verticale (m/s²)	Convoi	Vitesse critique (km/h)
1	1	1	30cm et Gmin	4 longerons 2 éléments souples à l'axe des voies	sur pièces de pont uniquement	sur éléments souples à l'axe des voies	0,5	5,9	A4	357
2	1,5	1,5						3,2	A6	410
3	1	1						5,3	A5	360
4						4,8		A7	370	
5							4,1	A7	370	
6	1,2	1,2	35cm et Gmin	4 longerons seuls	sur pièces de pont et longerons	sur longerons sous les rails	0,5 pour poutres latérales et longerons 1,24 pour pièces de pont	3,2	A5	420

Les dispositions d'appui pour blocage sismique

Sur les viaducs : appuis à pot

- appuis bloqués dans 1 ou 2 directions en fonction du schéma statique de l'ouvrage :

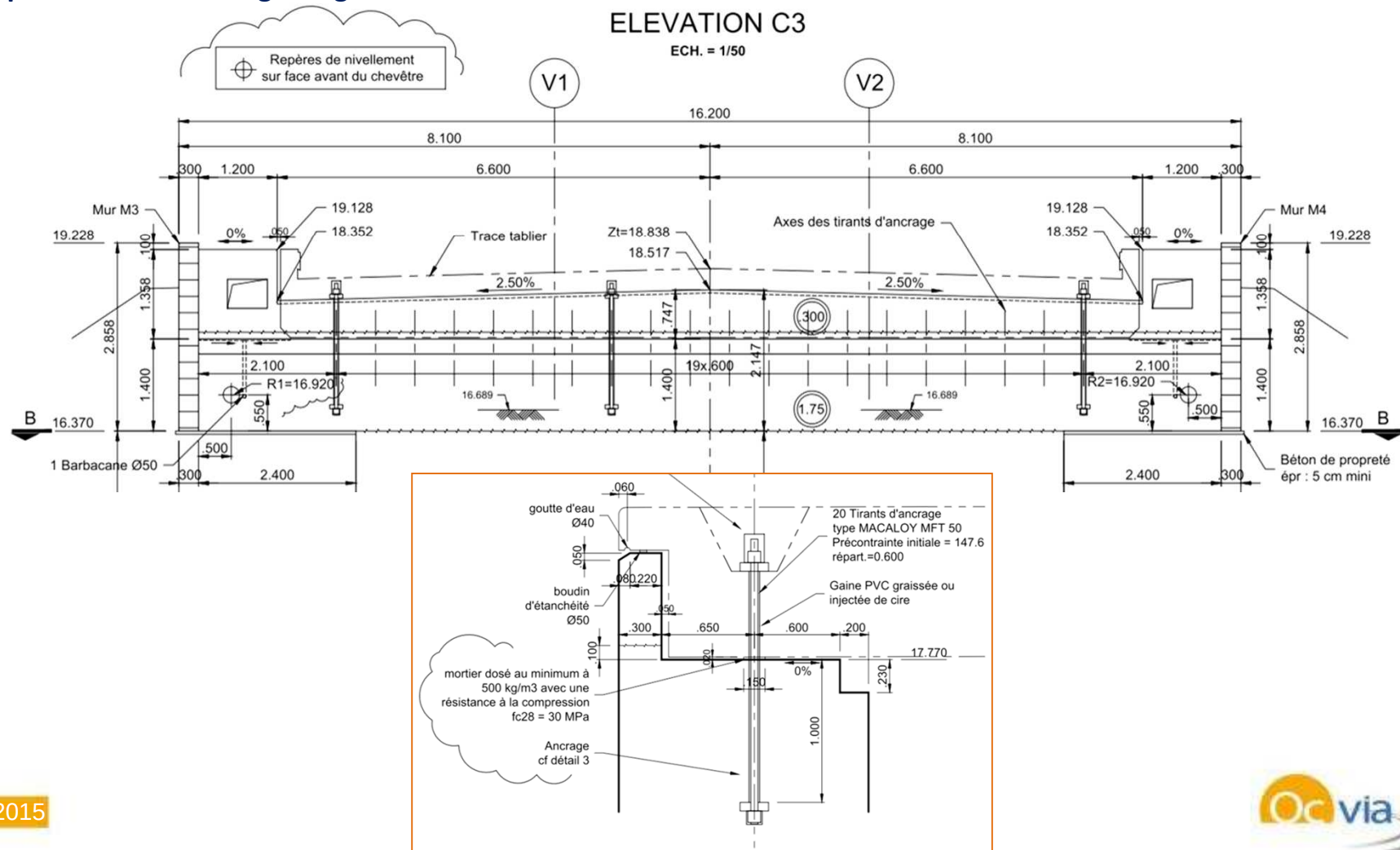
SCHEMA STATIQUE DE L'OUVRAGE



Les dispositions d'appui pour blocage sismique

Sur les Ponts-Rail Dalle Béton Armé (PSDA) :

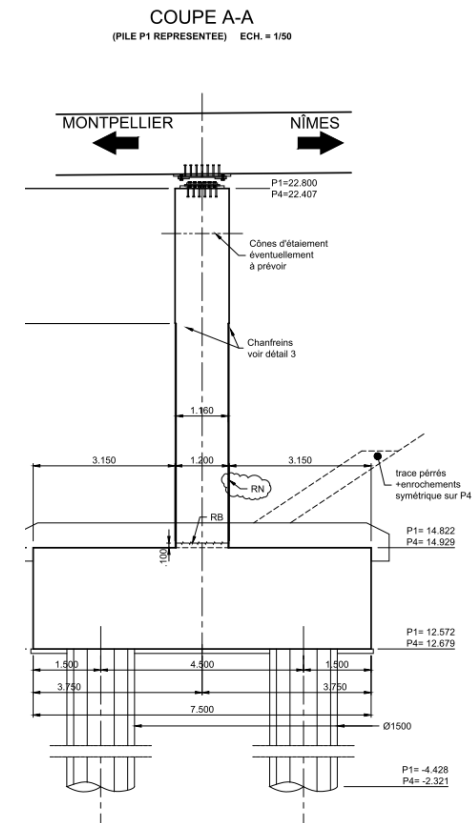
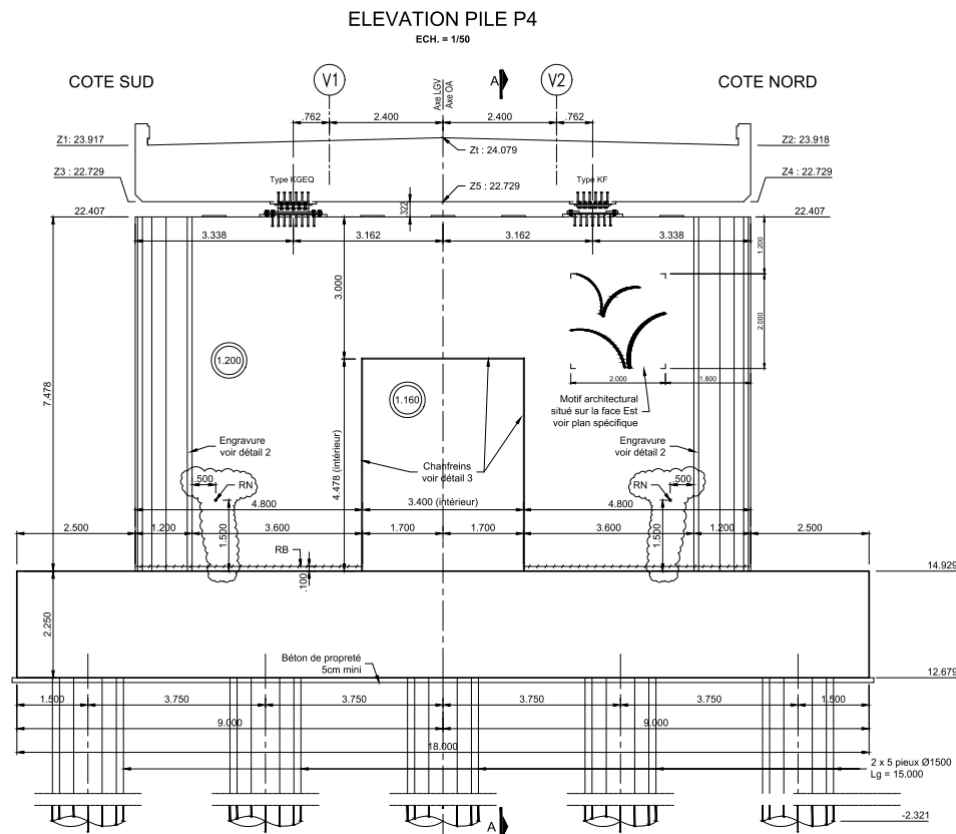
- sur culée fixe (blocage longitudinal), articulation béton avec tiges précontraintes MACCALOY 50mm ou 75mm qui assurent le blocage longitudinal et transversal :



Les dispositions d'appui pour blocage sismique

Sur les Ponts-Rail Dalle Béton Armé (PSDA) :

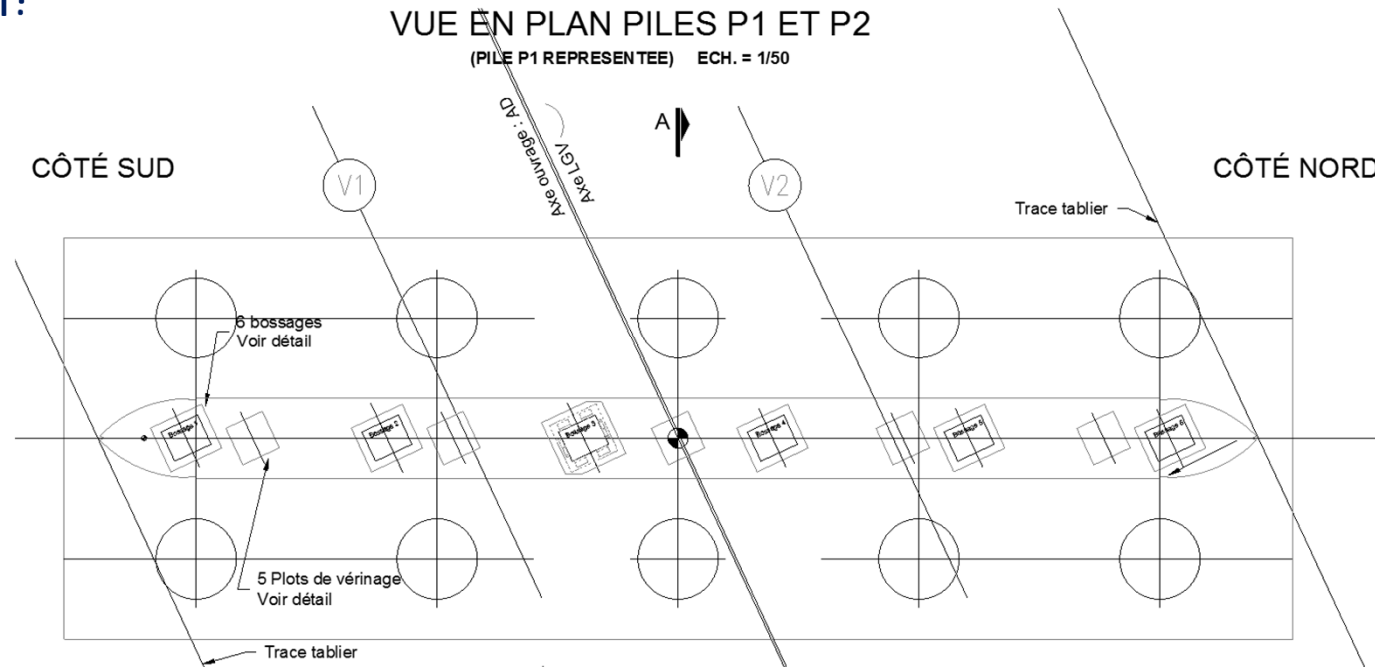
- si longueur d'ouvrage > 90m, point fixe situé sur pile pour limiter la longueur dilatable d'ouvrage à 90m
 - solution par tiges précontraintes pas possible car la gorge pour loger les ancrages des tiges précontraintes engendre une réduction de section de tablier trop importante au vu des moments négatifs
 - solution par appuis à pot retenue : 1 bloqué dans les deux directions et 1 bloqué dans une seule direction



Les dispositions d'appui pour blocage sismique

Sur les Ponts-Rail Dalle Béton Armé (PSDA) :

- sur pile et culée mobile (sans blocage longitudinal), appuis néoprènes + platine métallique de blocage sismique transversal :



Les efforts sismiques transversaux sur une pile peuvent être très importants (600 t environ) donc pour pouvoir justifier la platine et le bossage (ferrailage, encombrement en tête de pile si ouvrage biais...), on est parfois amené à mettre 2 platines par pile (300 t par platine)

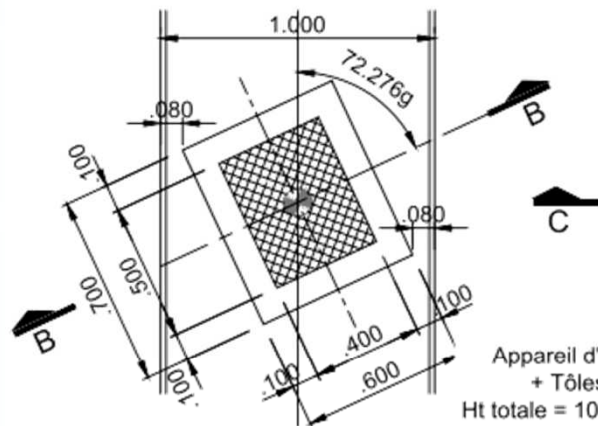
Platine connectée au béton par des goujons type Nelson et un goujon reprend 11 t en cisaillement

→ nombre important de goujons par platine (jusqu'à 48) et forte interface avec bossage fortement ferrillé

Les dispositions d'appui pour blocage sismique

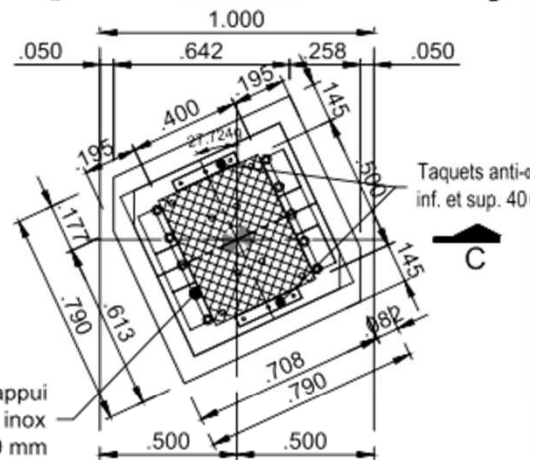
VUE EN PLAN - BOSSAGES 1,2, et 4,5 et 6

ECH. = 1/20



VUE EN PLAN - BOSSAGE 3

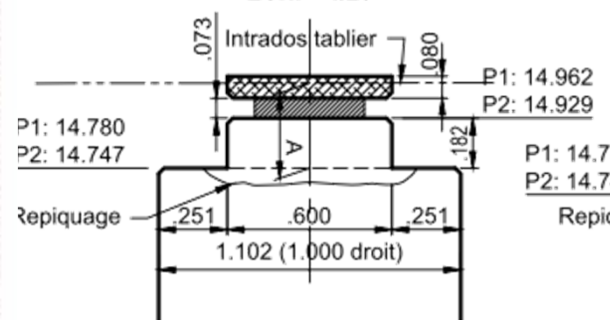
ECH. = 1/20



Appareil d'appui
+ Tôles inox
Ht totale = 109 mm

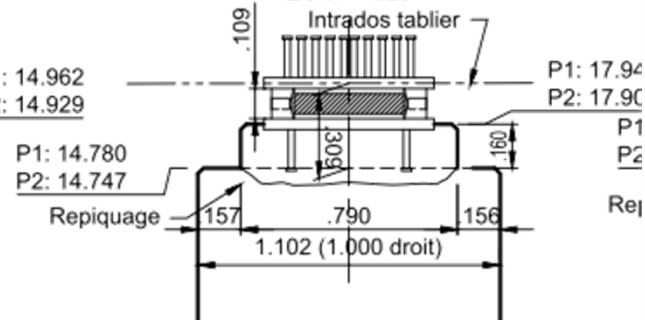
COUPE B-B

ECH. = 1/20



COUPE C-C

ECH. = 1/20



Les dispositions d'appui pour blocage sismique

Sur les Ponts-Rail à Tablier Poutrelles Enrobées (TPE) :

- sur culée ou pile point fixe (avec blocage longitudinal), il n'est pas possible de mettre en place des tiges précontraintes car espace entre poutrelles (150mm) insuffisant pour loger les ancrages des tiges

→ 3 appuis à pot systématiques :

1 appui central bloqué dans les 2 directions

2 appuis latéraux bloqués longitudinalement uniquement

goujons de l'appui à pot
ancrage contre décollement

chevêtre de culée fortement ferrillé



Sous séisme, ces appuis à pot sont soumis à un effort vertical environ 10x moindre que l'effort horizontal
→ appuis de taille importante et nécessité parfois de mettre en place des ancrages complémentaires pour éviter le décollement de l'appui.

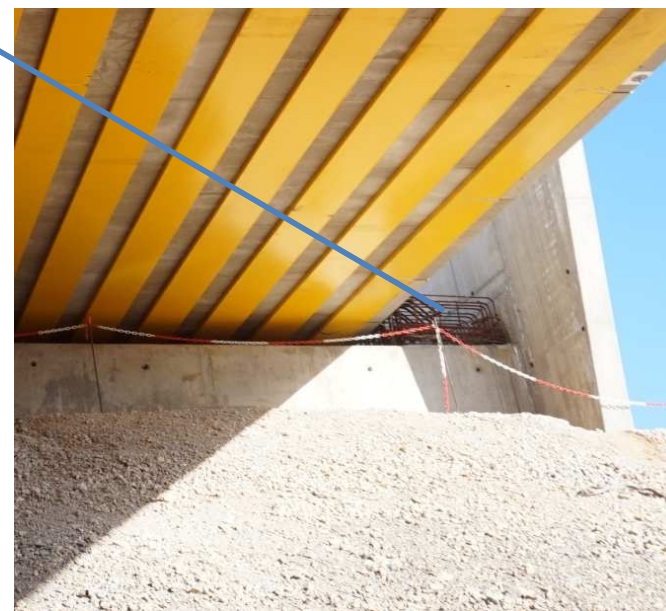
Interface très forte entre goujons et ancrages des appuis, les poutrelles, le ferrailage calepiné en fonction des poutrelles, le biais de l'ouvrage...

Les dispositions d'appui pour blocage sismique

Sur les Ponts-Rail à Tablier Poutrelles Enrobées (TPE) :

- sur pile, impossibilité de mettre en place des platines métalliques de butée sismique soudées sous poutrelles car jeu dans le système de butée (2x2.5mm) incompatible avec les tolérances de fabrication et de pose des poutrelles
- pas de blocage transversal sur pile, blocage transversal concentré sur culée fixe et culée mobile
- sur culée mobile, blocage transversal réalisé par des butées béton de part et d'autre du tablier :

2 exemples de butée sismique béton sur culée mobile pas encore bétonnée

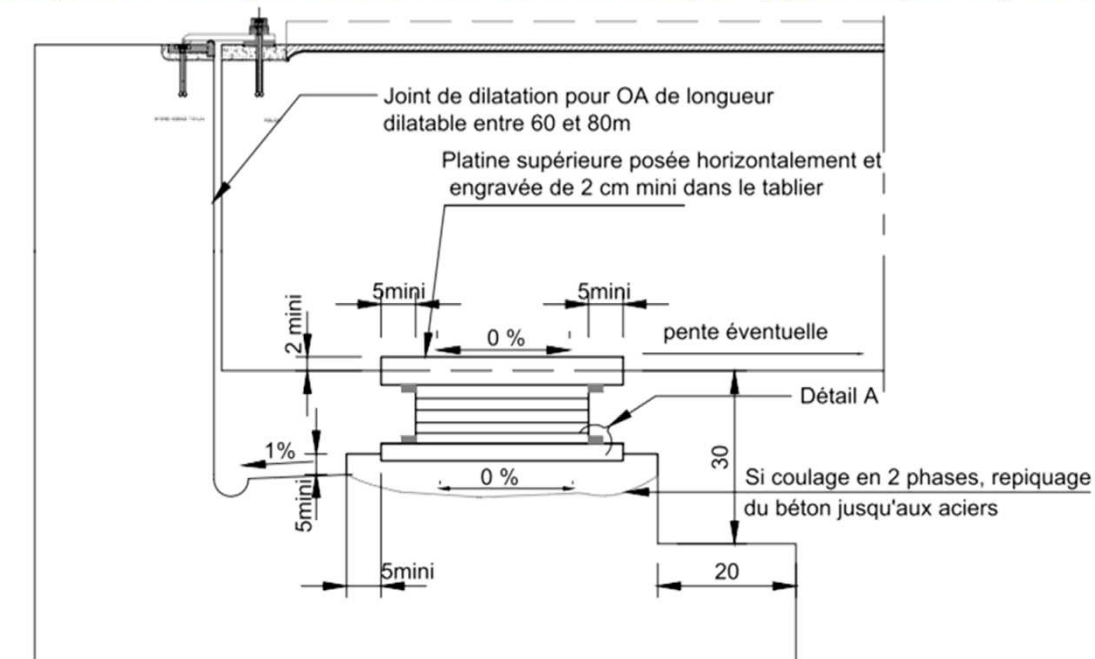


Sur piles et culée mobile, chaque poutrelle est posée sur un appui néoprène.

Les appuis néoprène et les dispositifs anti-cheminement

Calcul des taquets anti-cheminements :

- Par application de l'article 5.3.3.6 de la norme NF EN 1337-3, le taquet anti-cheminement doit être dimensionné pour reprendre l'effort de glissement résiduel non repris par le frottement à l'interface frette inox / bossage : $F_{xy} - \mu_e \cdot F_z$
- Les dispositions qui en découlent sont assez lourdes (et inhabituelles) :
 - platines métalliques avec taquets soudés au droit de chaque appui néoprène (solution APD)



→ coût de fourniture d'environ 400 000 € pour les 47 ouvrages multitravées du projet...

0 taquets métalliques fixés par des douilles scellées dans les bossages (solution EXE)

→ nécessité de mettre des taquets en forme de cadre sur les appuis les plus sollicités (les plus éloignés du point fixe)



LES INTERFACES entre OUVRAGES LINEAIRES et OUVRAGES D'ART

Interfaces OA / OL

Objectif

Lever en amont des travaux les différentes incohérences entre documents EXE ouvrages d'art (PRO, PRA, VIA, SDM) et documents EXE ouvrages linéaires (ouvrages de terrassement).

Sujets récurrents observés :

- Continuité hydraulique
- Continuité de définition de plateforme (dévers, largeur, définition d'axe en long ou en plan)
- Continuité écran acoustique
- Evolution / Adaptation post APD
- Design des perrés
- Etc.

Suivant le type d'ouvrage, plusieurs modèles de fiches d'interfaces :

- Fiche pour PRA cadre/portique pour passage hydraulique
- Fiche pour PRA cadre/portique pour passage routier
- Fiche pour PRA à travées
- Fiche pour PRO à travées
- Fiche pour PRO cadre/portique
- Fiche pour Saut De Mouton

10/04/2015  64

Interfaces OA / OL

Exemple de fiche d'interfaces – Ouvrage PRA travées 2/2

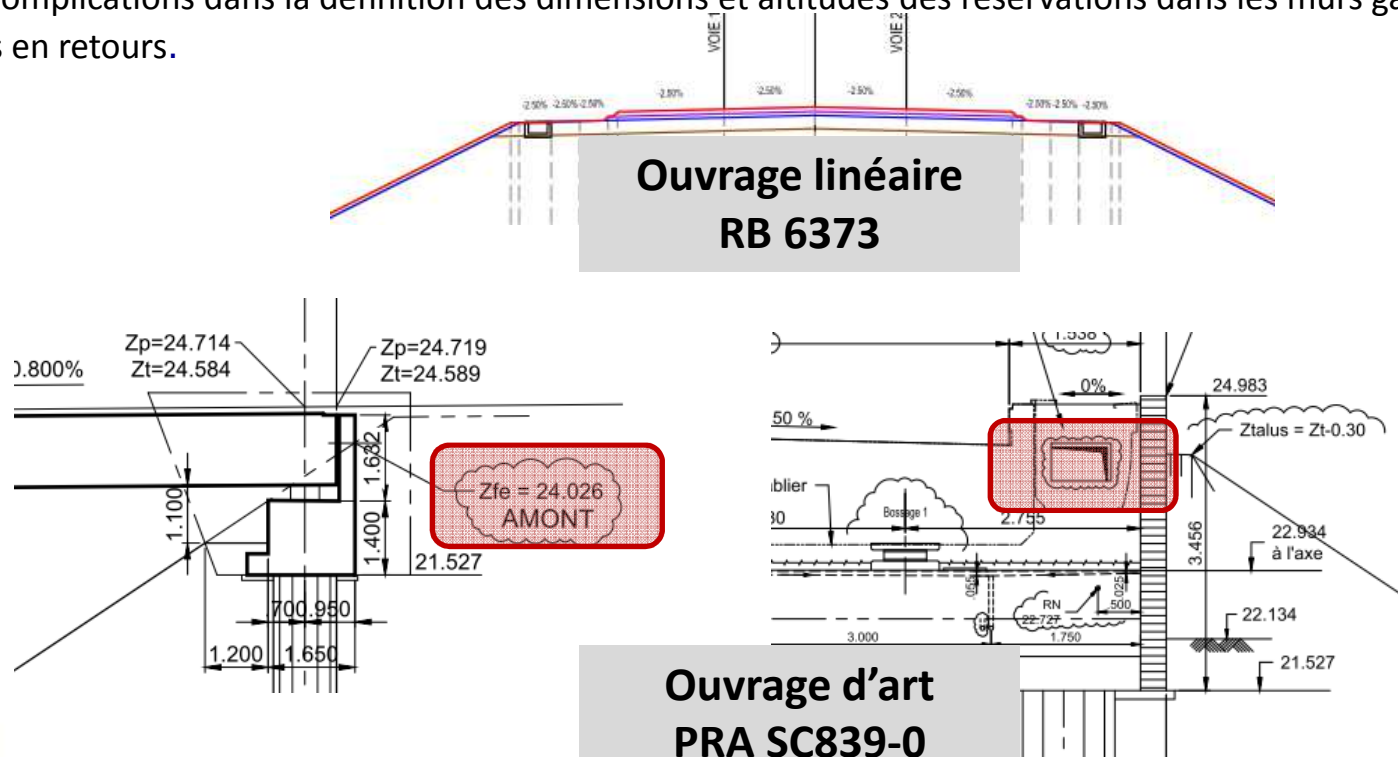
Données EXE ouvrage d'art X axe culée : 788 257.157 Y axe culée : 6 288 949.903 Biais : 100.00 Grades Tracé en plan : R=7143 Profil en long : -0.80%			
Données géotechnique Densité : 20 kN/m³ Coef de cohésion C' : 35° Angle de frottement : 35° Zch rétab : 16.198		Entre axe : 4.80 m Dévers plateforme : -2.50% Pente des talus : 3/2	
Caractéristiques sous OA Définition gabarit : Gabarit vertical rétab : 6.85 m Définition cours d'eau : Fe à l'axe de l'ouvrage : Sans objet Divers : Fonctionnalité spécifique : Gardes ballast		ASSAINISSEMENT LGV Type : Fe dans mur garde grève Pente : -0.80% Ecran acoustique : Non	
Dispo const. Retenue BT NE : pas de SF, purge totale de Fz (~2m reconnu) et de Fz (2m reconnu), sans remblai de pré-chargement.		Réseaux : Fibre sous RDT	
CONCLUSIONS Interface mur/ter vérifié : Oui Continuité hydro vérifiée : Non		Pas de plan de perré, Pas de plan enrochement Sur plan OA, préciser le type de caniveau utilisé Ecart de pente de talus : Sans incidence => A corriger au TQC OA Ecart de Fe, plan OA non conforme au document 550268	
VISA CET OA NOM : DATE : Observations : SIGNATURE :		VISA CET TER NOM : DATE : Observations : SIGNATURE :	

Interfaces OA / OL

Continuité hydraulique

- Ligne Mixte => Assainissement en crête de remblai
- Continuité hydraulique OA/OL à assurer
- Choix tardif du type de couverture des caniveaux extrudés => Difficulté de définition des Fe en interface

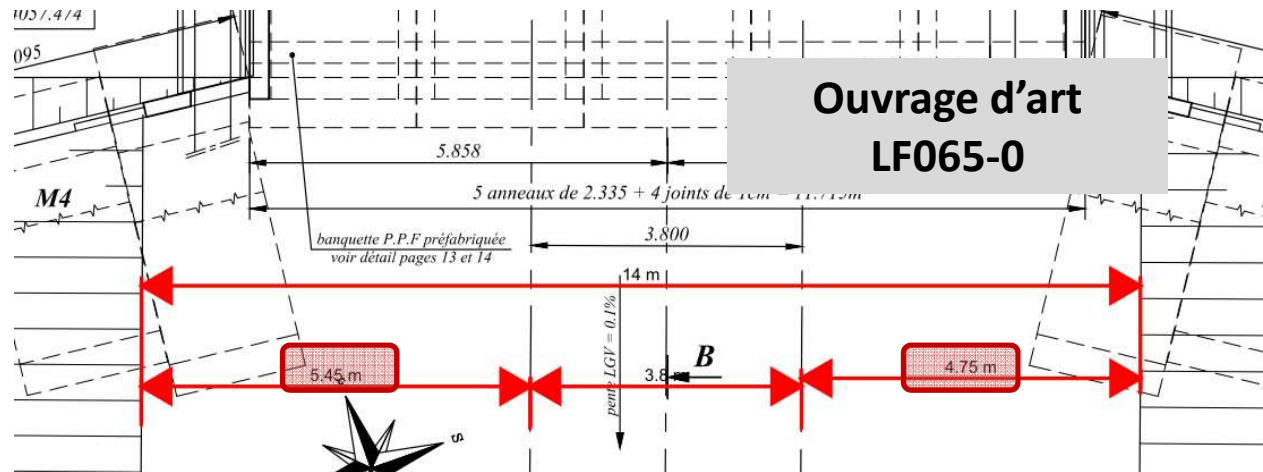
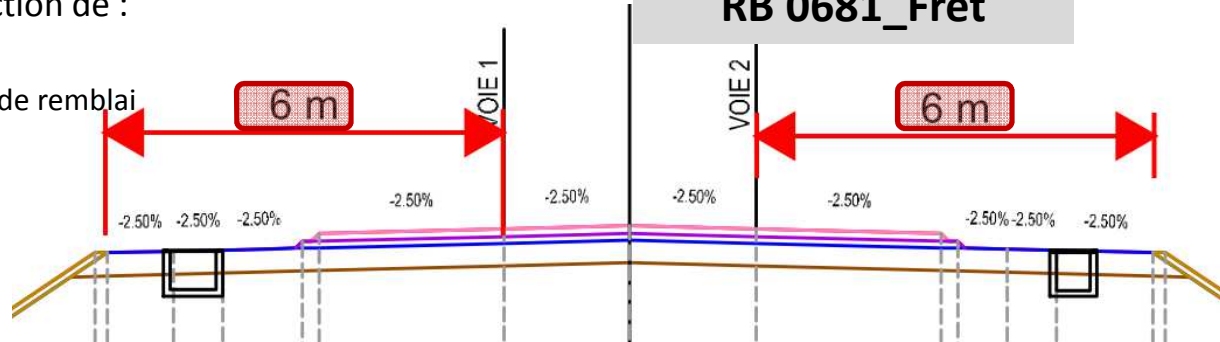
=> Complications dans la définition des dimensions et altitudes des réservations dans les murs garde-grève ou murs en retours.



Interfaces OA / OL

Continuité de définition de plateforme : Ouvrages PRA

- Largeur de plateforme fonction de :
 - Écran acoustique
 - Assainissement de crête de remblai
- Dévers de plateforme
- Définition d'axe en plan
- Définition de profil en long

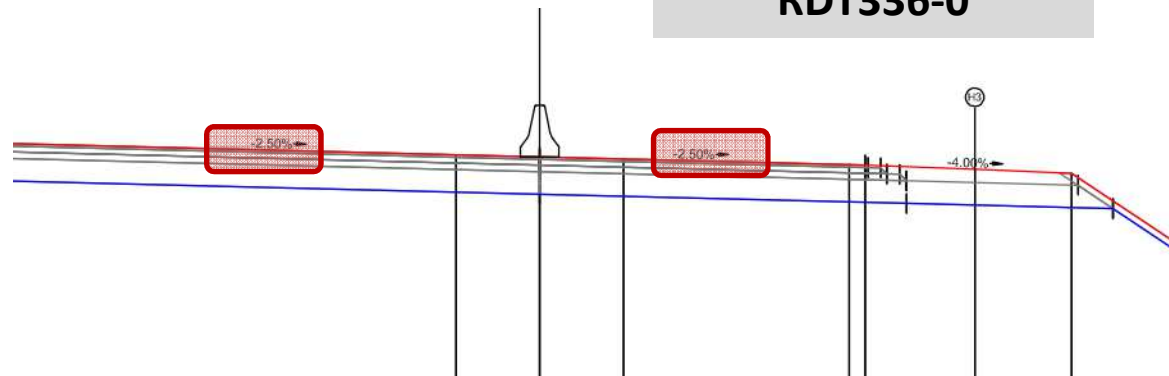


Interfaces OA / OL : Continuité de définition de plateforme

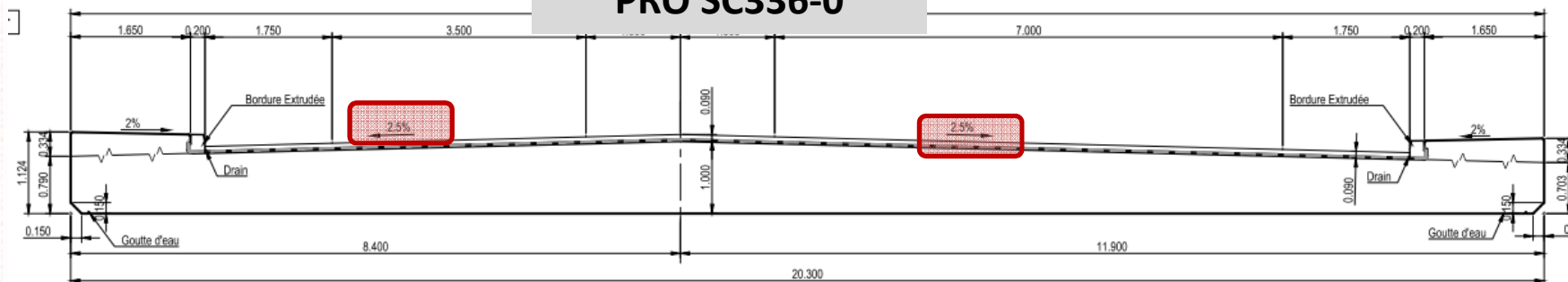
Continuité de définition de plateforme : Ouvrages PRO

- Largeur de chaussée
- Dévers de chaussée
- Définition d'axe en plan
- Définition de profil en long

Ouvrage linéaire RDT336-0



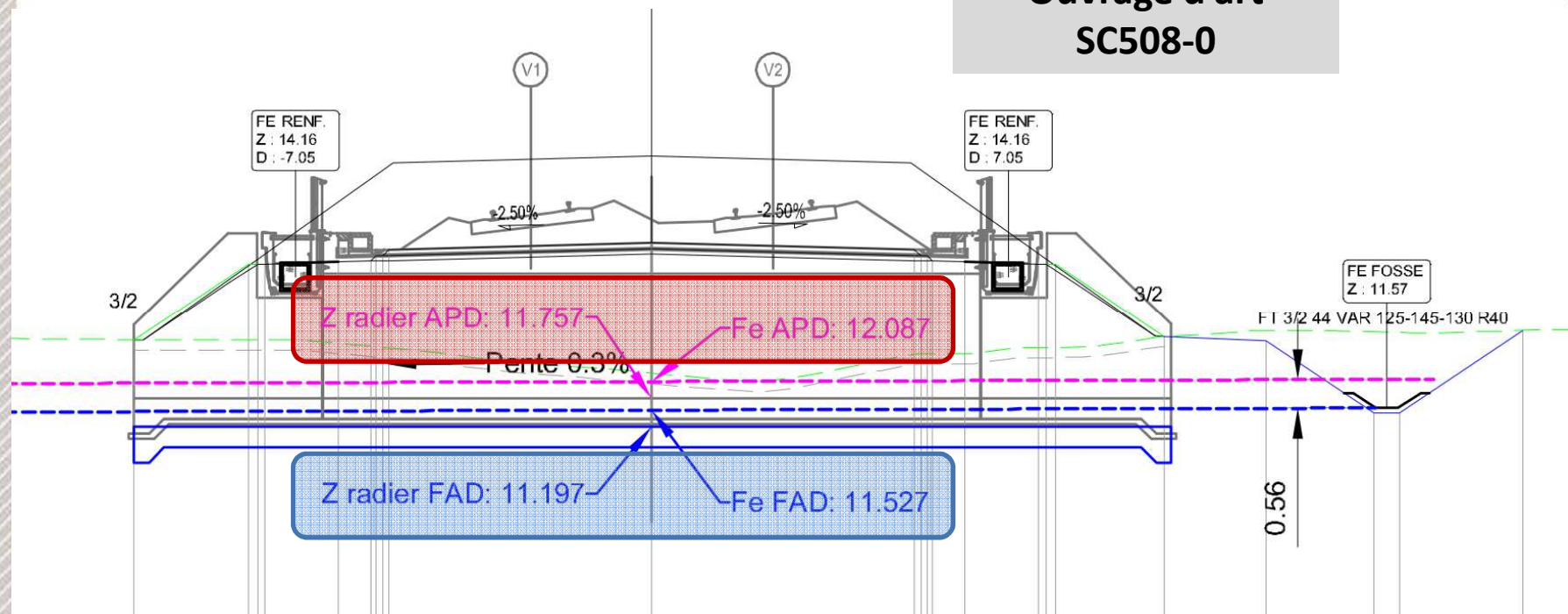
Ouvrage d'art PRO SC336-0



Interfaces OA / OL

Evolution/Adaptation post APD

Ouvrage d'art SC508-0



Ici, obligation de modifier le design de l'ouvrage (modification du Z radier) pour s'adapter au contraintes de site

LES INTERFACES entre INFRASTRUCTURES (GC) et SUPERSTRUCTURES (EF)

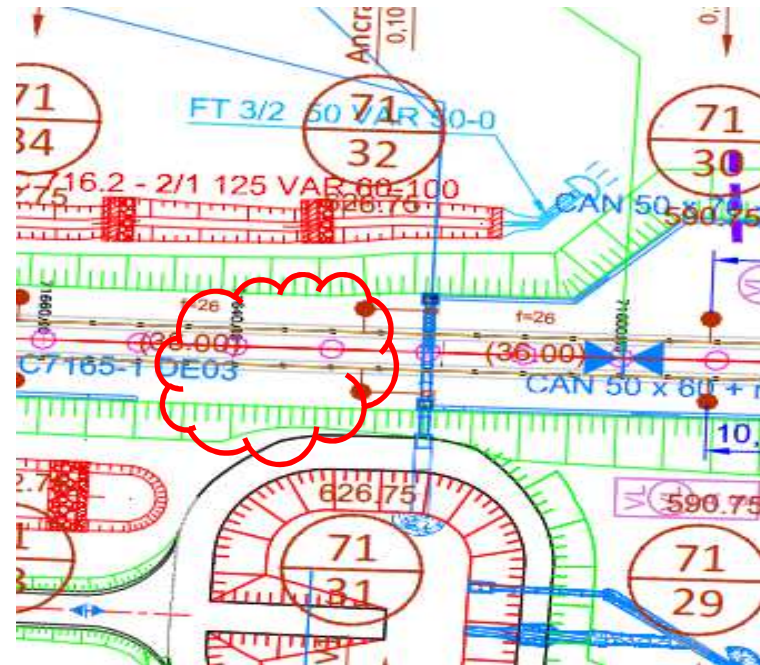
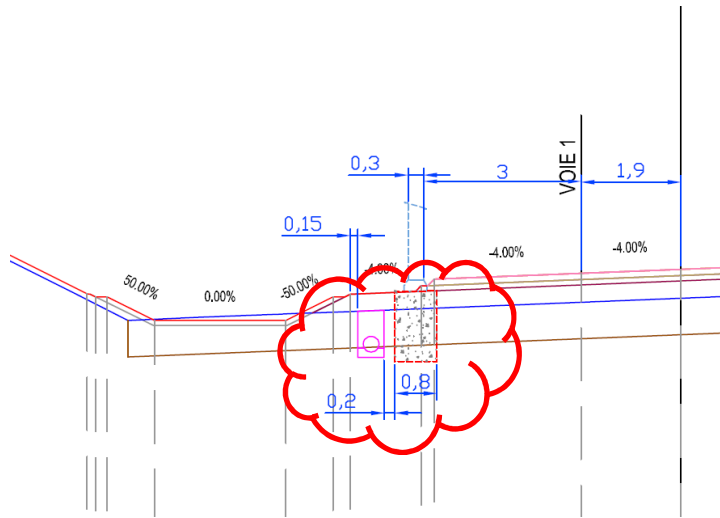
72

Interfaces EF / GC

Problématiques

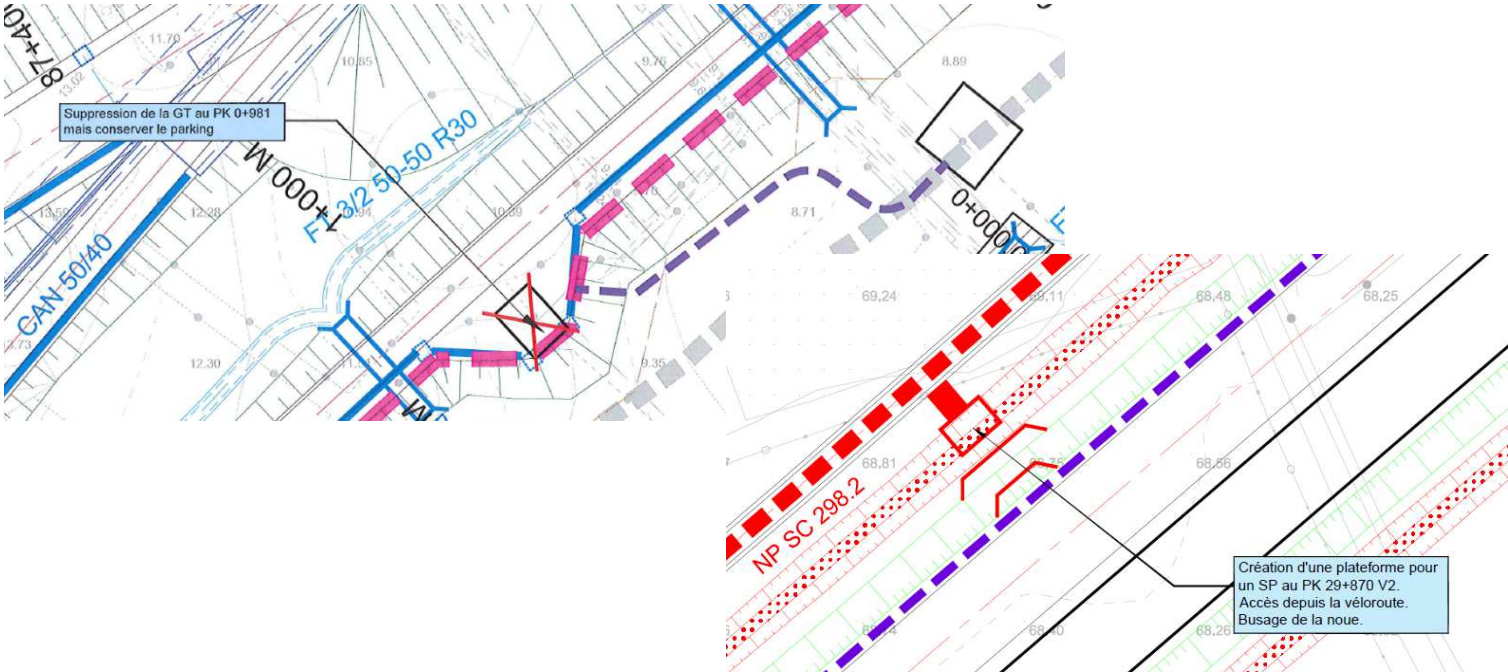
Clash principe d'exécution EF / principe d'exécution GC

*Exemples – proximité du drain (20cm) par rapport au massif caténaire
– massif d'ancrage caténaire sur OHT*



Problématiques

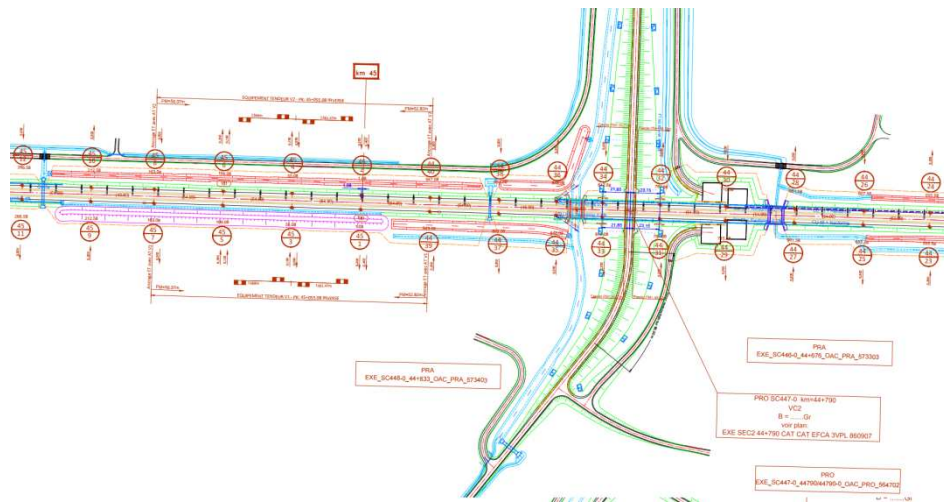
- Modification / Déplacement / Suppression de PF EF
- Plus de 100 PF d'équipements ferroviaires modifié entre APD et EXE



Interfaces EF / GC

Solutions

Création de plans d'assemblages (ex – utilisation des plans d'assemblages EXE pour le piquetage caténaire)



Mise en place d'une cellule de synthèse

Balayage commun des plans

Merci de votre attention