

Fiche n° XVI-1

"Les ouvrages métalliques ou mixtes"

1. Objet de la présente fiche

Cette fiche présente de façon générale les opérations de construction des ouvrages métalliques ou mixtes. Elle constitue un socle commun aux fiches spécifiques suivantes :

- Fiche XVI-2 : Aciers de charpente métallique
- Fiche XVII-1 : Montage des ouvrages métalliques ou mixtes
- Fiche XVII-2 : Assemblages Soudés
- Fiche XVII-3 : Assemblages Boulonnés
- Fiche XVIII-1 : Protection contre la Corrosion

2. Ponts métalliques ou mixtes

Les ouvrages les plus courants sont les ponts mixtes acier-béton. La dalle en béton armé est solidarifiée à la charpente métallique par connexion, l'acier et le béton participant ensemble à la résistance du tablier. La dalle est dite participante.

Les ouvrages mixtes sont pour la plupart des ouvrages à poutres sous chaussée dont la grande majorité comportent deux poutres (on parle alors de **bipoutres**) et, plus rarement, plus de deux poutres (on parle alors de **multipoutres**). Les ouvrages en **caissons** mixtes sont beaucoup moins fréquents.

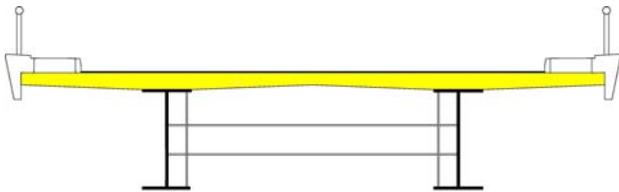


photo CETES0

ouvrage mixte bipoutre

Les ouvrages entièrement métalliques sont peu courants. Ils sont utilisés lorsque que l'on recherche un gain de poids mort (ouvrages de très grandes portées, suspendus ou à haubans, ponts mobiles, ...). On a alors recours à une couverture métallique constituée d'une tôle raidie longitudinalement et appelée dalle orthotrope.

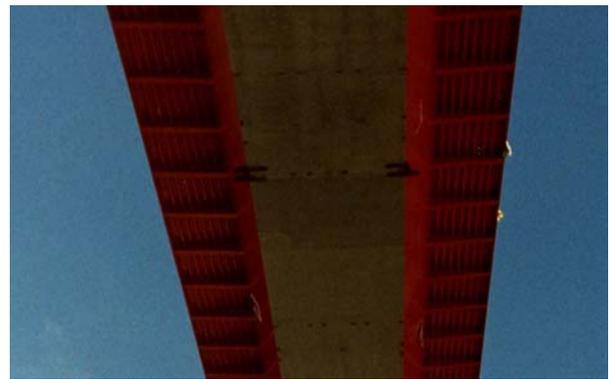
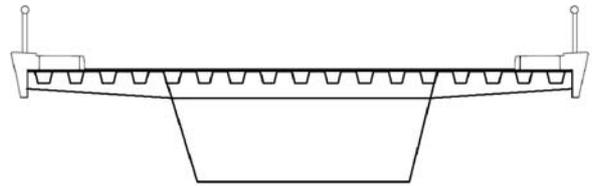


photo Sétra

dalle orthotrope d'un caisson métallique

Des ouvrages à poutres latérales à âmes pleines ou triangulées peuvent également être utilisés. La dalle en béton est dans ce cas non participante vis-à-vis de la flexion longitudinale.

Les ponts à poutrelles enrobées sont constitués de poutrelles en acier associées à un ferrailage de béton armé. Le béton est coulé sur des coffrages perdus reposant sur les ailes inférieures des poutres.

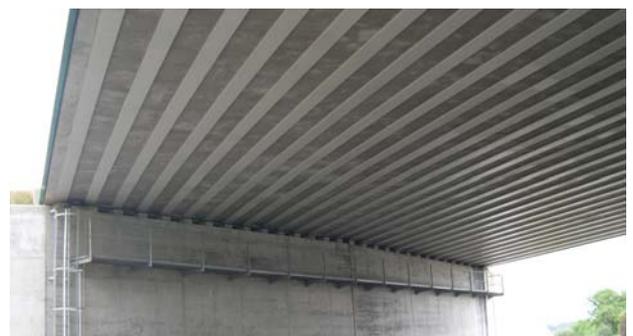


photo CETES0

pont à poutrelles enrobées.

Le plus souvent, les tabliers sont des poutres continues reposant sur des appuis horizontaux. Des structures plus complexes, triangulées, à arcs ou à béquilles sont aussi possibles.



photo Sétra

Pont sur l'Ante à Falaise

la liaison entre la dalle et la charpente. Cette connexion est indispensable pour empêcher tout glissement ou soulèvement de la dalle par rapport aux poutres métalliques et garantir ainsi la participation effective du hourdis.



photo DDE 12

← files de goujons soudés sur la semelle supérieure d'une poutre

files de cornières soudées sur la semelle supérieure d'un caisson →



photo Sétra

3. Rappels et définitions

Morphologie des ponts métalliques

Dans le cas des ouvrages à poutres, la charpente métallique est constituée de poutres principales en acier, de hauteur constante ou variable, elles-mêmes obtenues par assemblage de tôles par soudure. On obtient des profilés reconstitués soudés (PRS), par opposition aux profilés standards réalisés par laminage.

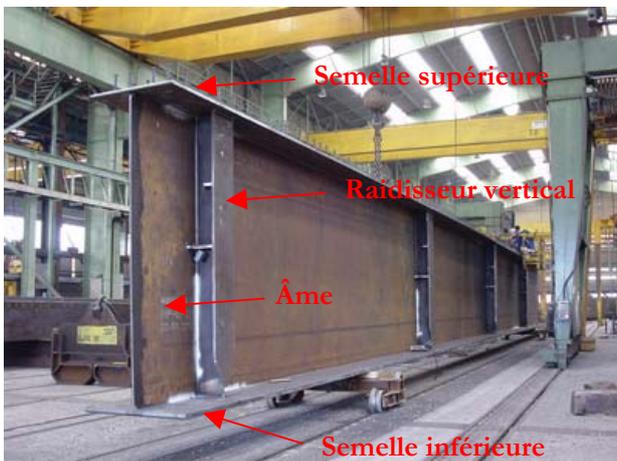


photo CETESIO

poutre PRS à l'atelier

Ces poutres comportent une âme (tôle mince quasi verticale de 16 mm à 28 mm d'épaisseur) et deux semelles supérieure et inférieure dont l'épaisseur peut atteindre 150 mm. Leurs dimensions varient le long de l'ouvrage pour s'adapter aux efforts que subira le tablier.

Des connecteurs métalliques (goujons ou cornières) sont soudés sur la semelle supérieure en vue d'assurer

Les poutres principales sont reliées entre elles transversalement. Dans le cas d'un ouvrage mixte bipoutre, les poutres sont liaisonsées soit par des entretoises, non connectées à la dalle et espacées de 8 m environ), soit par des pièces de pont, connectées à la dalle et espacées de 4 m environ. Ces éléments sont des profilés en I (PRS ou profilés standards).

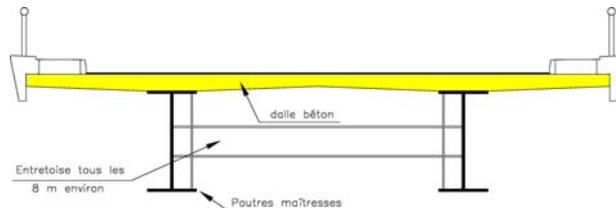


photo DDE 12

ossature à entretoises

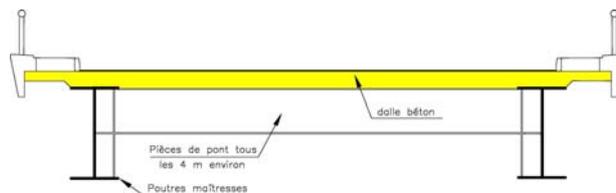




photo CETESO

ossature à pièces de pont

Dans certains cas les pièces de pont sont prolongées sous les encorbellements par des consoles.



photo CETESO

pièces de pont et consoles de pièces de pont sous encorbellement

Des montants verticaux situés dans le plan des entretoises ou des pièces de pont réalisent un raidissage de l'âme et permettent la fixation des éléments transversaux sur les poutres. Des systèmes d'entretoisement des poutres sont ainsi constitués par la dalle, les entretoises ou pièces de pont et les montants.

La morphologie des structures en forme de **caisson** est assez différente. On a recours à ce type de structure lorsqu'il est nécessaire de résister à des effets de torsion, de réaliser des ouvrages plus minces ou de plus grande portée. La forme du caisson est par ailleurs séduisante sur le plan architectural. La charpente métallique est alors constituée d'une tôle de fond, de deux âmes, généralement inclinées, et de deux semelles supérieures connectées à la dalle. Une tôle supérieure peut également être prévue pour constituer un caisson métallique fermé. L'ensemble est raidi transversalement par la réalisation de cadres ou de diaphragmes (dans le cas des diaphragmes, on prévoit un trou d'homme permettant une circulation dans le caisson et l'accès à l'ouvrage depuis les abouts). Un raidissage important renforce la tôle de fond de caisson fortement comprimée au voisinage des appuis, mais également en zone courante dans le cas d'ouvrages lancés. On rencontre différentes formes de raidisseurs en simple plat, en té ou en auget.



photo Sétra

← cadre de raidissage d'un caisson

Diaphragme de raidissage d'un caisson (il s'agit d'un diaphragme d'appui) →



photo Sétra

Noter sur ces photos, les raidisseurs de fond de caisson en augets et les contreventements provisoires.



photo CETESO

caisson mixte

Les ouvrages à **poutres latérales** sont utilisés lorsque les contraintes de gabarit ne permettent pas de placer la structure porteuse sous la chaussée. Les poutres porteuses sont alors placées latéralement par rapport à la voie portée.

Les poutres latérales portent un platelage (en béton, métallique ou en bois) par l'intermédiaire de pièces de pont inférieures. Des contreventements supérieurs peuvent être également nécessaires.

On distingue :

- Les poutres latérales à âmes pleines constituées chacune de deux semelles de forte épaisseur et d'une âme.



photo Sétra

Ouvrage à poutres latérales pleines (sur l'aire de lancement)

- Les poutres latérales à treillis dans différentes configurations d'assemblages, sous formes de poutres triangulées (Warren avec montants pour les ponts-rails ou sans montant pour les ponts-routes). D'autres types de poutres (poutre-échelle par exemple) sont encore parfois utilisées, mais en pratique pour le cas de passerelles piétons. Les éléments constitutifs sont réalisés par reconstitution (PRS) pour former des poutres ou des caissons, mais on a également recours aux profilés standards (I, tubes circulaires ou carrés, voire cornières).

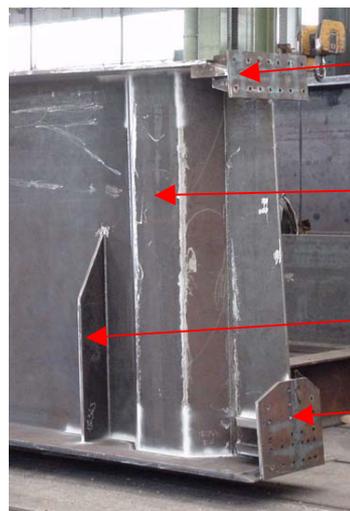


photo CETE de l'Est

Passerelle piétons à poutres latérales en treillis

Quel que soit le type de structure transversale, les éléments transversaux sont nettement renforcés au droit des appuis. En effet, ils sont destinés à transmettre les réactions d'appui, dans la situation de service, mais également lors du vérinage du tablier (pour changer les appareils d'appui). On parle alors de montant d'appui, d'entretoise d'appui, de diaphragme d'appui.

Des emplacements de vérinage sont prévus dès la conception et peuvent être positionnés soit longitudinalement sous les poutres, soit transversalement sous les entretoises d'appui. Dans tous les cas, des platines et raidisseurs spécifiques sont mis en œuvre.



Platine de fixation de l'avant-bec

Montant d'appui

Raidisseur de vérinage

Platine de fixation de l'avant-bec

photo CETESO



Platine d'appui biaisée →

photo DDE 19

Dispositifs particuliers près des appuis

Au droit des appareils d'appui, des platines biaisées sont habituellement mises en place pour permettre un appui parfaitement horizontal.

Enfin, la reprise des efforts horizontaux transversaux en construction (vent) nécessite de réaliser un contreventement partiel ou général par des croix de Saint-André horizontales (barres ou cornières). Ce contreventement est laissé en place jusqu'à l'achèvement de la dalle. En service, le contreventement horizontal est assuré par la dalle elle-même.



photo DDE 12

Contreventement en croix de Saint-André

Processus de construction d'un ouvrage métallique

Le processus de construction d'un ouvrage métallique ou mixte débute par la fabrication des tôles ou profilés utilisés, se poursuit par l'assemblage en atelier de parties de la charpente qui sont ensuite transportées sur le site où l'on procède à l'assemblage de tronçons et à leur mise en place.

Fabrication des produits (tôles ou profilés)

Selon les dimensions des pièces à fabriquer, les éléments de charpente sont réalisés à partir de tôles dans le cas des PRS ou à partir de « **profilés du commerce** » sous forme de poutrelles en I ou en H, de plats ou de cornières utilisés pour des éléments secondaires ou comme éléments porteurs des ouvrages de portée modeste (pont à poutrelles enrobées par exemple).

Ces produits sont laminés à chaud dans les forges, dans les nuances et qualités requises pour la construction de ponts (Cf. fiche XVI-2 : Aciers de charpente métallique).

Fabrication en atelier

Les entreprises de charpente métallique commandent aux sidérurgistes les produits nécessaires à la fabrication et les assemblent dans leurs ateliers où ils disposent de moyens de manutention, de découpe automatisée des tôles, de soudure automatique (Cf. fiche XVII.2 : Assemblages soudés) et d'ateliers de peinture (Cf. fiche XVIII.1 : Protection contre la corrosion). Des tronçons de l'ouvrage sont ainsi fabriqués avant d'être acheminés sur le site du chantier, généralement par des transports exceptionnels.



photo DDE 19

Des montages provisoires (montages à blanc destinés à présenter les tronçons à assembler pour s'assurer qu'ils seront bien en vis-à-vis au moment de l'assemblage) peuvent être exécutés en atelier si cette disposition est prévue par le marché.

Montage sur site

Les tronçons sont déchargés et mis en place sur des dispositifs provisoires destinés à permettre leur assemblage, par soudage le plus souvent, mais

également par boulonnage (Cf. fiche XVII-3 : Assemblages Boulonnés). La mise en place à l'emplacement définitif est généralement réalisée par lancement ou par grutage. Ces modes de construction peuvent naturellement être associés (Cf. fiche XVII.1 : Le montage des ouvrages métalliques ou mixtes).

Des matériels ou dispositifs nécessaires à ces opérations de montage sont également mis en place : avant-bec, arrière-bec, queue de traction, treuils de traction, organes de guidage, organes de fixation de treuils, ...

A l'issue du montage de la charpente, la réalisation de la dalle, par plots, comprend la mise en place d'un coffrage par l'intermédiaire d'un équipage mobile, la mise en place du ferrailage, puis le bétonnage. On peut également être amené à poser sur l'ossature des éléments de dalle préfabriqués. Le plus souvent, la charpente repose sur appuis provisoires pendant l'exécution du hourdis.

Des opérations de vérinage sont réalisées, en cours de lancement et au moins pour la mise sur appuis définitifs, et dans certains cas pour procéder à des dénivellations d'appuis permettant de comprimer la dalle.

Protection contre la corrosion

Les éléments d'ossature reçoivent une protection contre la corrosion qui est réalisée par application de peinture. On procède généralement à la mise en oeuvre des premières couches en atelier et d'une couche de finition sur site. (Cf. fiche XVIII-1 : Protection contre la corrosion).

Le rôle des différents acteurs

La construction d'un ouvrage métallique ou mixte fait appel aux acteurs habituels de la construction des ouvrages d'art, mais aussi à des acteurs spécifiques.

Le **contrôle extérieur** est exercé pour le maître d'ouvrage par :

- lui-même,
- le maître d'œuvre,
- un organisme ou une personne étrangère à l'entreprise.

On dénommera dans ces fiches :

- **contrôleur**, le contrôleur de travaux, qui est le représentant quasi-permanent du maître d'œuvre sur le chantier.
- **assistant technique au maître d'œuvre**, l'organisme chargé de donner des avis au maître d'œuvre sur les documents examinés, sur les

conditions de levée des points critiques, ...
Plusieurs organismes peuvent être mandatés pour assister le maître d'œuvre dans les différentes disciplines (anticorrosion, soudure, ...).

- **bureau de contrôle des études**, le bureau d'études chargé d'examiner les plans et notes de calculs.

Le **contrôle intérieur** est de la responsabilité de l'entreprise. On distingue deux niveaux :

- le **contrôle interne** effectué par les exécutants eux-mêmes, quel que soit leur rang ou niveau hiérarchique,

- le **contrôle externe** exercé par un organe ad hoc appartenant ou n'appartenant pas à l'entreprise et n'ayant pas de responsabilité dans l'exécution.

Le R.O.M. (acteur spécifique)

Le fascicule 66 du CCTG (article III.8.1) stipule que le montage est placé sous la responsabilité d'un « Responsable des Opérations de Montage (ROM) », mandaté par l'entreprise pour assurer la coordination des opérations de montage, qu'il s'agisse :

- de la conception et de l'exécution des ouvrages provisoires,

- du choix des matériels de montage,

- de l'utilisation correcte des ouvrages provisoires et des matériels de montage, vis-à-vis de la sécurité des tiers, du personnel et de l'ouvrage lui-même.

Sa désignation par l'entreprise est soumise à l'acceptation du maître d'œuvre.

4. Points importants à examiner

Les opérations de contrôle lors de la construction des ouvrages métalliques ou mixtes sont à effectuer depuis la fabrication des tôles jusqu'à l'achèvement de l'ouvrage.

Les tableaux suivants reprennent les principales opérations de contrôle à réaliser sur les ouvrages : Ils comprennent les points d'arrêt définis par les fascicules 56 (anticorrosion) et 66 (Exécution des ouvrages de Génie Civil à ossature en acier) du CCTG. Ils indiquent en outre la fiche qui traite plus particulièrement du sujet :

- A : Fiche « **A**ciers de charpente métallique »
- M : Fiche « **M**ontage des ouvrages métalliques ou mixtes »
- S : Fiche « Assemblages **S**oudés »
- B : Fiche « Assemblages **B**oulonnés »
- C : Fiche « Protection contre la **C**orrosion »

Fiche	Type de point contrôle	Description du point de contrôle
C	Point d'arrêt n°1 du fascicule 56	Vérification des documents fournis par l'entreprise titulaire Autorisation pour réalisation de la convenance en atelier
S	Point d'arrêt n°1 du fascicule 66	Avant mise en oeuvre du soudage en atelier
C	Point d'arrêt n°2 du fascicule 56	Vérification des résultats de la convenance Autorisation pour réalisation des travaux de protection en atelier
S	Point d'arrêt n° 2 du fascicule 66	Avant expédition des éléments de l'atelier sur le site
C	Point d'arrêt n°3 du fascicule 56	Vérification des résultats obtenus Autorisation d'expédier (pour chaque élément d'ouvrage)
C	Point d'arrêt n°4 du fascicule 56	Vérification des documents fournis par l'entreprise titulaire - Autorisation pour réalisation de la convenance sur site
S	Point d'arrêt n° 3 du fascicule 66	Avant exécution du soudage sur chantier
C	Point d'arrêt n°5 du fascicule 56	Vérification des résultats de la convenance Autorisation pour réalisation des travaux de protection sur site
S, M	Point d'arrêt n°4 du fascicule 66	Avant exécution du montage sur chantier
C	Point d'arrêt n°6 du fascicule 56	Vérification des résultats obtenus Autorisation de repliement des échafaudages (et autres moyens d'accès aux surfaces)

5. Pour en savoir plus, consulter :

- [1] – Fascicule 66 du CCTG : Exécution des ouvrages de Génie Civil à ossature en acier et en particulier son annexe A1 (fascicule spécial n° 96-6 TO)
- [2] – Fascicule 56 du CCTG : Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion (fascicule spécial n° 2004-3).
- [3] – Bulletins ponts métalliques OTUA n° 20
- [4] – Travaux de construction des ponts en acier – Guide du maître d'œuvre (Sétra, mars 2001 ; référence Sétra F 0039)
- [5] – Guide de conception des ouvrages mixtes du Sétra (à paraître)
- [6] – Ponts métalliques et mixtes. Résistance à la fatigue. Guide de conception et de justifications (Sétra – CTICM – SNCF, 1996 ; référence Sétra F9611)
- [7] – Ponts mixtes. Recommandations pour maîtriser la fissuration des dalles (Sétra, septembre 1995 ; référence Sétra F9536)
- [8] – Guide pour la commande et le pilotage des études d'ouvrages d'art (Sétra, novembre 1997 ; référence Sétra F9761)
- [9] – Ponts-routes à tabliers en poutrelles enrobées, conception et calcul (Sétra - SNCF, mai 1995 ; référence Sétra F9503)
- [10] – Entretien de la protection anticorrosion des ouvrages métalliques - Guide technique. (LCPC, décembre 2005 ; référence PROMET)