

Les ouvrages d'art en acier

Viaducs, ponts, passerelles

Aujourd'hui, l'acier est le matériau incontournable pour les ouvrages d'art de moyenne et grande portée en France. Les ponts trouvent dans l'acier la possibilité de repousser toujours plus loin leurs limites structurales, d'allier performance technique et réussite esthétique. Reste à progresser dans les petites portées, où le béton est quasi dominant. Retour sur une histoire d'amour qui date de plus d'un siècle.

Jusqu'à la fin des années 60, l'acier était à l'honneur dans les ponts en France. Il a ensuite essuyé de plein fouet le développement du béton précontraint, dans les années 70, disparaissant pratiquement du marché français des ponts. Enfin, depuis les années 80, il a amorcé un retour en force, qui n'a cessé depuis de se confirmer.

C'est avec les **ponts à tabliers bi-poutres**, ouvrages fonctionnels, économiquement intéressants et mécaniquement performants, que l'acier a commencé sa reconquête du marché des ponts. Aujourd'hui, en France, 80 % des ponts de portée moyenne sont construits avec un tablier mixte acier-béton. La surface totale des tabliers bi-poutre mixtes a augmenté de près de 30 % entre 1975 et 2003, soit une consommation moyenne en France de 30 000 à 40 000 tonnes d'acier par an (sans compter les très gros projets comme les ponts TGV ou le viaduc de Millau).

Mais ce sont les **ponts en arc** qui, ces dernières années, ont redonné à l'acier ses lettres de noblesse dans le secteur. Car il a restitué au pont son qualificatif d'ouvrage d'art, autrement dit sa dimension esthétique.

Pourquoi ce retour en force de l'acier ?

Grâce à plusieurs efforts et actions conjugués :

- **Les efforts de la sidérurgie**

La sidérurgie n'a cessé d'innover dans les aciers, produisant des nuances au ratio résistance/masse toujours plus élevé, d'où un allègement des structures ; des aciers capables de couvrir des portées plus grandes, de supporter des charges plus importantes, de créer des formes inédites ; des aciers soudables sans précautions particulières ou autorisant des assemblages de nuances différentes, des aciers résistant mieux à la corrosion..., etc.

Les efforts de la sidérurgie ont porté également sur le rapport qualité/prix de l'acier, toujours plus compétitif ; sur l'élargissement des gammes dimensionnelles des tôles, sur l'amélioration des tolérances sur épaisseur et la réalisation de tôles à épaisseur variable, et enfin sur le développement des tôles thermo-mécaniques en fortes épaisseurs et à soudabilité exceptionnelle.

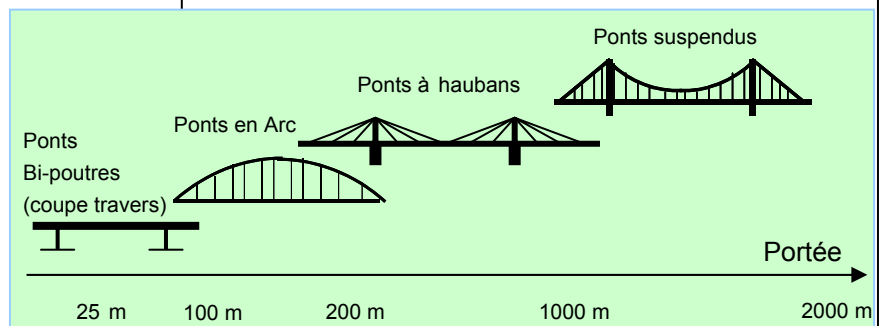
(suite page 2)

A chaque portée son pont acier

C'est essentiellement la portée* - distance entre deux piles - qui détermine le choix du type de pont acier : du bi-poutre pour les petites et moyennes portées, au pont suspendu pour les portées exceptionnelles.

- **Petites et moyennes portées : le tablier bi-poutre mixte acier/béton.**

Constitué de deux poutres en acier supportant une dalle béton, ce pont utilise de façon optimale chacun des matériaux. La dalle béton ne résiste bien qu'en compression (idéal pour la partie supérieure du tablier), tandis que les poutres en acier résistent à la fois en compression et en traction (idéal pour une bonne résistance à la flexion longitudinale, en partie inférieure du tablier).



Pour ces ouvrages bi-poutres, la rigidité est donnée par la géométrie transversale du tablier (principalement sa hauteur), qui croît en fonction de la portée de l'ouvrage. Au-delà d'une certaine portée, la hauteur du tablier devrait être telle, que la conception bi-poutre devient prohibitive (masse élevée, coût énorme, conditions de lancement irréalistes, gabarit de passage sous l'ouvrage réduit...). Il faut alors recourir à d'autres principes de fonctionnement : ponts en arc, haubanés ou suspendus (lire page suivante).

L'apport de l'acier dans le bi-poutre : facilité de construction, durée d'installation réduite, grande durabilité, coût global de construction moindre par rapport à une solution tout béton, préservation de l'environnement (peu de nuisances et de déchets durant le chantier). (suite page 2)



Pont bi-poutre courbe, sur l'A 40. Deux poutres en acier soutiennent une dalle de béton

Photos : Ets J.R. Ducros

Graphique W. Hoopman

* Petite portée : jusque 25 m environ. Moyenne portée : jusque 80 m environ. Grande portée : + de 80 m.

• Moyennes et grandes portées : les ponts en arc

Très utilisés pour les ponts TGV de grande et moyenne portées, les ponts en arc offrent de plus la possibilité de constructions particulièrement esthétiques.



Viaduc de la Donzère (26) – TGV Méditerranée

L'apport de l'acier : il permet de grandes portées, tout en conservant des lignes élancées (cf Bulletin Ponts Métalliques n°22).

• Grandes portées : les ponts à haubans

Dans ces ouvrages, le tablier est soutenu par des haubans (nom désignant aussi les câbles qui assurent le maintien des mâts de voiliers ou des grues haubannées) eux-mêmes reliés à des pylones en béton (pont de Normandie) ou en acier (viaduc de Millau). Le principe de ce type de pont est de diminuer la flexion longitudinale du tablier par une redistribution des efforts via les haubans. Ils peuvent franchir des distances de près de 1000 m (856 m de portée pour le pont haubané de Normandie, par exemple) tout en conservant une épaisseur de tablier raisonnable.



Pont haubané "Oresund bridge" entre Malmö (Suède) et Copenhague (Danemark)

L'apport de l'acier : la préfabrication en atelier des différents éléments du pont, ce qui contribue au confort et à la sécurité des ouvriers (sur le viaduc de Millau, le travail en hauteur représente moins de 4 % des heures de chantier), à la préservation de l'environnement et à des délais de fabrication réduits. Mais aussi l'allègement du tablier, ce qui réduit le nombre de haubans nécessaires.

• Portées exceptionnelles (plus d'un kilomètre) : les ponts suspendus

Ici, l'ouvrage met en œuvre des câbles (suspentes) accrochés perpendiculairement au tablier et fixés à deux gros câbles porteurs, eux-mêmes reliés aux piles et aux culées.



Pont suspendu d'Akashi Kaikyo, au Japon (1991m)

Cela en vue de réduire les sollicitations dans le tablier.

L'apport de l'acier : lui seul est structurellement capable de soutenir de telles charges permanentes avec un bon compromis poids, résistance, encombrement et esthétique.

• **Les efforts des concepteurs de ponts**, qui ont su utiliser les nouveaux aciers, élaborer des constructions plus épurées (ossatures complètement soudées résistant mieux à la corrosion et favorisant une transmission optimale des efforts, par rapport aux ossatures précédentes, rivetées et boulonnées) et des méthodes de calcul plus modernes.

• **Les efforts des constructeurs métalliques**, qui ont adopté des méthodes de fabrication plus fiables et plus productives : machines à commandes numériques, robots de soudage, lignes automatiques de fabrication de PRS (Poutres Reconstituées Soudées).

• **Les efforts du comité Ponts Métalliques**, créé en 1983 (lire l'encadré page 2) pour promouvoir l'utilisation de l'acier dans les ouvrages d'art, et faciliter l'industrialisation d'innovations techniques via des projets pilotes. Le pont de Rémoulins (mis en service en 1995 dans le département du Gard), par exemple, a été le premier ouvrage expérimentant les aciers thermomécaniques qui se sont ensuite développés dans les ponts avec succès (cf « à lire (1) », p 3).

Quels types d'acier pour quels types de besoins ?

Les ponts métalliques et la construction bénéficient des recherches menées par les sidérurgistes. Voici quelques-unes des innovations acier (plaques et profilés) qui ont eu des répercussions sur la conception des ponts.

• **Les aciers thermo-mécaniques (TM)** : obtenus lors de l'opération de laminage par un process thermo-mécanique, ces nuances présentent de hautes limites d'élasticité tout en conservant une bonne aptitude au soudage. Y compris pour de fortes épaisseurs (150 mm), et ce généralement sans préchauffage. (cf « à lire (1) », p 3)

• **Les tôles profilées en long (tôles PL)**, dites aussi à épaisseurs variables. L'idée, ici, est de produire directement au laminoir une tôle dont l'épaisseur varie dans sa longueur. Ainsi, en chaque section de la tôle, l'épaisseur du métal est exactement adaptée aux contraintes auxquelles sera soumise cette partie de tôle une fois le tablier en service. Avantages : un allègement important (pas d'acier « redondant »), une réduction de la quantité d'acier nécessaire, une diminution du nombre de soudures. Autrement dit un coût moindre pour un comportement en fatigue optimal.

• **Les aciers « auto-patinables »**, ou à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique : ces aciers faiblement alliés ont, dans certaines conditions d'exposition, la faculté de se recouvrir d'une couche protectrice dite « patine ».



Le Shanks Millennium bridge à Peterborough utilise des tôles à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique

L'intérêt : diminuer les contraintes de maintenance ou de remise en peinture et assurer la pérennité de l'ouvrage.

Les actions « ponts » de l'Otua

L'Otua travaille depuis des années à promouvoir les solutions acier innovantes dans les ponts.

- Organisation de symposiums et autres congrès internationaux pour faire connaître les innovations des solutions acier auprès des prescripteurs et autres acteurs de la filière pont.
- Conseil et assistance pour la conception d'ouvrages auprès des maîtres d'ouvrages.
- Publication d'ouvrages techniques à l'attention des prescripteurs et des constructeurs : le bulletin Ponts Métalliques et le bulletin Ouvrages Métalliques.
- Transfert de technologie auprès d'autres pays pour l'utilisation de l'acier dans les ponts (exemple en Espagne, pour les ponts TGV).
- Organisation de journées techniques : conférences et visites de chantiers pour montrer de façon pédagogique et concrète aux architectes, bureaux d'études, constructeurs et étudiants les avantages de l'acier dans les ponts (exemple : ponts de Valence et viaduc de Meaux en 2003).

Grand rendez-vous des ponts en acier à Millau



Photo : Otua

Les 23, 24 et 25 juin 2004, l'Otua organise à Millau un symposium international sur les ponts métalliques.

Durant trois jours de conférences et de visites de chantiers, des spécialistes venus du monde entier feront le point sur toutes les innovations apportées par l'acier dans le domaine des ponts.

Le tout à la lumière du viaduc de Millau (ci-dessus), qui consacre l'acier comme le matériau des ouvrages d'art exceptionnels de notre temps. Le viaduc de Millau est aujourd'hui le pont haubané le plus haut du monde. Son tablier, entièrement en acier, se situe à 270 mètres au-dessus du Tarn et l'ouvrage fait 2460 mètres de long.

Le viaduc, dont la première pierre a été posée en décembre 2001, approche du terme de sa construction. Lors du symposium, le tablier aura joint les deux rives du Tarn. Les pylones et les haubans seront en cours d'installation.

Pour en savoir Plus : www.otua.org / congres

Un comité pour les ponts métalliques

Le comité ponts a été créé le 12 juillet 1983 par un collectif de donneurs d'ordre, de concepteurs, de sidérurgistes et de constructeurs. A un moment où le marché des ponts était dominé par le béton, ils ont souhaité conjuguer leurs efforts pour que les maîtres d'ouvrages prennent conscience que le pont métallique est une solution intéressante à tout point de vue.

Si la compétitivité entre l'acier et le béton dans la réalisation d'ouvrages d'art est une source de progrès pour la technique et la recherche d'abaissement des coûts, elle ne doit pas cependant entraîner la disparition de l'une ou l'autre des techniques. C'est la réflexion qui a été à l'origine de la création du comité Ponts Métalliques.

Objectifs : favoriser l'émergence des ponts en acier par rapport aux ponts béton, augmenter la part de marché de l'acier dans ce secteur. Dans les ponts, en effet, le tonnage d'acier n'évolue plus beaucoup aujourd'hui, du fait du faible nombre de projets et, dans une moindre mesure, de l'optimisation des ouvrages (aciers à très haute limite d'élasticité, permettant d'utiliser moins de matériau).

Membres : Le comité est aujourd'hui constitué d'une vingtaine de membres : représentants du ministère de l'Équipement et des Transports, de maîtres d'œuvre comme la SNCF ou la RATP, de la sidérurgie, constructeurs métalliques, bureaux d'étude, etc. L'Otua en fait bien sûr partie, afin d'y être porte parole de ses adhérents, et d'être proactif auprès des principaux décideurs de la filière.

Activités : Le comité se réunit tous les 6 mois pour veiller à promouvoir les solutions acier dans les ponts, principalement dans leur capacité à apporter des réponses innovantes et économiques à des exigences techniques toujours plus élevées.

Les « plus de l'acier » dans les ponts

- Excellent rapport résistance / poids, renforcé par l'utilisation d'aciers à très haute résistance.
- Stabilité et fiabilité dans le temps : bien entretenu, il ne s'altère pas et conserve l'intégralité de ses propriétés.
- Durabilité.
- Adaptabilité : possibilité d'aménagements de l'ouvrage en cours de vie (élargissement du pont suspendu de Lisbonne sur le Tage, par exemple, avec la création d'un niveau supplémentaire pour le trafic ferroviaire⁽²⁾).
- Réparations aisées et rapides, ne condamnant pas l'utilisation de l'ouvrage.
- Facilité de montage : assemblage d'éléments préfabriqués en atelier et lancés par poussage.
- Délais de construction courts.
- Bon rapport à l'environnement : intégration harmonieuse, recyclage systématique, déconstruction aisée.
- Esthétique : structures élancées et ouvragées.
- Sécurité de travail pour les ouvriers, du fait de la part importante de travail en atelier.

A lire : (1) « Les aciers thermomécaniques », Otua, mai 1997 -

(2) : Le Bulletin Ponts Métalliques n°21, qui évoque ce pont sur le Tage

L'entretien des ponts acier

Bien entretenus, les ponts métalliques ont une durée de vie largement supérieure à 100 ans.

Les ouvrages d'aujourd'hui ne nécessitent pas de remise en peinture fréquente. Les systèmes de peinture durent entre 20 et 30 ans et on espère atteindre 40 ans bientôt.

Les principaux procédés de protection des ouvrages métalliques contre la corrosion sont :

- la mise en peinture de l'acier
- la galvanisation à chaud suivie d'une mise en peinture

Une remise à jour du fascicule 56 du CCTG (Cahier des clauses techniques générales des marchés de l'Etat), intitulé « Pour une meilleure protection des ouvrages métalliques contre la corrosion », est en cours de publication.



Photo : Otua

Par ailleurs, le site internet de l'Otua présente dans sa partie « Traitements de surface » une explication détaillée des travaux de restauration du Pont

Alexandre III à Paris (photo ci-dessus). Ce pont aujourd'hui centenaire, dont les infrastructures et les superstructures sont en acier, a fait l'objet d'une restauration complète en 1998. Ceci sans interruption de trafic, tant fluvial que routier.

Pour en savoir plus sur le Pont Alexandre III : www.otua.org/Tout_sur_l'acier/Traitements_de_surface.

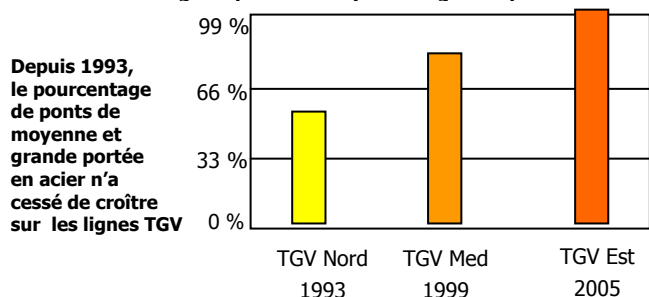
L'acier dans les ponts TGV

Au démarrage du TGV, en 1985, sur le trajet Paris Lyon, aucun pont n'avait un tablier en ossature acier.

Sur le TGV Nord, mis en service en 1993, 50 % des ponts de moyenne et grande portée sont en acier. Sur le TGV Méditerranée (1999), ce pourcentage atteint 80 % et il culmine à 100 % sur le TGV Est, qui sera mis en service en 2007.

Les ponts TGV sont des ouvrages extrêmement sollicités sur le plan mécanique et doivent présenter des garanties de sécurité optimales. Or l'acier apporte des réponses particulièrement adaptées à ces exigences, de par ses propriétés de résistance et de tenue en service.

Pourcentage de ponts de moyenne et grande portée en acier



Depuis 1993, le pourcentage de ponts de moyenne et grande portée en acier n'a cessé de croître sur les lignes TGV

Projet Mikti pour les petites portées

Lancé il y a trois ans, le projet National de Recherche Mikti sur les ponts et passerelles mixtes de demain a pour but de promouvoir des structures mixtes acier-béton dans les ouvrages de petite portée (inférieure à 25 mètres).

L'idée étant d'optimiser l'utilisation de l'acier dans ces portées à travers une association judicieuse avec le béton. Même s'il s'agit de petits ouvrages, ce marché représente un tonnage important du fait du nombre de constructions réalisées chaque année. D'où un enjeu fort pour l'acier.

Les passerelles piétons vont elles aussi bénéficier des résultats de ces études. Intégrées dans notre cadre de vie quotidien, elles représentent une vitrine de choix pour l'acier. Elles doivent être à la fois esthétiques et sûres.

Pour en savoir plus : <http://pnmikti.free.fr>.

Le monstre de Messine

Personne n'y croyait et pourtant le projet est en route. En 2011 la Sicile devrait être reliée à la Calabre par un géant d'acier de 350 000 tonnes, soit près de dix fois le poids d'acier du tablier du viaduc de Millau !

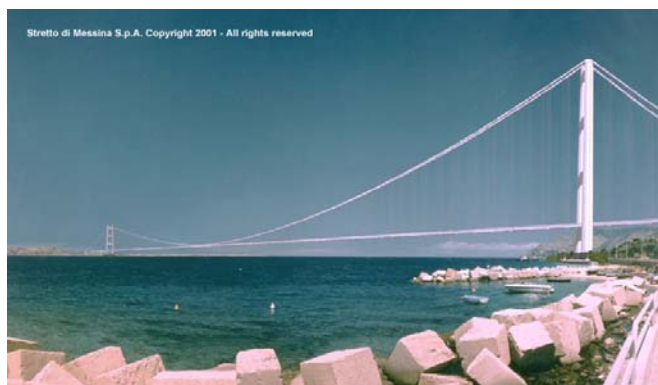


Photo : strettodimessina

Ce pont suspendu sera un record mondial de tous les temps par sa longueur : 3 300 m de distance entre les deux pylônes d'acier de 56 000 tonnes chacun. Il supportera deux chaussées autoroutières de trois voies chacune, séparées par une double voie ferroviaire électrifiée ; 6000 véhicules par heure et 200 trains par jour. Il est conçu pour résister à des vents de 216 km/heure et supporter des séismes de 7,1 degrés sur l'échelle de Richter.

Pour en savoir plus : www.strettodimessina.it

Ouvrages et documents de référence

- Bulletins Ponts Métalliques n°21 (sur le pont de Lisbonne) et n° 22 (sur les ponts en arc)
- Bulletin ouvrages métalliques n°3 (passerelles et petits ouvrages)
- « Les aciers thermomécaniques », Otua, mai 1997
- site APK (www.otua.org/Enseignement_Formation)

Contacts à l'Otua : Joëlle Pontet – Tél : + 33 1 41 25 54 33 – joelle.pontet@otua.ffa.fr
Jean-Michel Vigo – Tél : + 33 1 41 25 64 89 – jean-michel.vigo@otua.ffa.fr