

Problématique : "Pourquoi le viaduc de Millau est-il une accumulation de prouesses techniques et architecturales ?"

PRÉSENTATION

- Nature de l'œuvre : Ouvrage d'art (construction architecturale)
- Concepteurs : **Norman Foster** (architecte - photo ❶) et **Michel Virlogeux** (ingénieur en chef des ponts et chaussées - photo ❷)
- Maître d'ouvrage : Ministère de l'Équipement, des Transports en commun, du Logement, du Tourisme et de la Mer.
- Travaux d'une durée de 3 ans réalisés par la société **Eiffage**, qui exploitera le site pendant 75 ans.
- Coût des travaux : 410.000.000 €
- Date d'ouverture : 17 décembre 2004 (inauguré le 14 décembre par le Président de la République J. Chirac)
- Localisation : Millau, Aveyron, France
- Dimensions : 2460m (longueur) x 32m (largeur) x 343m (hauteur maximale)
- Matériaux de construction : acier et béton armé
- Fonction : c'est un viaduc autoroutier



❶ : Norman **FOSTER** (1er juin 1935 à Manchester), est un architecte britannique. Fait partie des principaux représentants de l'architecture high-tech. Principales réalisations : Millenium Bridge (Londres), 30 St Mary - The Gherkin (Londres), British Museum (Londres), Aéroport de Londres Stansted, réorganisation du vieux port - Marseille, projet de rénovation et d'agrandissement du stade de football Camp Nou, Barcelone,...

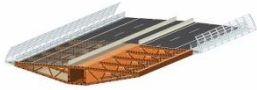
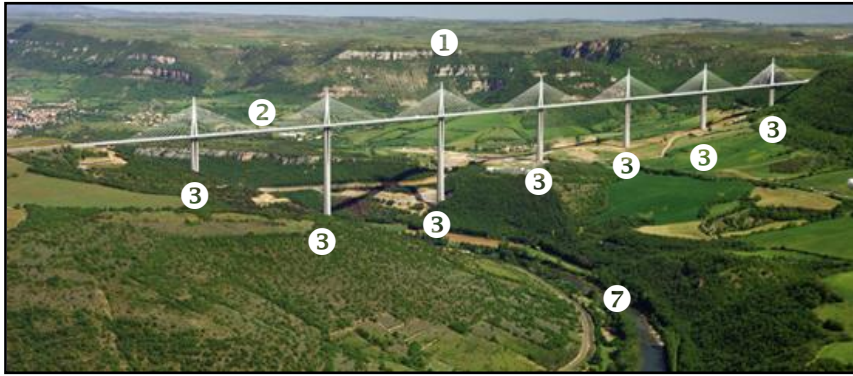


❷ : Michel **VIRLOGEUX**, (né en 1946 à La Flèche dans la Sarthe), est un ingénieur-concepteur structural français de pont et viaducs. Principales conceptions : pont de l'île de Ré, le pont de Normandie (Le Havre-Honfleur),...

Le viaduc de Millau se trouve dans le Sud ouest de la France dans le département de l'Aveyron. Il franchit la vallée du Tarn sur 2,5 Km.

Le viaduc a été construit pour achever le tronçon d'autoroute de l'A75 (axe Clermont Ferrand à Béziers à Espagne), il relie le causse rouge au plateau du Larzac en évitant ainsi d'interminables bouchons au niveau de Millau et réduisant de ce fait le temps de trajet.

DESCRIPTION

	Un viaduc autoroutier ❶	Les haubans ❺ (câbles métalliques soutenant le tablier et reliés à chaque pylône ❹)
 Le tablier ❷		
7 piles ❸ prolongées chacune par un pylône ❹	VOCABULAIRE >>> Tablier : Partie horizontale du pont qui supporte la chaussée ; Pylônes : Éléments verticaux qui tiennent les haubans ; Piles : Fondations principales situées en dessous du tablier et qui le supporte.	La vallée du Tarn ❷

Ce que l'on peut remarquer : un viaduc autoroutier qui surplombe la vallée du Tarn, il comprend 7 piles prolongées chacune par un pylône relié aux haubans. Entre la pile et le pylône nous pouvons voir le tablier (= la route). Le pont relie Clermont-Ferrand à Béziers et Narbonne par l'autoroute A75 (dite « la Méridienne »).



Vue de dessus de la vallée du Tarn enjambée par le viaduc de Millau

Question : quelle est la différence entre un pont et un viaduc ?

- Un pont est un "petit" ouvrage permettant le franchissement d'un obstacle naturel (rivière, fleuve, cavité, golfe, ...). Ex : *pont de San Francisco* appelé *le Golden Gate Bridge* ou *le Bay Bridge* (USA), le pont de Lincol, le pont des Arts (Paris).
- Le viaduc est plus haut et plus long qu'un pont. Il permet le franchissement d'une vallée sèche ou ayant un cours d'eau faible en largeur par rapport à la longueur du viaduc lui-même. Ex : Viaduc de Garabit, de Bourran.

De nos jours, on peut les employer pour qualifier les grands ouvrages en général. Par exemple : le **pont** de l'île de Ré aussi appelé le **viaduc** de Ré.

ANALYSE

OÙ CONSTRUIRE LE VIADUC DE MILLAU ?

La réalisation d'un contournement autoroutier de Millau a été envisagée afin de permettre d'assurer la continuité du trajet autoroutier entre Clermont-Ferrand et Béziers en reliant les deux tronçons de l'autoroute A75, séparés par la vallée du Tarn. Sa mise en œuvre avait non seulement pour but de désengorger la ville de Millau et donc de faciliter le trafic routier, mais aussi de décharger les axes traditionnels comme la vallée du Rhône, en faisant de la Méridienne (A75) l'itinéraire le plus attractif entre Paris et l'Espagne. Afin de mettre à jour ce projet, différents tracés ont été envisagés, **compte tenu du paysage et de l'urbanisation des environs**.

PLUSIEURS ALTERNATIVES

1. L'option « proche de la RN9 » : (repérée en rouge sur la carte)

Cette option offre une bonne desserte de la ville de Millau mais présente de grosses difficultés techniques (tunnels, viaducs, grands terrassements). Elle a donc été abandonnée.

2. L'option « Grand Est » : (repérée en jaune sur la carte)

Ce tracé franchit les vallées du Tarn et de la Dourbie grâce à deux grands ponts. Cette option a été abandonnée car la construction de ces ponts aurait été difficile : il aurait fallu mettre en place des pylônes en pente. De plus, bien que ce trajet soit court et favorable pour le trafic de transit, il ne dessert pas Millau et ses alentours dans des conditions satisfaisantes.

3. L'option « Grand Ouest » : (repérée en noir sur la carte)

Ce tracé traverse la vallée du Cernon et contourne la partie nord-ouest du Causse. Techniquement plus aisée, desservant le Saint-Affricain, cette option présentait toutefois des impacts sur l'environnement au niveau des villages pittoresques de Peyres et de Saint Georges de Luzençon. Cette option étant plus onéreuse (plus longue et avec quatre viaducs) et desservant mal Millau, elle a été abandonnée.

4. L'option « Médiane » : (repérée en bleu sur la carte)

Cette solution, moins coûteuse que l'option « Grand Ouest », présentait cependant de sérieuses difficultés géologiques, notamment pour franchir la vallée du Tarn. Des travaux d'experts ont permis de conclure à la faisabilité d'une solution s'affranchissant en partie des problèmes géologiques.

Cette option « médiane » a finalement été choisie mais elle nécessitait d'approfondir les études sur le tracé, le profil en long et le type d'ouvrage à retenir. Deux nouvelles solutions s'avéraient alors possibles :

a. **construire un viaduc de 2500 mètres et passant à 200 mètres au-dessus du Tarn**

- b. descendre plus bas dans la vallée, franchir le Tarn par un ouvrage de 600 mètres puis atteindre le Larzac par un viaduc de 2300 mètres prolongé par un tunnel.

Suite à de nombreuses comparaisons des avantages et inconvénients de chaque solution, la première fut finalement choisie notamment car elle offrait **de meilleures caractéristiques techniques : une longueur plus petite, un coût moins élevé, de meilleures conditions de sécurité, un impact moindre sur l'environnement, et un plus large consensus local**. Cette solution évitait aussi le creusement d'un tunnel.

POSITIONNEMENT FINAL DU VIADUC DE MILLAU

En contournant Millau, le Viaduc fait économiser au minimum 30 minutes en temps normal, et près de 4 heures d'embouteillages lors des périodes d'affluence en été.

C'est aussi une économie de distance, de carburant et de péages : en soulageant l'axe rhodanien proche de la saturation, l'autoroute du centre de la France (gratuite de Clermont-Ferrand à Montpellier-Béziers, hormis le péage du Viaduc de Millau) permet d'économiser 60 kilomètres et jusqu'à 34 € de péage.



CONSTRUCTION EXTRÊME ET ENVIRONNEMENT ? POSSIBLE ?

Le chantier étant implanté dans un espace protégé, la faune et la flore ne doivent pas subir de préjudices irréversibles. L'État dans le cadre de la déclaration d'utilité publique, soumet le chantier à un Plan de Respect de l'Environnement (P.R.E.) d'un haut niveau d'exigence. Le P.R.E. vise avant tout le respect de l'eau, de l'air, des déchets et du bruit.

Ce plan identifie les différents risques de pollution liés au chantier, met en place des dispositions préventives, organise les contrôles et prévoit les mesures à prendre pour traiter les pollutions qui pourraient apparaître.

L'INTÉGRATION DU VIADUC DANS LE PAYSAGE : NOTION ARCHITECTURALE

La réussite architecturale dépend des lignes générales de l'ouvrage. L'architecte doit orienter l'étude vers un dessin esthétique mais qui soit validé par les ingénieurs qui eux sont responsables de la résistance du pont.

Plusieurs éléments ont été pris en compte pour choisir le type de la structure finale :

- la distance à franchir, la matière des berges où va s'appuyer le pont (les culées),
- la hauteur et la largeur à laisser libre sous le tablier,
- les matériaux disponibles au moment de la construction,
- le trafic que doit supporter l'ouvrage, les voies d'accès au pont,
- les conditions climatiques,
- les considérations économiques,
- le facteur esthétique, ...

Dans tous les cas, ce sont les efforts à supporter qui vont guider les formes de l'ouvrage.

LES DIFFÉRENTS CHOIX ESTHÉTIQUES

Le site où doit être construit le viaduc est remarquable et grandiose, la construction de plusieurs maquettes vont permettre de choisir les formes et le type de structure de l'ouvrage les plus adaptés au paysage, 5 propositions architecturales ont été proposées :

Viaduc sous bandé L'architecte Francis Soler propose un ouvrage métallique avec un tablier en acier sous-bandé soutenu par huit piles en forme de crinolines.	
Viaduc à épaisseur constante Ce projet opte pour le minimalisme : un double tablier-caisson d'épaisseur constante à ossature métallique soutenu par onze piles en béton précontraint (béton mis au préalable sous pression pour augmenter sa résistance) disposées en V. Le cours du Tarn est également mis en valeur par une arche plus large.	
Viaduc à épaisseur variable La composition du tablier est mixte : béton et acier ; et d'épaisseur variable. Les piles en Y sont distantes de 340m et sont au nombre de 6	
Viaduc à arc central Il est doté d'une arche en béton de 600m d'ouverture, et met en valeur le lit du fleuve.	
Solution retenue : Viaduc multi-haubané Le projet retenu, de l'architecte Norman Foster, est un viaduc multi-haubané composé de sept pylônes.	Type retenu : multi haubané

La solution retenue est le projet "le plus épuré, le plus aérien", celui qui dégage le plus le paysage.

Question technologie, on peut constater que ce choix cumule à la fois des piliers en béton, un tablier à poutre en caisson acier, des pylônes et des haubans en acier d'où le terme de multi-haubané.



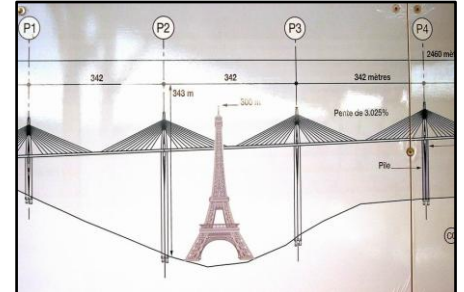
LA RÉALISATION

Les premières ébauches de tracés ont été réalisées en 1987 alors que l'ouverture du pont n'a eu lieu qu'en 2004 ; il aura donc fallu 17 années d'étude et de travaux pour réaliser ce pont.



La construction du viaduc a duré trois ans (de décembre 2001 à décembre 2004), elle s'est décomposée en 6 étapes :

- l'élévation des piles
- le lançage du tablier
- la jonction du tablier
- l'installation des pylônes
- l'haubanage
- les finitions.



Le viaduc de Millau dépasse de 19 mètres la Tour Eiffel (324m) à son point le plus élevé.

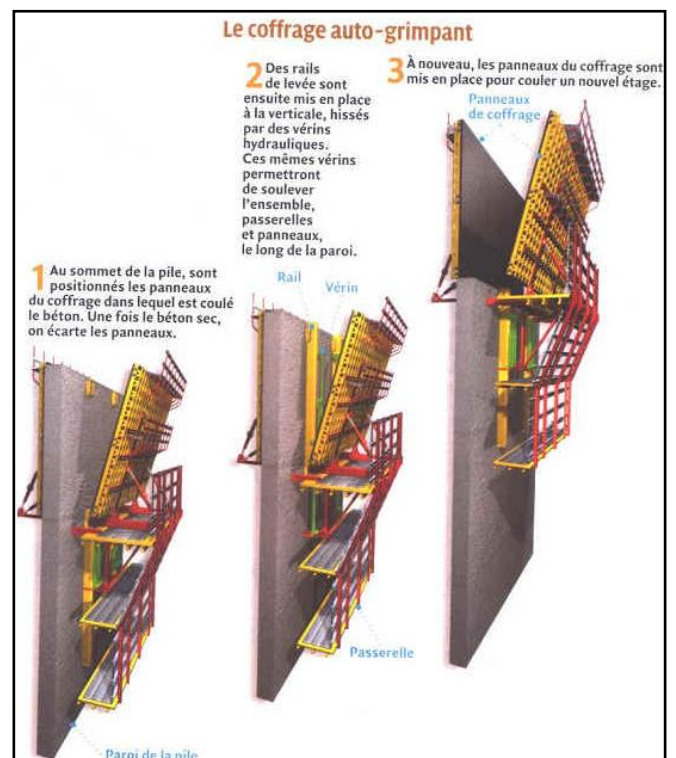
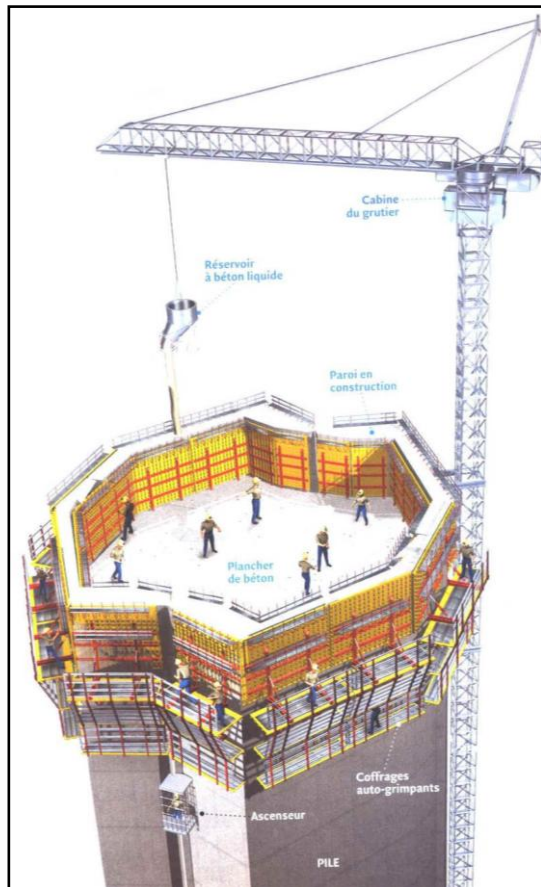
L'ÉLEVATION DES PILES

Le viaduc repose sur 7 piles. Ces piles sont **allongées et fendues** pour avoir une meilleure prise au vent et ainsi éviter le basculement ou les oscillations pouvant causer la destruction à long terme du viaduc.

Toutes les piles "montent" en même temps sur le chantier ce qui offre un gain de temps considérable. Ainsi une trentaine de personnes travaillaient en permanence sur chacune d'elles.

La hauteur de ces piles est telle qu'il n'est pas question d'utiliser un échafaudage. Les ouvriers accèdent au sommet grâce à un ascenseur dont les rails s'élèvent au fur et à mesure de la construction.

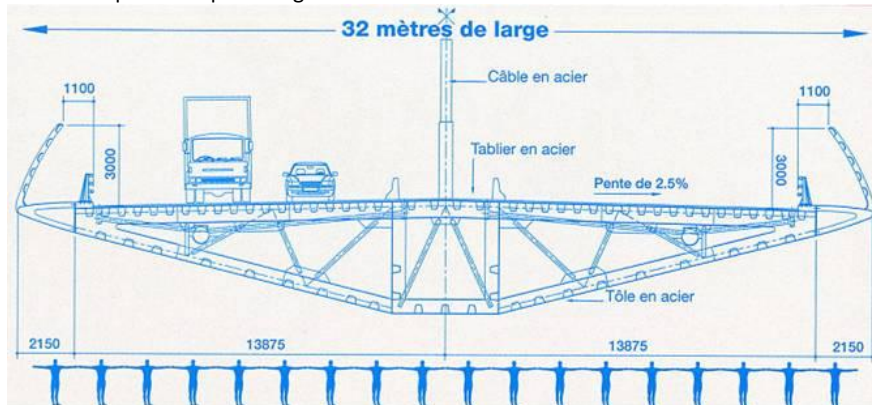
Une technique très spécifique et révolutionnaire a été utilisée pour bétonner les piles: **le coffrage auto-grimpant**, qui permet aux piles de gagner 8 mètres environ par semaine.



LE TABLIER

Le tablier est en acier et non en béton car cette dernière solution aurait donné un tablier plus lourd, plus épais et peu souple. En effet, en acier il pèse seulement 36 000 tonnes mais pèserait 120 000 tonnes si il était en béton. Avec un tablier en acier, les piles, les fondations et les haubans doivent être moins important.

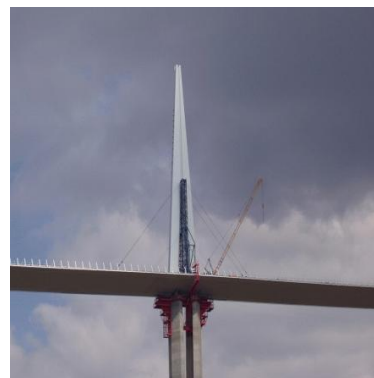
Le viaduc a donc au final une silhouette plus fine qui s'intègre mieux à son environnement.



Le tablier a la forme caractéristique d'une double aile d'avion retournée. Cette forme lui assure une stabilité face au vent. En effet, le vent va produire une dépression en dessous du tablier donc il va subir une force qui l'attire vers le bas et qui le stabilise sur les piles lors des grands vents, car le vent est un ennemi redoutable pour le viaduc : si le tablier se soulève et retombe, les haubans se fragilisent.

LES PYLÔNES

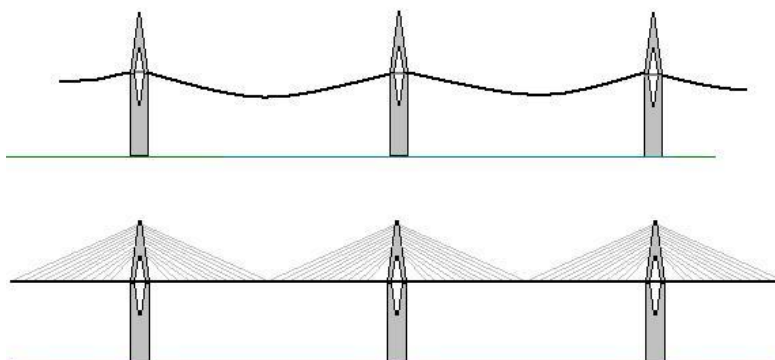
Les pylônes sont en acier et supportent les haubans. Ils mesurent 90 m de haut et reprennent la forme des piles. (Sorte d'Y à l'envers). Il y en a donc sept, un au dessus de chaque pile. Ils pèsent en tout 4600 tonnes.



LES HAUBANS

Ce sont les câbles qui relient le tablier aux pylônes. Sans eux, le viaduc ne pourrait pas exister ou alors il comporterait plus de piles. Les travées du tablier entre chaque pile étant de 342 m et le tablier étant relativement souple, afin que le tablier ne cède ou plie sous son propre poids le viaduc est munie de haubans.

Il y en a 11 paires par pylônes. Ils sont fait en acier pesant en tout 1500 tonnes. La tension équivaut à une force de 600 tonnes pour les plus courts à 1200 tonnes pour les plus longs.



Les haubans transmettent le poids du tablier aux pylônes qui à leur tour le transmettent aux piles du viaduc. C'est donc les sept piles qui supportent le tablier.



Le Viaduc de Millau en chiffres :

- Le tablier mesure 2460 mètres de longueur et 32 mètres de largeur.
- Il pèse 36.000 tonnes (85.000 m³ de béton) soit plus de 4 Tours Eiffel.
- Le tablier de 32 m de large accueille une autoroute de 2x2 voies et deux voies de secours.
- Il traverse la vallée du Tarn à 270 m de hauteur.
- Hauteur maximale : 343 mètres, soit 19 mètres de plus que la Tour Eiffel.
- Nombre de piles : 7, prolongées chacune par un pylône de 87 m auquel sont arrimées 11 paires de haubans.
- Hauteur de la plus haute pile (P2) : 245 m.
- Nombre de haubans : 154.
- Tension des haubans : de 900 t à 1200 t pour les plus longs.
- Outre sa hauteur, on peut s'étonner du fait qu'il ne soit pas rectiligne. En effet, son rayon de courbure de 20 km permet aux véhicules d'avoir une trajectoire plus précise qu'en ligne droite et de donner l'illusion d'un viaduc interminable.
- Pente : 3,025 %, en montée nord-sud dans le sens Clermont-Ferrand – Béziers.
- Il complète l'axe de la Méridienne entre Paris et Béziers et il en constitue le seul maillon à péage, franchissable par 18 voies.
- Durée de la concession : 78 ans – 3 ans de construction et 75 ans d'exploitation.
- Garantie de l'ouvrage : 120 ans.

Pour plus d'informations : <http://www.leviaducdemillau.com>

EN CONCLUSION

Le viaduc de Millau peut être qualifié d'ouvrage d'art du fait de l'intervention dans sa conception et sa réalisation, de connaissances mettant en jeu autant l'expérience que la théorie (on parle souvent pour qualifier ces connaissances d'art de l'ingénierie).

Le viaduc est **un ouvrage qui marque le 21^{ème} siècle** : imposant et monumental avec ses 36.000 tonnes, sa structure architecturale parfaitement **épurée et aérienne** lui permet de **s'intégrer parfaitement dans le paysage des causses**. Il est aussi le plus haut pont à haubans de l'histoire.

D'un point de vue utilitaire, la mise en service du viaduc offre trois avantages :

- la **fin des traditionnels bouchons estivaux** de Millau,
- un **accès plus rapide** pour les flux de populations allant de l'Europe du Nord vers l'Espagne,
- en ce qui concerne la circulation des poids lourds, ce nouvel itinéraire, **plus court et moins onéreux** décharge les axes traditionnels.

D'un point de vue touristique et économique, il apparaît au même titre que la tour Eiffel ou le pont du Gard.

C'est une véritable **signature emblématique de la ville et du département** ; il est à lui seul un vecteur économique et culturel dans le monde entier.