

La Nouvelle Route du Littoral

VIADUC DE LA GRANDE CHALOUPE

2014
-
2017



Présentation 23/11/2017

AFGC
Association Française de Génie Civil
Délégation Sud-Ouest



RAZEL-BEC
PROJET



saipem sa



Programme

8h30 – 9h00 **Présentation générale du projet**

9h00 – 9h30 **Conception**

Etudes & Méthodes

9h30 – 10h15 Bétons & Appuis

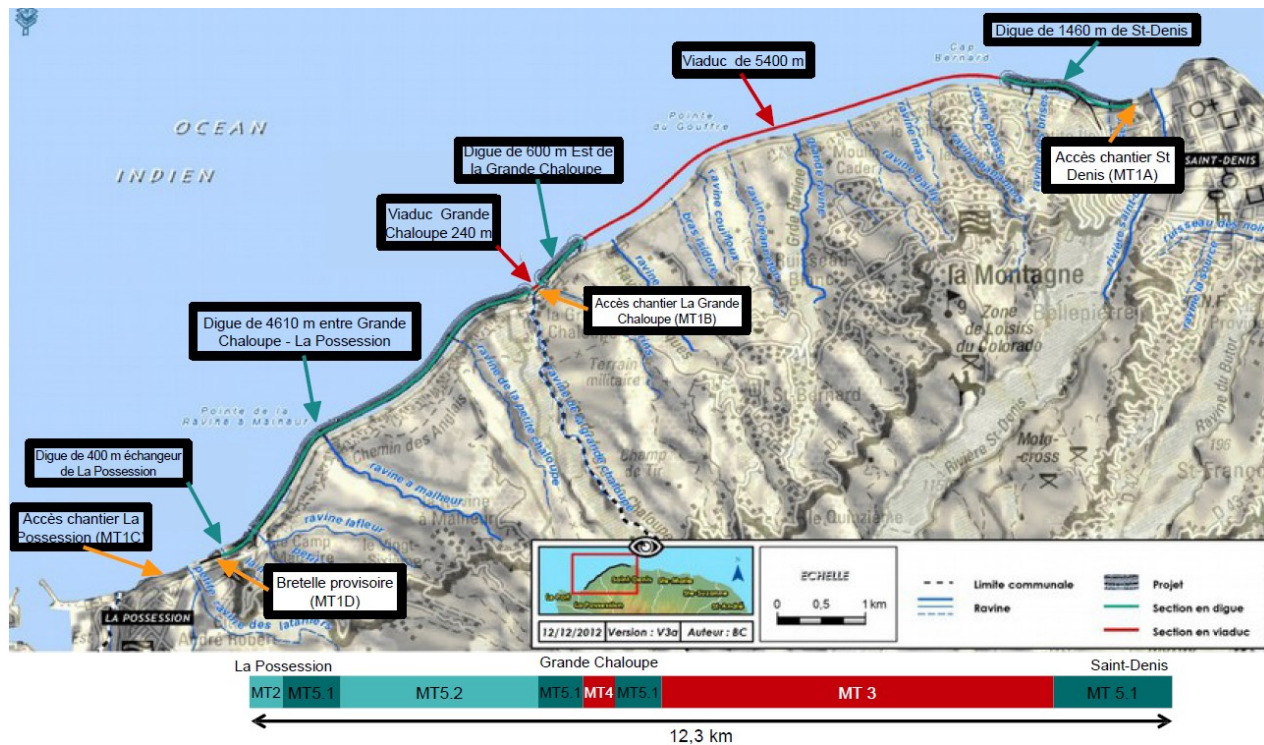
10h30 – 11h15 Tablier

Présentation Générale

Didier KOENIG



La Nouvelle Route du Littoral



MT4 : Viaduc de la Grande Chaloupe



MT4 : Viaduc de la Grande Chaloupe



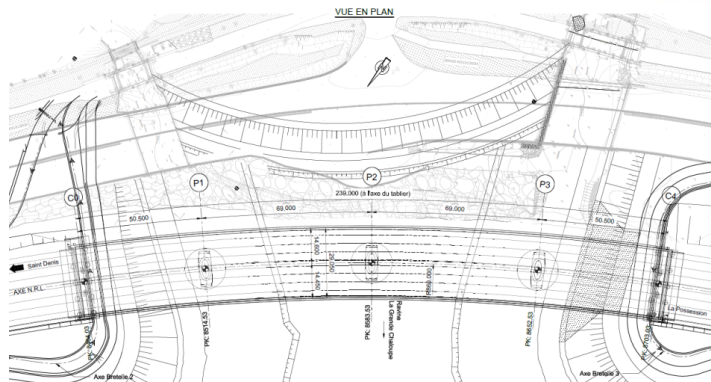
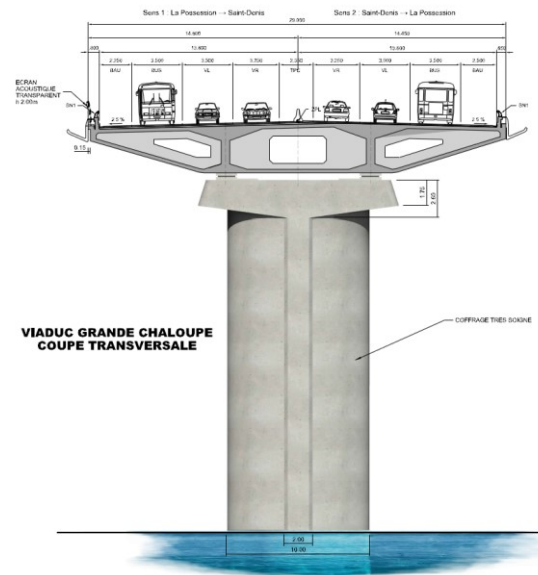
MT4 : Viaduc de la Grande Chaloupe

Franchissement de la ravine de la Grande Chaloupe

Viaduc routier courbe 4 travées continues

Longueur 239 mètres

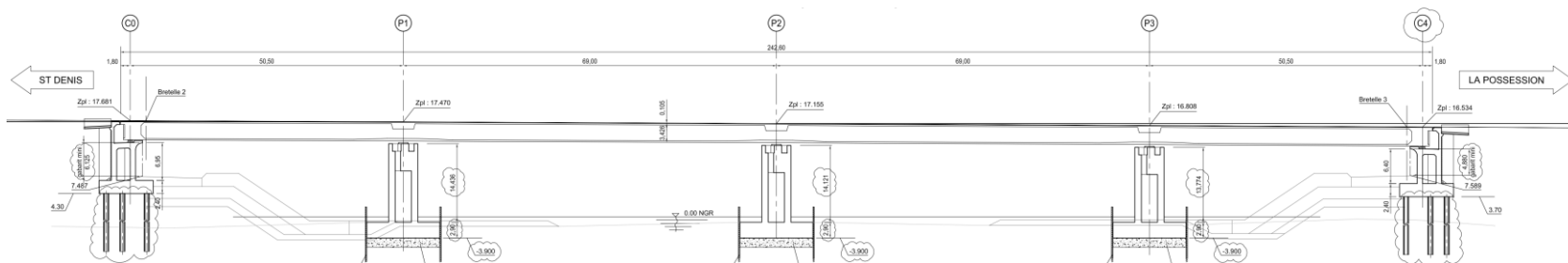
Largeur 29,05 mètres (2x3 voies + BAU)



MT4 : Viaduc de la Grande Chaloupe

2 culées fondées sur pieux sur remblai

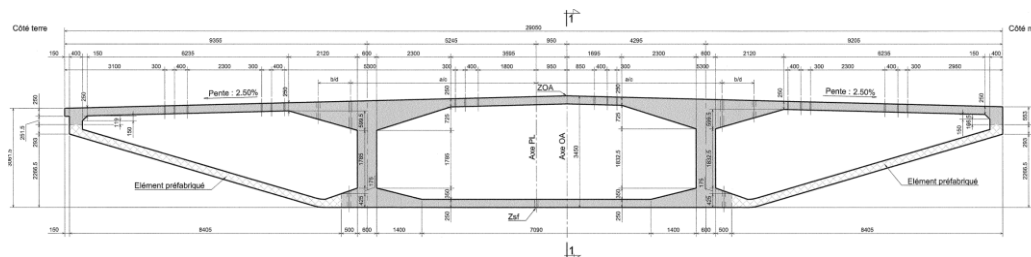
3 piles sur fondations superficielles en mer - hauteur 16,20 m à 17,08 m



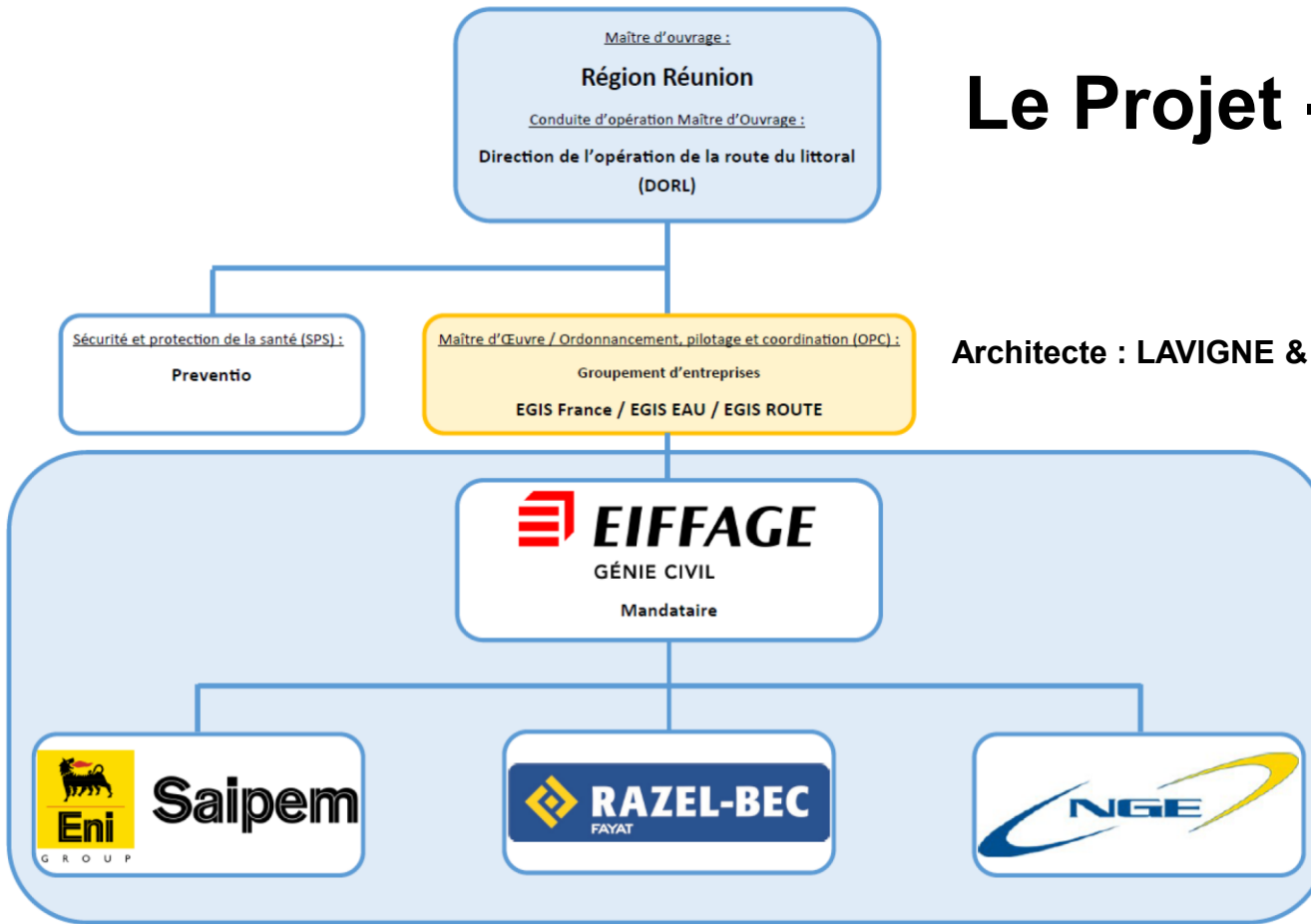
Tablier mono-caisson en béton précontraint construit par encorbellements successifs

4 âmes

hauteur constante 3,45m



Le Projet - Intervenants



Architecte : LAVIGNE & CHERON

Bureaux d'études exécution et Méthodes – internes au groupement :

BIEP (EIFFAGE) + D2I (RAZEL BEC)

Le Projet - Chiffres

Principales Quantités	
Fouilles en mer	6 000 m ³
Pieux	57 Ø 1000
Béton	14 700 m ³
Armatures	2 500 t
Précontrainte	360 t
Etanchéité	7 100 m ²

Montant : 37 500 k€

OS marché MT4 : 20/01/2014

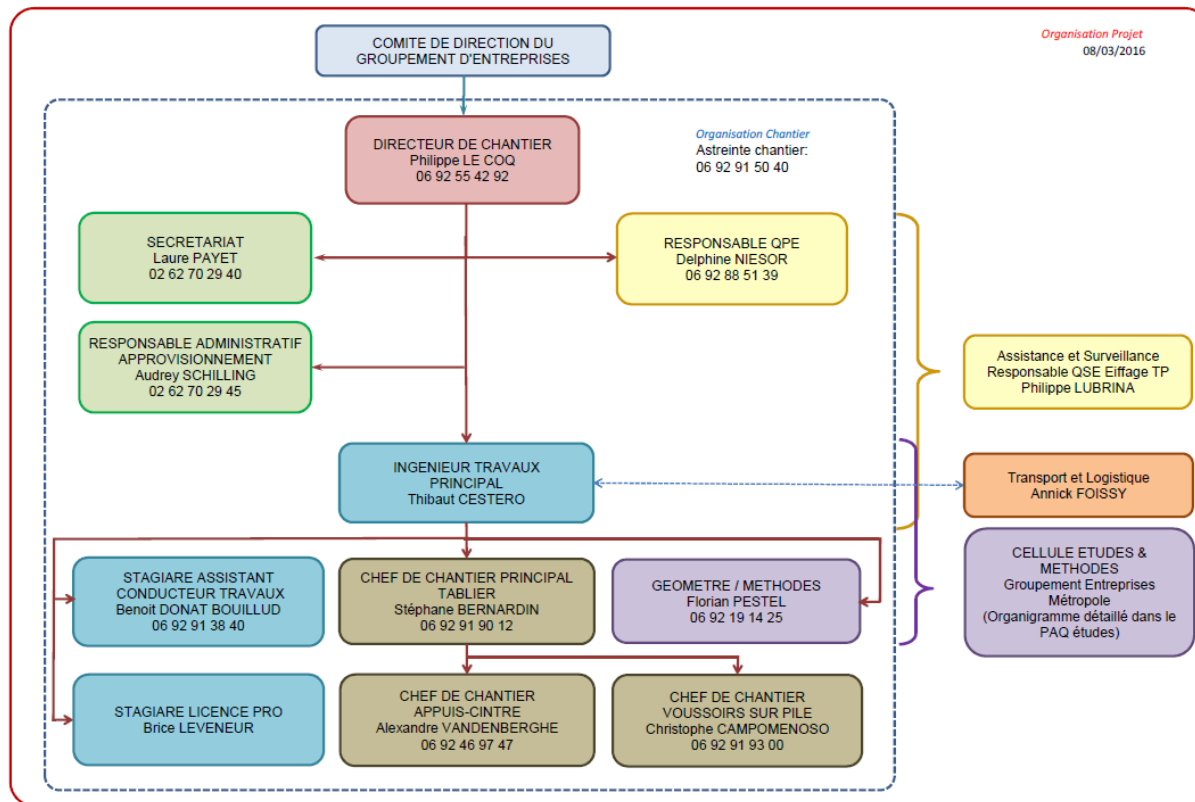
Préparation (120 jours) : du 20/01/2014 au 17/07/2014

OS travaux MT4 : 06/08/2014

Livraison : Mai 2017

Effectif en pointe : 80 personnes

Organisation du chantier



Principaux Sous-traitants

- Terrassement des souilles et travaux maritimes



- Sondage géotechnique



- Micropieux et tirants d'ancrages



- Pieux des culées



- Fourniture et pose d'armatures



- Précontrainte



- Protection cathodique



- Assistance environnementale



Conception

Guillaume DANAN (EGIS JMI)



La conception

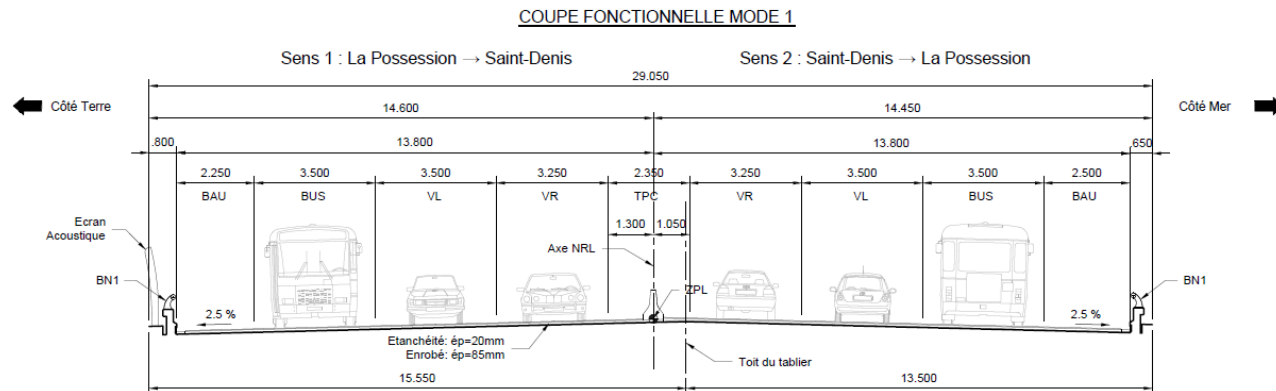
A. Contraintes du site : Programme du MOA
 Contraintes du site

B. Evolutions de la solution : APS
 AVP
 PRO

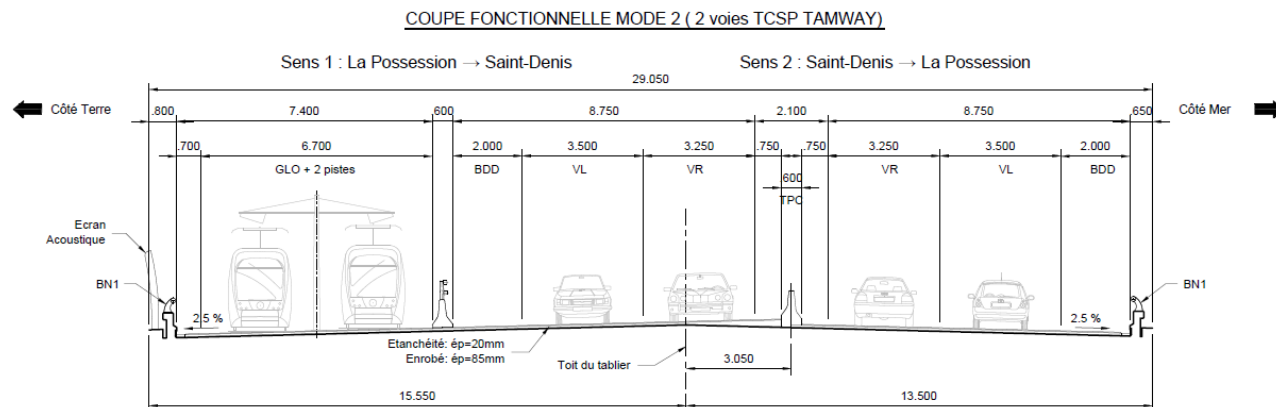
Programme du MOA :

- Profil en travers
« évolutif »

Mode 1 : Mise en service



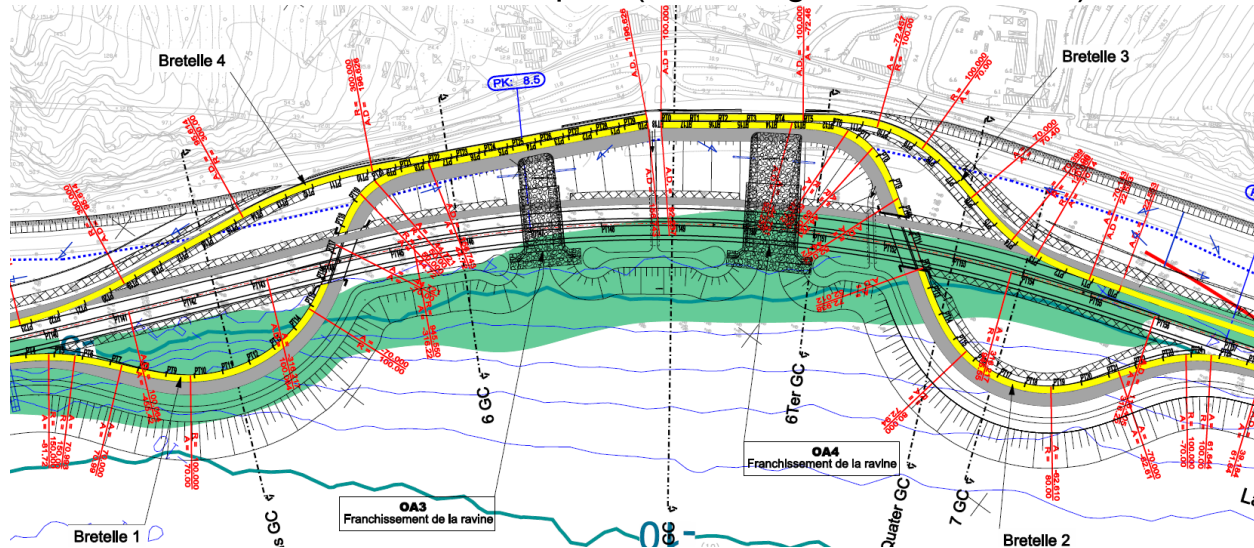
Mode 2 : Présence
TCSP guidé rail



1/100

Contraintes du site :

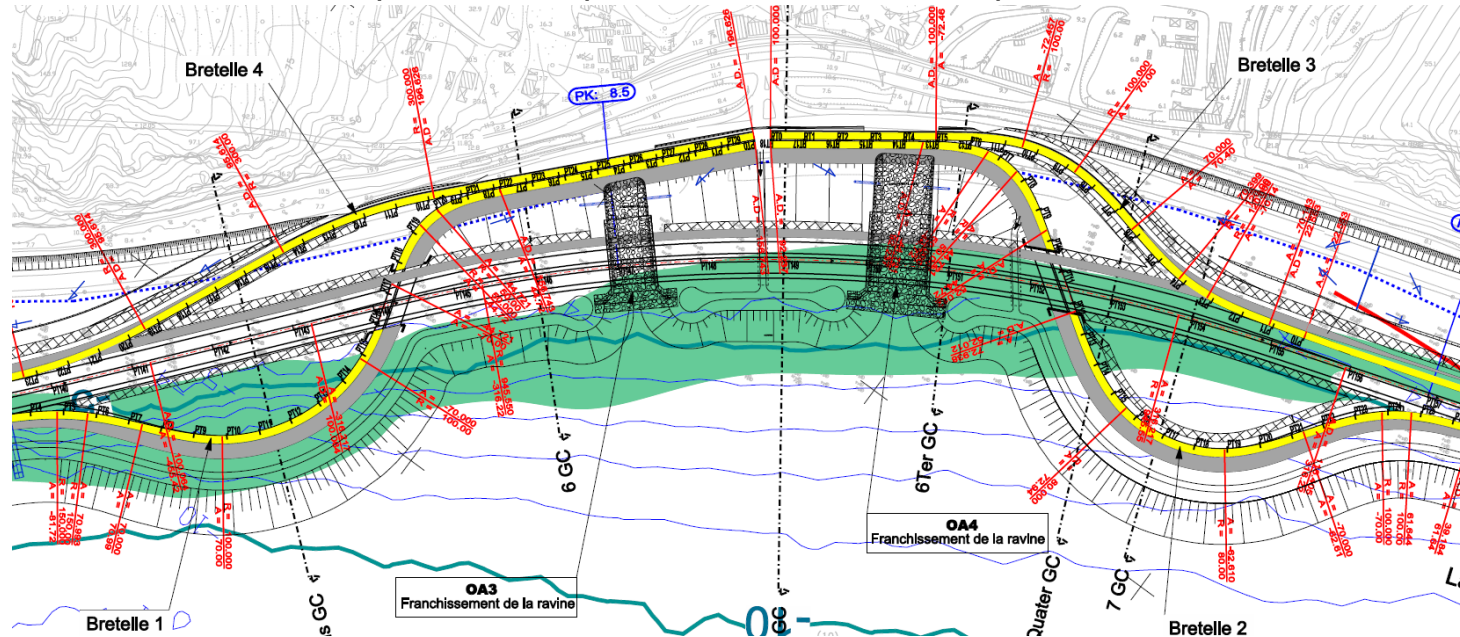
- Echangeur complet entre la NRL et le hameau de Grande Chaloupe
- Franchissement de 2 ravines (Grande Chaloupe et Tamarin)
- Présence de 2 monuments historiques (la « tit » gare et le Lazaret)



Etudes APS :

Bretelles : 2 PIPO de 36 m de longueur biaise. Ouverture droite est de 15,20 m

NRL : 1 PRAD de 17 m de portée + 1 bipoutre mixte de 30 m de portée



AVP

Délai AVP = 2,5 mois

Propositions du livre blanc :

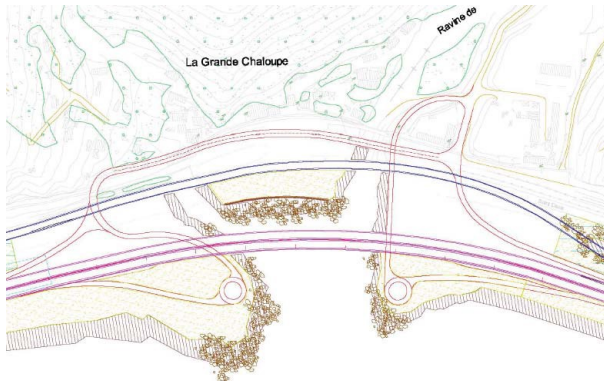
« La Ravine de la Grande Chaloupe est la première dépression qui met en relation l'image authentique des hauts avec l'océan. Evasée sur le littoral, ses flancs se transforment en remparts vers l'amont, invitant le regard vers les sommets. C'est la raison pour laquelle, ce site a été englobé dans le territoire du Parc Naturel des Hauts en cours de classement au patrimoine de l'UNESCO. Elle abrite sur le littoral l'ancienne gare du chemin de fer dont elle conserve quelques vestiges à caractère patrimonial.

Elle également occupée par un petit hameau qui s'est surtout développé sur le tracé de l'ancien Chemin des Anglais qui a été construit pour franchir le massif et permettre la communication entre l'ouest et le Nord. Ce chemin est très emprunté par les randonneurs.

Le site a donc une vocation touristique importante et le projet de la Nouvelle Route du Littoral est l'occasion de la réhabiliter et de lui donner sa pleine vocation.

Néanmoins l'aménagement de ce site est délicat et demande que l'on ne se trompe pas d'échelle.

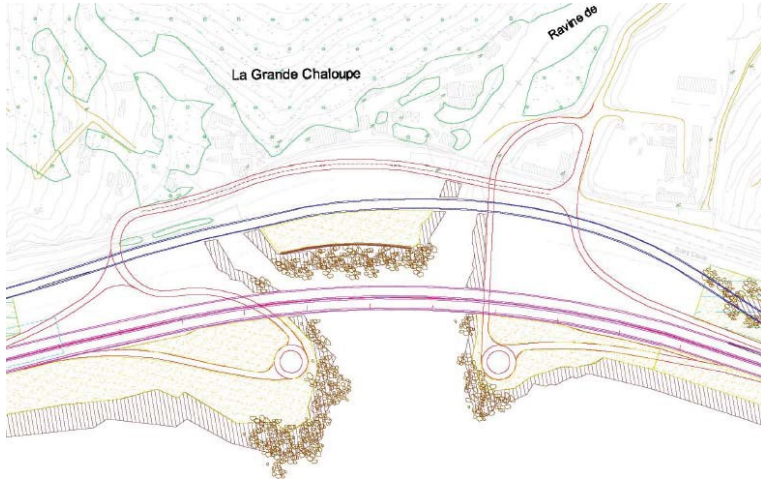
Le projet est l'occasion d'établir une nouvelle porosité entre le site et l'océan d'une part en lui ménageant un réel accès à l'océan et d'autre part d'y créer un pôle touristique équilibré invitant à la découverte du Parc Naturel des Hauts. »



Etudes AVP :

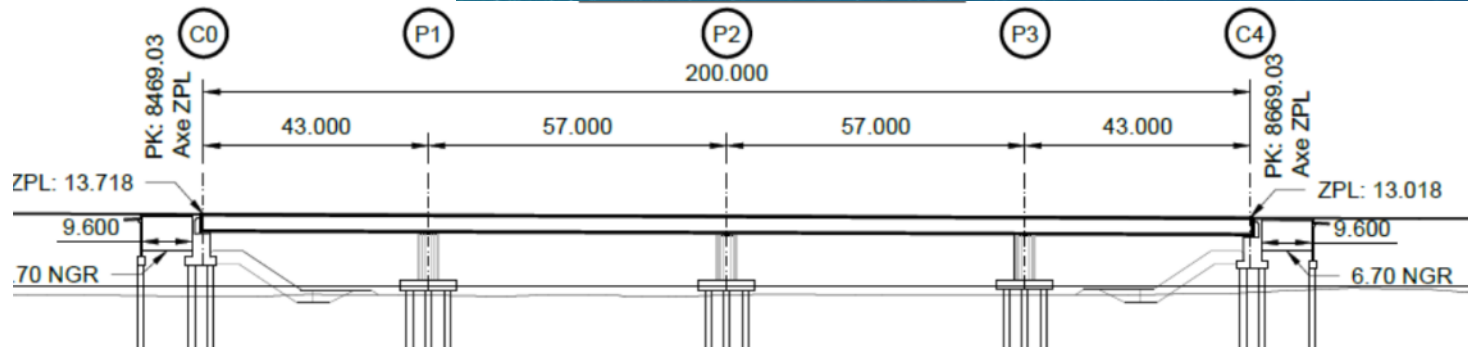
- Présence de 2 monuments historiques (« tit » gare et le Lazaret)
- Site à vocation touristique avec départ de plusieurs chemins pour les randonnées

==> Volonté architecturale du livre blanc ainsi que de l'ABF d'avoir une ouverture du site vers l'océan



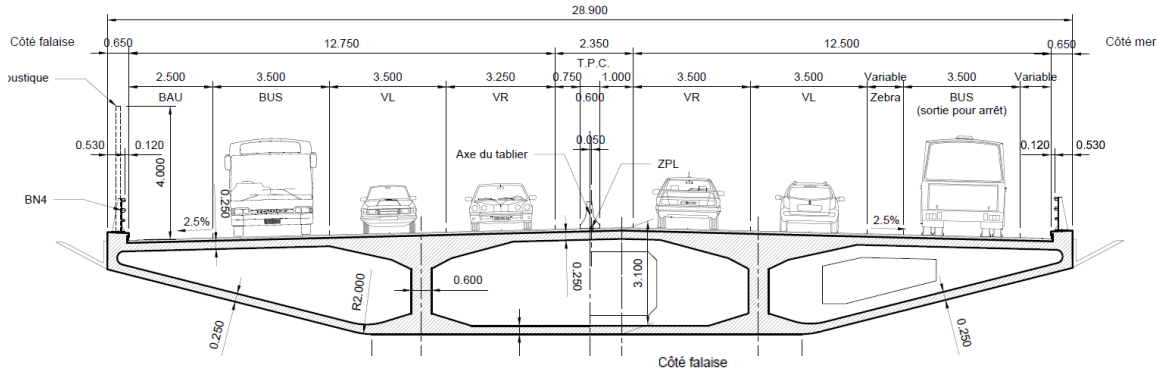
Etudes AVP

- Ouvrage à 4 travées
43 m – 57 m – 57 m – 43 m
- Bretelles franchies par
culées creuses

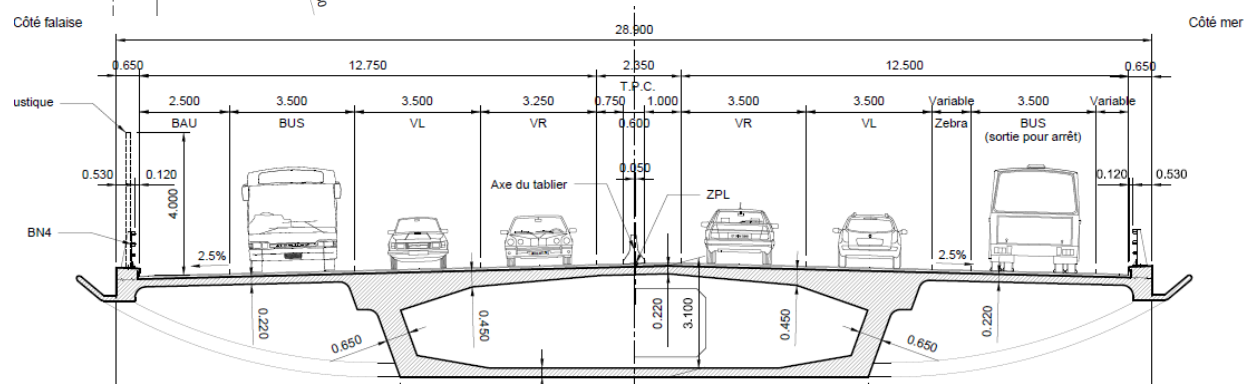


Etudes AVP

- Tablier mono-caisson de hauteur constante



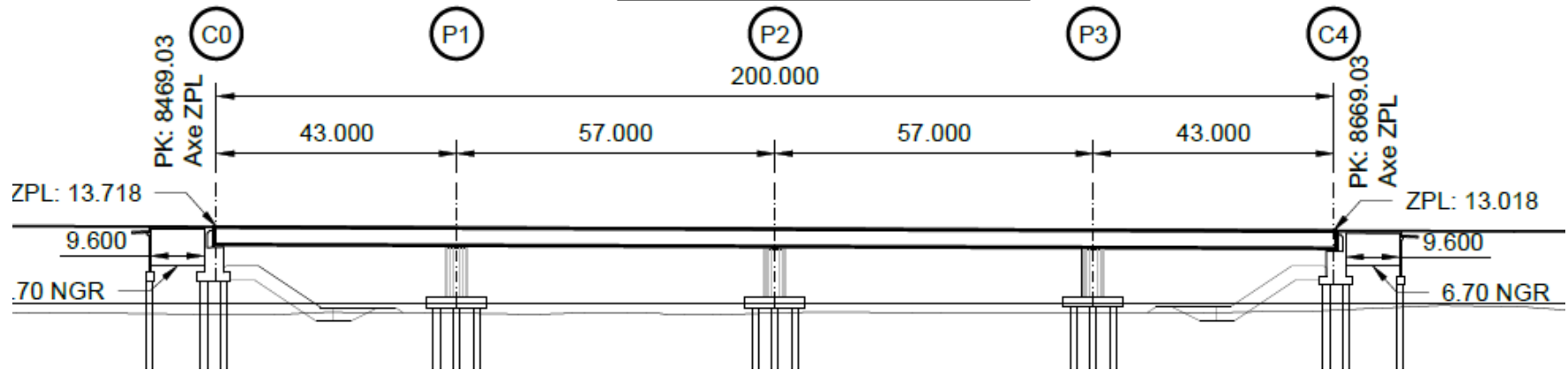
- Tablier 4 âmes



- Tablier 2 âmes

Etudes PRO

Solution avant essai cuve à houle



Longueur d'ouvrage de 200 m.

Caisson calé à 10 m au dessus de la mer.

Culées creuses pour franchissement des bretelles



saipem sa



Etudes PRO

Essais en cuve à houle



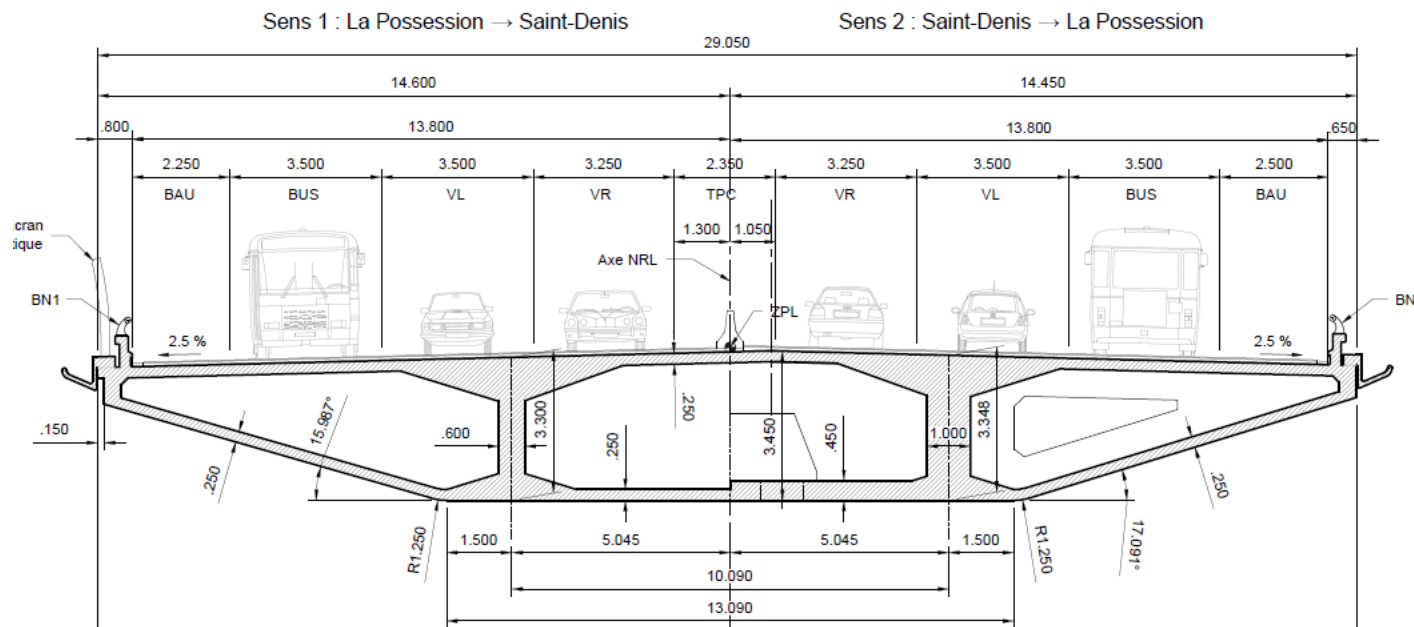
Culées classiques (franchissement des bretelles par les travées de rive)

Etudes PRO

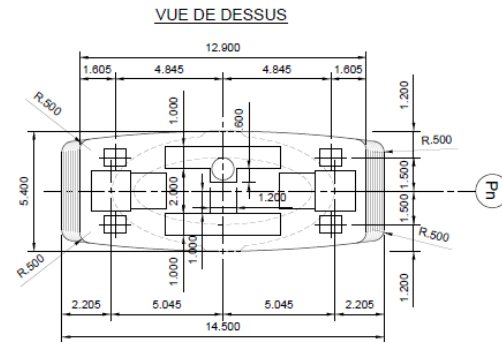
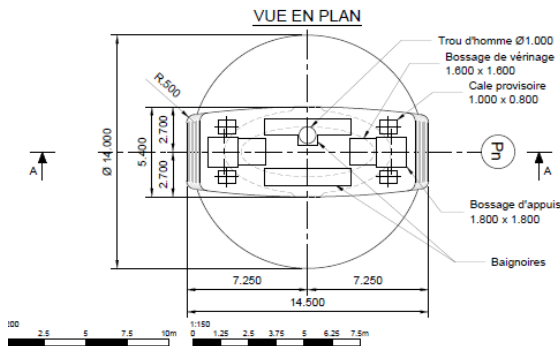
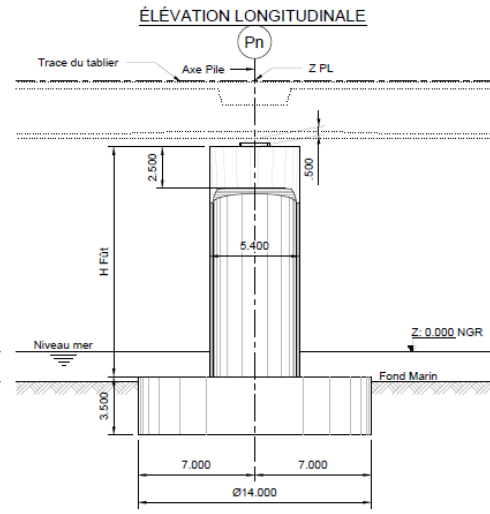
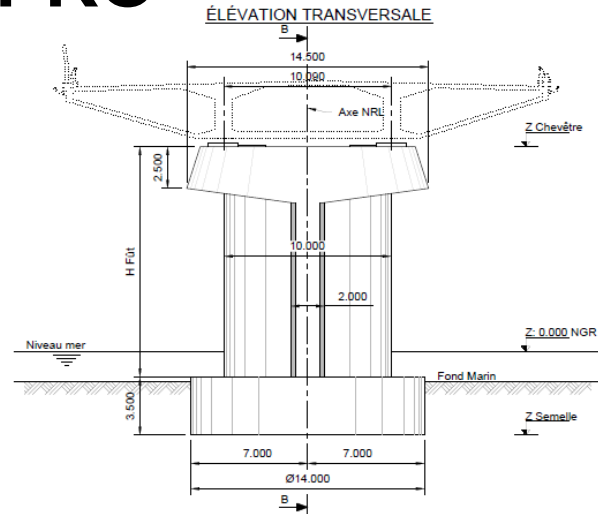
Epaississement des âmes et du hourdis inférieur sur appuis

Enveloppe extérieure identique => simplicité des coffrages et armatures

Solution compacte et fermée avec meilleure protection des structures résistantes



Etudes PRO



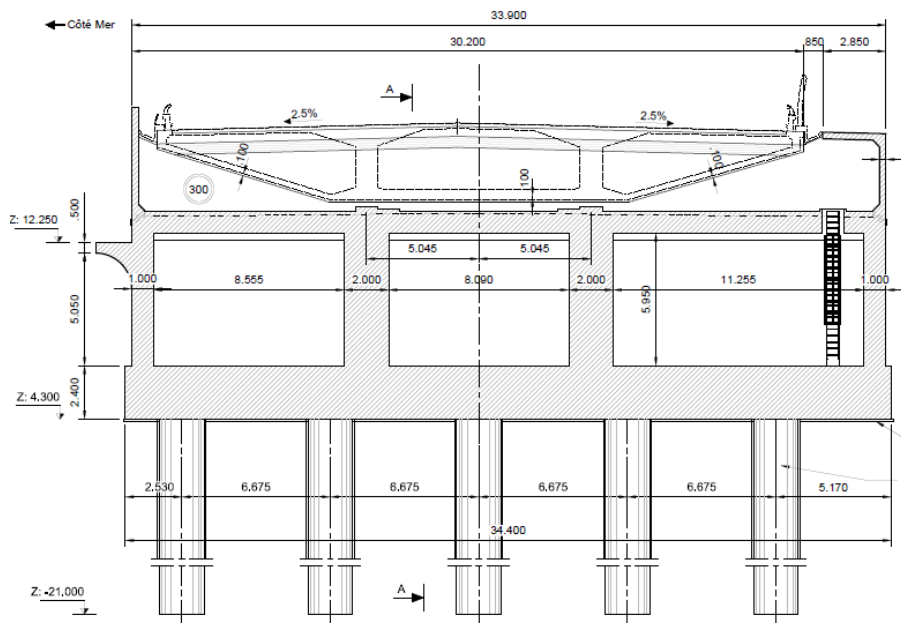
TABLEAU

	P1	P2
Z PL	17.471	17.155
Z Chevrete	13.416	13.100
Z Semelle	-5.000	-5.000
H Fût	14.916	14.600

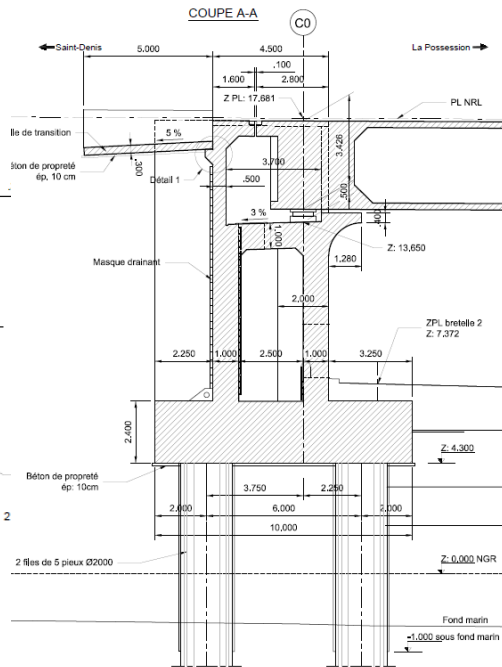


Etudes PRO

COUPE B-B



COUPE A-A



Etudes PRO



Evocation d'un bateau avec âmes latérales très inclinées

Formes arrondies pour insister sur le côté maritime

Tablier caractérisé par des lignes filantes

Etudes & Travaux

Ludovic PICARD

Luc DEFAUCHEUX



Etudes & Travaux - SOMMAIRE

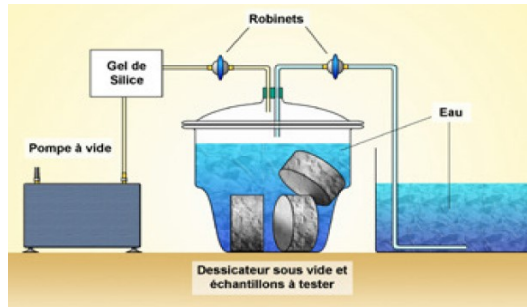
- A. BETONS Contexte & critères
 Démarche durabilité
 Suivi qualité

- B. APPUIS Géotechnique
 Fondations en mer & Fondations en remblais
 Elévations

- C. TABLIER Généralités & Cinématique
 VSP et voussoirs sur cintre
 Equipage
 Ferraillage



Spécificités des bétons



L'environnement,

Les risques associés et les spécifications initiales du béton

- **Climat :**
 - Chaud (température moyenne de 25°C)
 - Humide
 - Fortes intempéries
- **Situation géographique :**
 - Projet NRL en ambiance marine
 - Zones « béton » totalement immergées
 - Zones « béton » de marnage, soumises à des embruns
- **Pour les bétons, exigences identiques sur l'ensemble du projet NRL**

Double approche : prescriptive et performantielle

Approche prescriptive

Des paramètres liés à la formulation

Des propriétés mécaniques

Classe minimale de résistance à la compression
Rapport Eau efficace/Liant équivalent maximal
Dosage minimal en liant équivalent

Durée de vie de 100 ans
Sollicitations particulières

Approche performantielle « absolue »

Des indicateurs de durabilité

Des seuils associés

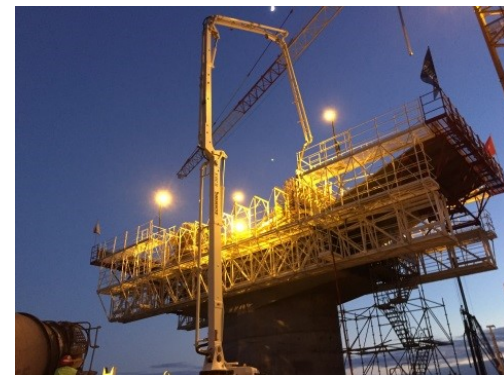
P_{eau} : porosité accessible à l'eau en %
 D_{app} : coeff apparent de diffusion des ions Cl en $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
 K_{gaz} : perméabilité au gaz en 10^{-18} m^2
 K_{liq} : perméabilité à l'eau en 10^{-18} m^2

**Tableau : extrait
du CCTP (VGC)**

Parties d'ouvrages	Classes d'exposition	Classe de résistance minimale	D _{max} (mm)	Teneur minimale en liant équivalent (kg/m ³)	Ciment (compléments)	E _{eff} /Leq	Caractéristiques complémentaires	Indicateurs de durabilité 90 jours (*)
Pieux	XC1, XS2, XA2, XH3	C35/45	20	350	PM / ES	AP	LCH	P _{eau} < 12 D _{app} < 5
Semelles des piles	XC1, XS2, XA2, XH3	C35/45	20	350	PM / ES	AP	LCH	P _{eau} < 12 D _{app} < 5
Piles	XC4, XS3, XA2, XH3	C35/45	20	350	PM / ES	AP	LCH EQP	P _{eau} < 10 D _{app} < 2
Culées	XC4, XS3, XH2	C35/45	20	350	PM / ES	AP	LCH EQP	P _{eau} < 10 D _{app} < 2 K _{gaz} < 100 K _{liq} < 0,05
Voussoirs du tablier	XC4, XS3, XH2	C45/55	20	350	CP, PM	AP	LCH EQP LRE	P _{eau} < 10 D _{app} < 2 K _{gaz} < 100 K _{liq} < 0,05
Entretoises coulées en place	XC3, XS1, XH1	C40/50	20	330	CP, PM	AP	LCH	P _{eau} < 11 D _{app} < 3 K _{gaz} < 100 K _{liq} < 0,05
Superstructures	XC4, XS3, XH2	C35/45	20	350	PM	AP	EQP	P _{eau} < 11 D _{app} < 3 K _{liq} < 0,05 K _{gaz} < 100

Les spécifications initiales complémentaires du béton

- **Catégorie d'ouvrage : III**
- **Prévention contre l'Alcali-Réaction (AR) :**
Niveau de prévention C (guide LCPC)
Granulats locaux Non Réactifs
- **Prévention contre la Réaction Sulfatique Interne (RSI) :**
Niveaux de prévention As, Cs et Ds (guide LCPC)
Nature des liants (relaxation possible)
Formulations validées par des laboratoires
Instrumentation et suivis thermiques en convenance et en production
Limitation de la température du béton à l'état frais
Bétonnage de nuit pour les parties les plus massives



La démarche durabilité adoptée – Etudes, essais et modélisation effectués en amont

- Formules testées par le fournisseur de béton (TERALTA Groupe CRH) pour répondre aux exigences du marché et de mise en œuvre
- Modélisations réalisées par le laboratoire LERM-SETEC à partir d'un outil interne pour vérifier la durée de vie de l'ouvrage sur les formules piles et tablier (estimation de l'enrobage résiduel après 100 ans)
- **Spécificités du contexte du Viaduc de la Grande Chaloupe, 2 correctifs sont intégrés au modèle**
 - Effets de la température ambiante plus élevée sur l'île de la Réunion,
 - Porosité plus élevée des bétons confectionnés avec les granulats locaux

La démarche durabilité adoptée – formules

Partie d'Ouvrage	Désignation formule
Formule MT4A Pieux et semelles	BPS C35/45 CEM III/A 42,5 N CE PM ES CP1 NF D20 220 mm (+/-20) XC1/XS2/XA2 CI 0,65 400 kg/m³ de CEM III, $E_{eff}/C = 0,39$
Formule MT4C Piles et culées	BPS C35/45 CEM III/A 42,5 N CE PM ES CP1 NF D20 170 mm (+/-20) XC4/XS3/XA2 CI 0,65 370 kg/m³ de CEM III et 30 kg/m³ de fumée de silice, $E_{eff}/C = 0,39$
Formule MT4D Tablier et superstructures	BPS C40/50 CEM II/A-P 42,5 N CE PM CP2 NF D20 170 mm (+/-20) XC4/XS3 CI 0,2 360 kg/m³ de CEM II et 40 kg/m³ de fumée de silice, $E_{eff}/C = 0,42$

Tableau : formules concernées par l'approche performantielle absolue

La démarche durabilité adoptée – indicateurs de durabilité et seuils

Indicateurs de durabilité 90 jours (*)	Classe d'exposition XS2 (formule MT4A)			Classe d'exposition XS3 (formules MT4C et MT4D)		
	Appel d'offres	Fascicule 65 Oct 2014	Proposition	Appel d'offres	Fascicule 65 Oct 2014	Proposition
P_{eau}	12	14	< 20	10	13	< 20 puis 18
D_{app}	5	7	< 5	2	3.5	< 3.5
K_{gaz}	-	-	-	100	200	< 200
K_{liq}	-	-	-	0.05	Non retenu	Non retenu

Tableau : indicateurs de durabilité sélectionnés

Résistivité : complète la caractérisation du béton dans le cas des épreuves de contrôle à 28 jours.

ETUDES & TRAVAUX



APPUIS

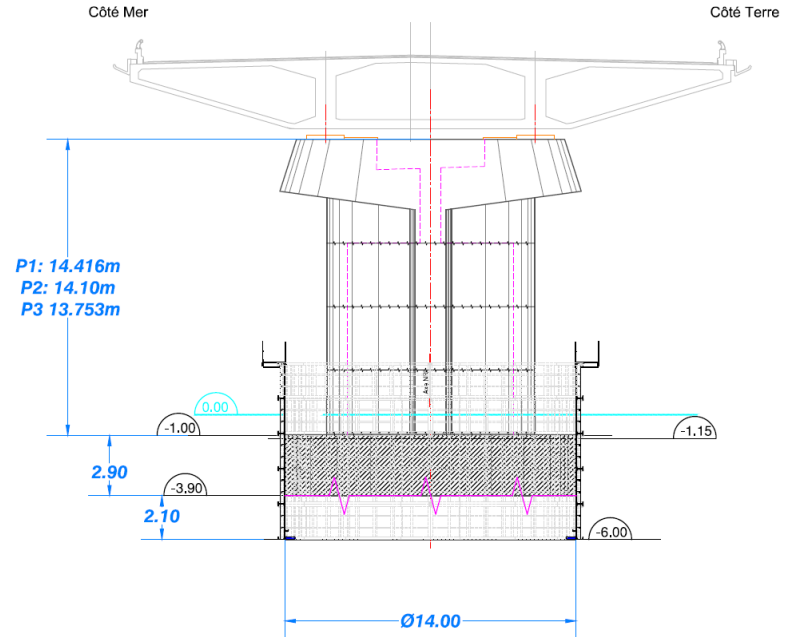
1. Contexte géotechnique
2. Fondations en remblais
3. Fondations en mer
4. Elévations



APPUIS - Contexte

- Phase de préparation
 - Critères de durabilité des bétons
 - Démarches administratives NRL
 - Interfaces avec lot MT5.1

⇒ Travaux en période cyclonique
- Géologie
 - Talus à 3/2
 - Mission G3

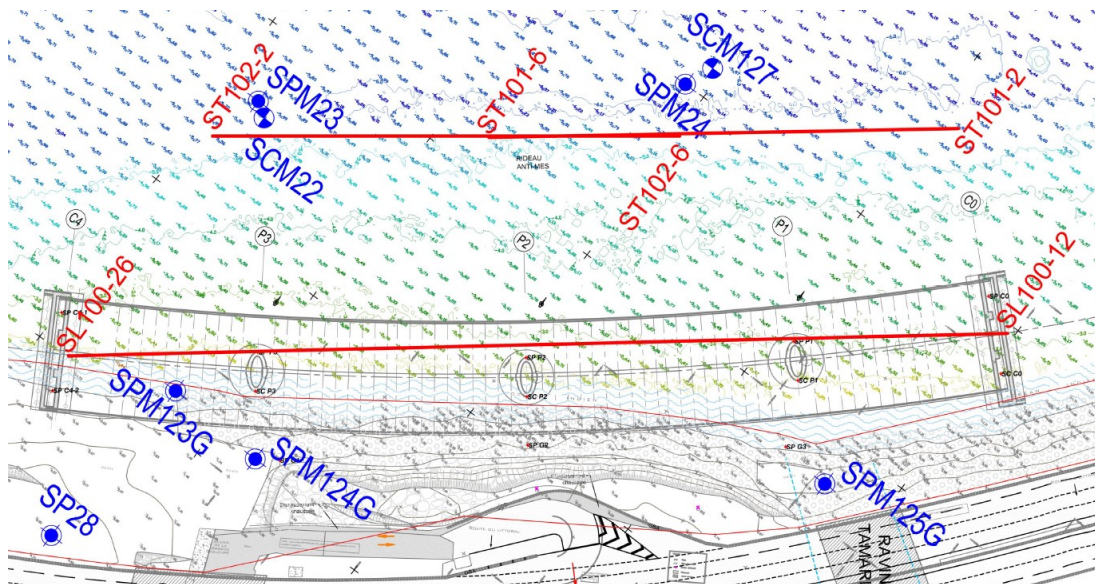


APPUIS - Géotechnique

Mission géotechnique complémentaire

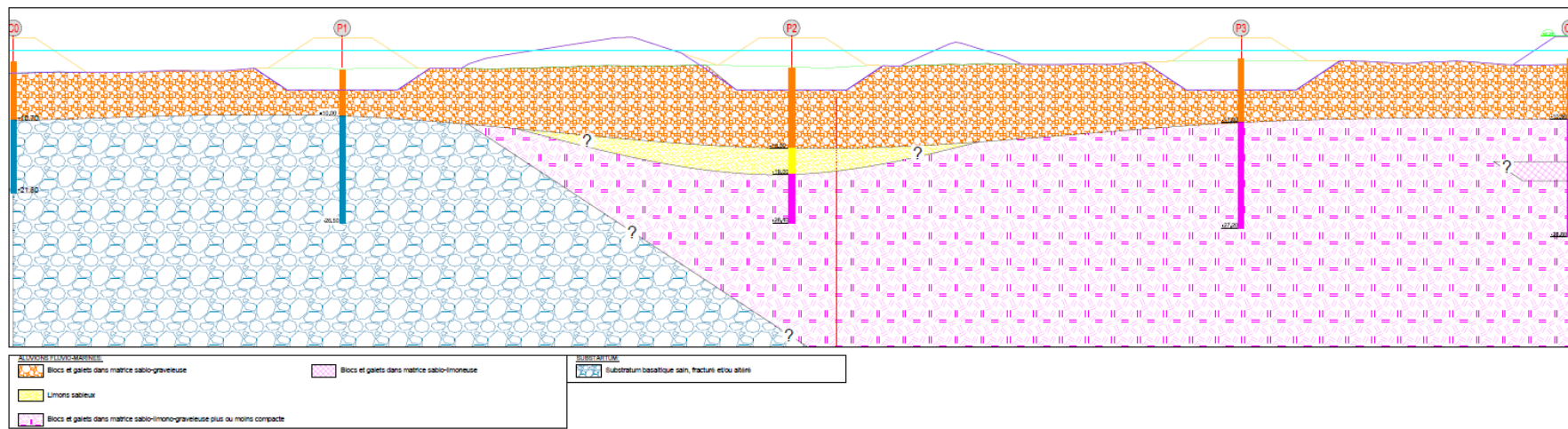
- Sondages complémentaires au droit de chaque appui
- Note d'hypothèses géotechniques

=> Paramètres de justification des fondations en statique et en sismique



APPUIS - Géotechnique

Profil géotechnique issu de la mission G3





- Dureté de la roche
- Niveau des blocs de roche dure
- Lentille argileuse sous P2

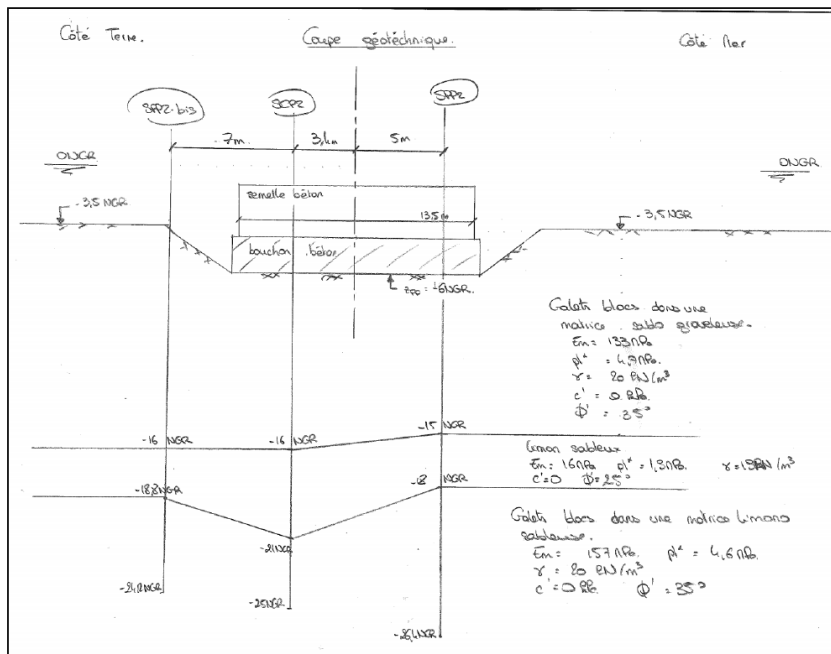
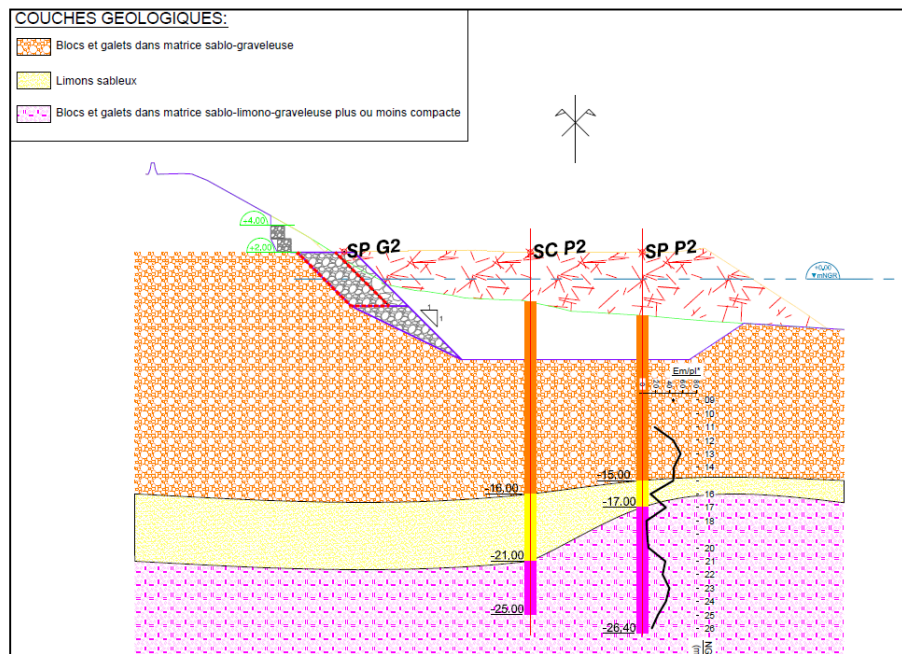
PI = 7 MPa

APPUIS - Géotechnique

Identification lentille argileuse d'épaisseur variable sur P2 => évaluation du tassement :

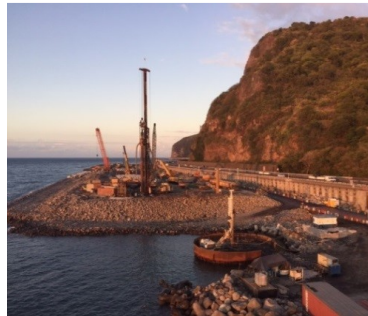
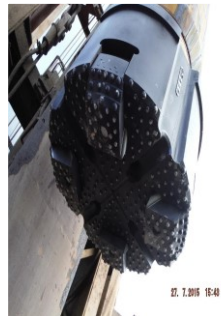
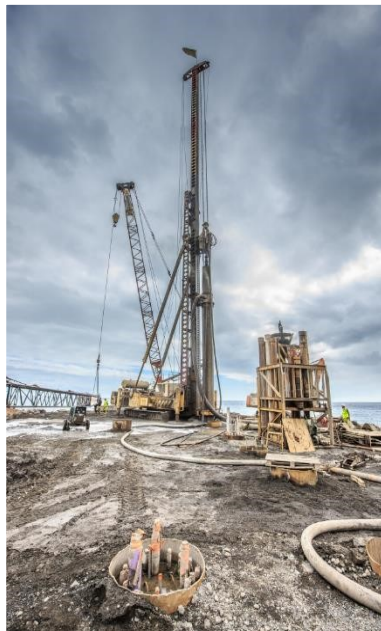
Moyen = 8 mm

Différentiel = 2,3 mm



APPUIS – Fondations des culées

60 pieux forés au marteau fond de trou Ø 1000, 33 sur C0 et 27 sur C4 réalisés à partir des digues, longueur 17,00ml



APPUIS – Fondations des culées

Terrains hétérogènes et roche dure

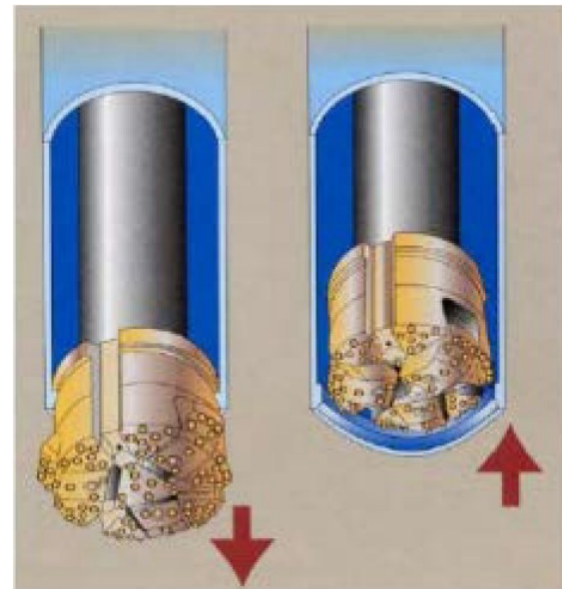
=> Tubage (provisoire dans sols en place, définitif dans remblais)

=> Méthode NUMA Super Jaws

Pendant le forage :
ailettes ouvertes par
simple appui sur le taillant



En fond de forage :
ailettes rétractées



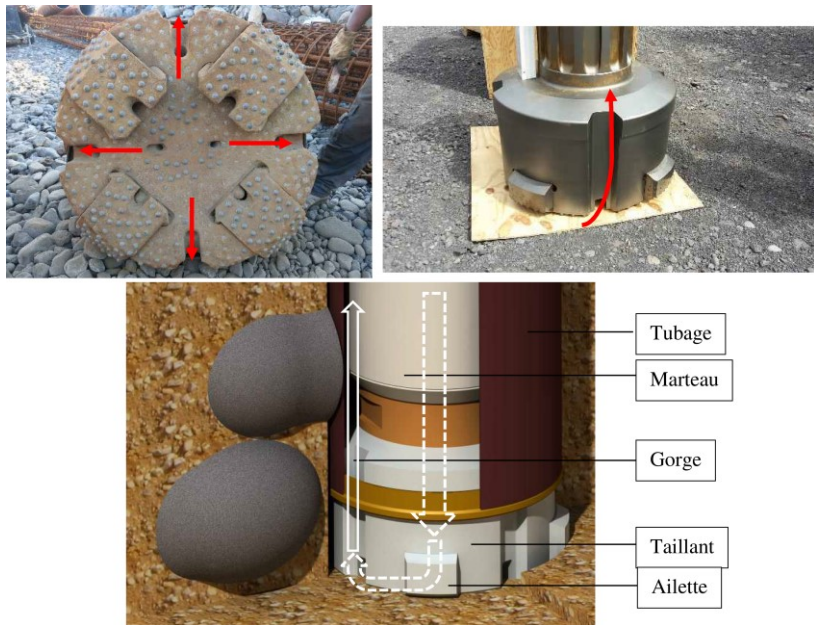
Fabricant NUMA
Provenance U.S.A via Paris



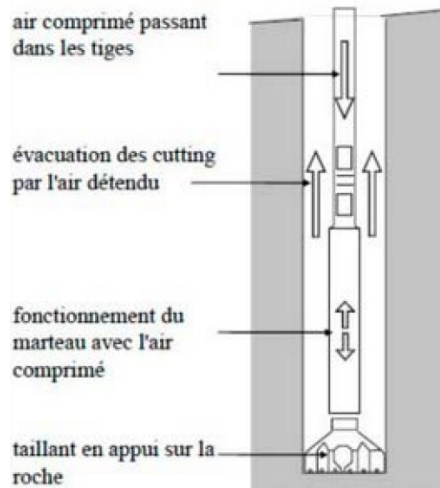
APPUIS – Fondations des culées

Taillant unique à symétrie de révolution

Tubage de revêtement CASING tracté par le marteau

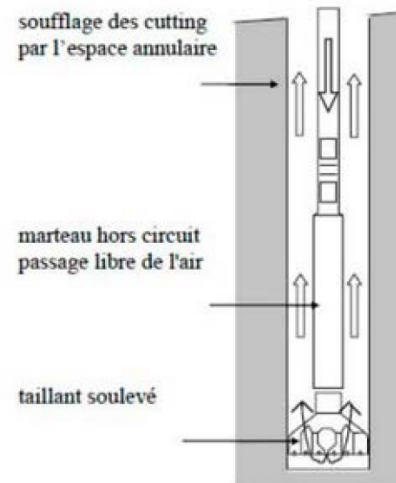


forage en percussion : l'air comprimé sert au fonctionnement du piston du marteau qui frappe sur le taillant en appui sur la roche, l'air s'échappe ensuite dans l'espace annulaire entrainant les cutting



soufflage évacuation des cutting

le taillant n'étant plus en appui, la totalité du flux d'air s'écoule au travers du marteau sans le faire fonctionner et s'échappe dans l'espace annulaire



APPUIS – Fondations des culées

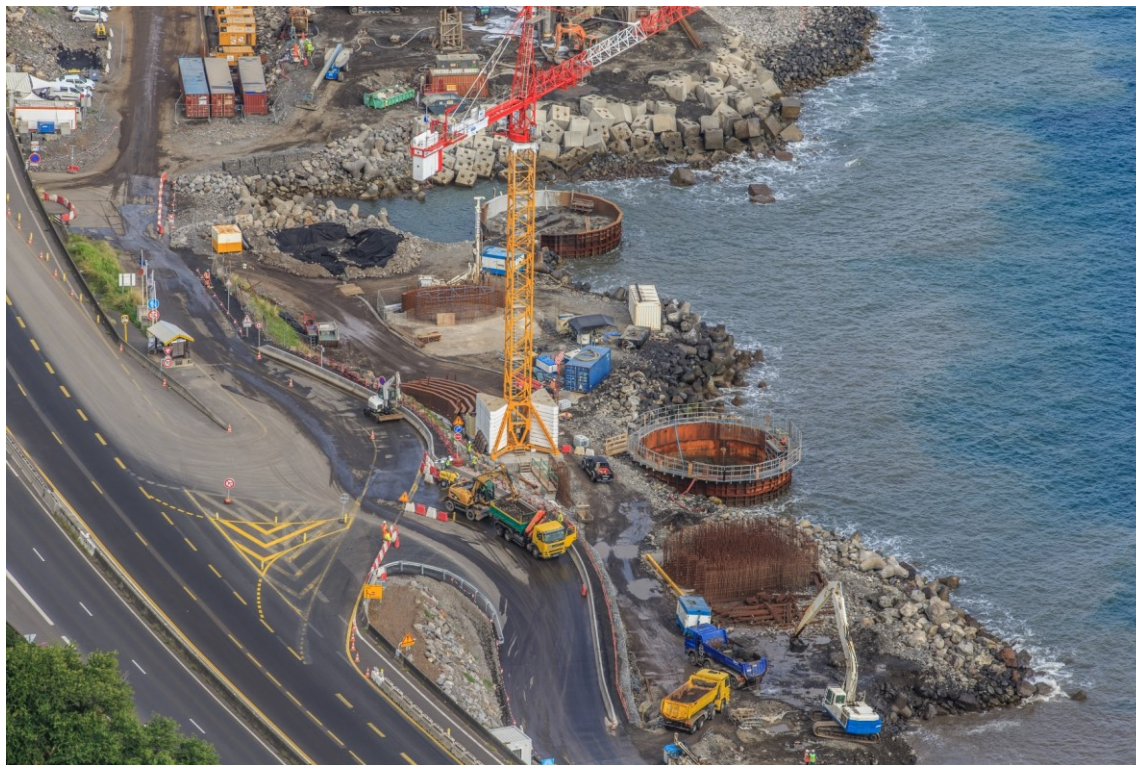
	Théorique	Réel
Cadence de forage	1 pieu / jour	1 pieu / 2 à 3 jours
Installation	4 semaines	4 semaines
Délais global	16 semaines = 4 mois	37 semaines = 8,5 mois

Difficultés rencontrées:

- Pannes /casses machine
- Terrain hétérogène
- Surconsommation béton



APPUIS – Fondations des piles



Semelles
superficielles

Diamètre 14m
Épaisseur 2,90m

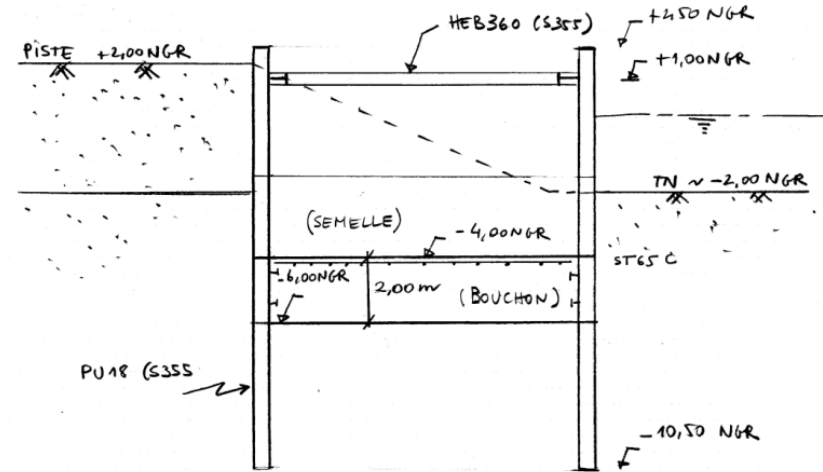


APPUIS – Fondations des piles

Méthode prévue :

Batardeau palplanches avec bouchon béton

1. Purge des blocs de surface
2. Vibrofonçage PU18
3. Terrassement et connexion
4. Bétonnage bouchon
5. Pompage



APPUIS – Fondations des piles

Méthode réalisée :



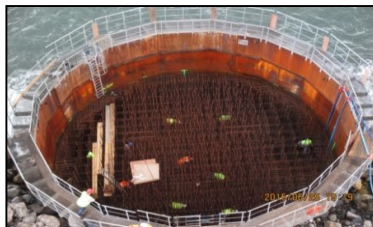
**Terrassement
du fond de souille**



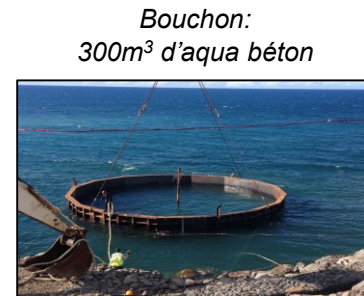
Pose viroles V1/V2



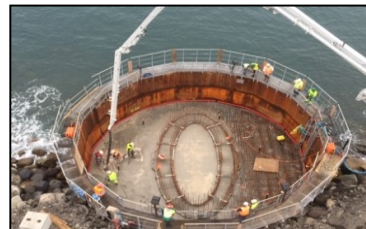
Vidange du batardeau



**Ferrailage de la
semelle (65T)**



**Bétonnage du bouchon
+ Pose viroles V3/V4/V5**



**Bétonnage de la
semelle (455m³)**

20 micropieux
longueur 12 à 18m



Tirants d'ancrage

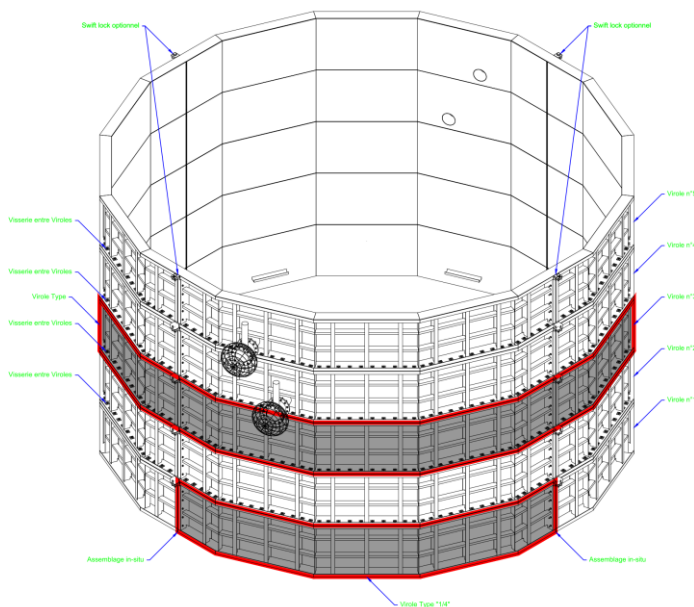
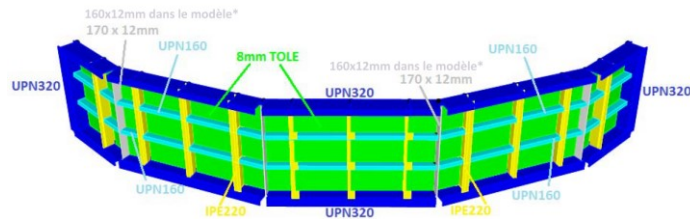


A l'épreuve des vagues

APPUIS – Fondations des piles



5 viroles métalliques
hauteur 1,70m
diamètre 14,00m
environ 18T



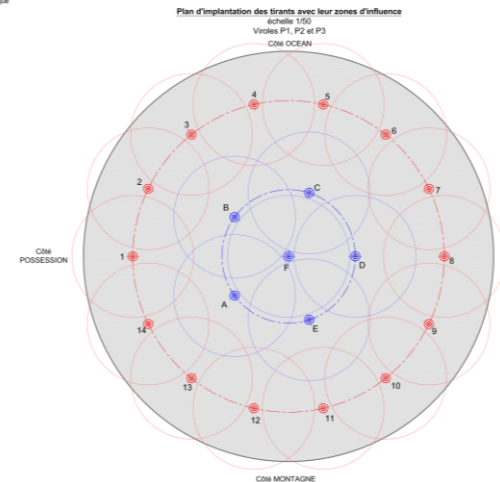
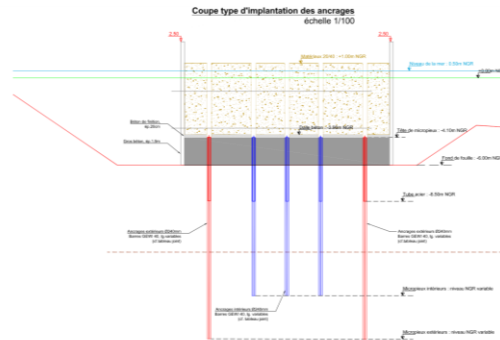
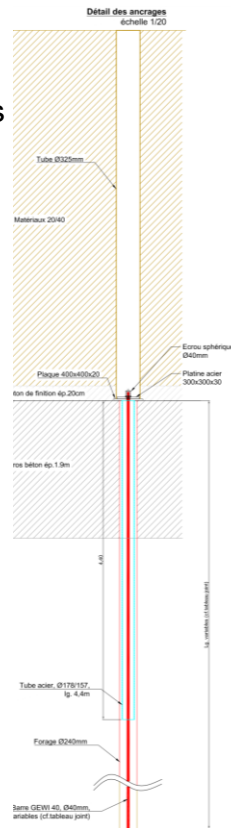
Dimensionnement à la houle
 $H_s < 1,0\text{m}$, stable à vide
 $H_s > 1,0\text{m}$, stable en eau



APPUIS – Fondations des piles



Tirants d'ancrage
14 micropieux extérieurs
6 micropieux intérieurs



APPUIS – Fondations des piles

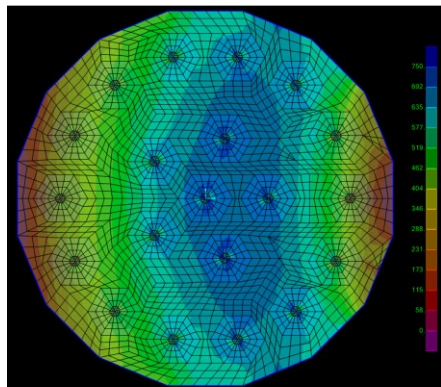


Figure 13 : tension maximum dans la dalle (face inférieure)

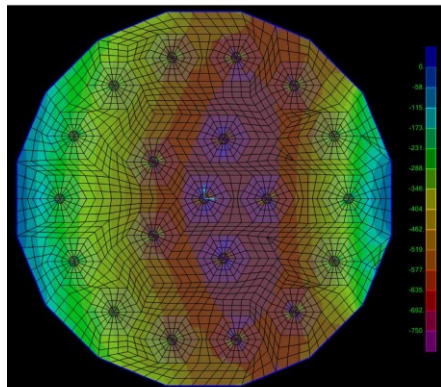
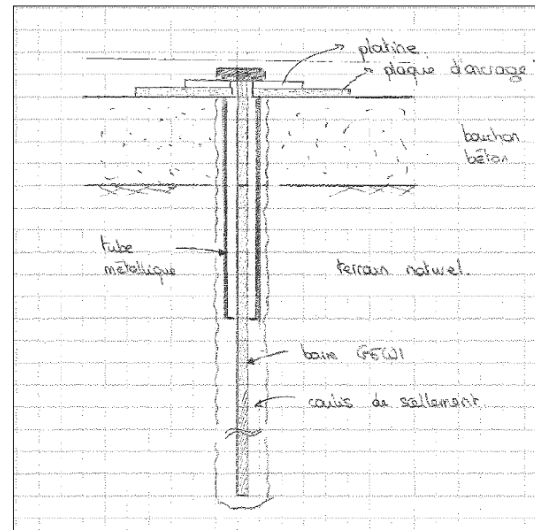
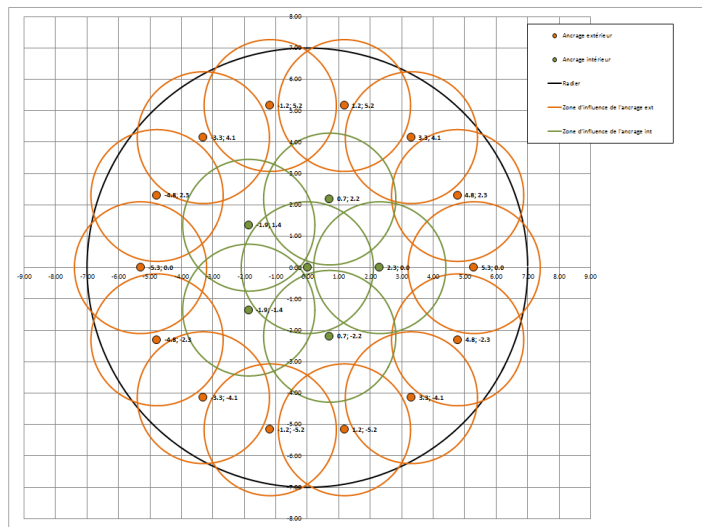


Figure 14 : compression maximum dans la dalle (face supérieure)

Barres Gewi $\Phi 40\text{mm}$

profondeur de 9 à 12 m dans le sol pour P1 et P3

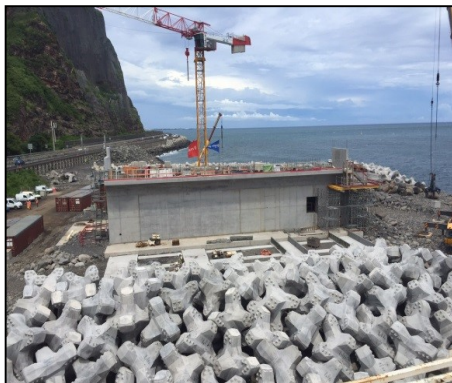
profondeur de 13 à 18 m dans le sol pour P2



APPUIS – Elévations

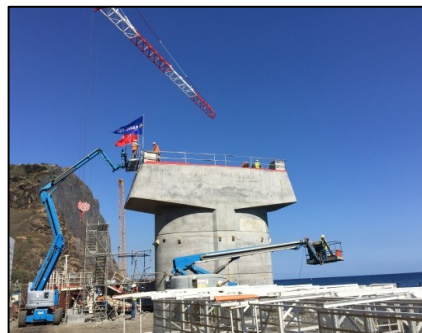


Pile P3: Novembre 2015



Culée C4: Janvier 2016

Volume béton par pile:
élévations 3x70m³
chevêtre 275m³



Pile P2: Aout 2015

Volume béton par culée:
semelle 750m³
élévations 350m³
sommier 200m³



Pile P1: Décembre 2015



Culée C0: Juin 2016

APPUIS – Réalisation de C4

Semelle C4: 30,90mx10,00mxHt2,40m => **742m³**
Elévations C4: 30,40mx4,50mxHt5,05m ép1,00m => **348m³**
Sommier C4 : ép1,00m => **191m³**

Aout 2015



Recépage des pieux



Septembre 2015



Semelle

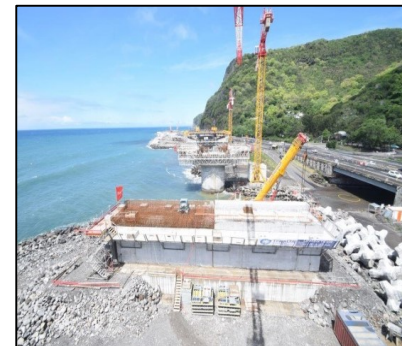
Oct-Novembre 2015



Elévations



Décembre 2015



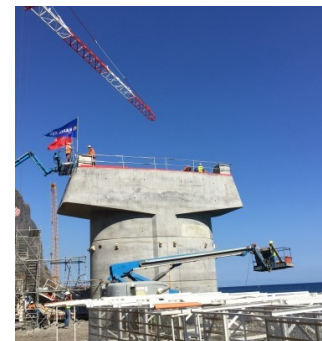
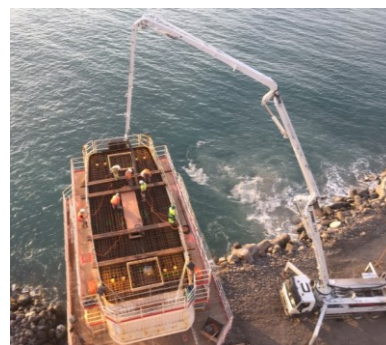
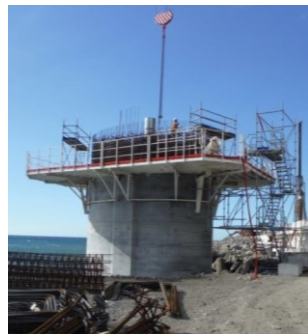
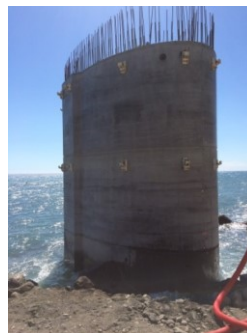
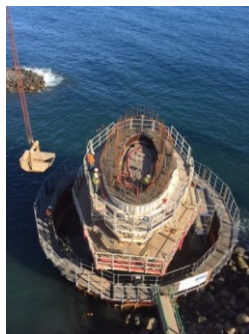
Sommier



APPUIS – Réalisation des piles

3 levées par pile: ht 3,10m ép 1,00m => **70m³ (8T) par levée**
Chevêtre de pile: 10,00mx5,00m ht 5,00m => **275m³ (68T)**

3j / levée
8j / chevêtre



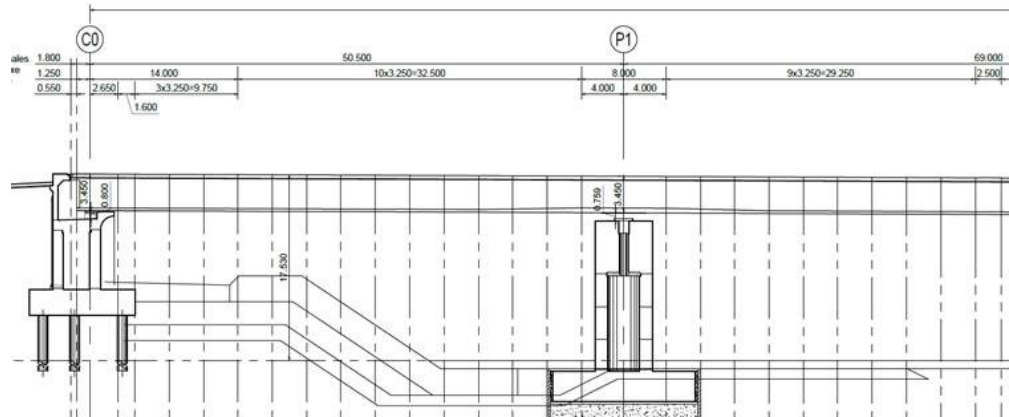
TABLIER

- Conception générale
- Cinématique générale
- VSP
- Equipage mobile & cycle
- Ferrailage



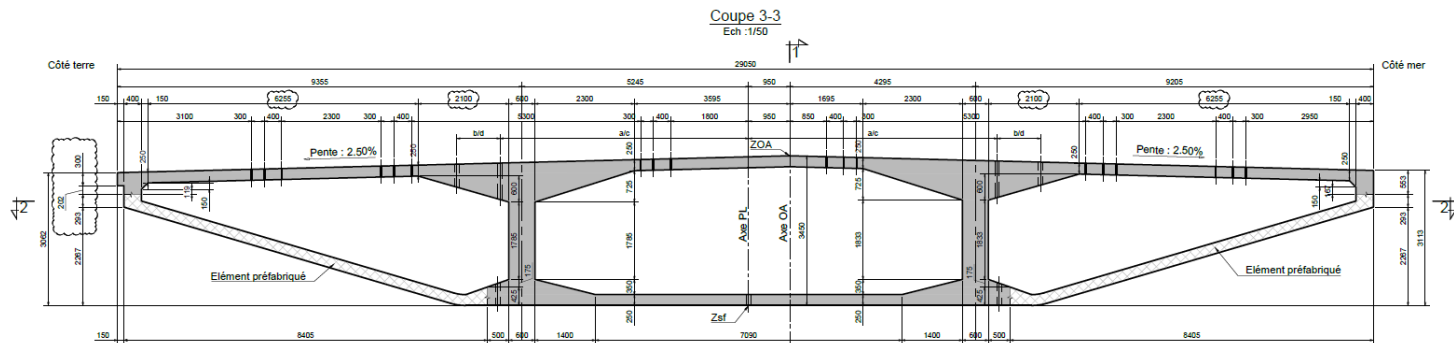
Age Group	Percentage
18-24	10%
25-34	15%
35-44	20%
45-54	25%
55-64	20%
65-74	15%
75-84	10%
85+	5%

-

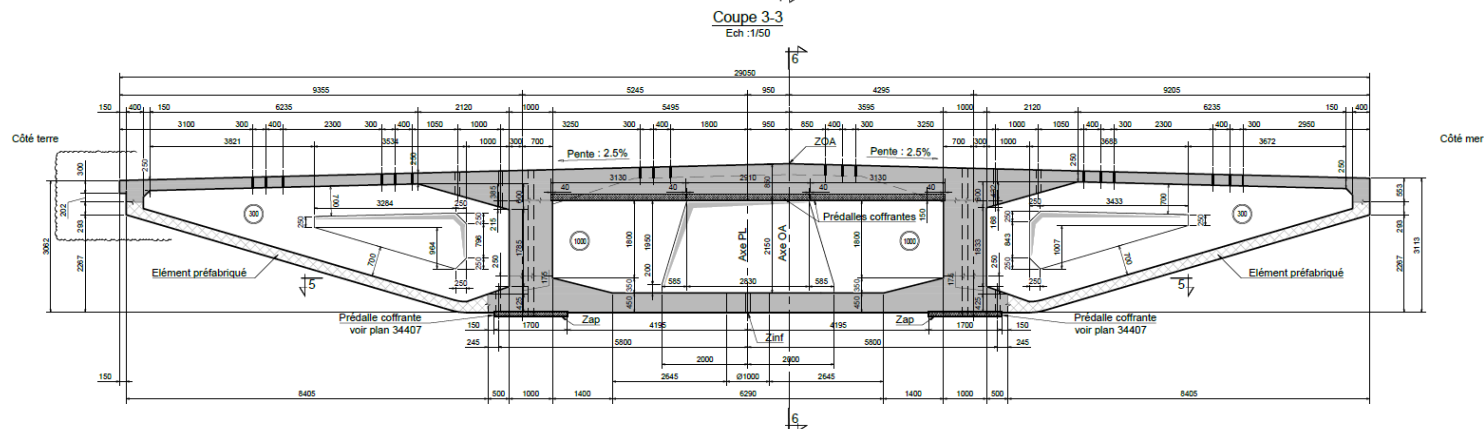


TABLIER – Conception générale

Voussoir
Courant



Voussoir sur
Pile

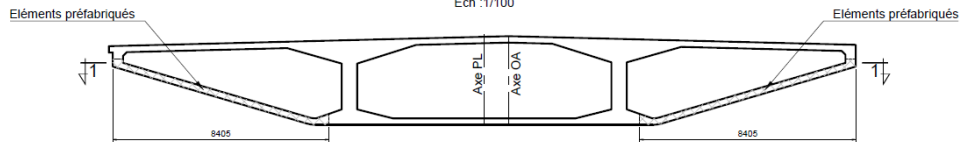


TABLIER – Conception générale

Âmes préfabriquées

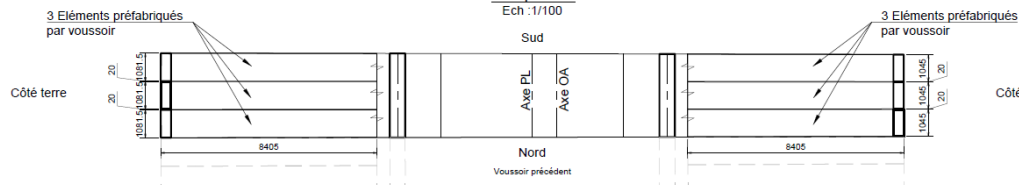
Coupe transversale type d'un voussoir courant

Ech : 1/100



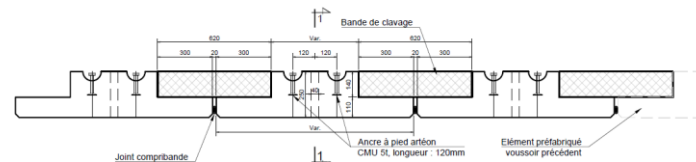
Coupe 1-1

Ech : 1/100



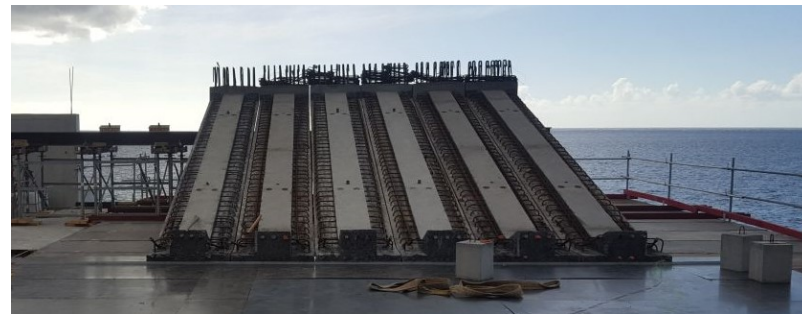
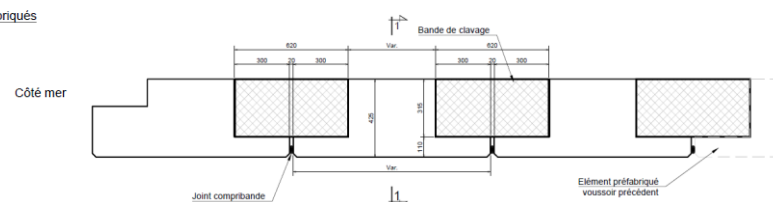
Coupe 2-2

Ech : 1/10

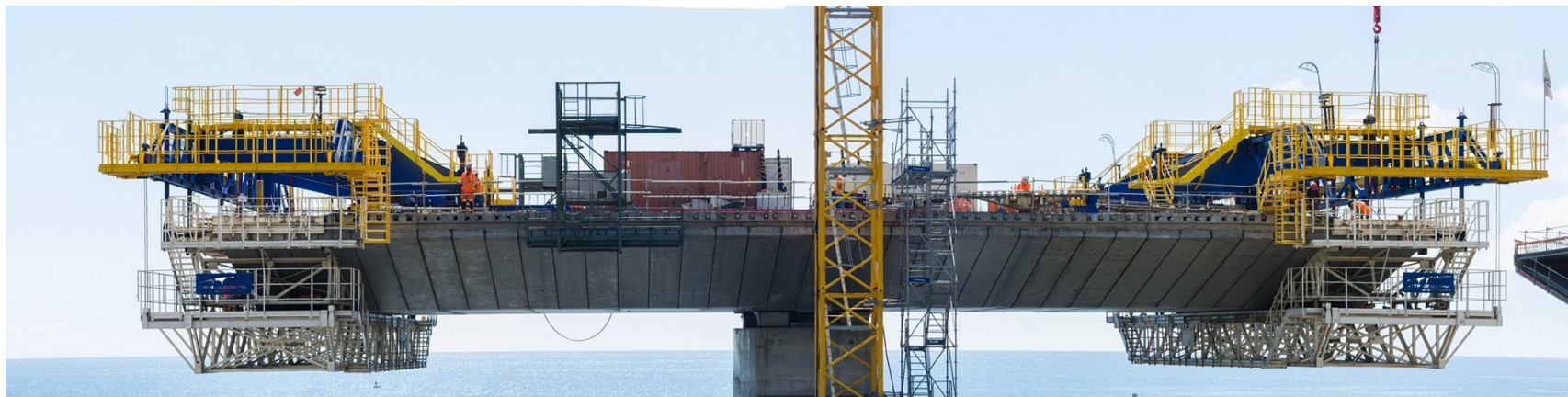


Coupe 3-3

Ech : 1/10

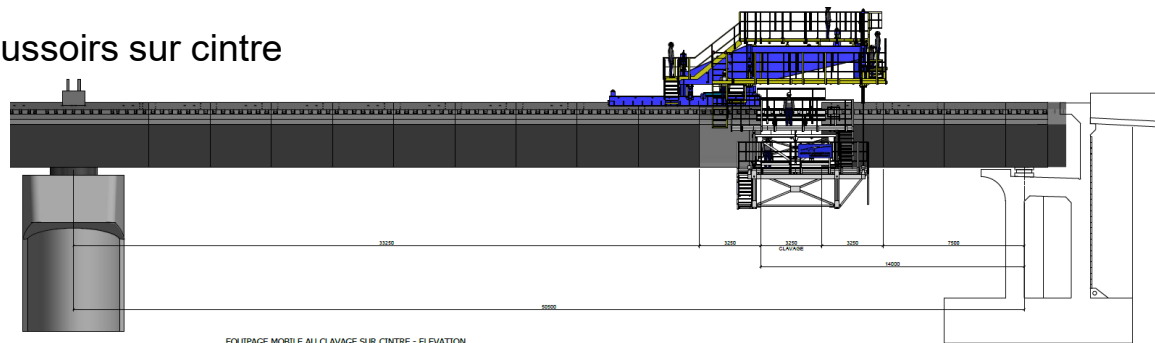


TABLIER – Construction par encorbellements



TABLIER – Construction par encorbellements

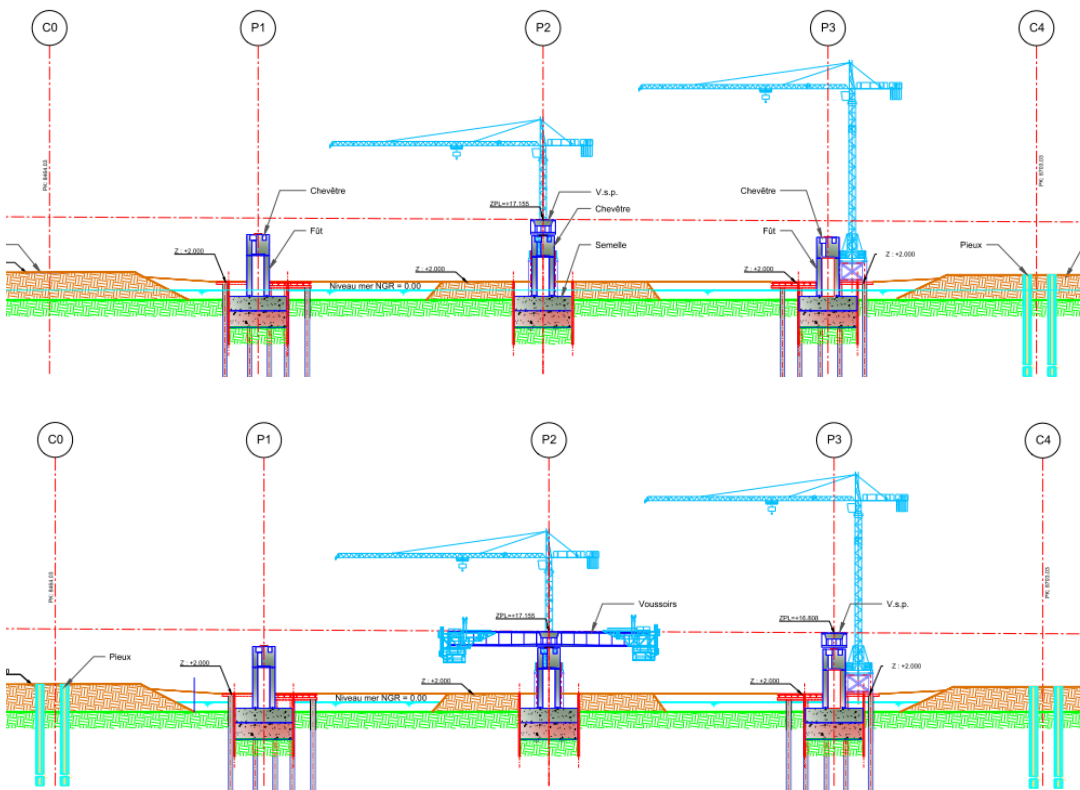
- Réalisation du VSP de P2 puis voussoir de fléau
- Réalisation du VSP de P3 puis voussoir de fléau
- Réalisation de la fin du fléau de P2
- Réalisation du fléau de P3
- Réalisation du VSP de P1
- Clavage P2-P3
- Réalisation du VSC C4 puis voussoirs sur cintre
- Voussoir de fléau P1
- Clavage P1-P2
- Réalisation du VSC C0 puis voussoirs sur cintre



EQUIPAGE MOBILE AU CLAVAGE SUR CINTRE - ELEVATION
Ech. 1 : 100

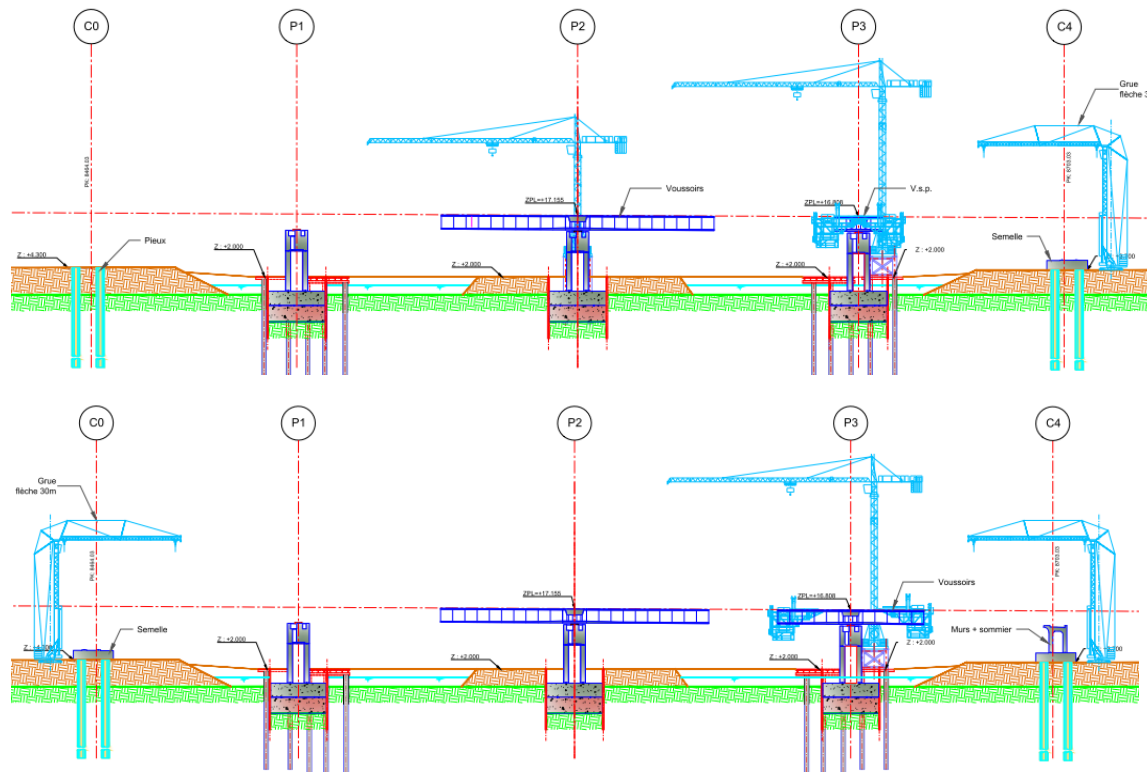
TABLIER – Construction par encorbellements

- VSP de P2
- Montage 2 équipages sur P2
- Démarrage du fléau de P2
- VSP de P3
- Terminaison du fléau de P2



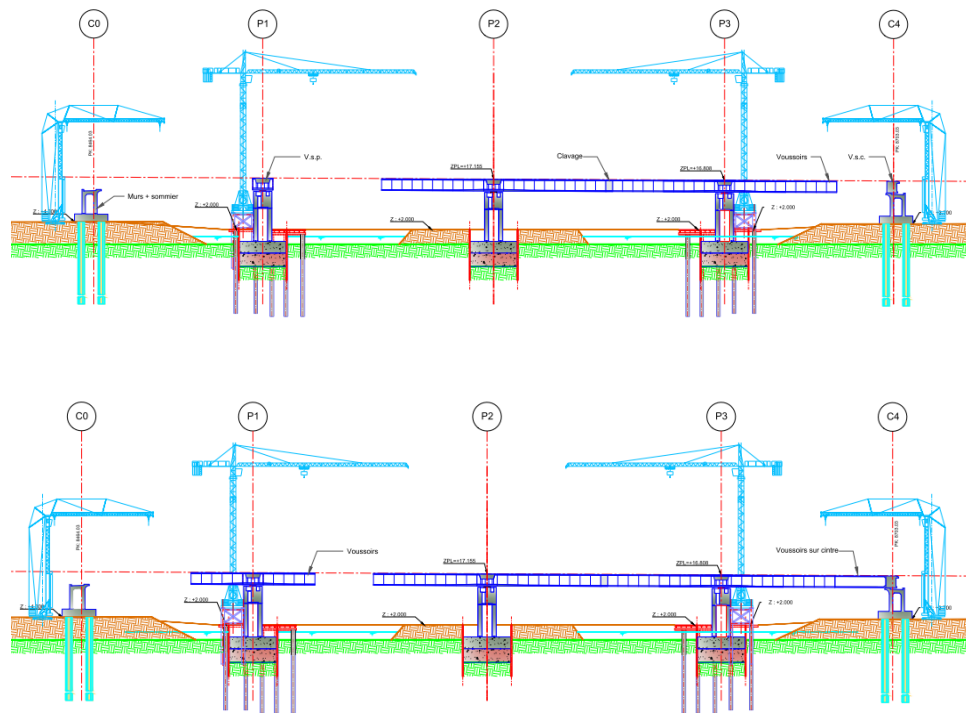
TABLIER – Construction par encorbellements

- Transfert équipages sur P3
- Réalisation du fléau de P3



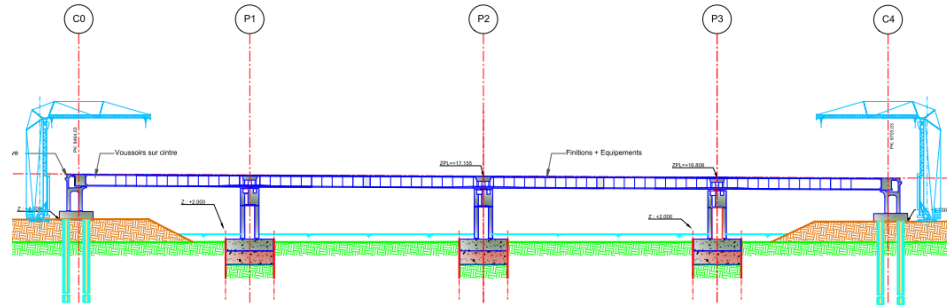
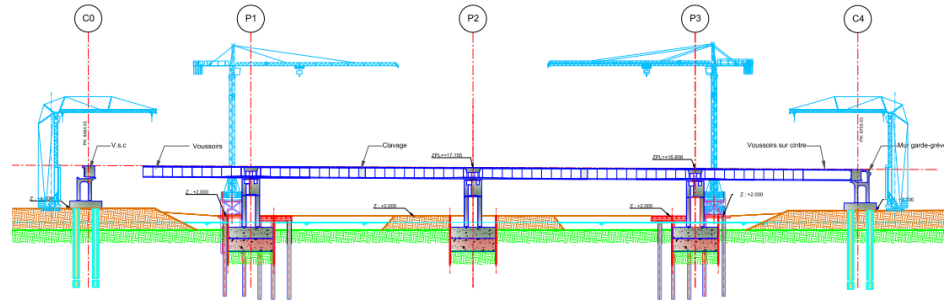
TABLIER – Construction par encorbellements

- VSP de P1
- Clavage P2-P3
- VSC C4
- Voussoirs sur cintre C4
- Clavage P3-C4
- Réalisation du fléau P1



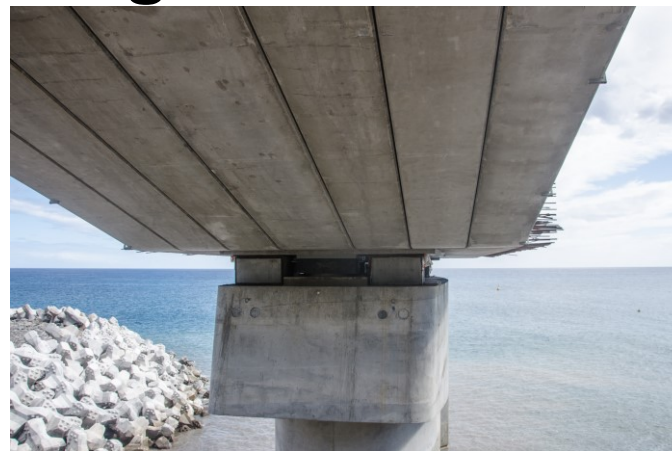
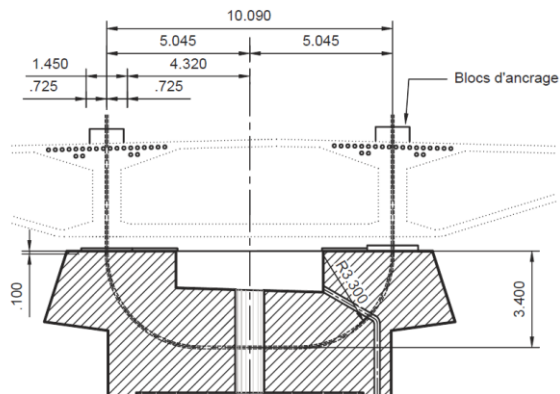
TABLIER – Construction par encorbellements

- Clavage P1-P2
- VSC C0
- Voussoirs sur cintre C0
- Clavage C0-P1



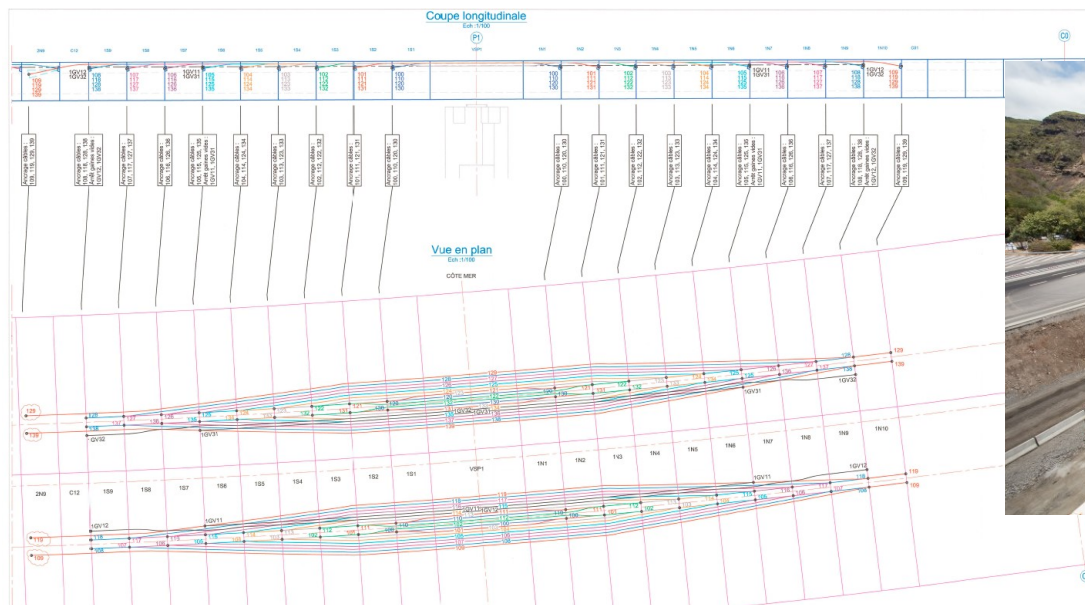
TABLIER – Câbles de clouage des VSP

4 câbles 27T15S bouclés

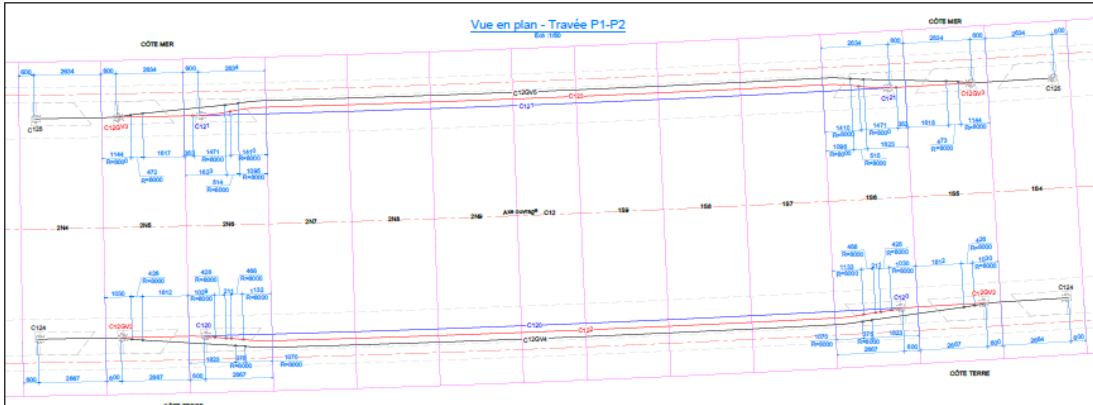


TABLIER – Précontrainte de fléau

4 x 27 T15S par paire de voussoirs courants



2 x 2 27T15S par travée de rive

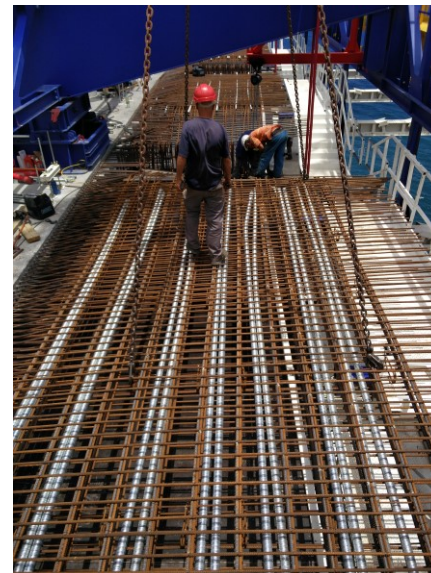
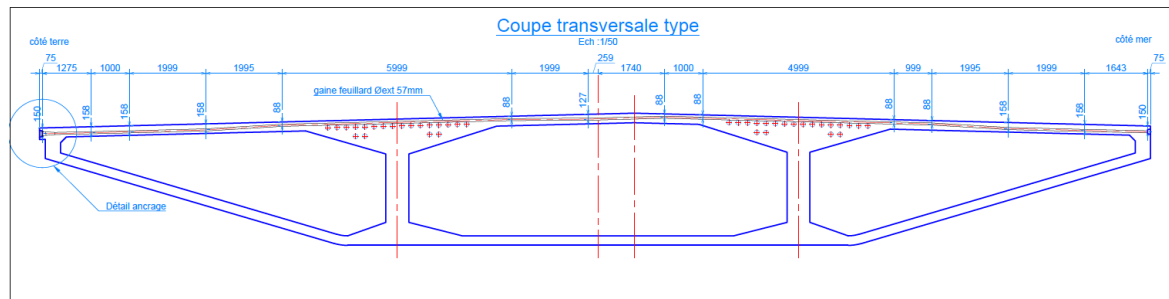


TABLIER – Précontrainte extérieure de continuité

2 x 6 27T15S sur toute la longueur du tablier

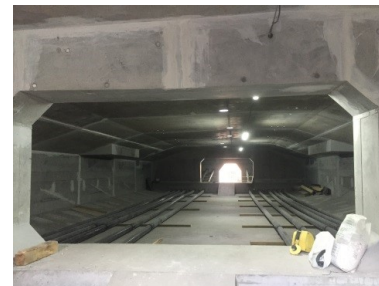


TABLIER – Précontrainte transversale

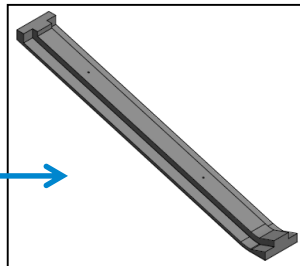
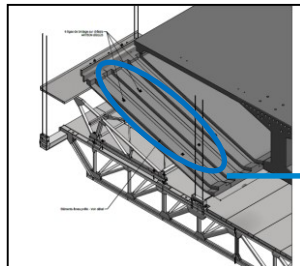


TABLIER - Précontrainte

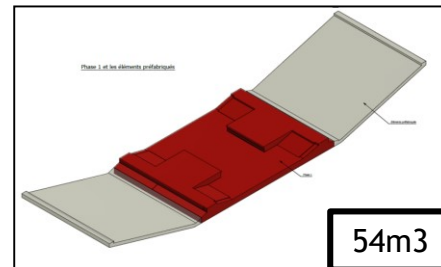
Désignation	Emplacement	Fonction	Type	Quantité
Clouage des fléaux	Sur les piles	Stabilisation des fléaux en phase provisoire	27T15S	4 par pile
Câbles de fléaux	En fibre supérieur des voussoirs	Permet l'assemblage des voussoirs	27T15S	4 câbles par paire de voussoir
Câbles d'éclisses ou clavages	En fibre inférieure des voussoirs autour des clavages	Permet l'assemblage des fléaux entre eux	27T15S	2X2 C0/P1 et P3/C4 2X3 P1/P2 et P2/P3
Câbles de continuité	À l'intérieur du caisson du tablier	Reprise des efforts d'exploitations	27T15S	2X6
Câbles transversaux	En fibre supérieure du tablier transversalement	Reprise des efforts d'exploitations dans les encorbellements	5T15S	Tous les 46cm



TABLIER - VSP

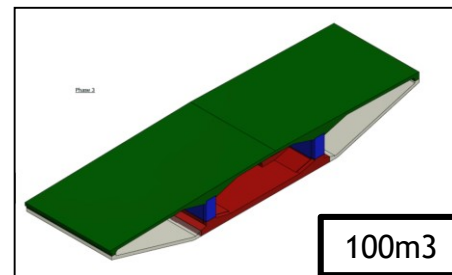
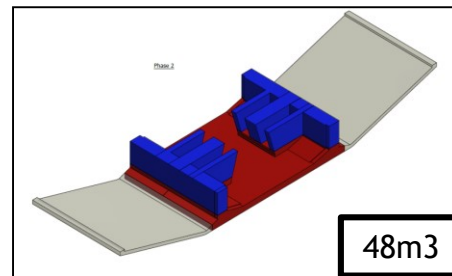
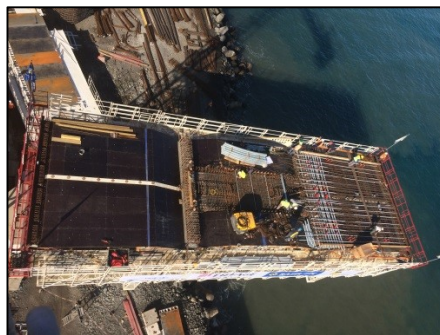


**Pose des âmes et
hourdis inférieur**

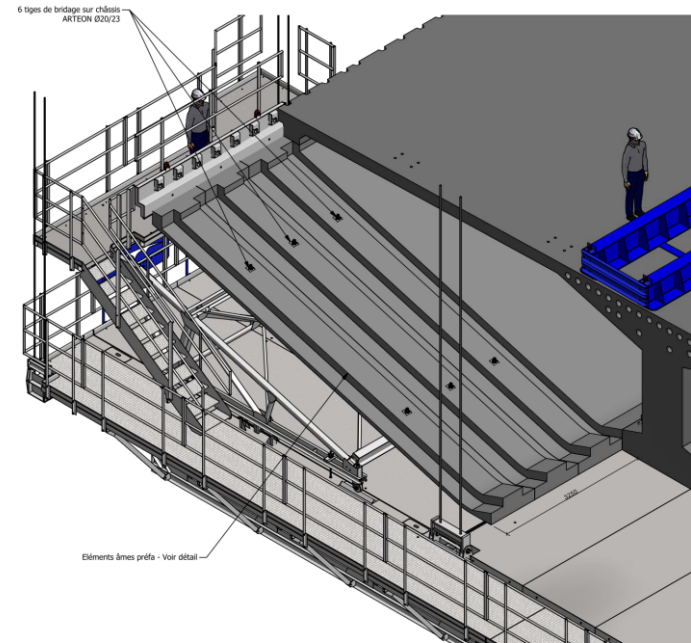


Hourdis supérieur

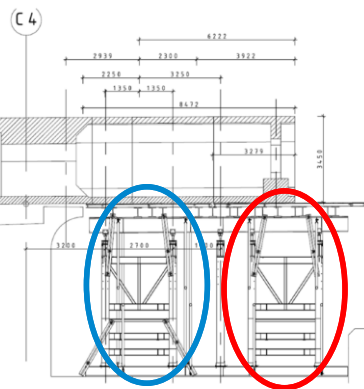
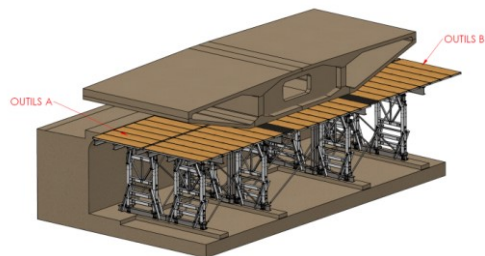
Ames verticales



TABLIER – Âmes préfa



TABLIER – Voussoirs sur cintre



Outil A : 77T
Outil B : 34T



TABLIER – Voussoirs sur cintre



Réalisation du fond de moule et pose des âmes préfabriquées



Ferraillage du hourdis inférieur, bloc d'entretoise et âmes verticales VSC + VCC



Bétonnage hourdis inférieur (70m3) + âmes verticales (24m3)



Coffrage et bétonnage du bloc d'entretoise (45m3)



Coffrage bois du hourdis supérieur



Ferraillage hourdis supérieur



Bétonnage hourdis supérieur (140m3)



Décoffrage hourdis supérieur et démontage outil B

TABLIER – Equipage



L'équipage mobile est une structure métallique permettant de couler en place les voussoirs du tablier.

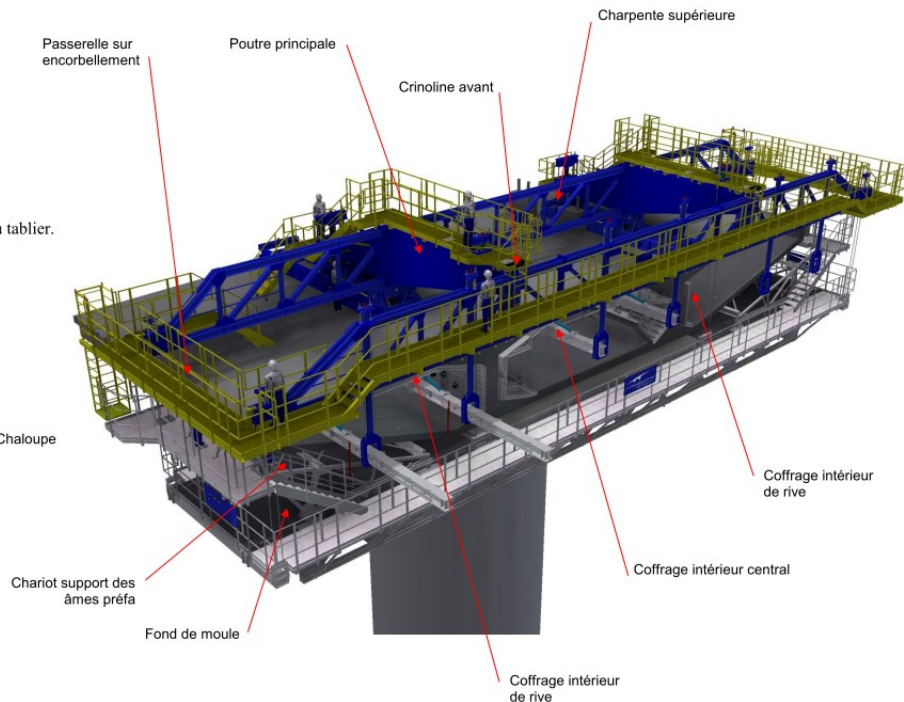
- ✓ Dimensions : largeur 33 m, longueur 14,9 m, hauteur 13,5 m
- ✓ Poids de la charpente supérieure = 35 t (peint en bleu et passerelles jaune)
- ✓ Poids du fond de moule = 38 t (peint en blanc)
- ✓ Poids du coffrage intérieur de rive = $2 \times 7,3$ t (peint en blanc)
- ✓ Poids du coffrage intérieur central = 14 t (peint en blanc)
- ✓ Poids du masque et passerelle de masque = 8,4 t (peint en blanc)

⇒ 2 équipages mobiles ou « 2 boîtes » sont prévus pour la réalisation du viaduc de la Grande Chaloupe

Caractéristiques du Viaduc de la Grande Chaloupe :

- ✓ Longueur des voussoirs courants : 3,25 m
- ✓ Hauteur des voussoirs constante : 3,45 m
- ✓ Poids du voussoir le plus lourd : 210 t
- ✓ Epaisseur maximum du hourdis inférieur : 0,45 m
- ✓ Epaisseurs des âmes : 0,9 m à 0,6 m
- ✓ Longueur des VSP : 8 m
- ✓ Longueur du voussoir de clavage sur cintre : 3,25 m
- ✓ Longueur du voussoir de clavage sur fléau : 2,5 m
- ✓ Longueur du tablier : 242,6 m (axe PL)

ENSEMBLE EQUIPAGE MOBILE

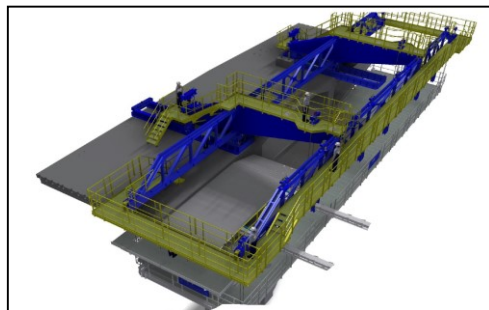
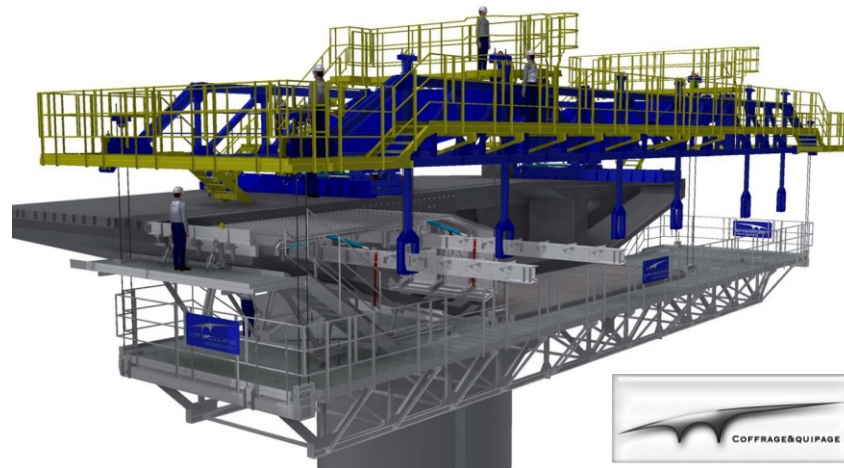


TABLIER – Equipage

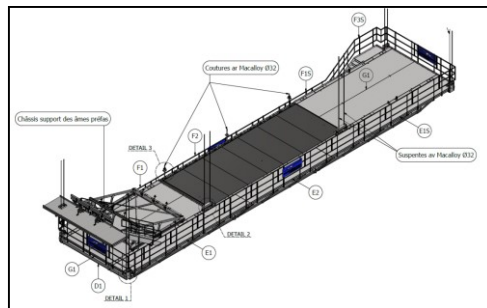
Poids d'un équipage 110T

Dimensionnement pour des vents de 240 km/h

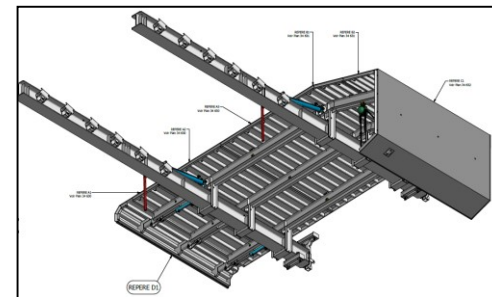
3 composantes principales



Charpente sup



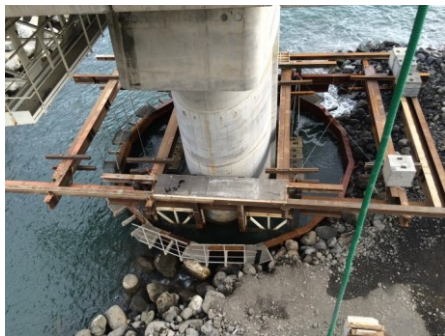
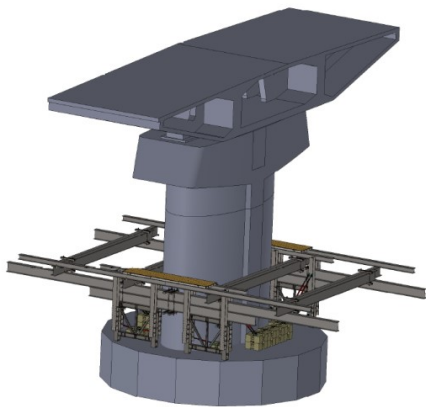
Fond de moule



Coffrages int

TABLIER – Equipage mobile

Hissage du fond de moule



TABLIER – Equipage mobile

Nombre et type de voussoirs:

- Voussoirs sur culées (VSC) = 2u
- Voussoirs courant sur cintre (VCC) = 2 x3u
- Voussoirs de clavage (Clavage) = 4u
- Voussoirs sur piles (VSP) = 3u
- Voussoirs en sur encorbellement = 2u
- Voussoirs courant = 3X18u
- Total = 71 voussoirs

Chronologie de réalisation (hors VSP et VSC):

Fléau P2	
↓	
Fléau P3	Travée sur cintre C4
↓	
Clavage P3/P2	↓
↓	
3S10 sur encorbellement	→ Clavage C4/P3
↓	
Fléau P1 _{yc} sur encorbellement	Travée sur cintre C0
↓	
Clavage P1/P2	↓
↓	
1N10 sur encorbellement	→ Clavage C0/P1



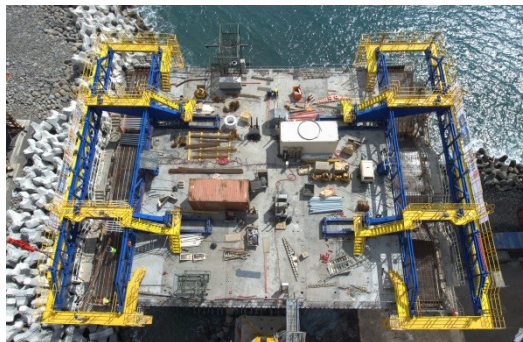
Equilibre d'un équipage mobile

TABLIER – Equipage mobile

Cycle de réalisation paire de voussoirs N
= 1 semaine

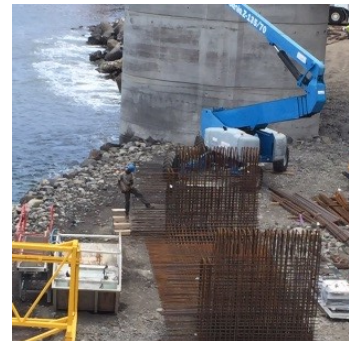
J1 :

- Décoffrage des voussoirs N-1
- Mise en tension des câbles de fléau
- Avancement des rails de ripage
- Ripage de l'équipage mobile



J2 & J3 :

- Réglage du fond de moule et pose des âmes préfa
- Clavage des âmes préfa
- Mise en place de la cage d'armature + manchons



TABLIER – Equipage mobile

Cycle de réalisation paire de voussoirs N
= 1 semaine

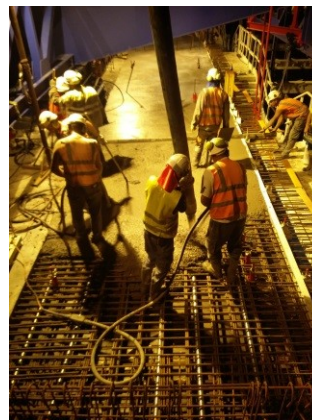
J4 & J5 :

- Lancement et réglage des coffrages intérieurs
- Mise en place du ferrailage du hourdis supérieur
- Coffrage des rives, mise en place des masques avants
- Enfilage de la précontrainte de fléau



J6 :

Bétonnage
1 voussoir (3,25ml de longueur et 29ml de largeur) = 60m3



TABLIER – ferrailage passif

Spécificités Viaduc de la Grande Chaloupe



*Viaduc de la Grande Chaloupe
28 m de largeur*

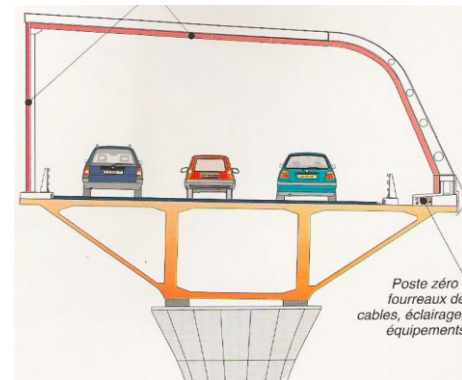


*Viaduc de
Saint Cloud
(20,40 m - 1973)*



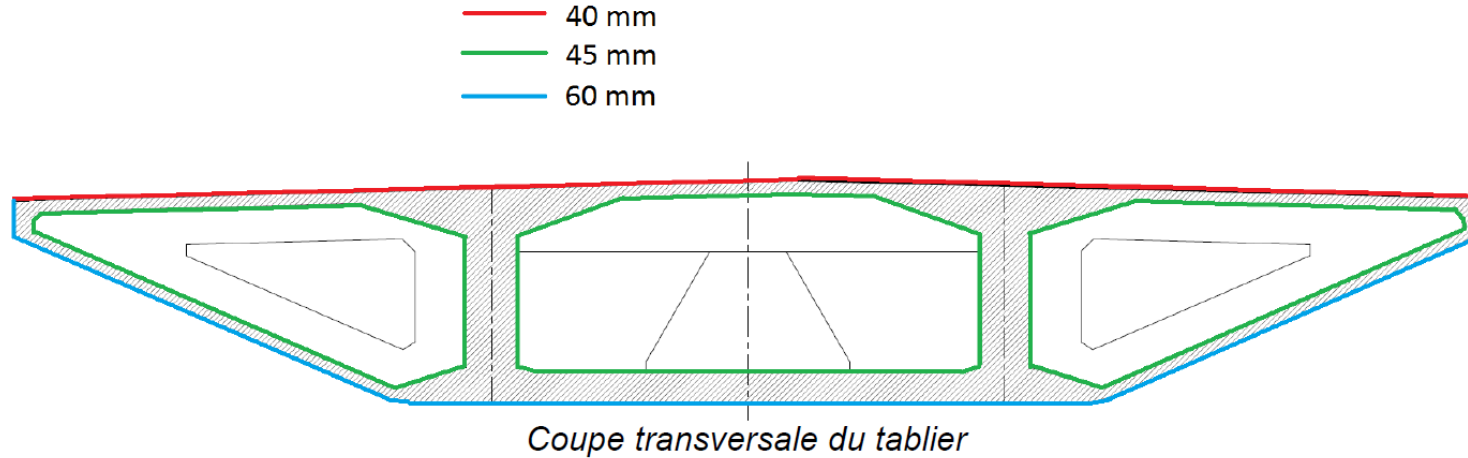
*Viaduc de Drancy
(18 m – 1997)*

*Pont de Normandie
(22,30 m – 1989)*



TABLIER – ferrailage passif

Incidence des Eurocodes - Enrobages



Selon BPEL 91 (environnement marin – béton B45) : 40 mm

=> Incidence sur les aciers de flexion



Ferraillage du tablier – Incidence des nouvelles règles de calcul

Eurocode 1 – Charges de flexion locale du hourdis

- Essieux de 30 t au lieu d'essieux de 12 t dans le règlement français (fascicule 61 titre II)

Agréments techniques Européens des procédés de précontrainte :

Définissent les quantités minimum d'acier de frettage à mettre en œuvre à proximité immédiate des ancrages : Quantités x 2 par rapport aux anciens agréments ministériels et aux quantités évaluées à travers les anciens règlements de calcul (BPEL)

Aciers de diffusion de la précontrainte - Application des guides CEREMA :

- « Eurocode 2 – Application aux ponts-routes en béton »
- « Diffusion des efforts concentrés

⇒ Majoration de 33 % de la quantité d'aciers de diffusion

Eurocodes 2 – Longueurs de recouvrement des aciers passifs :

- 44 Ø au lieu de 28 Ø selon le BPEL

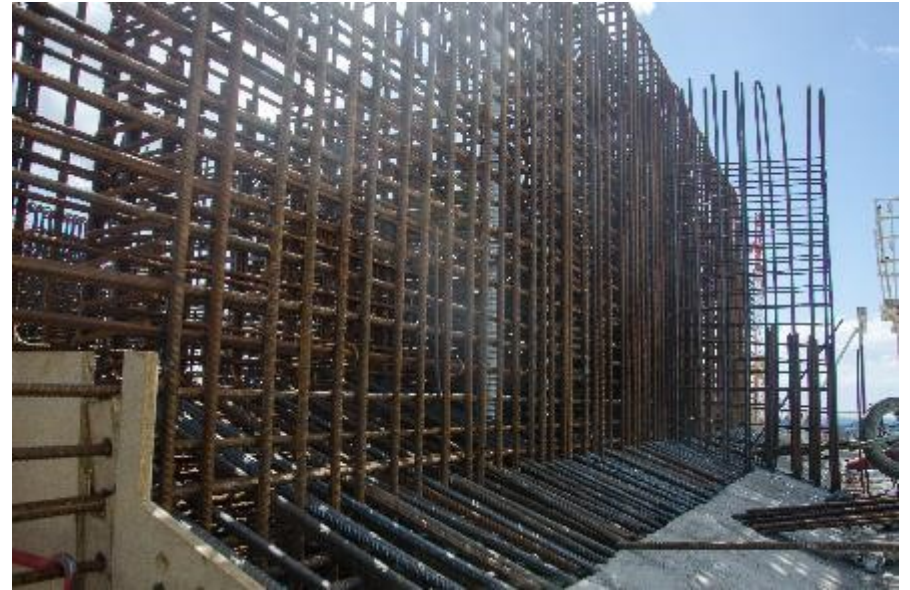
TABLIER – Ferrailage passif

- Optimisations aciers longitudinaux
 - Enveloppes concomitantes pour les calculs de flexion
 - Ferrailage minimal défini pour chaque zone
- Optimisations aciers transversaux
 - Inclinaison optimale des bielles de béton
- Optimisations aciers longitudinaux
 - Manchons au niveau des voussoirs déviateurs



Ferrailage du tablier – Incidence des nouvelles règles de calcul

Importantes densités *d'acier* :



Voussoir sur pile

Ferrailage du tablier – Incidence des nouvelles règles de calcul

Importantes densités *d'acier* :



Voussoir déviateur

AFGC, Viaduc de la Grande Chaloupe, 23 Novembre 2017



Ferrailage du tablier – Incidence des nouvelles règles de calcul

Importantes densités *d'acier* :



Voussoirs sur cintre

AFGC, Viaduc de la Grande Chaloupe, 23 Novembre 2017



Ferrailage du tablier – Incidence des nouvelles règles de calcul

Importantes densités d'acier :

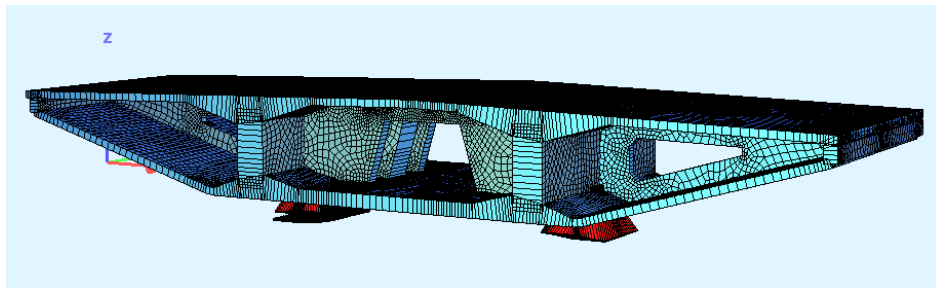


Voussoirs sur cintre

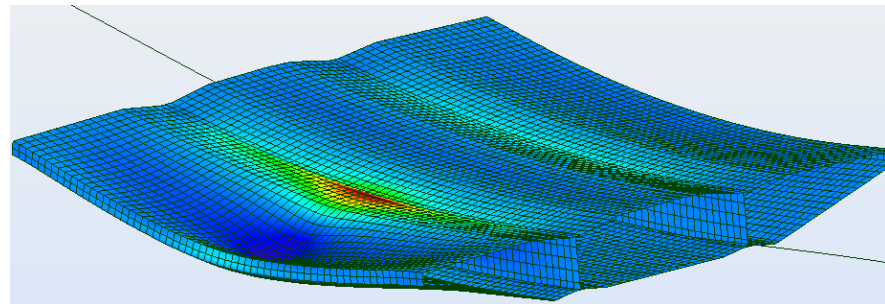
AFGC, Viaduc de la Grande Chaloupe, 23 Novembre 2017



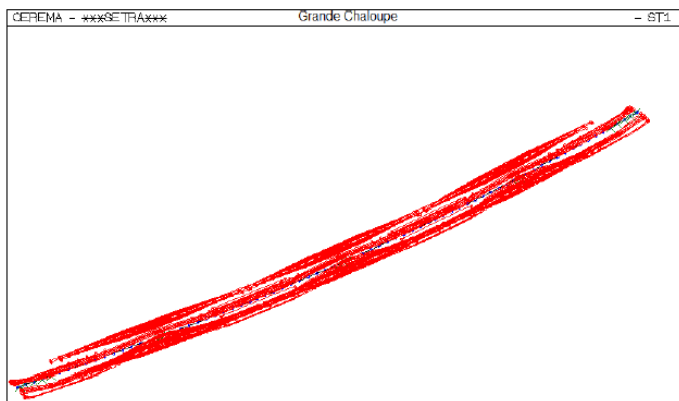
Etudes d'exécution - méthodes de calcul



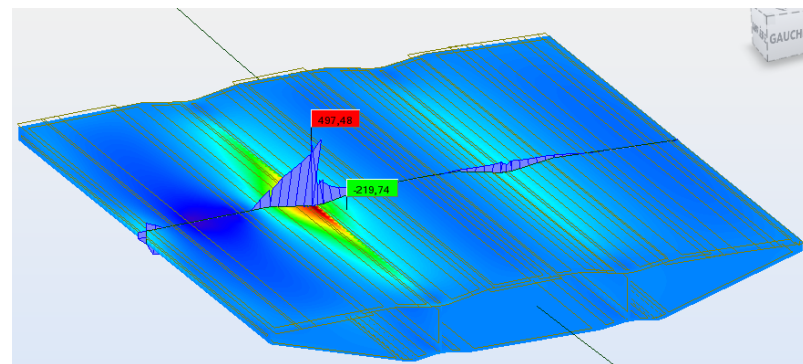
Etude du voussoir sur pile par
modélisation aux éléments finis



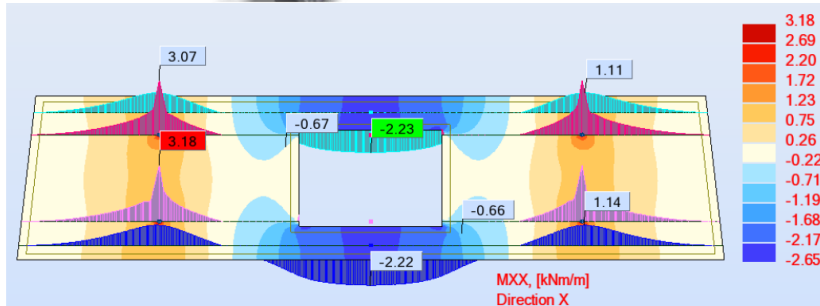
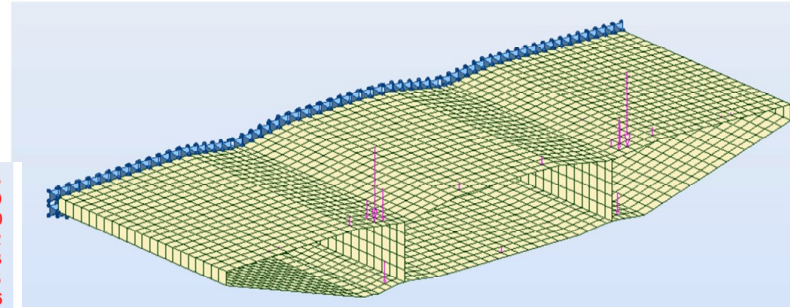
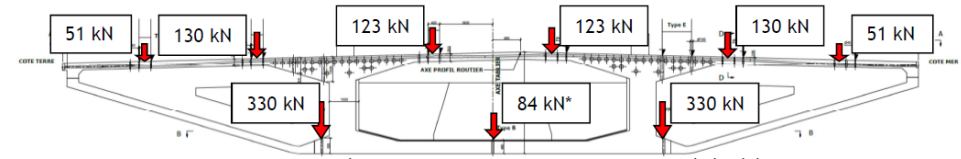
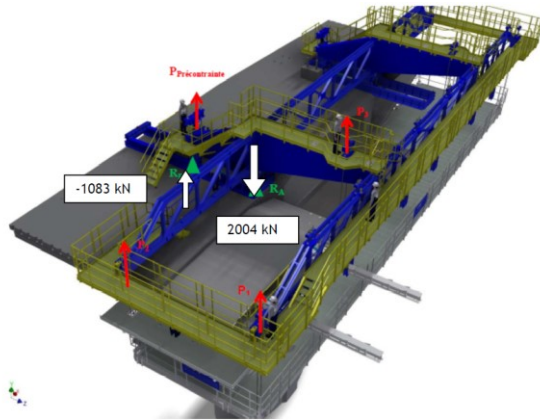
Etude de la flexion transversale du tablier
par modèle aux éléments finis



Etude de la flexion principale du tablier par
modèle filaire avec câblage



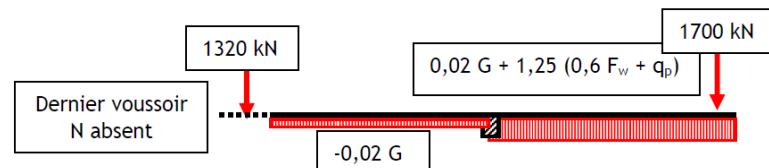
Etudes d'exécution – Vérifications en phases provisoires



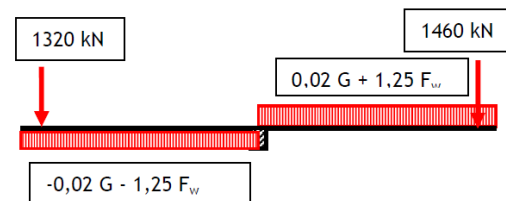
- Effet des charges appliquées par l'équipage mobile
- Prise en compte des réservations provisoires

Etudes d'exécution – Vérifications en phases provisoires

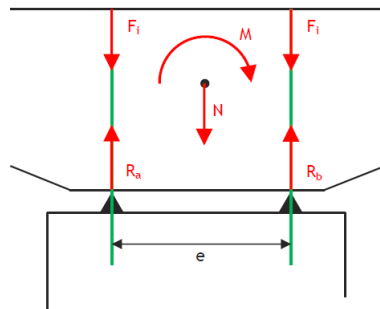
SITUATION EN COURS DE POSE



SITUATION CYCLONIQUE



Etude de la stabilité du fléau
Avec vent cyclonique :
173 kg/m² horizontal et 171 kg/m² vertical

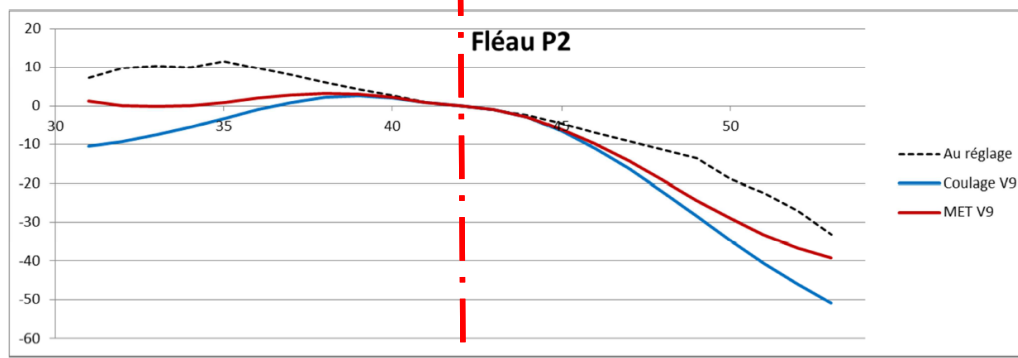
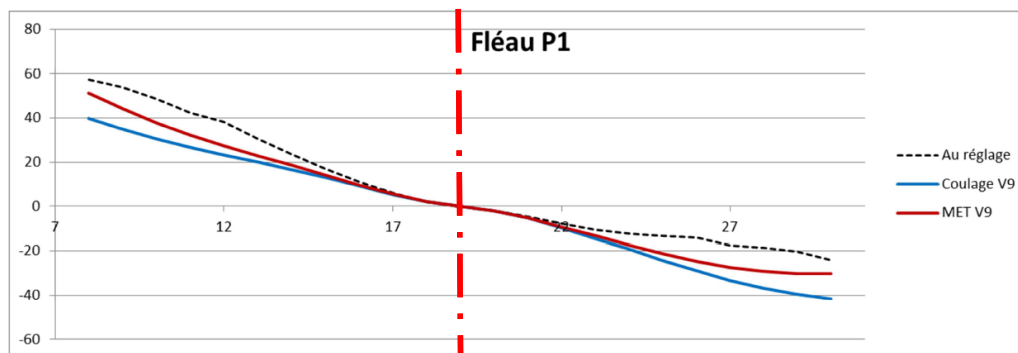


Etudes d'exécution – Contreflèches

Détermination par un calcul phasé de la pyramide des contreflèches :

Voussoir	Réglage	Niveaux relatifs par rapport au profil en long théorique en mm																Coul. MET	
IN9	57.4																	41	50.5
IN8	54																	36	43.5
IN7	48.7																	30.6	37.9
IN6	42.4																	26.7	32.3
IN5	38.1																	23.3	27.4
IN4	30.7																	20	22.8
IN3	23.7																	18.5	18.5
IN2	17.1																	13.1	14.2
IN1	11.2																	9.3	9.8
VSP1	5.9	5.8	6	5.9	6	5.9	6.1	5.9	6.1	5.8	6	5.7	5.9	5.6	5.8	5.5	5.6	5.3	5.4
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0	-0.1	0	0	0	0
	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
	-4.7	-4.8	-4.6	-4.7	-4.5	-4.6	-4.5	-4.6	-4.5	-4.7	-4.6	-4.8	-4.7	-5	-4.8	-5.1	-5	-5.3	-5.2
LS1	-8	-8.2	-7.6	-7.9	-7.3	-7.7	-7.1	-7.6	-7.1	-7.9	-7.5	-8.3	-7.8	-8.6	-8.1	-9.1	-8.6	-9.8	-9.3
LS2	-10.5																		
LS3	-12.3																		
LS4	-13.5																		
LS5	-14.1																		
LS6	-17.5																		
LS7	-18.6																		
LS8	-20.5																		
LS9	-24.1																		

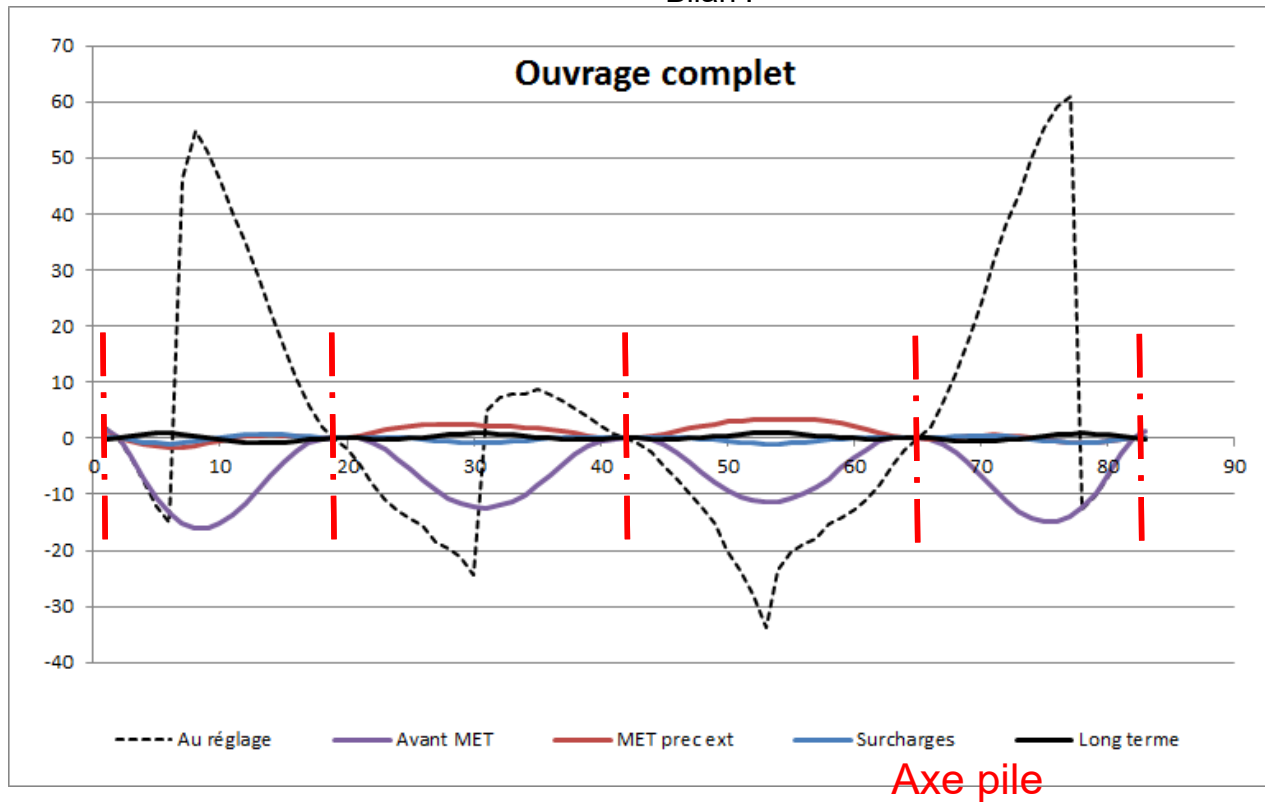
2N9	7.3																		
2N8	9.8																		
2N7	10.5																		
2N6	10.1																		
2N5	11.6																		
2N4	9.8																		
2N3	8																		
2N2	6.1																		
2N1	4.3																		
VSP2	2.6	2.5	2.6	2.6	2.7	2.6	2.7	2.6	2.8	2.5	2.6	2.4	2.5	2.3	2.4	2.1	2.3	2	2.1
	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0	0	0	0	0	0
	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	-2.4	-2.5	-2.4	-2.4	-2.3	-2.4	-2.3	-2.4	-2.3	-2.4	-2.3	-2.4	-2.3	-2.5	-2.4	-2.6	-2.9	-2.7	-3
2S1	-4.7	-4.9	-4.4	-4.6	-4.1	-4.5	-3.9	-4.4	-3.9	-4.7	-4.3	-5.1	-4.5	-5.4	-4.9	-5.9	-5.4	-6.6	-6.1
2S2	-7																		
2S3	-9.2																		
2S4	-11.4																		
2S5	-13.6																		
2S6	-19																		
2S7	-22.5																		
2S8	-27																		
2S9	-33.2																		



Axe pile

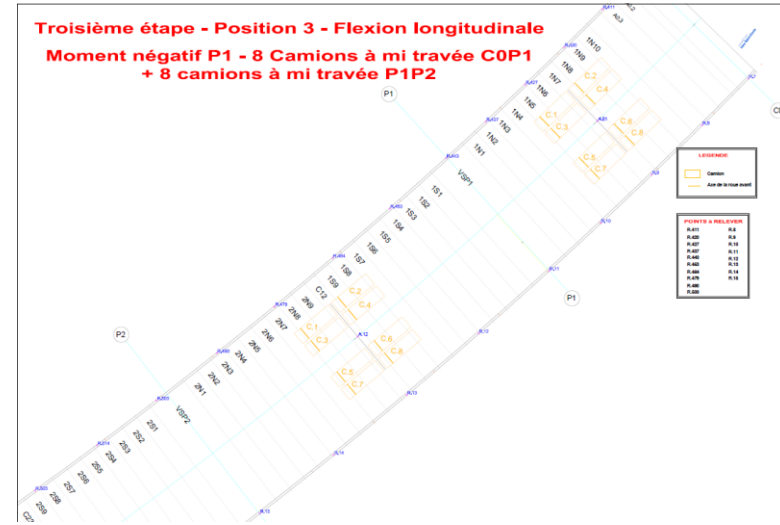
Etudes d'exécution – Contreflèches

Bilan :



Epreuves

- 16 camions de 32 t
- Flèche théorique maximum = 8 mm
- Flèche maximum mesurée = 10 mm dont 2 mm dus au gradient thermique

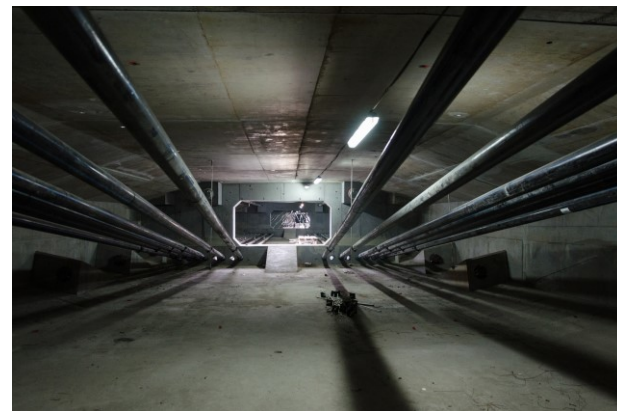


Etudes d'exécution - Synthèse



Contraintes de l'étude :

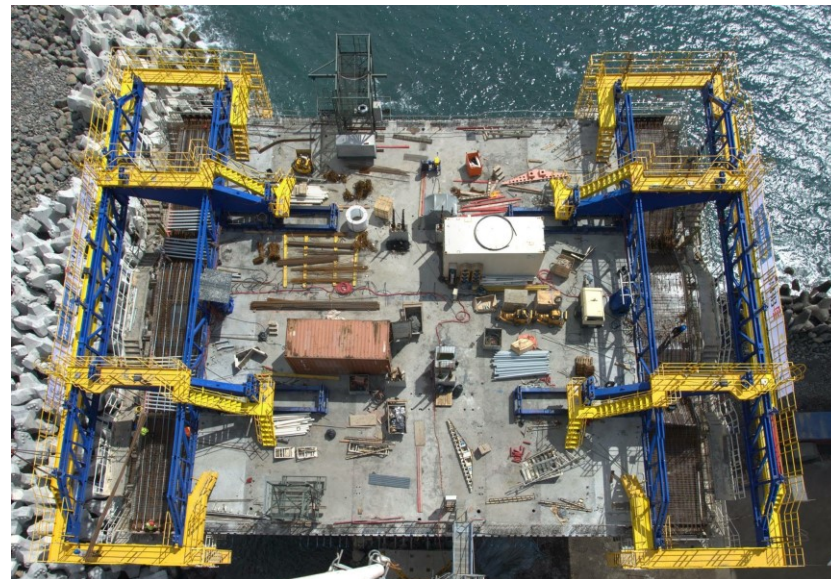
- Tablier courbe, élancé, de grande largeur
- Conditions cycloniques
- Environnement marin
- Différents modes de chargement (tram-train + route)













AFGC, Viaduc de la Grande Chaloupe, 23 Novembre 2017



MERCI DE VOTRE ATTENTION

