

HISTOIRE

Petit historique...

Une histoire hors du commun pour un ouvrage d'exception

Des premières ébauches de tracés réalisées en 1987 à la fin du chantier en décembre 2004, dix-sept années d'études et de travaux auront été nécessaires pour que le chaînon manquant de l'autoroute A75 voie le jour. Le viaduc de Millau (Aveyron), que certains n'hésitent pas à appeler le Pont du Gard du XXI^e siècle, constitue l'aboutissement d'une multitude d'étapes. Pour chacune d'elle, rigueur, précision et professionnalisme ont été les maîtres mots. Autant de conditions indispensables pour faire entrer cet ouvrage d'exception dans le livre des records.

Quatorze ans de préparation pour une aventure unique

1987 : les premières ébauches de tracés de l'A75 visant à relier le Causse Rouge (au Nord), et le Causse du Larzac (au Sud), voient le jour. Quatre tracés sont étudiés pour le franchissement de la vallée du Tarn : à l'Est et à l'Ouest de Millau, ainsi qu'un tracé proche de la N9.

1991 : la décision est prise. Un pont sera construit à quelques kilomètres à l'Ouest de la ville ; c'est le tracé « médian » qui est retenu par décision ministérielle du 28 juin 1989. La directive du 29 octobre 1991 a, en outre, adopté la « solution haute ».

1996 : à l'issue d'un appel d'offres, la solution conçue par l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Michel Virlogeux et dessinée par l'architecte britannique Lord Norman Foster, est retenue. Un ouvrage d'art multi-haubané verra le jour dans le ciel aveyronnais. Son esthétisme et son intégration dans le paysage ont séduit les services de l'Etat. Il a été préféré à quatre autres projets : un pont à épaisseur constante, un pont à épaisseur variable, un viaduc sous-bandé et un ouvrage à arche centrale unique.

1998 : le gouvernement décide la mise en concession de la construction et de l'exploitation du viaduc. Cette dernière est fixée pour une durée de 78 ans, dont trois ans de construction.

Trois ans pour un chantier de titans

2001 : en octobre, suite à un appel d'offres, l'alliance du béton (piles) et de l'acier (tablier) préconisée par le groupe Eiffage reçoit les faveurs de l'Etat. Le béton possède toutes les qualités requises d'endurance. L'acier rend possible la construction d'un tablier mince et de faible poids. Le 14 décembre, l'aventure démarre avec la pose de la première pierre.

Le béton

Quelques semaines auront suffi pour réaliser le terrassement. Dès le printemps 2002, les premières piles du viaduc de Millau s'élèvent vers le ciel. Dans le même temps, les culées (points d'ancrage du tablier à ses deux extrémités) voient le jour sur les causses. Douze mois après le début des travaux, la pile « P2 » franchit la barre des 100 mètres. Un an plus tard, le 9 décembre 2003, le chantier béton est achevé dans les temps ! Avec, en prime, le record de la plus haute pile du monde, accroché à 245 m.

L'acier...

L'assemblage du tablier d'acier débute au cours de l'été 2002. Deux chantiers à ciel ouvert sont installés en retrait des culées. Le 25 février 2003, un premier tronçon de tablier de 171 m part à l'assaut du vide : cette opération de lancement est un succès. 17 autres suivront, au rythme moyen d'un lancement toutes les quatre semaines. Le 28 mai 2004, à 14h12 précises, la jonction – ou clavage – des parties nord et sud du tablier est réalisée à 270 m au-dessus du Tarn. Mission réussie !

Puis tout s'enchaîne...

Le 29 mai 2004, soit 24 heures après le clavage, l'installation des pylônes débute, suivie de la pose des 154 haubans destinés à soutenir le tablier. En trois mois, tout est terminé.

Fin septembre, l'enrobé est appliqué sur le tablier. Aménagement de la chaussée, installation des systèmes de sécurité, éclairage, finition de la barrière de péage : le 14 décembre, l'ouvrage est inauguré par Jacques Chirac, alors Président de la République.

Le 16 décembre 2004 : Le viaduc est mis en service.

b. Les chiffres-clés :

Le Viaduc, un ouvrage de légende

Le viaduc du Millau représente l'aboutissement d'une formidable histoire. De sa conception à sa réalisation, plusieurs milliers d'hommes ont uni leur énergie et leur ingéniosité pour participer à cette œuvre unique. Au plus fort des travaux, près de 600 compagnons travaillaient sur le chantier. Ils ont maîtrisé les technologies les plus avancées (laser, GPS...) pour piloter, au millimètre près, la construction de ce géant d'acier et de béton. Pour cela, il n'aura fallu que trois ans, de décembre 2001 à décembre 2004.

La performance en chiffres

Longueur : 2 460 m

Largeur : 32 m

Hauteur maximale : 343 m, soit 19 m de plus que la Tour Eiffel

Pente : 3,025 %, en montée nord-sud dans le sens Clermont-Ferrand – Béziers

Rayon de courbure : 20 km

Hauteur de la plus haute pile (P2) : 245 m

Hauteur des pylônes : 87 m

Nombre de piles : 7

Longueur des travées : 2 travées de rive de 204 m de portée et 6 travées courantes de 342 m de portée

Nombre de haubans : 154 (11 paires par pylône disposées en une seule nappe mono-axiale)

Tension des haubans : de 900 à 1 200 tonnes pour les plus longs

Poids du tablier d'acier : 36 000 tonnes, soit cinq fois la Tour Eiffel

Volume de béton : 85 000 m³, soit 206 000 tonnes

Coût de la construction : 400 millions d'euros

Durée de la concession : 78 ans – trois ans de construction et 75 ans d'exploitation

Garantie de l'ouvrage : 120 ans

c. Les 6 étapes-clés de la construction

A la pointe de la technologie

La construction du viaduc de Millau a fait appel à la plupart des techniques de pointe utilisées dans le monde des travaux publics. Jusqu'alors, aucun chantier n'avait réuni, en un seul lieu, un tel concentré de technologies. Laser, GPS, translateurs, coffrages auto-grimpants, enrobé spécifique, béton haute performance et matériaux innovants ont servi d'instruments à la réussite d'un ouvrage hors du commun.

L'élévation des piles

Après les premiers réglages, les chantiers « béton » ont rapidement pris leur vitesse de croisière. Au rythme d'une levée de 4 mètres tous les trois jours pour chaque pile, celles-ci ont été achevées en moins de deux ans.

Le lançage du tablier

Dix-huit opérations de lançage ont amené les deux parties du tablier au-dessus du Tarn. A chaque fois, plusieurs milliers de tonnes étaient avancées de 171 m. Un tour de force rendu possible grâce à l'utilisation de 64 translateurs.

Le clavage

La rencontre des tabliers sud et nord a eu lieu le 28 mai 2004 à 270 m au-dessus du Tarn. L'aboutissement de 21 mois de travail fut un moment d'intense émotion.

L'installation des pylônes

Les pylônes ont été amenés couchés sur le tablier par quatre remorques automotrices. Pris en tenaille par d'immenses bras d'acier, ils ont été redressés à l'aplomb des piles de béton.

Le haubanage

Onze paires de haubans ont été installées en vis-à-vis sur chaque pylône. A l'intérieur des gaines de protection, plusieurs dizaines de torons (7 fils d'acier torsadés) ont été mis sous une tension définie par le bureau d'étude.

La pose de l'enrobé

L'enrobé (revêtement de chaussée) du viaduc de Millau est le résultat de plusieurs mois de recherche. Il a été conçu pour résister aux déformations du tablier et présenter toutes les qualités de confort autoroutier. Sa pose a nécessité moins de quatre jours de travail.

d. La technique :

Le béton des piles

Sous chacune des sept piles, quatre puits dits « marocains » de 9 à 18 mètres de profondeur pour un diamètre de 4 à 5 mètres, ainsi qu'une semelle de répartition de 3 à 5 mètres d'épaisseur, assurent les fondations et la stabilité du viaduc. Le bétonnage des semelles de répartition (jusqu'à 2 100 m³) est réalisé à la pompe en une seule phase.

Dès mars 2002, les piles sortent de terre. Tous les trois jours, chaque pile s'élève de 4 m. Cette performance est due en grande partie aux coffrages auto-grimpants. Grâce à un système de sabots d'ancrage et de rails fixés sur les fûts des piles, 25 minutes suffisent pour gagner la hauteur nécessaire à la préparation d'une nouvelle coulée de béton.

Parallèlement aux piles, les culées sont construites sur le Causse du Larzac et le Causse Rouge. Il s'agit des structures de béton qui assurent l'ancrage du tablier à la terre ferme.

Le 9 décembre 2003, les piles et les culées sont achevées. Pari tenu pour Eiffage TP avec quelques semaines d'avance sur le planning et, en prime, le record du monde de la plus haute pile pour « P2 ».

Les piles en chiffres...

Les piles du viaduc de Millau sont numérotées de 1 à 7, du nord au sud de l'ouvrage.

Voici leurs hauteurs respectives :

P1 : 94,50 m

P2 : 244,96 m

P3 : 221,05 m

P4 : 144,21 m

P5 : 136,42 m

P6 : 111,94 m

P7 : 77,56 m

Le tablier

20 mois pour assembler 36 000 tonnes d'acier

Le tablier en acier du viaduc de Millau se compose de 173 caissons centraux, véritable colonne vertébrale de l'ouvrage, sur lesquels ont été soudés les platelages et les caissons latéraux.

Les caissons centraux, assemblés à l'usine Eiffage Construction Métallique de Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône) à partir d'éléments préfabriqués à Lauterbourg (Bas-Rhin) en Alsace, ont été amenés à Millau via Nîmes et le plateau du Larzac. Les convois exceptionnels, d'une hauteur de 4,20 mètres et d'une longueur de 15 à 22 mètres, peuvent peser jusqu'à 90 tonnes.

Les éléments du platelage et les caissons latéraux ont, pour leur part, quitté l'Alsace, transité par Clermont-Ferrand puis par le Causse Rouge afin de rejoindre Millau. La largeur du tablier est de 32 mètres, tandis que sa masse totale avoisine les 36 000 tonnes.

Deux chantiers à ciel ouvert ont été aménagés à l'arrière des culées, au nord et au sud du viaduc. Toutes les soudures et travaux d'assemblage y ont été effectués. 96 % des tâches ont ainsi pu être réalisées au niveau du sol, limitant d'autant le risque lié au travail à grande hauteur. 1 743 mètres ont été assemblés du côté sud, contre 717 du côté nord. De septembre 2002 à mai 2004, 20 mois de travail auront été nécessaires aux 150 compagnons chargés de construire le tablier.

Le lançage

Le tablier à l'assaut du vide

La mise en place du tablier d'acier sur les piles a fait appel à une technique de lançage particulière.

Tronçon après tronçon (chacun de la longueur d'une demi-travée, soit 171 m), le tablier a été lancé dans le vide.

Pour réussir cette performance, 64 translateurs ont été utilisés. Installés sur les piles et les palées provisoires (gigantesques béquilles d'acier servant d'appuis intermédiaires entre deux piles), ils ont permis de déplacer les 36 000 t du tablier.

Chaque translateur est formé d'un bâti supportant le tablier. A l'intérieur de ce bâti, deux coulisses (cales) sont actionnées par des vérins. Celle du bas, la cale biaise, soulève la coulisse au-dessus qui prend en charge le tablier. Un vérin permet alors de déplacer l'ensemble sur 60 cm. La cale biaise est retirée et les translateurs reprennent leurs positions initiales. Chaque translateur est relié à une centrale hydraulique pilotée par ordinateur, afin que leur mise en mouvement soit parfaitement synchrone.

Au rythme d'une opération toutes les quatre semaines, il aura fallu dix-huit lançages pour amener les deux parties du tablier à l'aplomb du Tarn. Réalisé à la vitesse moyenne de 9 m/h, chaque lançage a demandé jusqu'à 48 h de travail non-stop. La jonction du tablier s'est effectuée le 28 mai 2004 à 14h12 au-dessus du Tarn.

Les pylônes

Sept mâts d'acier pour un viaduc

Dès le début des opérations de lancement, un pylône partiellement haubané a été positionné à l'extrémité de chaque partie de tablier pour éviter à celui-ci de ployer lors de son lancement entre une pile et l'autre. La mise en place des 5 pylônes manquants a débuté juste après la jonction des deux parties du tablier au-dessus du Tarn. Cette opération a été réalisée en seulement 3 mois.

Couchés sur le flanc, c'est véhiculés par quatre remorques automotrices que les pylônes ont été amenés sur le tablier à l'aplomb de la pile de béton sur laquelle ils devaient être installés. Pris alors en tenaille légèrement au-dessus de son centre de gravité par deux immenses bras d'acier, chaque pylône (700 t et 87 m de long) a été progressivement soulevé par deux vérins développant une force totale de 2 000 t.

Au cours de ces opérations, une bascule parfaitement contrôlée a permis de positionner les pylônes en position verticale, juste au-dessus de leur point d'ancrage. Ils ont alors été soudés sur le tablier.

Les haubans

1 500 tonnes de câbles sous tension

Chaque pylône du viaduc de Millau est équipé d'une nappe mono-axiale de onze paires de haubans disposés en vis-à-vis.

Selon leur longueur, ces derniers se composent de 45 à 91 câbles d'acier, ou torons, eux-mêmes formés de 7 fils d'acier (un fil central avec 6 fils torsadés autour).

Les haubans bénéficient de toute la technologie mise au point par Freyssinet. Chaque toron a reçu une triple protection contre la corrosion : galvanisation, enrobage de cire pétrolière et gaine en polyéthylène extrudé. L'enveloppe extérieure des haubans est elle-même équipée sur toute sa longueur d'un double bourrelet hélicoïdal. Le but de ce dispositif ? Éviter tout ruissellement d'eau qui provoquerait, en cas de grand vent, une mise en vibration des haubans affectant la stabilité-même du viaduc.

Les haubans ont été installés selon une technique bien rodée. Après avoir passé un premier toron dans la gaine de protection extérieure, celle-ci est hissée sur le pylône jusqu'à son emplacement définitif. Le toron est alors fixé dans ses ancrages supérieurs et inférieurs. Une « navette » permet ensuite d'amener un à un tous les autres torons, qui sont ensuite mis sous tension. Pour les haubans les plus longs, la force globale appliquée s'élève à 1 200 t.

L'enrobé

Testé et approuvé

Pour faire face aux dilatations du tablier, un enrobé spécial a été mis au point par les équipes de recherche d'Appia.

Assez souple pour s'adapter aux déformations de l'acier sans se fissurer, il doit néanmoins offrir une résistance suffisante pour répondre aux critères autoroutiers (compacité, texture, adhérence, anti-ornièreage...). Deux ans de travail ont été nécessaires pour trouver « la » formule idéale.

Plusieurs opérations ont précédé la mise en place de l'enrobé. La projection à haute pression de billes d'acier d'un millimètre de diamètre (grenailage) a permis d'enlever toute trace de rouille sur le tablier. Une couche primaire d'accrochage a été appliquée sur l'acier mis à vif avant la pose d'une feuille bitumineuse de 4 mm d'épaisseur, thermo-soudée à 400°C. Celle-ci constitue une protection parfaite contre tout risque de corrosion.

La pose de l'enrobé sur le viaduc de Millau a été réalisée par l'ex-Appia (aujourd'hui Eiffage Travaux Publics), du 21 au 24 septembre 2004. Lisse et sans une ride, il recouvre l'acier sur une épaisseur de 6,7 cm. Au total, 10 000 tonnes de béton bitumineux ont été nécessaires pour réaliser la couche de roulement. Deux centrales de production d'enrobé d'une capacité totale de 380 t/h ont été

spécialement installées à une dizaine de kilomètres au nord du viaduc. Vingt-cinq semi-remorques ont assuré l'alimentation en continu des deux finisseurs. Aucune rupture d'approvisionnement ne devait stopper l'avancée des engins chargés d'appliquer l'enrobé.

L'auvent

Une « feuille » de béton vrillée

Les bâtiments réservés à l'équipe d'exploitation commerciale et technique du viaduc et la barrière de péage se situent à 4 km au nord de l'ouvrage.

La barrière de péage est protégée par un auvent en forme de « feuille » de béton vrillée. Constituée de 53 éléments (les voussoirs), l'auvent est long de 98 mètres. Large de 28 mètres, il repose sur 48 poteaux métalliques. Quant à son poids, il avoisine les 2 500 tonnes.

La construction de l'auvent de la barrière a nécessité l'utilisation d'un béton spécifique, à très haute performance, le BSI Ceracem®. Ce dernier contient des fibres métalliques lui conférant d'énormes capacités de résistance mécanique. Il n'avait encore jamais été utilisé pour un ouvrage de cette importance.

Les voussoirs ont été coulés sur un chantier spécial situé à proximité de la culée nord du viaduc. Les voussoirs ont été fabriqués en 6 mois, d'octobre 2003 à avril 2004. Une remorque automotrice, d'une puissance de 500 chevaux et ne comportant pas moins de 120 roues, a été utilisée pour transporter ces éléments sur le chantier de la barrière. Ils étaient alors pris en charge par une grue développant une capacité de 500 tonnes et positionnés à leur emplacement définitif. Fin juin 2004, la barrière de péage possédait son profil définitif.

L'instrumentation

Un viaduc ausculté sous toutes les coutures

Piles, tablier, pylônes et haubans sont équipés d'une multitude de capteurs. Ceux-ci sont conçus pour déceler le moindre mouvement du viaduc et mesurer sa résistance à l'usure. Anémomètres, accéléromètres, inclinomètres, capteurs de température... font partie de la panoplie des instruments de mesure utilisés.

Douze extensomètres à fibre optique ont été inclus dans la semelle de la pile P2. Plus haute pile du viaduc, elle se trouve donc soumise aux efforts les plus intenses. Ces capteurs détectent des mouvements de l'ordre du millième de millimètre. D'autres extensomètres – électriques cette fois – sont répartis sur toute la hauteur de P2 et de P7. Ces appareils sont capables de fournir jusqu'à 100 mesures par seconde. Par grand vent, ils permettent de surveiller en permanence les réactions du viaduc face à des conditions extrêmes.

Des accéléromètres placés aux endroits stratégiques du tablier contrôlent les phénomènes oscillatoires qui pourraient affecter la structure métallique. Les déplacements du tablier au niveau des culées sont surveillés au millimètre près. Les haubans, quant à eux, sont également instrumentés et leur vieillissement minutieusement analysé.

Les informations recueillies sont transmises par réseau à un ordinateur situé dans le bâtiment d'exploitation contigu à la barrière de péage.