

Le Viaduc de Millau, un défi humain une prouesse technologique

Article de Claude SERVANT, (Centrale Lyon)

Directeur Scientifique EIFFAGE

Résumé détaillé

**de l'article paru dans la revue « L'Hippocampe »
éditée par l'Association des Ingénieurs Centrale Nantes**

1. La conception

Le viaduc de Millau permet à l'autoroute A75 de franchir la vallée du Tarn. La brèche est large de 3.000 m, la hauteur au-dessus du Tarn est de 270 m. L'ouvrage est légèrement courbe, et en rampe constante de 3,025 % du Nord vers le Sud. L'ouvrage est un ouvrage continu constitué de huit travées haubanées. Les fondations reposent sur des calcaires ou des marnes

De nombreuses contraintes ont du être prises en compte :

- minimiser l'impact sur le site
- toucher le moins possible le sol
- offrir le moins de prise aux vents violents existant cette hauteur au-dessus du sol
- être le plus léger et le plus élégant possible

Les concepteurs ont ainsi pris les options suivantes :

- fondation sur une semelle rectangulaire évidée dans sa partie centrale surmontant quatre puits marocains ancrés dans le substratum rocheux
- tablier mince métallique avec des aciers de nuance S355 et S460
- succession de huit travées haubanées
- dimensions en plan des piles variables sur toute la hauteur
- dédoublement des têtes de piles en deux fûts indépendants sur 90 m pour éviter la vrille du tablier et faire face aux dilations thermiques
- fûts dédoublés des piles précontraints sur toute leur hauteur pour réduire les densités d'armatures
- pylônes ayant une forme en Y renversé orienté longitudinalement, et situés dans le prolongement des fûts dédoublés des piles
- tablier reposant sur toutes les piles par l'intermédiaire d'appareils de type rotule

De nombreuses études ont été nécessaires pour évaluer les caractéristiques des vents, et prévoir le comportement aérodynamique des différentes parties de l'ouvrage

2. La construction de l'ouvrage

2.1 Installations de chantier

Les installations de chantier ont été réparties sur quatre aires principales d'une surface globale d'environ 8 ha, en tenant compte

- des possibilités de desserte automobile
- de l'intégration dans le site
- des possibilités de desserte en énergie et fluides
- de la limitation des circulations internes et externes

Il faut y ajouter les aires d'installation en pied de chacun des appuis d'environ 3.500 m² moyens chacune. En outre ont été construits pour les besoins du chantier un pont pour le franchissement du Tarn et un ouvrage au-dessus de la route départementale 992

2.2 Déroulement des travaux : Les fondations et appuis

Les travaux de terrassement ont porté sur un volume total de 350.000 m³ environ

Les puits sur lesquels reposent les semelles ont été excavés à l'aide de pelles hydrauliques équipées de brise-roche, avec confortement successif en béton projeté

Les semelles dont l'épaisseur varie entre 3 et 5 m, représentent des bétonnages variant de 1.100 à 2.100 m³. L'exothermie a été limitée grâce au choix d'un ciment à faible dégagement de température initiale et à la réduction du dosage en ciment

2.3 Déroulement des travaux : Les piles et culées

Les fûts des piles sont réalisés en béton haute performance B60. Les trente premiers mètres sont bétonnés à la pompe, et au-delà à la benne à l'aide de grues à tour. Toutes les grues (une par pile) sont équipées d'un ascenseur (monte-grutier), d'une salle de repos, d'une cuisine et de sanitaires. Les coffrages sont du type auto-grimpant pour la partie extérieure et du type semi-grimpant pour l'intérieur, avec adaptation constante pour tenir compte de la géométrie des piles.

L'enfilage des torons de précontrainte depuis la partie basse du câble n'étant pas réalisable, il a fallu procéder à l'enfilage par le haut, toron par toron.

Les appareils d'appui du tablier sur les piles sont du type fixe à calottes sphériques présentant une surface de glissement en alliage de bronze

Les culées sont creuses, et munies d'encorbellements latéraux qui prolongent la forme du tablier jusqu'à son entrée dans le terrain naturel. Par suite d'un réseau important de fractures verticales, la fondation de la culée nord a dû être confortée pour autoriser les efforts de lancement du tablier. Étant les seules structures porteuses exposées aux projections de sels de déverglaçage, les culées sont réalisées dans un béton conforme aux règles dites " GRA ", avec entraîneur d'air.

2.4 Déroulement des travaux : Construction et lancement du tablier

La réalisation du tablier par lancement nécessite d'installer sept appuis provisoires intermédiaires, construites à l'aide d'une grue pour les plus petites, et d'un système de levage télescopique spécialement conçu pour les autres.

Le principe de construction du tablier est le suivant :

- fabrication à l'usine EIFFEL à Lauterbourg
- transport à Millau des éléments de platelage et des caissons latéraux, et à Fos sur mer des éléments de caissons centraux
- montage des caissons centraux à Fos-sur-Mer
- transport des caissons centraux de Fos-sur-Mer sur le site de Millau

Deux ateliers forains implantés sur des plates-formes aménagées derrière les culées réalisent au fur et à mesure les rabotages et les assemblages des pièces venant de Lauterbourg et Fos-sur-Mer

Le tablier métallique est mis en place par lancement sur ses appuis au fur et à mesure de la construction de ses tronçons.

Chaque tête de pile et de palée provisoire est équipée d'un chevre métallique sur lequel est disposé le système de lancement, composé de balancelles et de translateurs composés chacun d'un vérin horizontal dit de " levage " capable de développer une poussée de 250 tonnes et de deux vérins horizontaux de 60 tonnes qui se rétractent pour permettre le déplacement du tablier sur une distance de 600 mm

Chaque cycle de lancement déplace le tablier de 600 mm et dure en moyenne quatre minutes. Il comporte les phases suivantes :

- dans sa position initiale au repos, le tablier est supporté par le berceau
- le vérin de levage, en faisant coulisser une cale biaise, soulève le tablier de son appui et le fait reposer sur une coulisse
- les rails qui portent le tablier coulisent vers l'avant grâce à l'extension des vérins horizontaux de lancement
- la translation de 600 mm effectuée, la cale biaise reprend sa position de départ, laissant le tablier reposer sur le berceau

Tous les systèmes de translateurs sont commandés en même temps et des centrales hydrauliques avec débit contrôlé garantissent un déplacement identique de chaque translateur. La cadence est de 16 cycles par heure, aboutissant à une vitesse globale d'avancement de 10 m/h en moyenne

Pour franchir la distance de 171 m entre les appuis de lancement que constituent les piles et les palées provisoires, les 342 premiers mètres du tablier lancé côté Nord et du tablier lancé côté Sud sont équipés du pylône définitif sans son chapeau supérieur (P2 au Nord et P3 au Sud soit une hauteur totale de 70 m) et de six paires de haubans définitifs sur les onze que comporte chaque nappe de haubans

Les opérations de lancement ont lieu sous couverture météo pour une vitesse de vent maximale de 85 km/h en rafales.

En phase d'arrêt pendant les périodes d'assemblage des éléments du tablier, l'ouvrage est capable de résister aux vents turbulents dont la vitesse est égale à 90 % de celle des vents de service soit 185 km/h environ en rafales

Les phases d'arrêt correspondent systématiquement à une position telle qu'aussi bien l'extrémité du porte-à-faux que l'axe du pylône de lancement se trouvent à l'aplomb d'une pile ou d'une palée provisoire.

Les pylônes métalliques sont fabriqués à Frouard et préassemblés au sol puis posés sur le tablier à l'aide d'une grue treillis sur chenille. Les haubans du type MTP (multi-torons parallèles) sont fournis et mis en œuvre par la société FREYSSINET.

Juste après le dernier lancement, le clavage des deux parties en vis-à-vis du tablier a eu lieu sous couverture météo à 270 m au-dessus de la vallée du Tarn. Cette opération a consisté à souder les deux extrémités des tabliers Nord et Sud afin d'en assurer la continuité

En plus des essais géotechniques, des essais au vent et des essais courants exigés par les normes sur les matériaux, les équipements à mettre en œuvre, de nombreux essais ont été réalisés afin de valider la conception et s'assurer que le niveau de qualité requis était atteint en matière de « durée d'utilisation de projet » du viaduc de 120 ans

- essais de fluage et de retrait du béton
- tests de durabilité des bétons : perméabilité, porosité, diffusion des chlorures, résistance au gel-dégel + sel de déverglaçage, gonflement
- tests de vieillissement du béton armé par des contrôles destructifs
- essais sur les haubans : fatigue, étanchéité et différents composants
- etc.

2.4 Achèvement de l'ouvrage

Lancés le 10 octobre 2001, jour de la parution du décret de concession au Journal Officiel, les travaux de construction du viaduc de Millau ont été achevés dans un délai de 38 mois légèrement inférieur au délai contractuel de 39 mois.

Dès la fin de l'année 2003, La société EIFFAGE TP avait terminé la réalisation de tous les ouvrages de génie civil.. Fin mai 2004, la Société EIFFEL avait terminé le lancement de toutes les travées au Nord et au Sud. L'ouvrage a été inauguré le 14 décembre 2004, trois ans, jour pour jour, après la pose de la première pierre.