



© EFFAGE TP GRANDS TRAVAUX

# ÉCHANGEUR DE LA POINTE DES SABLES EN MARTINIQUE. CONSTRUCTION D'UN VIADUC PRÉCONTRAIT COULÉ SUR CINTRE

AUTEURS : MARCO NOVARIN, CHEF DÉPARTEMENT ÉTUDES OUVRAGE D'ART, EFFAGE TP / DMI BIÉP - JONATHAN STAMP, INGÉNIEUR D'ÉTUDES OUVRAGES D'ART, EFFAGE TP / DMI BIÉP - GUILLAUME DUMONTET, DIRECTEUR DE TRAVAUX, EFFAGE TP GRANDS TRAVAUX - SÉBASTIEN LEBRANCHU, GÉRANT COFFRAGE&EQUIPAGE

LE PROJET S'INSCRIT DANS LE CADRE DE L'AMÉNAGEMENT, PROGRAMMÉ PAR LA RÉGION MARTINIQUE, DE L'ÉCHANGEUR DE LA POINTE DES SABLES EN VUE DE PERMETTRE LE PASSAGE DE LA FUTURE LIGNE DE BUS À HAUT NIVEAU DE SERVICE (BHNS) QUI RELIERA À L'HORIZON 2015 FORT DE FRANCE À L'AÉROPORT DU LAMENTIN. POUR FLUIDIFIER LE TRAFIC, LA VOIE DE BUS (TCSP) ET LES DEUX BRETÈLLES EXISTANTES SERONT DÉNIVELÉES EN UN VIADUC DE 740 M DE LONG, CONSTITUÉ D'UN TABLIER EN CAISSON PRÉCONTRAIT COULÉ EN PLACE. LE PRÉSENT ARTICLE DÉCRIT PLUS EN DÉTAIL LA PHASE D'EXÉCUTION DU VIADUC : LA VARIANTE RÉALISÉE, LES MÉTHODES SPÉCIFIQUES D'EXÉCUTION ET LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX.

## DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage se compose de trois tabliers distincts en béton précontraint coulés sur cintre, notés A, B et C, chacun desservant un type de circulation et une direction particulière (figure 2) :

- Le tablier A (voie TCSP), d'un linéaire de 320 m environ, est appuyé sur 10 piles (P2 à P11) et 2 culées (C1 et C12) ; 11 travées : 25 m + 9\*30 m + 25 m ;

- Le tablier B (bretelle de sortie pour accès au Port) présente une longueur totale de l'ordre de 218 m et il est appuyé sur 7 piles (P2 à P8) et 2 culées (C1 et C3) ; 8 travées : 25 m + 5\*30 m + 18 m + 25 m ;
- Le tablier C (bretelle de sortie pour accès à l'hôpital) présente une longueur totale de l'ordre de 170 m et est appuyé sur 5 piles (P2 à P6) et 2 culées (C1 et C7) ; 6 travées : 25 m + 4\*30 m + 25 m.

1- Vue d'ensemble du viaduc précontraint en cours de construction, mai 2015.

1- General view of the prestressed viaduct in course of construction, May 2015.

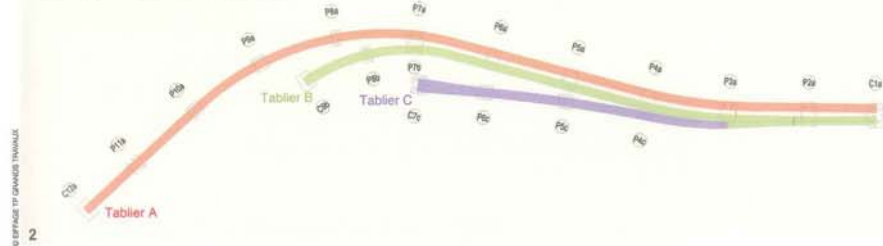
## PILES

Les piles en béton C35/45 (d'une hauteur variable de 4,20 m à 6,40 m) sont fondées soit sur semelles superficielles en béton C25/30 de 9 m x 5 m x 1,5 m d'épaisseur (12 appuis), soit sur pieux (Ø 1 200 mm - 15 m de long) réalisées à la tarière avec foreuse montée sur grue à chenille (8 appuis).

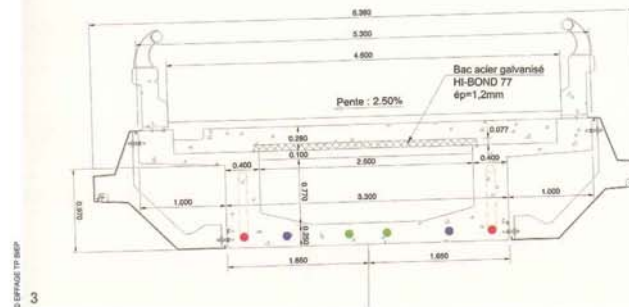
## CULÉES

Les culées en béton C35/45 sont

## VUE EN PLAN DE L'OUVRAGE

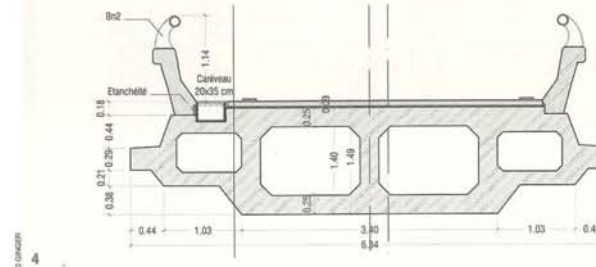


## COUPE TRANSVERSALE TYPE DU TABLIER RÉALISÉ



2- Vue en plan de l'ouvrage.  
3- Coupe transversale type du tablier réalisé.  
4- Coupe transversale type du tablier du dossier DCE.

## COUPE TRANSVERSALE TYPE DU TABLIER DU DOSSIER DCE



## ÉTUDES D'AVANT-PROJET ET D'EXÉCUTION - VARIANTE RÉALISÉE

L'appel d'offres était ouvert aux variantes de fondations et de tablier. La géométrie routière (profil en long, pentes, et dévers), la coupe fonctionnelle, les coffrages des piles et des culées du projet de base devaient toutefois être respectés. Les études de prix et des méthodes constructives du projet de base réalisées par l'entreprise dans le cadre de la préparation de l'offre avaient rapidement montré que le tablier en caisson multicellulaire en béton armé (figure 4) était une solution relativement onéreuse, du fait notamment de la quantité de béton à mettre en œuvre, de la complexité du coffrage et du délai réduit de réalisation des travaux. D'autre part, l'ouvrage étant situé en zone de forte sismicité (zone 5), la masse importante du tablier et la prépondérance des sollicitations sismiques qui en résultent, sont fortement pénalisantes pour les fondations. >

constituées d'une semelle superficielle ou sur pieux Ø 1 200 mm et d'un chevron d'appui architectural. Pour accéder à l'ouvrage, des rampes d'accès de type cadre fermé sont prévues à l'arrière des culées. Des joints séparent les culées de l'ouvrage de ces rampes d'accès.

## TABLIER

La structure du tablier en béton C40/50 précontraint est constituée

d'un U de 1,12 m de hauteur, fermé par une dalle de 28 cm d'épaisseur avec des encoffrements de 1 m en zone courante. Le caisson est habillé de part et d'autre d'une corniche métallique en sous-face des encoffrements. En travée, les U sont bétonnés sur cintre avec une précontrainte isostatique par post tension dans le hourdis inférieur constituée de quatre câbles 16T15S, à raison de deux câbles par âme.

Dans les âmes sont disposés deux câbles de continuité 19T15S, à raison d'un câble par âme. Leur mise en tension est réalisée après bétonnage des voussoirs sur pile ou culée. La dalle est coulée sur des bacs en acier après la mise en tension des câbles de continuité. On présente à titre indicatif la coupe transversale du tablier en travée (figure 3).

Pour ces raisons, le bureau d'études d'Eiffage TP a envisagé de simplifier et d'alléger la section transversale du tablier en attribuant à chaque voie une nervure sous hourdis.

Pour améliorer la durabilité de l'ouvrage, une structure en béton précontraint a été retenue.

Afin de limiter la quantité d'étalement à mettre en œuvre, il a été décidé de couler le tablier en deux phases, les U avec les encoffrements d'abord, le hourdis ensuite.

Les U avec les encoffrements, rendus continus après réalisation des clavages sur pile, servent ainsi de cintre pour le coulage du hourdis. La précontrainte (figure 5), dont les bossages sont situés à l'intérieur des U, a été répartie en deux familles :

- Les câbles isotostatiques pour le décentrement des caissons et la reprise des moments en travée ;
- Les câbles de continuité pour la reprise des moments sur appui.

Le tablier a pris l'aspect d'un mono, bi ou tri caisson selon les voies portées. Quant aux fondations, de la diminution du poids du tablier découle la possibilité d'une optimisation du nombre ou de la longueur des pieux et, dans certains cas, le passage sur fondations superficielles.

Cela s'est traduit par le passage de 10 piles et culées de fondations sur pieux à des fondations superficielles et par une réduction significative de la longueur des pieux forés en Ø 1200 mm.

#### MÉTHODES D'EXÉCUTION ET DEROULEMENT DES TRAVAUX

L'échangeur étant circulé par plus de 130 000 véhicules jour, le phasage de construction du viaduc a été conçu pour maintenir en permanence les voies circulées.

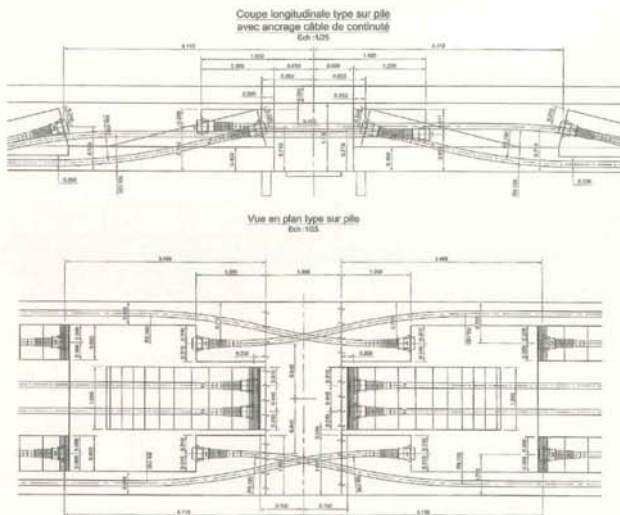
#### PLANNING DES TRAVAUX

Le délai global des travaux est de 21 mois, décomposé en trois phases rythmées par des dévoilements successifs de circulation en fonction de l'avancement des travaux (figure 6) :

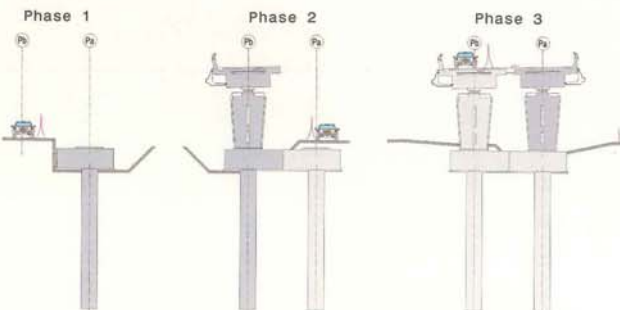
**Phase 1 - Réalisation des demi semelles du Viaduc A de C1 à P7 : durée 3 mois**

Cette phase consiste à déplacer les réseaux et dévoyer la circulation pour libérer les emprises travaux des appuis C1 à P7 du Viaduc A. Les semelles des Viaducs A/B/C étant communes de C1 à P7, les semelles ont été coulées par moitié à l'aide de reprise de bétonnage manchonnée.

### VUE EN PLAN ET COUPE - CÂBLAGE DE PRÉCONTRAÎTE



### PHASAGE TRAVAUX



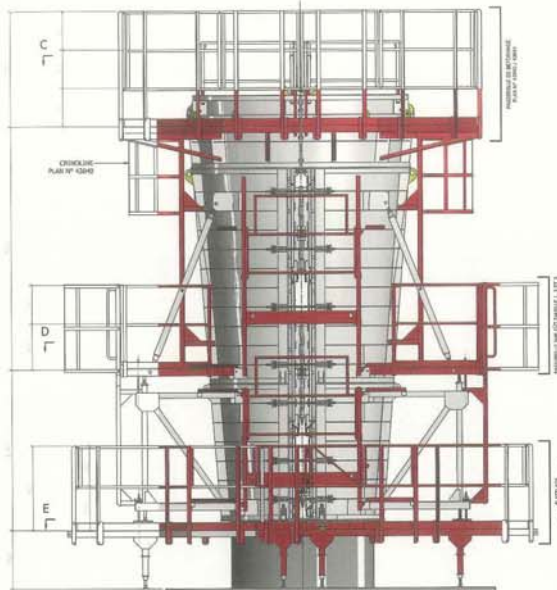
**Phase 2 - Réalisation des semelles, piles et tabliers des Viaducs B et C : durée 14 mois**  
La circulation est déviée sur les demi-semelles réalisées du Viaduc A pour libérer les emprises travaux des appuis C1 à P7 du Viaduc A. Les semelles des Viaducs A/B/C étant communes de C1 à P7, les semelles ont été coulées par moitié à l'aide de reprise de bétonnage manchonnée.

5- Vue en plan et coupe - Câblage de précontrainte.  
6- Phasage travaux.  
5- Plan view and cross section - Prestressing cabling.  
6- Work sequencing.

**Phase 3 - Réalisation des piles et tablier du Viaduc A : durée 4 mois**  
La circulation est ensuite déviée sur le tablier du Viaduc C pour libérer les emprises des appuis et du tablier du Viaduc A.

**LA RÉALISATION DES APPUIS**  
Malgré la forme elliptique de la pile et son évidement central coiffé d'un chevron, l'entreprise a réajusté la hauteur de la fausse levée de manière à harmoniser les hauteurs des piles, permettant ainsi de se limiter à trois familles de piles et de concevoir un outil métallique sur mesure (figures 7 et 8). Au regard du ferrailage dense des piles (qui s'explique par une section de béton réduite en son embase), le chantier a porté une vigilance particulière sur le positionnement et la verticalité des attentes (40 HA40) afin d'assurer à l'aide d'un gabarit la mise en place des cages préfabriquées du fût de pile. Les cadences de réalisation d'une pile

### OUTIL COFFRANT



© CONFIDENCE/EP

ner en une fois à l'aide d'un coffrage négatif bridé sur deux coquilles. Cette solution a permis de garantir une qualité de parement optimale ainsi qu'un gain significatif sur le planning. Le climat étant tropical, la solution de coffrage bois n'a pas été retenue. En effet, compte tenu du nombre de réemplois (20 réutilisations), les peaux des coffrages en bois, certes moins coûteuses, auraient dû être changées après 5 réutilisations.

L'entreprise a donc adapté la hauteur de la fausse levée de manière à harmoniser les hauteurs des piles, permettant ainsi de se limiter à trois familles de piles et de concevoir un outil métallique sur mesure (figures 7 et 8). Au regard du ferrailage dense des piles (qui s'explique par une section de béton réduite en son embase), le chantier a porté une vigilance particulière sur le positionnement et la verticalité des attentes (40 HA40) afin d'assurer à l'aide d'un gabarit la mise en place des cages préfabriquées du fût de pile. Les cadences de réalisation d'une pile

- 7- Outil coffrant.
- 8- Coffrage de pile.
- 7- Sectional formwork.
- 8- Pier formwork.

initialement prévues à 7 jours ont pu être ramenées à 4 jours par la mise en place d'un second jeu d'outil intérieur.

#### LA RÉALISATION DES TABLIERS

Le déroulement de réalisation des tabliers est le suivant (figures 9 et 10) :

© EIFFAGE TP GRANDS TRAVAUX



- Bétonnage sur cintre et boîtes à sable du caisson en U de la travée N (entre les piles P1 et P2) ;
- Mise en tension en actif/passif des câbles de précontraintes isotostatiques (16T15S) de la travée N, la résistance du béton requise étant de 30 MPa ;
- Décintrement de la travée N ;
- Bétonnage des caissons en U des travées N+1 et N+2 ;
- Bétonnage des voussoirs sur piles (VSP 1, 2 et 3) ;
- Mise en tension en actif/passif des câbles de continuité (19T15S) régnant sur les deux travées consécutives N et N+1 dès que la résistance du béton des VSP atteint 30 MPa ;
- Libération des appuis et dépose des boîtes à sable ;
- Fermeture des caissons à l'aide de bacs en acier ;
- Bétonnage des hourdis.

#### LES DISPOSITIONS RETENUES PAR L'ENTREPRISE

La construction d'un tel ouvrage en béton précontraint post tension est rendue complexe par l'environnement très contraint du site :

- Réseaux enterrés et aériens ;
- Proximité des riverains - emprise réduite ;
- Climat tropical ;
- Proximité du réseau routier avec l'autoroute A1, ses bretelles d'entrée et de sortie et son échangeur.

#### Proximité des réseaux enterrés (HTA, HTB 63KV, AEP, EU, EP, Télécoms, Fibres...)

L'entreprise s'est astreinte à demander à ses sous-traitants, avant chaque démarrage de travaux de fouilles ou de forages, d'établir une étude d'adéquation reprenant la liste des réseaux à proximité, les DICT des réseaux présents sur zone, les plans de terrassements avec superposition des réseaux existants et déviés et le matériel utilisé.

Avant démarrage des travaux, un point d'arrêt est formalisé sur site en présence du maître d'œuvre, de l'entreprise, du chef de chantier réalisant les travaux et du conducteur d'engin. Proximité des réseaux aériens (HTB 63KV)

Une partie de l'ouvrage à construire étant située sous une ligne Haute Tension de 63 KV (tablier à une distance de 11 m de la ligne), les méthodes de construction ont été adaptées pour limiter au strict minimum les mises hors tension auprès d'EDF.

Certains travaux (tels que les phases de bétonnage ou d'approvisionnement des cages de ferrailage), nécessitent d'entrer dans la zone de sécurité des 5 m par rapport à la ligne, la mise hors tension est alors inévitable.

Pour les travaux en dehors de la zone de sécurité des 5 m, les engins de levage sont équipés d'un détecteur de champ magnétique.

Cet équipement, monté en bout de télescope, coupe le mouvement de la grue et avertit le conducteur par un signal sonore et lumineux dès que le télescope se trouve à 5 m de la ligne. Pour compléter ces mesures de prévention, un registre quotidien est tenu par le grutier et des surveillants électriques ont été formés.

**Proximité des riverains**

Les emprises travaux étant réduites, les moyens de levage ont dû être étudiés au plus juste. Les coffrages de caissons ont été équipés de roues (poids du coffrage de 750 kg) pour pouvoir être translatés sur les platelages des cintres jusqu'aux zones de couverture des grues mobiles (figure 11).

Les coffrages perdus des hourdis, initialement prévus en prédalles BA, ont été remplacés par des bacs en acier qui ont pu être manutentionnés à la main. Cela a permis de limiter les opérations de levage.

**Climat tropical - Incidence sur les travaux de précontraintes**

Le taux d'humidité ambiant, les embruns et les températures étant plus

élevés dans les départements d'Outre Mer, l'entreprise a dû être vigilante sur le stockage des bobines de torons et des gaines de précontrainte, pour éviter une oxydation de l'acier.

Les gaines et bobines ont donc été bâchées et recouvertes d'huile soluble tous les 15 jours.

Le ciment Superstressem injecté dans les gaines une fois les câbles mis en tension (figure 12) a été stocké dans un conteneur réfrigéré et la mise en œuvre s'est faite avec de l'eau à 5°C pour retarder la montée en température du coulis au moment de sa mise en œuvre (30°C maxi).

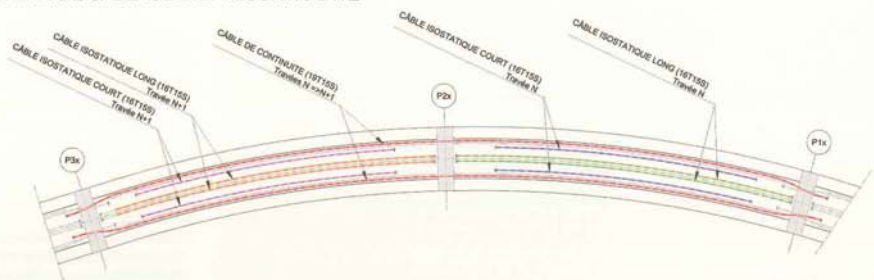
**Milieu insulaire - Moyens humains et matériels adaptés**

Au regard de la géométrie des caissons, tantôt simple, double ou triple, en courbe, déversée à 2,5% avec une pente longitudinale variable, il n'a pas été possible de recourir à des plateaux coffrants.

9- Plan de câblage de précontrainte.  
10- Vue aérienne des caissons.

9- Prestressing cabling drawing.  
10- Aerial view of box sections.

**PLAN DE CÂBLAGE DE PRÉCONTRAÎTE**

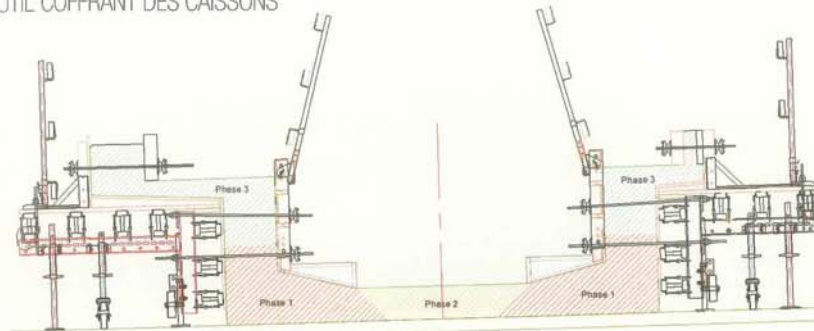


9



10

**OUTIL COFFRANT DES CAISSONS**



11



12

13

11- Outil coffrant des caissons.

12- Caisson décoffré après mise en précontrainte.

13- Cintre d'une travée avec platelage.

14- Solution N°1 Levage.

11- Sectional formwork for box sections.

12- Box section with formwork removed after prestressing.

13- Centre of a span with decking.

14- Solution 1 Lifting.

**SOLUTION N°1 - LEVAGE**



14

Les cintres ont donc été simplifiés au maximum (figure 13) et sont composés de tours Mills de 1,60 m x 1,60 m, de poutrelles primaires en aluminium de type PHAL P1 et de poutrelles en bois de type H20 en secondaire tous les 20 cm. Dans un contexte insulaire, il a été préféré former des monteurs d'étalement afin d'éviter de recourir à la sous-traitance, prestation qui au regard du phasage et des conditions d'accès aurait été difficilement contractualisable sans réclamation.

De plus, lors de chaque approvisionnement un comparatif financier a dû être mené entre un achat local et métropolitain.

Le coût du transit et des octrois de mer et le délai d'approvisionnement (1 mois) ont dû être pris en compte.

## SOLUTION N°2 - CALAGE SUR CAMARTEAUX

Proximité du réseau routier -  
Mise sur appuis définitifs des  
travées du tablier

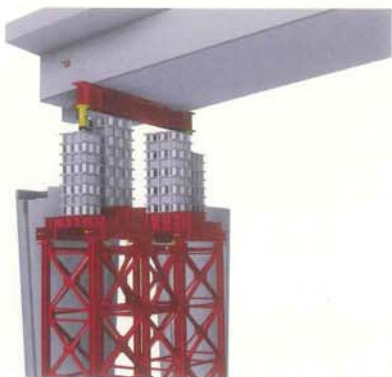
Trois travées franchissent les artères principales de Fort de France et ces dernières doivent impérativement être maintenues en circulation pendant toute la durée du chantier. Aussi, compte tenu de l'encombrement des coffrages en sous-face du tablier, ces travées devaient être réalisées à 1,2 m au-dessus de leur position définitive afin de maintenir la disponibilité du gabarit routier sous ouvrages.

Après bétonnage des caissons sur des chandelles, un des enjeux était donc de décentrer ces travées de 30 m de long pour 165 t pour les placer sur leurs appuis définitifs tout en générant le moins de désagrément possible pour les usagers routiers et les riverains. Pour ce faire, la première solution envisagée consistait à lever puis à déposer chaque travée au moyen de 2 grues mobiles placées à chaque extrémité de la travée (figure 14). Cependant, la complexité de l'environnement (peu d'espace disponible au sol et présence d'une ligne électrique haute tension de 63 kV) ainsi que les risques liés à une telle opération à proximité des

habitations, ont conduit l'entreprise à abandonner cette méthode.

La deuxième solution étudiée consistait à reprendre provisoirement le poids propre de la travée sur 4 tours d'étalement associées à une compensation sur camarteaux pour la déposer par décentrage sur ses appuis définitifs. (figure 15).

Cependant, un tel calage sur 1,2 m de haut combiné à la forme complexe



15

© COFFRAGE&COUPAGE

15- Solution N°2.  
Calage sur  
camarteaux.  
16- Solution N°3  
Descenseur.

15- Solution 2  
Bracing on  
stacks.

16- Solution 3  
Descent device.

des travées (rayon plan de 100 m, dévers de 2,5 % et pente longitudinale de 9,65 %) pose des problèmes de stabilité. De plus, la manipulation de 120 camarteaux en HEB-200 de 45 kg unitaire induirait une pénibilité pour les compagnons.

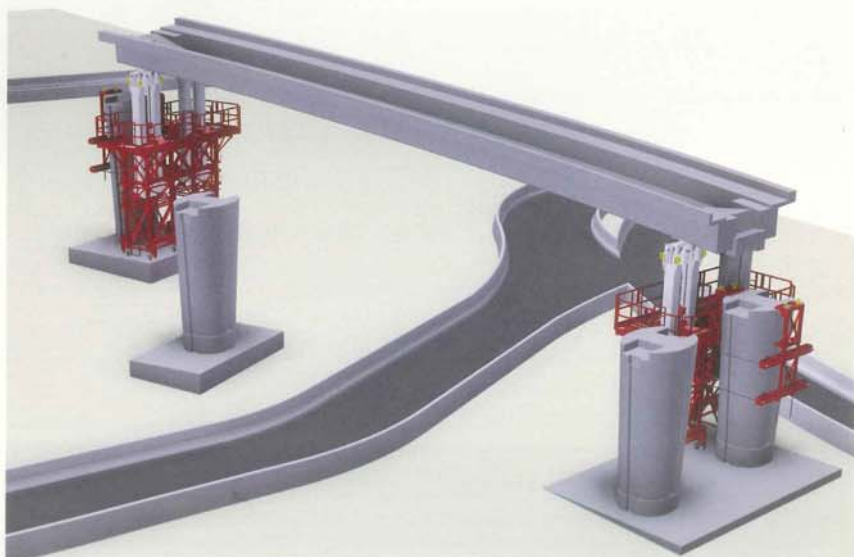
Après ces constats, il apparaissait clairement que l'enjeu était de maîtriser la stabilité de la travée lors de la descente sur appuis ainsi que la sécurité du personnel à proximité.

Aussi, l'entreprise a-t-elle confié à la société Coffrage&Equipage l'étude d'une troisième solution de descente des travées au moyen de palées de stabilité. Il s'agit de 4 tours métalliques ancrées aux piles de l'ouvrage et associées à un système hydraulique (figure 16).

La travée est en appui sur les palées par l'intermédiaire d'appuis rotulés s'adaptant à la surface bise de la sous-face du tablier, afin de diffuser les efforts tout en maîtrisant la stabilité. À chaque extrémité de la travée, 2 palées sont positionnées et espacées de 2,9 m afin de conserver le centre de gravité de la travée béton dans la surface de sustentation du dispositif.

Chaque palée est équipée d'une coulisse associée à un vérin hydraulique

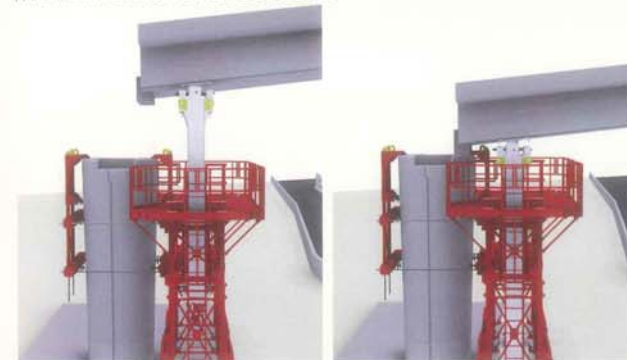
## SOLUTION N°3 - DESCENSEUR



16

© COFFRAGE&COUPAGE

## TRAVÉE AVANT ET APRÈS DESCENTE



© COFFRAGE&COUPAGE

17

de capacité 100 t avec une course de 200 mm et 2 barres de brélage. Le principe est de descendre la travée par passes de 20 cm simultanément sur les 4 palées, en reprenant la descente de charges tantôt sur le vérin tantôt sur les barres de brélage (figure 18). Le transfert des charges à la fin de chaque cycle permet de libérer les vérins et de reprendre le cycle pour descendre à nouveau de 20 cm. L'opération de

17- Travée  
avant et après  
descente.  
18- Dispositif  
de descente.

17- Span  
before and  
after lowering.  
18- Descent  
device.



© COFFRAGE&COUPAGE

18

### ABSTRACT

#### POINTE DES SABLES INTERCHANGE IN MARTINIQUE. CONSTRUCTION OF A CAST-IN-SITU PRESTRESSED VIADUCT

MARCO NOVARIN, EIFFAGE TP / DMI BIEP - JONATHAN STAMP, EIFFAGE TP / DMI BIEP - GUILLAUME DUMONTET, EIFFAGE TP - SEBASTIEN LEBRANCHU, COFFRAGE&COUPAGE

The project forms part of the development, planned by the Martinique Region, of the Pointe des Sables interchange to allow passage of the future high-service-level ('BHNS') bus line which, by around 2015, will connect Fort-de-France to Lamentin airport. To increase the fluidity of traffic, the bus lane (reserved right-of-way public transport) and the two existing slip roads will be grade-separated by a viaduct 740 m long, consisting of a cast-in-situ prestressed box section deck. This article describes the viaduct construction phase in detail: the variant produced, the specific execution methods and works' performance. □

descente de la travée béton est ainsi réalisée en 6 cycles, permettant de placer la travée sur ses appuis définitifs en 1 heure (figure 17). Cet outil est classé en appareil de levage et a été conçu

en respectant la Directive Machine 2006/42 CE. Au-delà de sa fonction première de levage, une attention particulière a été apportée pour intégrer l'ergonomie au poste de travail. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### TERRASSEMENTS :

- Déblai : 11 400 m<sup>3</sup>
- Remblais : 2 380 m<sup>3</sup>
- Soutènement : 1 780 m<sup>3</sup>

### GÉNIE CIVIL :

- Pieux Ø 1 200 mm : 1 200 m
- Béton : 6 900 m<sup>3</sup>
- Coffrage : 13 200 m<sup>2</sup>
- Aciers HA : 850 t
- Étanchéité : 4 500 m<sup>2</sup>
- Barrière BN1 et comiche : 1 110 m

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

### MAÎTRE D'OUVRAGE :

- Conseil Régional de la Martinique

### MAÎTRISE D'ŒUVRE :

- Groupement Ginger / Mimram / Geode / Jnc / Dynaloc
- GROUPEMENT DE CONSTRUCTION :
- Eiffage TP Grands Travaux (mandataire - génie civil)
- Spie Fondations (pieux)

### PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS ET FOURNISSEURS :

- Études d'exécution génie civil : Eiffage TP - Dmi Biep
- Fourniture des bétons : France Béton
- Fourniture et pose des aciers de précontrainte : Eiffage TP - Viapontis
- Fourniture et pose des aciers HA : Ada (Armatures des Antilles)
- Fabrication des coffrages : Coffrage&Equipage / Peri
- Étalement : Mills
- Étanchéité : Seo Caraïbes
- Corniches : Tcmi

#### INTERCAMBIADOR DE LA PUNTA DE LAS ARENAS EN MARTINICA. CONSTRUCCIÓN DE UN VIADUCTO PRETENSADO COLADO CON CIMBRA

MARCO NOVARIN, EIFFAGE TP / DMI BIEP - JONATHAN STAMP, EIFFAGE TP / DMI BIEP - GUILLAUME DUMONTET, EIFFAGE TP - SEBASTIEN LEBRANCHU, COFFRAGE&COUPAGE

El proyecto se inscribe en el marco del planificación, programada por la Región Martinica, del intercambiador de la Punta de las Arenas para permitir el paso de la futura línea de autobús de tránsito rápido que comunicará, en 2015, Fort-de-France con el aeropuerto de Lamentin. Para hacer más fluido el tráfico, la vía de autobús (Transporte Público en Vía Propia) y los dos ramales de enlace existentes se desnivelarán en un viaducto de 740 m de largo, formado por un tablero en cajón pretensado colado in situ. Este artículo describe en detalle la fase de ejecución del viaducto: la variante realizada, los métodos específicos de ejecución y el desarrollo de las obras. □