

TECHNIQUE D'EXECUTION DES OUVRAGES D'ART

par M. El Koraïchi
Directeur de la Société SEPROB

La configuration des sites, longueur et hauteur des brèches à franchir sont généralement de dimension modeste. C'est pourquoi le type d'ouvrage généralement adopté est un Pont à une ou plusieurs travées en Béton Armé ou Béton Précontraint dont la longueur par travée dépasse rarement 40 m. La structure métallique, non compétitive, n'est plus utilisée depuis fort longtemps.

D'autre part, le nombre modeste d'ouvrages à réaliser par an (10 à 15 ouvrages dont la longueur dépasse 10 m) n'a pas permis le développement des techniques permettant de dépasser la travée de 40 m en Béton Précontraint, tels que Ponts à Voussoirs construits par encorbellement ou Ponts Poussés, techniques qui se sont développées en France et les Pays anglo-saxons.

La technique des Voutes en maçonnerie qui a permis de construire de belles réalisations durant la 1ère moitié de ce siècle n'est plus à l'honneur.

I — Les techniques couramment utilisées

I.1) — Ponts coulés sur cintres en béton armé ou béton précontraint :

Cette technique est la plus couramment utilisée, car elle ne nécessite pas à proprement parler de matériel spécifique. Elle consiste à réaliser un étalement général ou partiel au moyen d'une structure métallique tubulaire, soit préfabriquée et montée sous forme de tours ou ensemble de tours, soit selon le système « Tubes et Raccords », chaque poteau pouvant prendre 5 à 7 tonnes de charge. L'étalement par des chandelles en bois est parfois utilisé par de petites entreprises.

Le coffrage est ensuite posé sur ce support en respectant les niveaux d'arase du projet. Viennent après les opérations de pose des armatures et de coulage de Béton.

Le matériel d'étalement peut être soit acquis soit pris en location. La faiblesse de l'investissement de base fait que 90 à 95% des ouvra-

ges réalisés et dont la longueur dépasse 10 m l'ont été avec ce procédé et souvent par de petites entreprises locales.

Cette technique est bien adaptée à des franchissements de brèche où il n'y a pas d'écoulement d'eau susceptible d'emporter le cintre ou tout au moins de produire son tassement. Cependant en cas de nécessité, il est possible de dégager un gabarit pour laisser le passage libre au débit d'étiage au moyen de poutres en profilés métalliques GP 30 ou HEB 1000 pouvant atteindre entre 20 et 30 m de portée et prenant appui sur des étais.

La structure du tablier pouvant être :

- Une Dalle simple en Béton Armé ou Béton Précontraint.
- Une Dalle nervurée en Béton Armé ou Béton Précontraint.
- Des Poutres en Béton Armé ou Béton Précontraint liaisonnées par un Hourdis supérieur.
- Des Poutres en Caisson en Béton Armé ou Béton Précontraint.

Le coffrage utilisé dans ces cas est un coffrage bois.

Il présente quelques inconvénients lors de la vibration de béton, inefficace par application des vibreurs de l'extérieur du coffrage en bois. D'où la nécessité de veiller à ce que les dimensions du coffrage soient compatibles avec le passage des vibreurs.

La principale suétion des tabliers coulés sur cintres, en dehors des contraintes du site et des délais de réalisation, réside, dans le cas des tabliers continus, dans la nécessité si l'on veut éviter les reprises de bétonnage, d'échafauder, coffrer et bétonner l'intégralité du tablier.

1.2) — Ponts à poutres préfabriquées :

Les poutres préfabriquées peuvent être en Béton Armé ou Béton Précontraint. Leur mise en place sur les appuis se fait généralement au moyen d'une poutre treillis métallique dite de lancement, tel que le Pont Bailey.

Dans le cas de poutres de faible longueur en Béton Armé, donc de poids total relativement faible, la pose peut se faire au moyen de Grue de levage puissante.

Le tablier à Poutres sous Chaussées Préfabriquées et Précontraintes trouve son domaine de prédilection dans les portées de 25 à 40 m, notamment pour les ouvrages de grande hauteur ou pour le franchissement de rivière.

Cette technique a fréquemment l'avantage dans les concours, surtout lorsque le nombre des poutres à mettre en place, fonction de la longueur et de la largeur de l'ouvrage, est important et ce en raison de « l'Industrialisation » de la production par Préfabrication qui permet un gain de temps.

En effet cette technique de construction permet de procéder parallèlement à la réalisation des fondations et des appuis de l'ouvrage, à la préfabrication des poutres, alors que la technique du coulage sur cintre ne le permet pas.

Le gain de temps est de l'ordre de 20% du délai nécessaire à la réalisation sur cintre.

Il est à signaler toutefois une sujétion de ce procédé, c'est la disponibilité dès le démarrage des travaux d'une plateforme de préfabrication suffisamment grande pour pouvoir stocker les poutres avant leur lancement et aussi pour les installations de préfabrication.

Le coffrage utilisé, est un moule métallique qui possède une rigidité suffisante pour présenter une bonne tenue vis-à-vis de la poussée du béton frais et résister convenablement aux efforts dynamiques engendrés par la vibration.

L'investissement pour un jeu de coffrage métallique pour une poutre en T d'une longueur de 40 m avec deux fonds de moule est relativement onéreux, de l'ordre de : 800.000,00 DH. C'est pourquoi seules des entreprises spécialisées se sont équipées de ce type de coffrage.

Le bétonnage se fait habituellement au moyen de bétonnière à dosage volumétrique de capacité de 500 L. Ainsi le bétonnage d'une poutre classique de 70 T c'est à dire de 30 m³ environ, nécessite un délai de 3 à 4 heures, soit une cadence de 8 m³/heure.

Trois jours après le bétonnage une première mise en tension de quelques cables est effectuée pour pouvoir libérer les coffrages mais cela suppose qu'à cet âge le béton a atteint une résistance suffisante pour supporter cette première précontrainte, d'où la nécessité de veiller à obtenir des bétons d'excellente qualité.

Les techniques d'étuvage permettant d'accélérer le durcissement du béton pour obtenir une meilleure rotation des coffrages ne sont pas utilisées au MAROC. Les poutres ainsi fabriquées sont stockées sur l'aire de préfabrication.

Vient ensuite l'opération de mise en place des poutres sur les appuis définitifs.

La technique la plus couramment utilisée est le lancement qui est réalisé soit au moyen d'une poutre métallique de lancement, soit au moyen de deux portiques. Ces portiques roulent sur des poutres métalliques munies d'avant becs qui reposent sur les appuis de l'ouvrage.

Une fois les poutres mises en place après rippage transversal, jusqu'à leur emplacement définitif, on procède au coulage des entretoises et du hourdis supérieur. Après quoi la mise en tension définitive des cables est faite.

La technique des ponts à poutres préfabriquées, précontraintes a atteint depuis longtemps son degré de maturité ce qui en fait toujours une solution économique et sûre. Mais elle est de plus en plus menacée par les nouvelles techniques offrant des portées par travées dépassant 40 m, tels que le poussage, ou les voussoirs assemblés par encorbellement.

II — Les autres techniques

II.1) — Le pont poussé :

Les Ponts-Poussés sont des ouvrages d'art en B.P. dont le tablier est préfabriqué. La préfabrication se fait par éléments successifs sur une aire située à l'arrière des culées. Chaque élément après durcissement et précontrainte provisoire, est amené dans sa position définitive par translation sur le profil en long de l'ouvrage par action de poussage par vérins prenant appui sur les culées.

La première idée est née en AUTRICHE et développée par le Professeur LEONHARD de Strudgart. En FRANCE ce système est présenté pour la première fois lors de la conférence tenue en 1970 à l'ITBTP.

Au MAROC le premier et unique Pont poussé réalisé jusqu'à ce jour est construit en 1972 traversant l'OUED OUM-ER-RBIA à MECHRA EL OMRI par le CT 6212. C'est un pont de 140 m de longueur totale, caisson unique continu sur 3 travées de $35 + 70 + 35$ m, comportant une plateforme de 8,00 m.

La géométrie de l'ouvrage doit remplir plusieurs conditions pour que le procédé du poussage soit applicable : hauteur constante du tablier, tracé en alignement ou en courbe continue sur toute la longueur, alignement des accès suffisamment grand pour pouvoir installer la plateforme de bétonnage.

La conception du pont poussé dépend de la géométrie de l'obstacle à traverser, et du nombre de points de poussage. On distingue :

— Pont Poussé des Deux Côtés :

Comportant en général 3 travées dont le rapport des longueurs des portées est 1:2:1. Le tablier étant entièrement bétonné les deux parties isostatiques sont poussées l'une après l'autre sur les culées et les piles par une force de traction constante pendant le poussage. Après le poussage la continuité de l'ouvrage est réalisée par un clavage de 1,00 m au milieu de la travée centrale. Après clavage on réalise une dénivellation des appuis sur culées lorsque l'ouvrage est continu sur 3 travées. Cette opération s'appelle « Réglage des Efforts ». Pour ce type de Ponts-Poussés, l'avant bec métallique et le mât de hauba-

nage métallique ne sont pas à utiliser. Ce type de construction a été appliqué pour notre Pont sur l'OUM-ER-RBIA.

— Ponts-Poussés d'un Seul Côté :

Si les conditions sont favorables pour prévoir un grand nombre de travées égales ou non, on utilise le poussage d'un seul côté. Le tablier est construit par éléments successifs en arrière de l'une des culées sur une aire de préfabrication de la longueur du tablier la force de traction nécessaire au poussage augmentant par paliers. Ce type de construction exige une seule aire de bétonnage. L'implantation de l'aire de préfabrication doit être telle que le franchissement de la 1ère Travée (Travée de Rive) soit possible.

La distance exacte entre la culée et l'aire de préfabrication dépend en particulier de la longueur de l'avant bec métallique.

Pour ce type de Ponts les portées optimales sont comprises entre 30 m et 50 m.

Pour les ouvrages à travées multiples comportant des portées atteignant ou dépassant 50 m. en phase d'utilisation il devient intéressant d'utiliser des appuis provisoires en cours de poussage. Toutefois, à partir d'une hauteur voisine de 30 m les appuis provisoires ne sont pas économiques.

— Avantage du Procédé de Construction par Poussage :

Les principaux avantages de ce mode de construction sont les suivants :

- Absence d'étaielement.
- Construction à hauteur d'homme, c'est à dire construction à terre, sur le remblai d'accès aux culées.
- Installation et matériels de poussage très limités.
- Rapidité de construction : la construction du tablier peut être entreprise avant l'achèvement des appuis avec une rapidité de 4 m/jour. Le poussage continu par glissement sur des plaques Inox cintrées permet une vitesse de translation du tablier de 8 m/L'heure.

L'ancienne méthode, utilisée pour le pont sur l'oued OUM-ER-RBIA seulement la moitié du temps était consacrée au déplacement longitudinal, l'autre moitié du temps était occupée par les mouvements verticaux ascendants et descendants du tablier par action des verrins.

Pour les portées dépassant 40,00 m l'ouvrage peut être plus économique que le système à poutres préfabriquées et lancées.

II.2) — Le pont à voussoirs préfabriqués :

Cette technique a été proposée à l'occasion du concours pour la

réalisation du futur Pont sur l'OUED BOUREGREG par une Entreprise Française, mais n'a pas été retenue pour des considérations économiques. Son avantage réside dans le fait qu'elle peut permettre d'atteindre des portées par travée dépassant 60 m et réduire ainsi le nombre des appuis intermédiaires.

Les Japonnais ont atteint 240 m par portée au moyen de cette technique.

III — Les fondations spéciales

La prise en compte des phénomènes d'affouillement et la présence des sols argileux de caractéristiques géotechniques médiocres, conduisent les maîtres d'œuvre à recourir à des fondations profondes.

Dans ces cas, les semelles des appuis reposent soit sur un caisson, soit sur un ensemble de pieux ou barrettes.

Les caissons sont descendus par havage. Ce procédé peut poser des problèmes de stabilité du caisson lorsque les sols traversés sont constitués par des vases.

En fait cette technique est rarement utilisée, on lui préfère les fondations par pieux.

Les pieux couramment utilisés de diamètre variant de 800 à 1200 mm, sont forés sous une boue de bentonite.

La substitution des barrettes de dimensions courantes 2,70 x 0,60 m aux pieux s'avère comme une solution plus économique quand le nombre de pieux à réaliser devient important. C'est le cas notamment des ouvrages autoroutiers fondés dans des sols médiocres ou afouillables. En effet les barrettes présentent une meilleure inertie aux efforts de flexion et supportent mieux le frottement négatif.

En conclusion on peut affirmer que les techniques actuellement utilisées sont généralement bien adaptées aux contraintes des sites rencontrées, et bien maîtrisées par les Entreprises Marocaines.

Les Progrès à faire très probablement compte tenu des variantes nouvelles qui commencent à être présentées conduiront sans doute dans un proche avenir à adopter la technique du poussage en raison de la simplicité de ce procédé et de l'investissement relativement faible nécessaire et qui est de l'ordre de : 1.200.000,00 DH.

IV — Evolution des prix des ouvrages d'art

Le décomposition des prix selon les différents éléments entrant dans le prix de vente dans les travaux des ouvrages d'art se présente ainsi en moyenne :

1 – PERSONNEL DE CHANTIER :	25 %
2 – MATÉRIEL :	15 %
3 – ACHATS :	45 %
4 – FRAIS DE SIEGES FRAIS FINANCIERS	12 %
5 – MARGE :	3 %

100 %

Depuis 10 ans, les postes de dépenses 1,2 et 3 ont été multipliés par un coefficient de 3 à 3,5. Or il ressort de l'analyse de l'évolution des prix pratiqués par une entreprise spécialisée dans la construction des ouvrages d'art et pour les principaux prix d'un bordereau classique à savoir les prix de béton, de coffrage et d'acier que ceux-ci ont été à peine multipliés par 2 de 1974 à 1983 et ce pour des ouvrages réalisés dans la même région et avec les mêmes techniques.

Nul doute que l'explication de ce décalage entre l'inflation réelle des postes de dépenses et les prix de vente se trouve dans la faiblesse du marché des travaux d'ouvrages d'art et la concurrence très vive qui s'y manifeste, à l'instar de celle qui existe sur le marché du bâtiment.

Dans la situation de crise que traverse actuellement tout le secteur B.T.P, les entreprises se voient obligées pour être les moins disantes, de différer les amortissements de matériel, mais cette politique de bas prix pratiquée pour survivre un peu plus hypothèque l'avenir de cette Profession.