

PONT HASSAN II Rabat Maroc

Jean Pierre Buys, Guy Sevoz, Stéphane Faure

Freyssinet international, 1bis rue du Petit Clamart, Batiment C-BP 135 78148 Vélizy-Villacoublay Cedex-France

Resumé

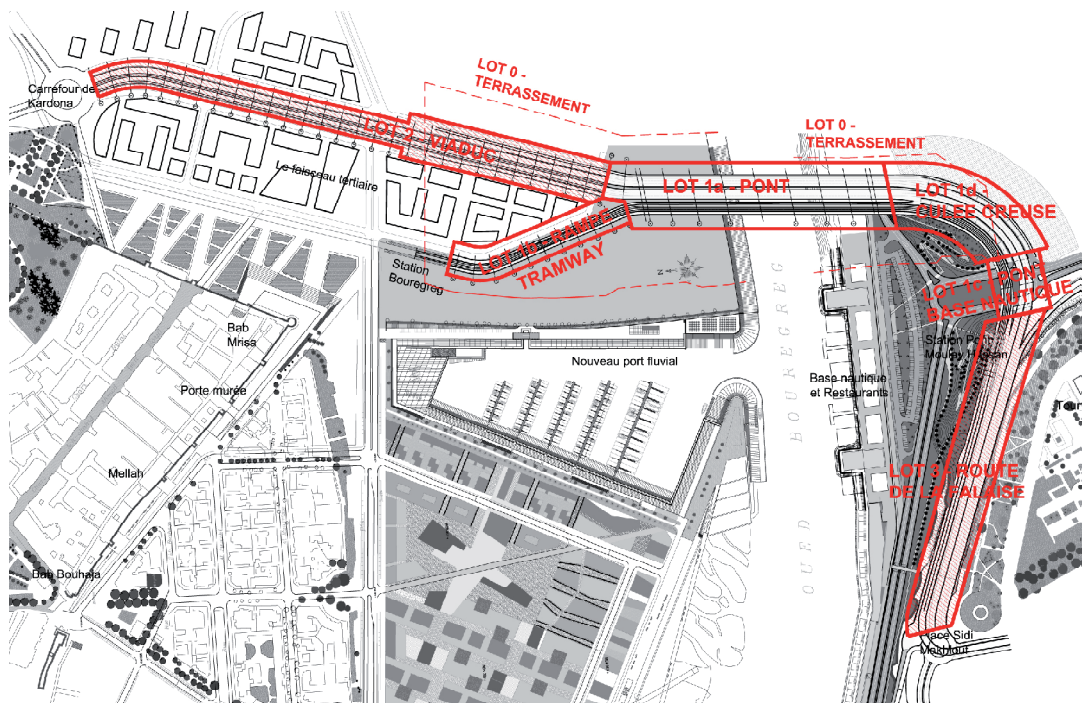
Lors de la construction par l'entreprise SGTM de ce nouveau Pont Hassan II, conçu par l'Architecte Mimram, la complexité de cette construction a fait appel aux études des phasages et des méthodes, ainsi que du personnel qualifié pour en assurer la réalisation. Certains points critiques, comme la pose des appuis collés sous les palmes, le vérinage et réglage des palmes, la précontrainte intérieure isolée ainsi que le phasage de pose pour équilibrer l'ouvrage, ont nécessité la réflexion, la mobilisation et le savoir-faire du Département Technique de Freyssinet International.

1 DESCRIPTION DE LA TOTALITE DE L'OUVRAGE

La totalité de l'ouvrage est divisé en quatre parties, Le Viaduc de Salé (longueur 300 m) , le Pont Hassan II sur le Bouregreg (longueur 330 m) 10 travées variables portée centrale de 76 m dont une culée creuse et le Pont Base Nautique (longueur 100 m).

Les deux premiers ouvrages ont été construit avec des éléments préfabriqués tandis que le Pont base nautique du à la complexité des coffrages fût coulé en place.

Notre article sera basé principalement sur l'ouvrage sur le Bouregreg.



Shéma descriptif de la totalité de l'ouvrage

2 DEFINITION DES PRESTATION DE FREYSSINET

Les prestations de Freyssinet ont portées sur :

- ✓ Etudes des méthodes générales de construction du viaduc du Bouregreg,
- ✓ Réglage des éléments préfabriqués du pont principal,
- ✓ Fourniture et mise en œuvre de la précontrainte intérieure et extérieure avec la particularité d'avoir utilisé de la précontrainte isolée sur le pont tramway,
- ✓ Fourniture et mise en œuvre des appuis à pot et des appuis néoprène,
- ✓ Fourniture et mise en place des joints de chaussée,
- ✓ Mission de conseil technique.

3 DESCRIPTION DU VIADUC DU BOUREGREG

le viaduc est constitué de 3 tabliers parallèles dont deux tabliers sont routier et le troisième réservé au passage du tramway.

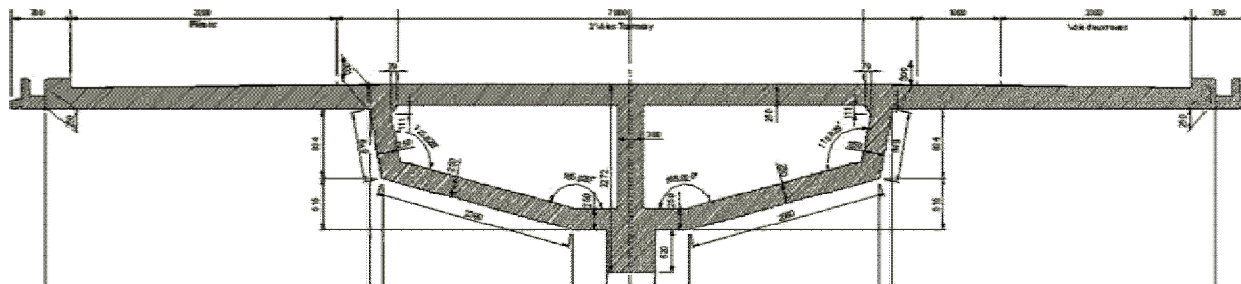
La structure est composée de trois ligne d'appuis (piles coulées en place), sur chaque lignes d'appui viennent se poser, par l'intermédiaire d'appuis à pot, 8 éléments préfabriqués communément appelé « palmes » (nom donné en raison de la forme), sur lesquelles viennent s'accrocher les éléments en encorbellement du hourdis supérieur (tablier de pont).

Les palmes sont reliées entre elles par des poutres longitudinales préfabriquées et contreventées par des béquilles coulées en place assurant la stabilité longitudinale de l'ensemble.

Les 3 lignes d'appuis sont connectées entre elles par des diaphragmes en bétons armé également coulés en place



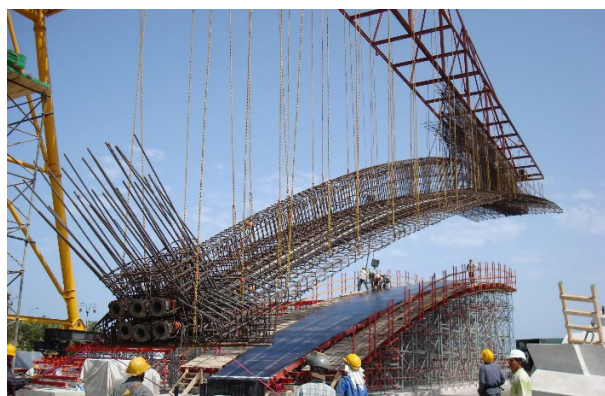
Perspective





Vues des coffrages et éléments préfabriqués

Un ban de préfabrication pour le ferrailage à également été fabriqué pour la préfabrication des cages d'armature, le ferrailage réceptionné la cage est déplacée sur le fond de moule du coffrage de la palme. Les gaines sont alors installées ainsi que les tromplaques montées aupréalable sur les masques d'about. Le coffrage est alors fermé et dès la réception le bétonnage peut avoir lieu. Après le décoffrage et le temps de séchage écoulé les palmes sont déplacées du coffrage vers des tours d'étalement pour y être stockées en attendant le transfert en position définitive.

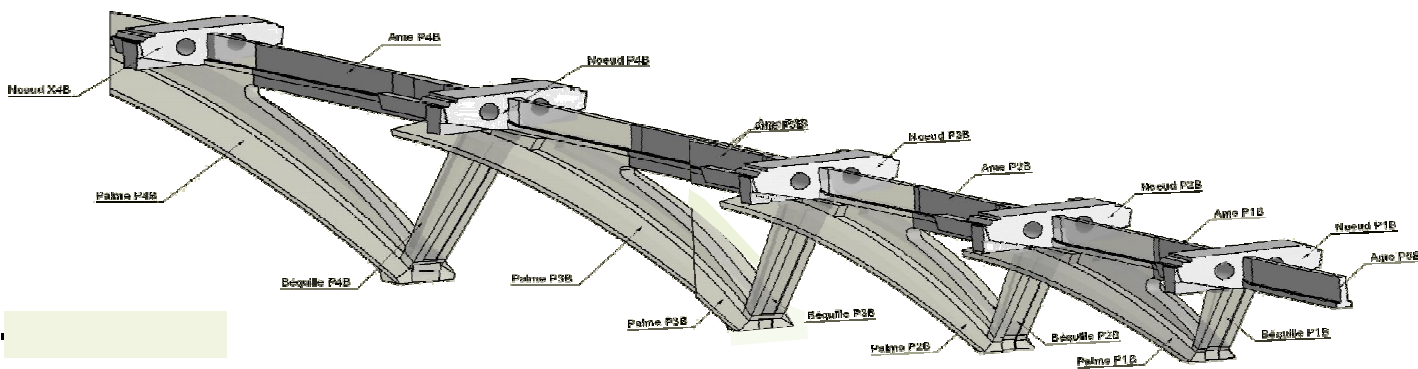


5 CINEMATIQUE DE POSE

Les études initiales de préfabrication, la cinématique de pose ainsi que les équipements nécessaires à la mise en place des éléments préfabriqués ont été étudiées par le service du département technique de Freyssinet International, spécialisé dans ce type de construction, en coordination avec le bureau d'étude et l'architecte du projet.

La cinématique générale de construction est la suivante :

Pose des palmes de l'arche centrale, les tours de stockage ont été positionnées très précisément le réglage fin des palmes n'exédant pas 10 mm en longitudinalement et transversalement, le réglage en Z était plus souple environ 30 mm. Le réglage de ces éléments terminés les poutres intermédiaires sont alors mise en place et réglées, bétonnage des clavages entre les poutres et les palmes, mise en place de la précontrainte et tension, injection des câbles. Les pieds de palme de la travées centrale sont alors reliés avec des tirants (câbles de précontrainte 31C15) qui seront tendus et détendus en fonction du cycle de chargement des éléments du tablier. Installation des palmes suivantes toujours par ligne de symétrie, préparation du coffrage des béquilles, ferrailage et bétonnage des béquilles, mise en place des poutres de jonction bétonnage des clavages mise en place de la précontrainte d'assemblage. Suite de la pose et assemblage du squelette de l'ouvrage.



La particularité du viaduc du Bouregreg est que celle-ci est une structure très complexe qui n'est définitivement stable qu'après achèvement complet de sa construction. De plus, la finesse de la structure impose de contrôler très précisément les niveaux de contraintes dans le béton tout au long de la construction. Il a fallu donc concevoir des méthodes de réalisation permettant d'assurer la stabilité et le réglage des éléments préfabriqués de l'ouvrage pendant toutes les phases intermédiaires. D'autre part, il a fallu également avoir une approche permettant la réalisation simultanée d'éléments préfabriqués et d'autres coulés en place.



Pose des poutres longitudinale et ferrailage des béquilles

Afin de pouvoir accéder aux deux rives de l'ouvrage (portique de pose des palmes), de pouvoir mettre en place les palmes centrales et d'installer les tours support des poutres longitudinales, une passerelle temporaire métallique a été construite.

Cette passerelle comportait également 2 voies de circulation pour les équipements liés à l'ouvrage (grues mobiles, camions toupies et véhicules de transport) ceci a permis de ne pas engorger l'ouvrage existant déjà affecté par un trafic journalier intense.

Après réception des piles, l'installation des palmes pouvait commencer, une des difficultés pour leur mise en place étant l'installation des appuis à pot en pied. Afin de faciliter cette opération, il a donc été décidé de les installer sur les pieds de palme ce qui est une procédure très particulière au niveau de la pose des appuis.

L'installation des palmes commence par les palmes centrales face à face , reliée en leur pied par un tirant précontraint de façon à compenser une partie des efforts pendant les phases de construction, puis l'installation se poursuit par les palmes secondaires côté Salé et côté Rabat en gardant toujours la symétrie d'installation sur les 3 files d'appui.



Vues du système de support des palmes en phase provisoire

Les palmes sont installées le plus précisément possible sur 2 tours d'échafaudage équipé chacune d'appuis métalliques ayant la pente de l'intrados de la palme

Ces appuis sont fixés sur les tours, leur hauteur ayant été calculées de façon à ce qu'elles soient légèrement plus basses que la position finale, le réglage fin de ces éléments se faisant à l'aide de vérins hydraulique installés dans des boîtes de glissement.

La palme est alors ajustée en plan et en élévation et l'appui à pot scellé à la tête de pile devenant ainsi le point fixe, les plaques hautes et basses de l'appui à pot étant toujours fixées les unes aux autres par l'intermédiaires de fixations provisoires.

Une fois les palmes installées, le coffrage et le ferrailage de clavage des poutres longitudinales préfabriquées sont mis en place et les poutres bétonnées.

Les béquilles préfabriquées (coulées en place) sont mises en place puis les éléments (palmes, poutres longitudinales et béquilles) sont assemblés par des câbles de précontrainte intérieure.

Les trois tabliers sont reliés par quatre diaphragmes en béton armé assurant également la stabilité latérale.

Les éléments en encorbellement du tablier sont installés selon la cinématique de pose (équilibrage des descentes de charge sur les palmes) sur des supports temporaire pour permettre le clavage, puis la mise en place des câbles de précontrainte pour assurer la stabilité de ces éléments.

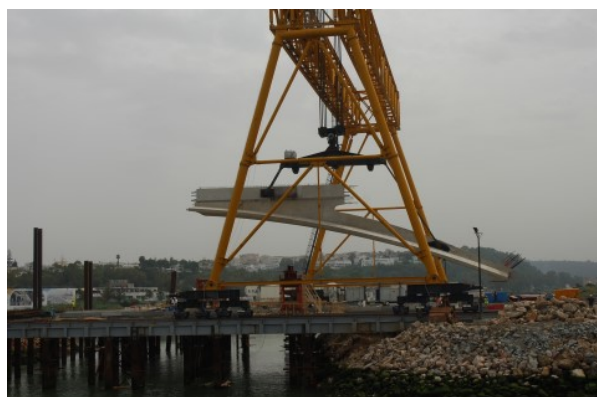
A noter qu'un contrôle topographique permanent est nécessaire pour le réglage des pièces.

Une fois le tablier terminé, les 1164 câbles formant la précontrainte transversale sur les 3 tabliers peuvent être tendus et injectés.

6 EQUIPEMENT DE POSE

L'étude du cycle et des méthodes de pose, ainsi que le franchissement du fleuve Bouregreg ont abouties à l'utilisation d'un portique exceptionnel d'une largeur supérieure aux 3 tabliers et une capacité de 270 T (le poids d'une palme étant de 230 t maximum).

Ce portique, dont le cahier des charges a été réalisé par Freyssinet, est l'équipement principal de la construction du viaduc et il circule tout le long de l'ouvrage sur un chemin de roulement allant de la culée creuse au pont de Salé. Il permet l'installation des éléments préfabriqués, en particulier les palmes, tout le long de l'ouvrage. A noter également que certains éléments du tablier furent posés à la grue mobile.



Les palmes sont posées sur des tours échaudages équipées de supports temporaires, étudiées par Freyssinet. La méthode de réglage des palmes en position définitives est basée sur l'utilisation de 2 vérins hydrauliques à têtes rotules en partie basse de la palme et un vérin identique en partie haute, le réglage se faisant sur 3 points d'appuis pour le réglage en Z, les vérins sont placés dans des boîtes de glissement ce qui permet de pouvoir déplacer la palme transversalement et longitudinalement sur quelques millimètres uniquement. Toutes les corrections sont pilotées par le géomètre relié par radio au technicien qui assure le réglage hydrauliquement

Suivant l'avancement du chargement des palmes et en fonction des calculs d'exécution, l'ajustement de la tension dans les tirants provisoires de la travée centrale (76 m) est réalisé après chaque mise en place des éléments préfabriqués du hourdis supérieur.



Tirants en place ajustement des tensions des torons

7 MISE EN PLACE DES APPUIS EN PIED DE PALME

Conformément à la décision d'installer les appuis en pied de palme il a fallu installer des réservations dans le ferrailage pour recevoir les douilles des appuis. La densité du ferrailage à la position des appuis a conduit à développer un système spécifique de réservations courtes.



Installation des réservations et appui fixe sur palme centrale



Installation de l'appui sous le pied de palme et vue des événements d'injection



Injection de la résine époxy

Une méthode particulière a été développée pour la mise en place des appuis grâce à l'utilisation d'un joint néoprène en sous face de la palme. L'appui est ainsi mis en position en fonction des axes matérialisés par le topographe. L'appui est appliqué sous le pied de palme à l'aide de 4 vérins hydraulique de façon à

écraser le joint tout en laissant un espace de circulation d'air entre la plaque et le béton de 3mm. Ce système a permis d'assurer une étanchéité efficace permettant une bonne injection des douilles des appuis.

L'injection de la résine (fluidité proche de l'eau) se fait par un des événements débouchant sur le dessus du pied de palme. Cette résine circule sur l'appui grâce au vide d'air et remonte par les 3 autres événements, dès la sortie de la résine par un des événements de purge celui-ci est obstrué en attendant la sortie des autres événements. L'évent d'injection reste en charge pendant un minimum de 2 heures, temps de prise maximum de la résine époxy et après 24 heures la palme est prête à être transportée.

8 TIRANTS PROVISOIRES.

Sur la travée centrale entre les pieds de piles P4 et P5 ont été installés des tirants provisoires (câbles de précontrainte 31C15) L'utilité de ces tirants et de compenser la reprise de poussée des arches, limiter la durée d'utilisation des palées provisoires et de permettre une gestion fine des contraintes en ajustant la tension des torons, pendant les phases de construction de l'ouvrage suivant un plan établi par le bureau des méthodes Freyssinet.

9 PRECONTRAINTE INTERIEURE, EXTERIEURE ET ISOLEE.

La précontrainte intérieure des palmes est assurée par des câbles de précontrainte 31C15, la précontrainte des poutres longitudinales, par des câbles de 7C15 et 12C15.





Vues des différentes opérations de précontrainte intérieure

La précontrainte extérieure est constituée de câbles 19C15 de grande longueur (250 m) constitués de torons gainés graissés dans une gaine PEHD pré-injectée. Cette solution a l'avantage de présenter une bonne résistance à la corrosion tout en permettant l'utilisation de vérins de mise en tension légers, chaque toron pouvant être tendu individuellement.

La difficulté rencontrée pour la mise en œuvre de ces câbles était l'étroitesse de l'espace de travail (80 cm de haut) et le travail dans un espace confiné pendant des fortes chaleurs avec un programme de travail très serré.

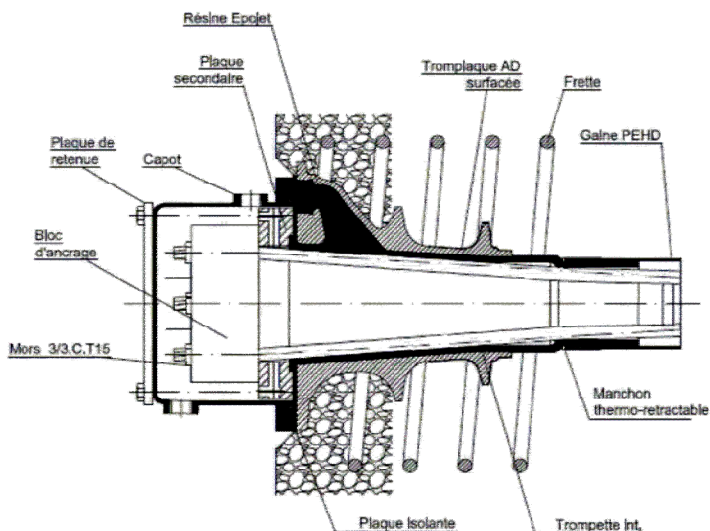
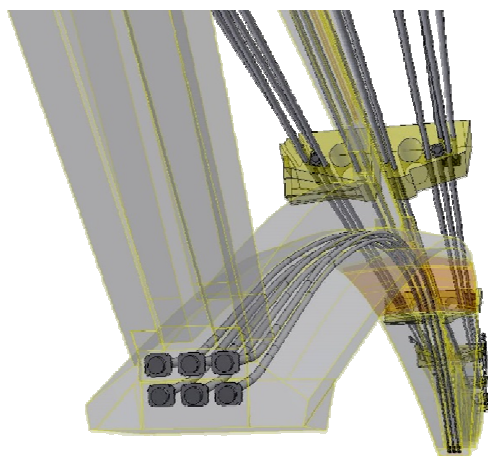




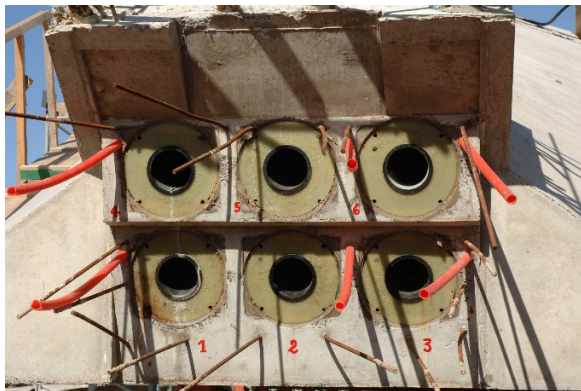
Vues des opérations de précontrainte extérieure

Ces mêmes unités de précontrainte sont également appliquées sur le tablier tramway à la différence que cette précontrainte est isolée électriquement.

La précontrainte isolée du viaduc tramway a été choisie afin de pallier aux problèmes de courants vagabonds. Sur les lignes tramway le retour du courant se fait par le rail ce qui entraîne la diffusion du courant dans les éléments métalliques de la structure, donc les armatures ce qui peut entraîner leur corrosion d'où la nécessité de mettre à la terre les cages d'armatures et d'isoler la précontrainte.



Les câbles de précontrainte sont enfilés à l'intérieur de gaine PEHD, ces gaines étant isolées des armatures de la structure par des écarteurs en PVC, la fixation des gaines sur les armatures se fait à l'aide de collier spéciaux. Les faces externes des trompettes sont recouvertes d'un époxy isolant de façon à isoler le bloc d'ancrage.



Fixation des gaines isolées et plaques résinées



Fixation du câble de terre et protection par capot plastic

La précontrainte transversale des tabliers routiers est assurée par des câbles transversaux 4F15.



Vues des opérations de tension des câbles transversaux

10 MISE EN PLACE DES APPUIS SUR LA CULEE CREUSE ET BASE NAUTIQUE

241 appuis en élastomère frettés ont été posés sur la culée creuse reliant le viaduc Hassan II au pont de la base nautique. Ces appuis sont posés entre 2 éléments métalliques qui servent de blocage transversaux.

37 unités ont également été posées sur le pont de la base nautique ainsi que 15 appuis à pot.

40 appuis à pot ont été posés sur le pont Hassan II.



Vues des appuis en néoprène avec système de butée

11 JOINTS DE CHAUSSEE

186 ml de joint de chaussée ont été installés sur le pont Hassan II et la base nautique, quatre types de joint de chaussée type multiflex S100, S150, S250, S350 également quatre de joint PL25, PL100, PL250, PL350.



Vues des opérations de pose des différents joints de chaussée