

Le trafic sur la RP 7 au franchissement de l'Oued Oum Er-rbia à Mechrâa Ben Abbou est particulièrement délicat sur le pont existant.

En effet, l'ouvrage métallique vétuste, ne livre passage qu'à une chaussée étroite (largeur limitée à 3m 50). Deux feux de circulation installés aux extrémités du pont règlent le passage avec alternance d'un sens à l'autre.

Cette gêne ne pouvant continuer à être acceptée sur cet axe important pour le trafic routier national (liaison Casablanca-Marrakech et Nord du Maroc avec sa partie méridionale) il a été donc décidé de construire un nouveau pont, en aval à 180 m de l'existant, améliorant ainsi les conditions de circulation sur ce trançon.

L'opération a été inscrite dans le cadre du 4ème projet routier, financé par la BIRD, et un appel d'offres a été lancé en novembre 1987 par la Direction Provinciale des Travaux Publics de la Formation Professionnelle et de la Formation des Cadres de Settat.

I/ DONNEES NATURELLES ET FONCTIONNELLES

Les dimensions et les parties de l'ouvrage ont été définies en tenant compte des données suivantes :

A/ Géologie du site.

L'étude géologique du site repose sur les résultats de 2 campagnes de sondages effectués en 1978 et 1987 par le Laboratoire Public d'Etudes et d'Essais de Casablanca.

Les terrains rencontrés sont constitués de dépôt fluviatils (sablo-argileux et argilo-vaseux) situés sur une formation conglomératique à ciment calcaire ou sableux du quaternaire. L'épaisseur de celle-ci est variable, importante en rive gauche de l'Oued (15 m) et faible en rive droite (1 m par endroit) selon les sondages.

Cette formation couvre des conglomérats rouges à ciment argileux attribués au WESTPHALIEN. Leur toit est rencontré à des côtes variables de 174 NGM à 179 NGM suivant les sondages.

Les caractéristiques pressiométriques de ces formations sont élevées pour les passages très cimentés.

$$654 < E < 1600 \text{ MPA} \quad (\text{Module pressiométrique de Ménard})$$

$$6,7 < P_l < 7,8 \text{ MPA} \quad (\text{Pression limite})$$

Dans les passages peu cimentés, les valeurs sont beaucoup plus faibles

$$114 < E < 127 \text{ MPA}$$

$$1,7 < P_l < 19 \text{ MPA}$$

Les dépôts alluvionnaires de surface pouvant présenter des problèmes de tassements et d'affouillement pour les fondations, le choix s'est porté vers des fondations profondes ancrées dans les formations conglomératiques.

B/ Débouché hydraulique.

La longueur de l'ouvrage et sa côte ont été définies de manière à ne pas réduire le débouché du fleuve. La crue retenue pour le calcul est la crue centennale de débit $Q = 3500 \text{ M}^3/\text{S}$. L'ouvrage étant sous l'influence de la retenue du barrage Imfout situé en aval et dont on prévoit une surélévation, la côte des plus hautes eaux 196 NGM a été déterminée en tenant compte de celle-ci.

La longueur retenue pour l'ouvrage est 140 m entre axes d'appuis extrêmes.

C/ Caractéristiques fonctionnelles.

a) Profil en travers :

L'ouvrage doit livrer passage à une chaussée de 8M, comprenant deux voies de 3m 50 avec deux surlargeurs de 0,50m chacune.

Deux trottoirs de 1m 50 chacun doivent être aménagés.

b) Tracé en plan et profil en long :

Ont été étudiés pour permettre de se raccorder à la route existante dans les meilleures conditions.

Le tracé en plan au-dessus de l'ouvrage est un alignement droit.

Le profil en long est un arc de parabole de rayon au sommet $R = 14490 \text{ M}$.

c) Surcharges :

Les charges routières prises en compte dans le calcul de l'ouvrage sont celles définies dans le titre II du fascicule 61 du CPC et comprennent le char militaire MC 120.

II/ PROJET DE BASE VARIANTE DE L'ENTREPRISE

La consultation des entreprises fut lancée sur la base d'une solution de pont caisson, à 3 travées, poussé des 2 côtés.

Les portées étaient de 35m, 70m et 35m avec une hauteur de caisson de 3m.

Les entreprises qui étaient tenues de répondre à la solution de base avaient la possibilité de présenter des variantes.

L'entreprise SEPROB voyait dans cet appel d'offres, compte tenu des caractéristiques du projet et du souhait manifesté par l'Administration de soigner l'esthétique de l'ouvrage, une occasion d'introduire pour la première fois au Maroc, une nouvelle idée de conception et d'exécution des ponts : le tablier à inertie variable construit par la méthode des encorbellements successifs au moyen d'équipages mobiles.

En effet, bien que cette technique est vieille d'une quarantaine d'années (1^{ère} apparition en Allemagne en 1950 avec le Pont BALDUINSTEIN réalisé par le Docteur FINSTERWALDER), elle n'avait pas encore trouvé d'application dans notre pays probablement à cause de la modestie des brèches à franchir.

Une solution dans ce sens a été étudiée et présentée lors de la remise des offres, elle a été retenue par le Maître d'ouvrage.

SEPROB a également présenté une deuxième variante plus classique : le pont à poutres préfabriquées et précontraintes, à 4 travées isostatiques, solution plus économique mais moins élégante. Elle n'a pas été retenue.

Dans la variante adoptée, la distribution des portées a été modifiée, pour tenir compte de la technique de l'encorbellement. On a retenu les longueurs suivantes 39m, 62m et 39m. La hauteur du caisson a été rendue variable de 2m à 3m 65. Les caractéristiques fonctionnelles de la solution de base ont été évidemment maintenues.

Le marché a été signé avec la DPE de SETTAT, sur ces bases, en date du 08/09/88 pour un montant de 20.144.249,00 Dhs T.T.C., ce qui représente après déduction des remblais d'accès un prix de l'ordre de 7.834,00 Dhs/M2.

III/ CONCEPTION DU PROJET

A/ Etudes d'avant-projet.

Les études de dimensionnement de l'ouvrage : calcul des pieux (retenues comme systèmes de fondations profondes) conception des appuis, équarrissages du caisson, découpage en voussoirs du fléau, détermination de la précontrainte etc, ont été effectuées par le Service d'Etudes de l'entreprise.

B/ Etude architecturale.

Une étude visant à améliorer l'esthétique du projet a été confiée au cabinet de MR. Charles LAVIGNE. L'étude a porté sur le traitement des piles et culées, le garde corps et les corniches. L'ouvrage a ainsi gagné plus d'élégance.

C/ Projet d'exécution.

a) Organisation des études :

Pour pouvoir disposer des plans d'exécution dans les meilleurs délais, l'entreprise a fait appel aux services d'un bureau d'études extérieur SECOA qui a procédé aux vérifications, déterminé le ferrailage passif le tracé des cables et établi la note de calcul d'exécution. Les plans en grande partie, ont été dessinés à la SEPROB. Les règlements adoptés pour le calcul n° 1 pour le béton précontraint et le règlement de 1970 pour le béton armé. Le fluage et le gradient thermique ont été pris en considération.

Le service d'études de l'entreprise est intervenu une seconde fois pour contrôler le calcul de SECOA en utilisant les moyens informatiques du SETRA.

C'est ainsi que le tablier a été vérifié, en flexion longitudinale, par le logiciel PCP (Ponts Contruits par Phases). Il s'agit d'un système puissant, conçu pour la vérification d'ouvrages d'art, modélisé par des structures spatiales, constituées de poutres à fibres moyennes courbes, et à section droite courante, variable. Plusieurs modes de construction peuvent être simulés dont celui de l'encorbellement par voussoirs successifs.

b) Caractéristiques principales du projet :

1° - Fondations : Les appuis sont fondés sur des pieux de diamètre 1m et de longueur variable de 12,60m pour la culée en rive droite, 13 m pour les piles et de 21m pour la culée en rive gauche.

les culées sont fondées sur deux files de deux pieux :

Les piles s'appuient chacune sur six pieux disposés au sommet d'un hexagone régulier s'inscrivant dans un cercle de diamètre 7m. Tous les pieux sont armés sur toute la hauteur avec un encastrement dans la semelle.

2° - Les appuis : Les piles sont constituées de fûts pleins, en béton armé, la forme de la section est rectangulaire avec des avant-becs de forme facilitant l'écoulement autour de la pile. la longueur du fût est de 8m et son épaisseur est de 1m 50. La pile repose sur une semelle circulaire coulée à l'intérieur d'un caisson de diamètre inférieur de 9m. Sa hauteur est de 1m 60.

En tête du fût reposent deux massifs en béton, préfabriqués, sorte "d'oreilles" architecturales qui viennent cacher une file d'appareils d'appui en élastomère fretté (2 plaques 700 x 700 x 6 (12 + 3) capables d'un effort normal de 735 tonnes chacune. Des engravures horizontales sont aménagées sur toute la hauteur de la pile. La hauteur du fût est de 8m pour les deux piles.

Les culées sont de conception classique : garde grève, sommier, semelle rectangulaire, dalle de transition et murs en retour. Ceux-ci ont reçu un traitement architectural. En effet des décrochements sont aménagés dans ces voiles avec des aspects différents, béton éclaté et béton lisse.

Le tablier s'appuie sur le sommier de chaque culée par l'intermédiaire de 2 plaques en élastomère fretté, de dimensions : 425 x 500 x 7 (12+3) capables d'un effort 319 tonnes chacune.

3° - Le tablier : Les 3 travées du tablier sont constituées d'une poutre caisson mono-cellulaire en béton précontraint. La largeur du hourdis supérieur est de 11,10m. Son épaisseur est de 0,22m. Sa portée entre nus des âmes est de 5,16m. La hauteur du caisson varie suivant une loi parabolique. Le maximum, 3,65m est atteint

à l'endroit des piles. En clé et dans les parties extrêmes des travées de rive, elle est de 2m. Les âmes inclinés de 1/5 sur la verticale ont une épaisseur droite de 0,40m. Le hourdis inférieur est de largeur variable, en raison de l'inclinaison des âmes. Son épaisseur nécessaire devait varier entre 0,18m et 0,20m.

Pour des raisons pratiques (facilité de ferrailage) elle a été maintenue à sa valeur maximale.

Des goussets sont conçus aux liaisons des âmes avec les hourdis supérieurs et inférieurs.

Sur appuis, des entretoises de 0,80m sur piles et de 0,60m sur culées raidissent la section en raison des sollicitations importantes auxquelles sont soumises les sections d'appuis.

De larges ouvertures sont laissées dans ces entretoises qui sont fortement armées.

4° Le câblage : Le caisson est précontraint longitudinalement par des câbles 12 T13 super du système CCL (distribué en France par PCB -CIPEC). Ces câbles sont constitués de torons de diamètre nominal 12,9mm de classe III TBR. Les torons sont enfilés dans les gaines en feuillard de diamètre 70mm. Ils sont tendus à 1488 MPA soit 182 T par câble. Les câbles sont répartis en deux familles :

- Les câbles de fléau : (2 x 16 unités par fléau) sont destinés à s'opposer aux moments de flexion négatifs, provoqués par le poids propre et les équipages pendant la construction des consoles, et à solidariser le voussoir avec la partie du fléau déjà exécutée. Ces câbles logés dans les goussets supérieurs, s'inclinent dans les âmes où ils sont ancrés. Ils contribuent ainsi à la résistance à l'effort tranchant.
- Les câbles de continuité (2 x 5 câbles pour la travée de rive et 2 x 10 unités pour la travée centrale) compensent les efforts dûs au fluage, au gradient thermique et les surcharges routières.

Ils sont filants dans les goussets inférieurs et suivent dans leur tracé l'intrados. Leur ancrage se fait dans des bossages situés aux angles des âmes et des hourdis sauf aux extrémités des travées de rive où ils sont ancrés dans les âmes.

Tous les conduits de précontrainte sont injectés au coulis de ciment.

IV/ EXECUTION DES TRAVAUX

A la date où les lignes sont écrites (février 1990), la construction du tablier est à peine commencée. Il est encore trop tôt pour faire le bilan du chantier, toutefois nous pouvons indiquer succinctement les méthodes prévues pour réaliser les travaux.

A/ Réalisation des appuis.

Les appuis sont construits après l'exécution d'une digue et l'édification d'un caisson provisoire qu'on have à l'endroit des piles pour assurer leur mise hors d'eau pendant les travaux.

Les pieux sont ensuite forés sous pression de boue de bentonite. Leur bétonnage se fait avec un béton dosé à 400 Kg de ciment auquel on incorpore un plastifiant et un retardateur de prise.

Après le recépage des pieux et leur auscultation sonique, systématiquement, pour le contrôle de la qualité du béton et son homogénéité on procède à la construction de la semelle et de l'appui proprement dit.

Les culées ne nécessitent pas de caisson pour leur mise hors d'eau.

B/ Mode de construction du tablier.

Le principe consiste en la construction du tablier, à l'avancement par tranches successives, symétriquement par rapport à la pile.

On construit d'abord le voussoir sur pile (VSP) de longueur 7,80m qui servira de plateforme de montage et de démarrage des équipages mobiles. Ce VSP est bétonné sur un cintre s'appuyant sur la pile et les appuis provisoires fondés eux-mêmes sur la semelle de la pile. Son coffrage, de conception traditionnelle, repose sur des boîtes à sable facilitant le décoffrage.

Les voussoirs courants (tranches de caisson de 2,90m) sont bétonnés à l'intérieur des équipages mobiles. Ceux-ci sont constitués chacun d'un fond de moule, de panneaux extérieurs, d'un coffrage intérieur, le tout suspendu à des poutres métalliques latérales situées en dessous des hourdis supérieurs et portées par la partie du fléau déjà construite. Le poids total d'un équipage ne dépasse pas 16 tonnes alors que le gros voussoir pèse plus du double.

La solidarisation du voussoir construit à la partie précédente est obtenue par la mise en tension des câbles de fléau dès que le béton ait atteint une résistance suffisante (200 bars est la résistance requise).

Le cycle de construction prévu pour un voussoir courant est d'une semaine par équipage et se décompose comme suit :

- . 1 journée pour la mise en tension du voussoir précédemment bétonné, le décoffrage, l'avancement de l'équipage et son réglage.
- . 2 jours pour la mise en place des armatures et des câbles.
- . 1 journée pour le bétonnage du voussoir
- . 3 jours pour la prise et le durcissement du béton.

Conclusion

Les travaux dans le chantier, à la date de la rédaction de ces lignes sont loin d'être achevés, sinon, néanmoins, on peut déjà conclure que les difficultés du chantier sont maîtrisées, les travaux se déroulant sans incident notable, conformément au planning prévisionnel et on peut être satisfait de la décision de la DRCR d'avoir retenu cette solution, qui permet de progresser dans le domaine de la conception et de réalisation d'ouvrages d'art au Maroc et rendant possible le franchissement de grandes brèches avec des ouvrages de qualité architecturales appréciables.

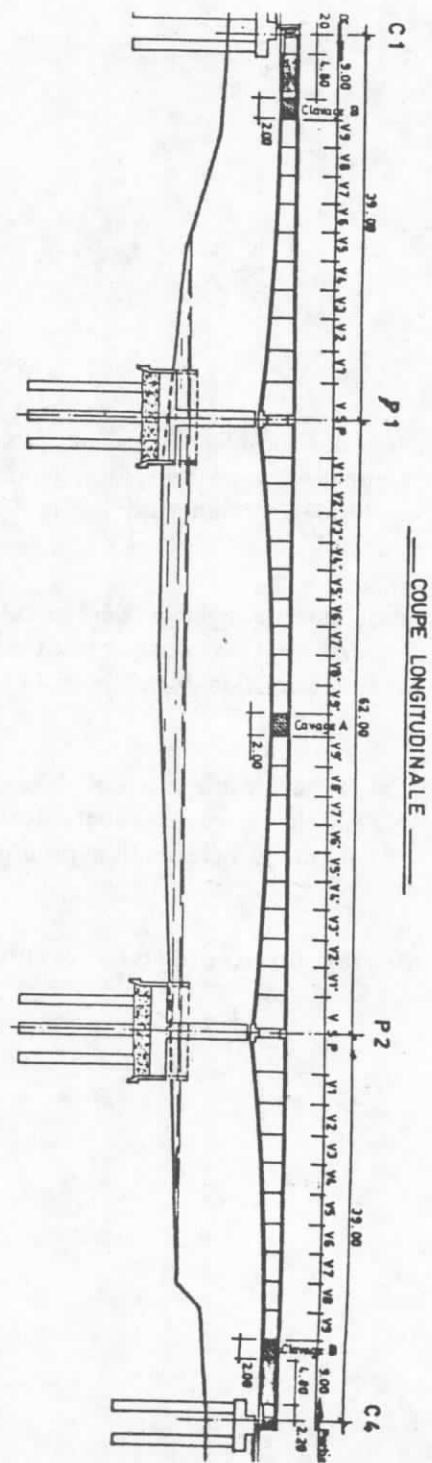
La symétrie de la construction des consoles ne pouvant être assurée à chaque instant (non simultanéité de bétonnage des voussoirs, imperfection de la géométrie, surcharges de chantier disposés localement) une stabilité provisoire du fléau est prévue par des palées disposés au voisinage de la pile. Ce sont des appuis qui servent pour recevoir le cintre du VSP.

Après la réalisation des 2 fléaux et leur prolongement vers les culées, par des parties de 9m de longueur, coulées sur cintre, le clavage central est exécuté sur une tranche de 2m. Les câbles sont alors mis en tension, le tablier est rendu ainsi hyperstatique.

C/ Contrôle géométrique.

Une des difficultés de réalisation, à prévoir, est le réglage de la géométrie de l'équipage mobile. les coordonnées de chaque voussoir sont calculées compte tenu de la géométrie définitive du tablier, de la déformation propre du cintre et des contreflèches.

Après décoffrage, une vérification permet d'apporter les corrections nécessaires sur le voussoir suivant.



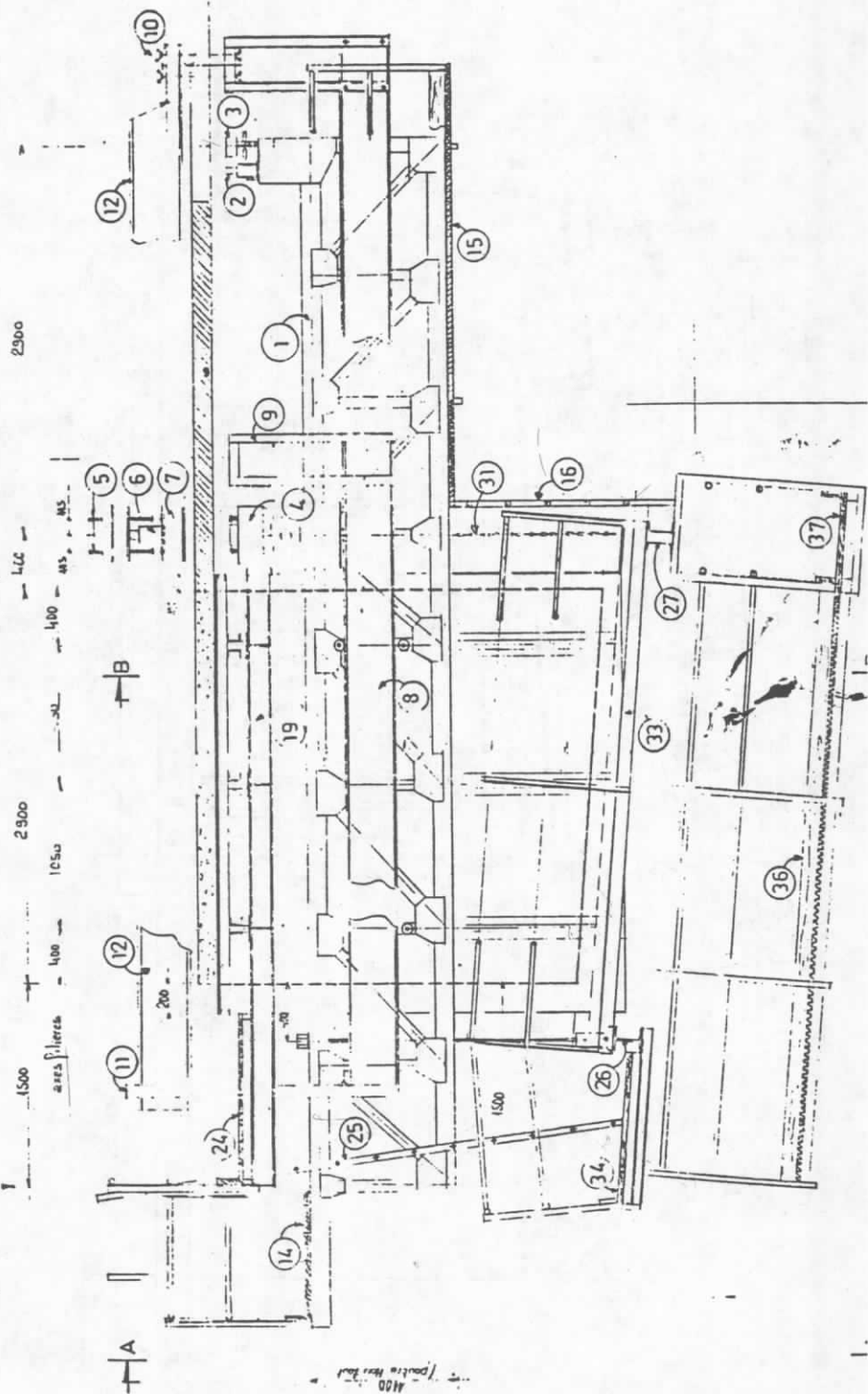
[illegible]



2900



are quite recent



1/2 VUE SUIVANT AA SUR V1

1/2 COUPE BB SUR V9

