

AUTOROUTE DE CONTOURNEMENT DE RABAT

Pont à haubans sur l'oued BOUREGREG

Intervenants :MM. Zine El Abidine EL AZZOUZI &Aomar EL KENZI



L'autoroute de contournement de Rabat, inscrit dans les grands projets du contrat-programme entre l'Etat Marocain et la Société Nationale des Autoroutes du Maroc (ADM) au titre de la période 2008-2015 porte sur la construction d'un tronçon de 41.1 kms d'autoroute à 2x2 voies. Le futur contournement franchit l'oued Bouregreg à quelques centaines de mètres du barrage Sidi Mohamed Ben Abdallah.

Le choix d'ADM de construire un ouvrage à haubans pour le franchissement de l'oued Bouregreg est sans ambiguïté ; il confirme l'option forte de construire un ouvrage exceptionnel aux portes de Rabat.

Le coût du projet est estimé à près de 700 millions de Dirhams hors taxes et les travaux de cet ouvrage seront achevés en fin 2015.

1/ Description et caractéristiques de l'Ouvrage

Le pont à haubans sur l'Oued Bouregreg fait partie intégrante du projet de construction de l'autoroute de contournement de Rabat. Il s'agit d'un ouvrage de 950 m de longueur dont les pylônes atteindront 200 m de hauteur. Le tablier portera 3 voies dans chaque sens et sera supporté par 2 fois 20 paires de haubans (câbles) espacés de 8 m. Le viaduc de franchissement de l'Oued Bouregregse décompose en 2 parties :

- Un viaduc haubané de 750 m de long à deux pylônes, de la culée C0 côté nord à la pile culée PC3 côté sud.
- Un viaduc en poutres VIPP de 200 m de long, composé de 5 travées, de la pile PC3 à la culée C8

Le choix de ce type de structure apporte à la fois originalité et fonctionnalité, et permet de respecter l'environnement en évitant de passer par des profonds déblais sur une zone très sensible. Il a en outre l'avantage d'être concurrentiel par rapport à une solution standard de traversée et même procure sur la durée une économie non négligeable.

2/ Les fondations

Semelles : Des fondations superficielles sur semelles de 25 x 35 x 5 m ont été retenues. Ces semelles ont été ancrées à 23 m pour P1 et 19 pour P2 par rapport au terrain naturel, sur le schiste sain, mais la réalisation de ces fondations a nécessité la stabilisation des talus par une paroi clouée et la réalisation d'une digue de protection contre les crues du barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah.

Parois cloués : La structure géologique rencontrée montre une schistosité favorable avec des discontinuités de ce massif qui sont mal connues. De cela, un clouage de confinement par des ancrages Φ 32 mm de longueur variable entre 4 et 12 m a été prévu, permettant de stabiliser les blocs de surface.

Le parement des murs cloués est constitué de deux couches de béton projeté, de 20 cm d'épaisseur totale, armée de nappes de treillis soudés.

Digue de protection : L'implantation de la pile P1 en aval du barrage nécessite, pour la construction de ses fondations, la création d'une digue de protection provisoire. La digue a pour but d'isoler la fouille de la pile P1 du pont à haubans et de la mettre à l'abri des infiltrations souterraines ainsi que des submersions éventuelles en cas de crue.

La digue est construite sur une longueur de 200 m et une emprise transversale dans le lit du Bouregreg de 35 m. Elle est édifiée sur les alluvions sablo-graveleuses de l'oued et elle comporte une paroi continue d'étanchéité en béton plastique. Cette paroi réalisée selon la technique de la paroi moulée est ancrée dans le substratum de schiste.

Au-dessus des alluvions de l'oued, la digue est réalisée en matériaux du site compactés et complétée par une géomembrane d'étanchéité disposée subverticalement et scellée à la paroi plastique étanche. La digue est protégée par un tapis continu de gabions à cellules multiples assemblés selon une géométrie de 2 x 4 m au minimum.

3/ Les pylônes

Même si la vallée est dissymétrique au droit du franchissement, une solution à deux pylônes de même hauteur s'inscrit dans la brèche.

La forme générale des pylônes en béton s'inspire de formes issues de la culture marocaine. L'ouvrage est conçu pour le Maroc ; il n'existe nulle part ailleurs. Sa lisibilité est immédiate, son échelle donne la puissance au geste architectural et technique.

Les pylônes d'une hauteur totale de 197 m pour P1 et 185 m pour P2 sont fondés sur semelles superficielles de 30 m x 25 m x 5 m de hauteur. Ils sont constitués de quatre jambes en béton (caisson) se rejoignant en tête et en pied.

Dans la partie haute, la zone d'ancrage des haubans est constituée de boîtes en acier S355 et S460 de 25 m de hauteur et 300 t par pylône entourées de voiles minces en béton afin d'assurer la continuité architecturale.

La jonction pylône-tablier est assurée par des entretoises transversales en béton précontraint (2 x 18 x 19T15S) reliant les quatre jambes du pylône.

4/ Le tablier

Le tablier de l'ouvrage principal reste une ligne très pure et mince dans le paysage. L'ouvrage haubané comprend un tablier à trois travées de 183 m, 376 m et 183 m de C0 à P1 de P1 à P2 et de P2 à PC3.

Le tablier est encastré dans les pylônes et simplement appuyé sur culées. Il est supporté par deux fois 20 paires de haubans organisés en deux nappes latérales. Ces haubans sont espacés de 8 m au niveau de leur ancrage dans le tablier. Le haubanage est disposé en semi-éventail.

La section transversale du tablier, d'une largeur totale de 30.40 m, est constituée de deux nervures latérales en béton de 2.20 m de largeur et 2 m de hauteur, distantes de 26 m et reliées entre elles par des entretoises métalliques en acier S355 espacées tous les 4 m. L'ancrage des haubans est prévu dans les nervures latérales. La chaussée est portée par des dalles préfabriquées en béton de 25 cm d'épaisseur posées entre les nervures latérales et reposant sur les entretoises métalliques.

5/ Les haubans

Les haubans sont de type multi-torons parallèles (MTP) ancrés de part et d'autre du pylône dans les boîtes en acier et dans chaque nervure latérale du tablier. Ils sont constitués de torons T15,7 super, classe 1860MPa TBR galvanisés, gainés, cirés. L'ensemble des torons constituant le hauban est protégé par une gaine aérodynamique en PEHD. La puissance des haubans s'échelonne entre 29T15S et 75T15S.

L'enveloppe externe est constituée d'une gaine générale en PEHD (Polyéthylène à Haute Densité) et d'un tube Anti-vandalisme en acier au-dessus du tablier.

Les ancrages sont réglables côté pylône et fixes dans le tablier. Les tensions et retenions ultérieures s'effectuent depuis la tête du pylône.

6/ Boite d'ancrage des haubans

Les boîtes métalliques vont accueillir les ancrages des haubans. Les boîtes ont été conçues en tronçons préfabriqués en usine, dont le poids maximum de chaque tronçon ne dépasse pas 15 tonnes, pour permettre une maîtrise de la manutention et une mise en place facile à la grue à tour.

Les boîtes métalliques d'ancrage des haubans conçues en acier S355 pour les tôles courantes et S460N pour les plaques d'appui des ancrages présentent la structure suivante :

- Des lames latérales assemblées par des boulons HR permettant de transmettre et d'équilibrer les efforts de traction provenant des nappes sud et nord de haubans ancrés dans une boîte
- Des tôles en T dénommées « lames de persienne » disposées en escalier et soudées sur les deux tôles latérales
- Une tôle de fermeture venant fermer la zone en escalier et assurer une interface propre avec le béton de couverture.

7/ Le viaduc d'accès

Le viaduc d'accès est un viaduc en béton précontraint type VIPP (viaduc indépendant à poutres précontraintes). Il comporte 5 travées de 40 m de PC3 à C8.

Chaque travée est constituée de 10 poutres en béton précontraint C40/50 de 2.30 m de hauteur espacées de 2.94 m et solidarisées par un hourdis de 24 cm d'épaisseur en béton C35/45.

Les piles d'une hauteur variable de 14 m à 32 m réalisées en béton C30/37 reproduisent la forme des jambes des pylônes, de dimensions globales de 3.72 m x 2.60 m en caisson. Elles sont fondées sur fondations superficielles et surmontées d'un chevêtre d'une largeur de 3 m avec une hauteur variable de 3 m à 1 m.

8/ Quelques chiffres

Les principales quantités de l'ouvrage c'est :

- 60 000 m³ de béton dont 16 000 m³ par pylône et 11 000 m³ pour le tablier haubané
- 100 000 m² de coffrage dont deux jeux de coffrage grimant de 250 tonnes
- 13 000 tonnes d'aciers pour béton armé et 600 tonnes d'aciers de précontrainte
- 2600 tonnes d'acier S355 pour les entretoises métalliques et 600 tonnes d'acier S355 et S460 pour les boîtes d'ancrage des haubans en tête des pylônes
- 1300 tonnes de torons T15S (soit plus de 1000 kms) pour les haubans
- 26 200 m² d'étanchéité
- 9000 m² de parois clouées et béton projeté

Mais c'est aussi :

- Plus de 2000 documents d'études d'exécution et de méthodes
- Plus de 200 personnes mobilisées durant plus de 50 mois pour l'exécution des travaux
- Plus de 3200 tonnes d'acier découpés, assemblés et soudés en usine en Chine et transportés au Maroc.

9/ Des études exceptionnelles

Les études d'exécution ont été réalisées avec le logiciel PCP (Ponts Construits par Phases) développé par le SETRA. Ce logiciel permet la modélisation et le calcul des structures tridimensionnelles à barres avec la prise en compte d'une manière globale des aspects suivants :

- Définition géométrique de la structure, définition de la précontrainte, définition d'éléments de type haubans
- Phasage de construction avec fluage scientifique et perte de précontrainte
- Calculs dynamiques au séisme et au vent turbulent
- Calcul des combinaisons et enveloppes
- Calcul non linéaire géométrique en grands déplacements

Dans le cadre du contrôle des études d'exécution, des contre-calculs ont été réalisés avec un modèle à barre pour lequel SETEC TPI a utilisé son logiciel Pythagore.

10/ Des travaux complexes

Les Fondations :

- La fondation du pylône P1 avec la réalisation de parois clouées sur une hauteur de 50 m, la déviation de l'oued et la construction d'une digue et d'un écran étanche afin d'assurer la protection de la fouille.
- La fondation du pylône P2 avec la réalisation de parois clouées sur une hauteur de 45 m, et la déviation d'un petit oued
- L'exécution des semelles ; 3750 m³ de béton par semelle exécuté en trois phases afin de maîtriser les effets thermiques.

Les pylônes :

Pour un pylône, 37 levées de 4m de hauteur exécutées avec un coffrage grim pant de 250 t avec des adaptations pour coulage d'une dalle de renfort précontrainte en tête de la 5ème levée et le coulage du nœud pylône-tablier au niveau de la 23ème levée, la pose à

plus de 150 m de hauteur de 300 t d'acier constituant les boîtes d'ancrage des haubans, ceinturées par 7 levées supplémentaires de 4 m couronnées par une coiffe de 12 m de hauteur.

Le tablier :

La construction du tablier est réalisée par encorbellements successifs et par fléaux de 2 x 20 voussoirs au centre et 2 x 18 voussoirs en rive.

Chaque voussoir a une longueur de 8 m avec deux pièces de pont espacées de 4 m et une largeur de 30.40 m, il est supporté par une paire de haubans et coffré par un équipage mobile de 120 tonnes.

3 clavages sont à réaliser : le clavage de rive côté nord sur la culée C0 entre le fléau P1 et un plot coulé sur cintre, le clavage de rive côté sud sur la pile-culée PC3 entre le fléau P2 et un plot coulé sur cintre, et le clavage central au milieu de la travée centrale.