

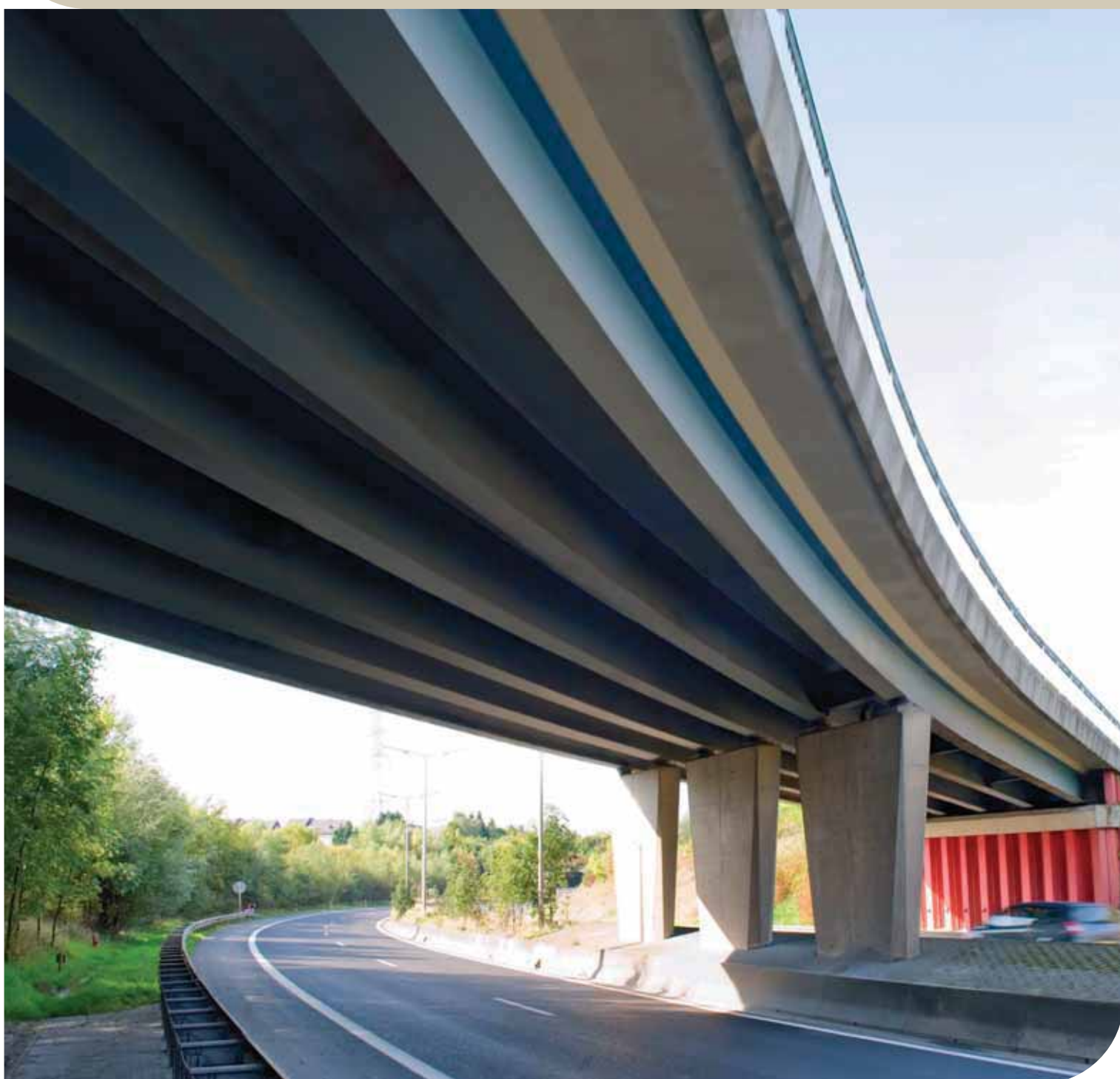
ArcelorMittal Europe - Long Products
Sections and Merchant Bars



ArcelorMittal

Ponts

En profilés laminés





Ravine Petit-Etang,
Ile de la Réunion

Solutions innovantes pour
les profilés laminés dans la
construction des ponts

Sommaire

1. Ponts en profilés laminés	2
2. ArcelorMittal Commercial Sections	4
3. Ponts métalliques et mixtes	6
4. Conception et esthétique	8
5. Ponts mixtes	12
6. Ponts à poutrelles enrobées (Ponts P.P.E.)	20
7. Ponts PreCoBeam	28
8. Poutres mixtes préfléchies	29
9. Ponts-rails à poutres latérales (Ponts RA.P.L.)	31
10. Ponts en treillis	35
11. Passerelles pour piétons et cyclistes	37
12. Parachèvement des poutrelles chez ArcelorMittal Commercial Sections	42
13. Logiciel de pré-dimensionnement ACOBRI	45
14. Les ponts à base de laminés à chaud dans la construction durable	46
Assistance technique	48
Vos Partenaires	49

1. Ponts en profilés laminés



Passerelle piétons à Bettembourg,
Luxembourg – pont à simple travée
avec une contre-flèche de rayon 150 m
pour une portée de 37,5 m



Pont route à Differdange- Pont avec une importante courbure suivant l'axe faible (voir montage des deux poutres maitresses à la page 7)

Un projet de construction de pont mobilise de nombreux partenaires :

- le maître d'ouvrage et les décideurs
- le maître d'œuvre ainsi que les entreprises, les architectes et les ingénieurs
- les riverains concernés par l'ouvrage

Tous apportent 1 contribution et leurs expériences dans la conception de l'ouvrage.

A travers cette brochure, ArcelorMittal Commercial Sections leur offre sa collaboration de producteur d'acier lors de l'établissement des projets de ponts dès les premières phases de la conception sachant que les propositions et variantes suggérées en temps opportun permettent d'optimiser les projets.

Cette brochure présente plusieurs types de ponts de petites et moyennes portées, supportant des charges de pistes cyclables, routières, ferroviaires ou piétonnières.

Les composants de base de ces constructions sont constitués de profilés laminés pour lesquels ArcelorMittal Commercial Sections est le leader sur le marché.

Passerelle piétons sur le Haken à Hambourg (D) tablier mixte avec 4 travées de 25m





Pont routier au dessus de
l'autoroute A16, France

3. Ponts métalliques et mixtes

La conception et la réalisation des ponts ont de tout temps exercé une influence considérable sur l'évolution du secteur de la construction. De nombreux ouvrages en fer et en acier ont marqué les étapes de cette évolution. Si certains ont assuré la célébrité de leur créateur, d'autres

demeurent aujourd'hui encore des témoins muets.

De nos jours, les ponts suspendus et haubanés de grande portée, les ponts en arc et en treillis et les ponts mixtes acier-béton figurent parmi

les réalisations techniques les plus remarquables. A côté des réalisations spectaculaires, une multitude de ponts de petites et moyennes portées témoignent de ces constants développements et prouvent que l'acier est le matériau de choix pour la construction de ponts.

Viaduc multi-travées à Ditgesbaach, Luxembourg



Avantages des ponts métalliques et mixtes

L'expérience montre qu'en comparaison d'autres solutions, les ponts en acier et les ponts mixtes en acier-béton offrent des avantages significatifs car :

- ils sont économiques à la construction, en exploitation et également performants en terme de recyclage à l'issue de leur démolition. Ils sont ainsi respectueux de l'environnement.
- ils offrent de multiples possibilités architecturales,
- ils réduisent les délais de construction,
- ils autorisent de faibles hauteurs de construction;
- ils permettent de raccourcir les rampes d'accès et de limiter ainsi les coûts de terrassement;
- ils réduisent le coût de la construction des appuis et des fondations qui supportent une structure dont le poids propre est moins élevé;
- ils sont adaptés à la reconstruction d'ouvrages grâce à leur faible poids, qui peut permettre de réutiliser les piles et culées existantes;
- ils offrent l'avantage d'une pré-fabrication industrielle dans des ateliers à l'abri des intempéries et avec un contrôle qualité poussé;
- ils perturbent rarement la circulation car la livraison et le montage des éléments préfabriqués sont rapides et peuvent être programmés durant les heures creuses;
- ils n'exigent pas d'interruption de la circulation car ils ne nécessitent ni d'échafaudages ni d'étais;
- ils sont faciles d'entretien, car les éléments de la structure sont bien visibles pour les inspections et accessibles pour la maintenance;



Pont routier à Differdange, Luxembourg - Montage à la grue de deux poutres maîtresses d'un pont mixte. Les poutrelles laminées ont été cintrées autour de leurs deux axes principaux afin de les adapter à la géométrie de la route portée.

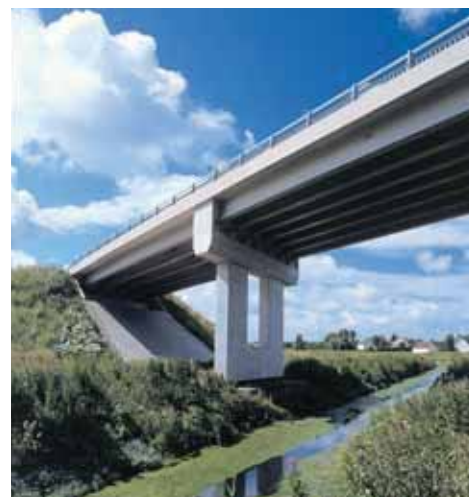
- sont flexibles, car ils peuvent être adaptés à faibles coûts à des situations nouvelles (par exemple élargissement des voies de circulation ou renforcement des structures porteuses par soudage ou boulonnage.
 - résistance élevée à la fatigue des produits laminés à chaud;
 - disponibilité en grandes longueurs (jusqu'en 40 mètres) permettant de réduire les travaux d'assemblage sur chantier;
 - possibilité de réaliser le parachèvement complet au laminoir, permettant ainsi de livrer directement sur le site des éléments prêts à poser.
- Les poutrelles laminées offrent les avantages spécifiques suivants:**
- production industrialisée sous la forme de profilés standards de haute qualité et à bonne disponibilité;
 - économie grâce aux faibles coûts de fabrication (pas de soudures);

4. Conception et esthétique

Passerelle pour piétons à la gare de Saint-Quentin-en-Yvelines, France. - Conception soignée d'une structure haubanée



Reconstruction du pont sur la Nahe à Bad Münster am Stein, Allemagne. - Un tablier mixte a été construit sur les piles existantes pour cet ouvrage situé dans une réserve naturelle.



Le plus souvent, le choix du matériau de construction est déjà effectué lors de l'établissement de l'avant-projet. Il est donc essentiel que les possibilités offertes par l'utilisation de profilés laminés soient prises en considération à ce stade pour profiter au maximum de leurs avantages. L'expérience montre en effet que l'élaboration ultérieure de contrepropositions ne débouche guère sur des solutions optimisées.

Dans la phase d'avant-projet, le concepteur définit de nombreuses conditions à respecter parmi les données qui lui sont imposées telles que:

- des charges d'exploitation élevées doivent être supportées (avec fiabilité) sans défaillance possible pendant toute la durée de vie du pont.
- les contraintes telles que la géométrie des voies de circulation, les gabarits, la hauteur de construction, l'épaisseur du tablier, les inclinaisons de l'ouvrage, les angles de croisement des voies portées et surplombées, etc. exigent des solutions bien adaptées
- l'esthétique de l'ouvrage demande une conception soignée.
- le pont doit souvent être construit dans des conditions difficiles, dans un délai très court et, dans la mesure du possible, sans perturber les flux de circulation existants.
- toute forme de pollution doit être évitée.
- la rentabilité globale doit être assurée en tenant compte non seulement des coûts de la construction elle-même, mais aussi des coûts indirects, des coûts d'entretien et de démolition.

La conception et l'élaboration d'un ouvrage d'art constituent un processus complexe et exigent une bonne collaboration de tous les participants, au-delà de leur compétence professionnelle. Une compréhension mutuelle de l'ingénieur et de l'architecte est indispensable.

Les aspects purement techniques et les données économiques ne sont pas traités ici. Ils seront abordés dans les chapitres suivants, lors de la présentation des différents types de construction.

Esthétique

Depuis quelques années, l'esthétique des ponts fait l'objet d'exigences accrues. Ceci vaut aussi pour les petits ouvrages même s'ils ne font pas partie des grandes réalisations prestigieuses. Un pont se doit d'être aussi beau que fonctionnel. Mais ce souhait ne peut être satisfait avec un ouvrage-type et chaque projet a ses paramètres propres avec lesquels le concepteur est libre de composer pour créer son ouvrage.

Les buts recherchés peuvent être très diversifiés; citons par exemple:

- l'environnement, dans lequel s'intègre la nouvelle construction
- la conception d'ensemble architecturale dont le pont fait partie intégrante
- l'accentuation du caractère autonome de l'ouvrage
- l'intégration dans un lieu de vie
- la possibilité de s'adapter à des évolutions futures.

Avec les profilés laminés, le concepteur dispose d'un outil très performant. En mettant à profit leurs propriétés fondamentales – une capacité de résistance particulièrement élevée alliée à une bonne rentabilité – il saura aussi les inclure dans un traitement visuel.

Les profilés laminés présentent une forme linéaire simple à surfaces planes. Ils confèrent à la structure un aspect net et précis. Les nuances fines apportées par les différentes surfaces y contribuent fortement. Les raidisseurs, souvent perçus comme gênants, peuvent généralement être évités grâce aux propriétés statiques de ces profilés.

Les ponts en profilés laminés se distinguent par leur grande légèreté. En raison de la minceur de leur tablier, ils ont une silhouette très élancée. La transparence qui en résulte marque la perception de l'ensemble.

Le cintrage des poutrelles permet une adaptation harmonieuse au tracé. Mais le concepteur peut également tirer parti des possibilités de réaliser des courbes plus prononcées, notamment pour les passerelles.

Les structures en profilés sont visibles et faciles à "déchiffrer". L'observateur suit inconsciemment le cheminement des efforts et sait apprécier cette compréhension.

L'aspect général d'un ouvrage est essentiellement conditionné par la forme de ses éléments et leurs proportions (les parties, les hauteurs de construction, gabarit, dimensions des piliers et culées).



Passerelle à Schiffange, Luxembourg. - Conception basée sur la forme, les couleurs et les détails.

4. Conception et esthétique



Pont mixte avec des entretoises en béton à Bentwisch, Allemagne, A noter la mise en valeur de l'acier par le choix de couleurs vives

La grande flexibilité d'utilisation découlant des caractéristiques des profilés laminés ouvre de nombreuses possibilités dans le choix du tracé, des portées, des élancements et dans l'architecture des piles et culées. Il est souhaitable que l'esthétique de la structure soit en accord avec l'aspect des autres éléments. Par leur forme et l'aspect de leur surface, les profilés en acier se marient parfaitement aux garde-corps, barrières de sécurité, écrans acoustiques et corniches.

La perception visuelle d'un ouvrage d'art est souvent largement influencée par les couleurs. Dans ce domaine, la mise en peinture du métal ouvre des possibilités d'expression infinies. Suite au développement de nouveaux types de peinture, respectueuses de l'environnement, avec des solvants à l'eau, ce moyen de mise en valeur est aujourd'hui de plus en plus exploité. Le résultat final sera fonction du choix des teintes des différents éléments, de leur harmonisation entre elles et avec l'environnement. Si le pont est repeint dans le cadre de travaux d'entretien, de nouvelles couleurs peuvent lui conférer un aspect à la fois neuf et différent.



Passerelle franchissant la voie express A13 à Soleuvre, Luxembourg - Mise en valeur de l'acier par la couleur.

5. Ponts mixtes



Passage supérieur de l'autoroute A16, France.
- Tablier mixte de 2 x20m formé de deux poutres HL1100 en acier S460M à haute limite d'élasticité.

Principe

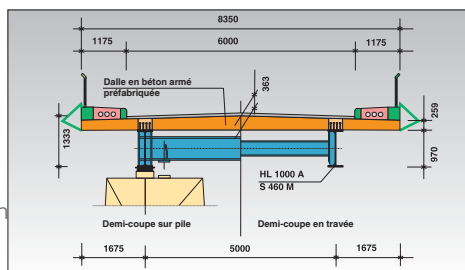
Les tabliers de ponts (en construction) mixtes acier-béton sont constitués de poutres longitudinales en profilés laminés supportant une dalle en béton armé. Les poutres et la dalle en béton armé sont solidarisiées à l'aide de connecteurs. Sur appuis les poutres sont reliées par des entretoises assurant leur contreventement transversal.

Applications

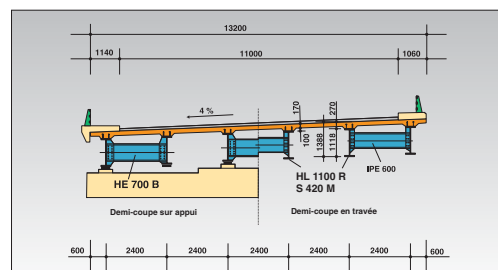
La construction mixte acier-béton est particulièrement adaptée lorsque la hauteur de construction est libre ou n'est que faiblement limitée. Pour les ponts routiers, le domaine des portées réalisables s'étend jusqu'à environ 35 m pour les travées isostatiques et jusqu'à environ 40 m pour les travées continues.

Coupe transversale

Les tabliers étroits sont supportés par deux poutres principales. Pour les tabliers larges et dans les cas où la hauteur de construction est limitée, il faut prévoir plus de deux poutres, souvent en nombre pair pour faciliter la pose, en bipoutres pré-assemblés.



Exemple d'une coupe transversale d'un tablier bipoutre (passages supérieurs de l'autoroute A16, France).



Exemple d'une coupe transversale d'un tablier à 6 poutres maîtresses (contournement de la ville de Luxembourg).

Les caissons fournissent une alternative aux poutres simples lorsqu'il est nécessaire d'avoir une rigidité torsionnelle exceptionnelle. Ces caissons sont obtenus sur base de deux profilés laminés parallèles par assemblage longitudinal soit par soudure des semelles ou soit par remplissage avec du béton des chambres des profilés.



Pont à deux travées (de 23,90m) sur l'autoroute A13 vers la Sarre, Luxembourg - Le pont mixte est un bipoutre formé de caissons constitués de deux poutres laminées soudées entre elles longitudinalement.



Pont sur la liaison vers la Sarre, Luxembourg - Le porte-à-faux important est étudié pour supporter les éléments préfabriqués en béton sans échafaudages pendant la construction, les caissons étant conçus pour résister au moment de torsion résultant.



Pont Gosnat à Vitry, France

Système statique des poutres principales

Les poutres maîtresses des ponts à une travée sont simplement appuyées sur les culées. En cas de travées multiples, l'ouvrage comporte soit des travées indépendantes, soit une structure continue.

Les poutres en continuité sont plus favorables statiquement (moments de flexion et déformations plus faibles) et permettent de réduire le nombre des appareils d'appui et des joints de dilatation, particulièrement onéreux en raison de l'entretien régulier qu'ils nécessitent.

Réalisation de la continuité

Lorsque la longueur totale du pont et les conditions de transport et de montage le permettent, les poutres peuvent être livrées d'un seul tenant (longueurs de fourniture départ usine jusqu'à 34 m, exceptionnellement jusqu'à 40 m). Dans le cas contraire, elles doivent être assemblées bout à bout sur le chantier soit par soudage, soit par boulonnage (éclissage par boulons Haute Résistance): les deux procédés ont fait leurs preuves.

VDN bridge in Dakar, Senegal



Un 3^e procédé récemment mis au point (voir page 15: entretoises assurant la continuité) consiste à encastrier les poutres dans une entretoise en béton armé réalisée sur appui.

Cintrage des poutres

Les poutrelles sont cintrées autour de leur axe fort pour être adaptées au profil en long et compenser la déformation sous charge permanente; au besoin, elles sont aussi cintrées autour de leur axe faible suivant la courbure du tracé en plan. Ces opérations sont réalisées au laminoir par déformation à froid sur une presse.

Nuances d'acier

On utilise généralement des aciers ayant une limite d'élasticité de 355 N/mm² (S 355) et, plus récemment, une limite d'élasticité de 460 N/mm² (S 460). Cet acier à plus haute limite d'élasticité apporte des avantages substantiels, à condition que les critères de limitation des déformations de la structure sous charges d'exploitation soient toujours remplis.

Comparé à la nuance traditionnelle S 355, l'acier S 460 permet une réduction significative du poids de la construction et une diminution correspondante du coût des matériaux. Les coûts de fabrication sont également réduits: pour un joint à pleine pénétration, par exemple, le volume de soudage est nettement plus petit.

Qualités d'acier

L'utilisation des aciers faiblement alliés et à grains fins est particulièrement avantageuse pour les constructions soudées: citons par exemple les aciers S 355 M/ML ou S 460 M/ML conformes à l'EN 10025-4 et aciers de marque HISTAR. Vous trouverez des informations supplémentaires sur notre site web: www.arcelormittal.com.

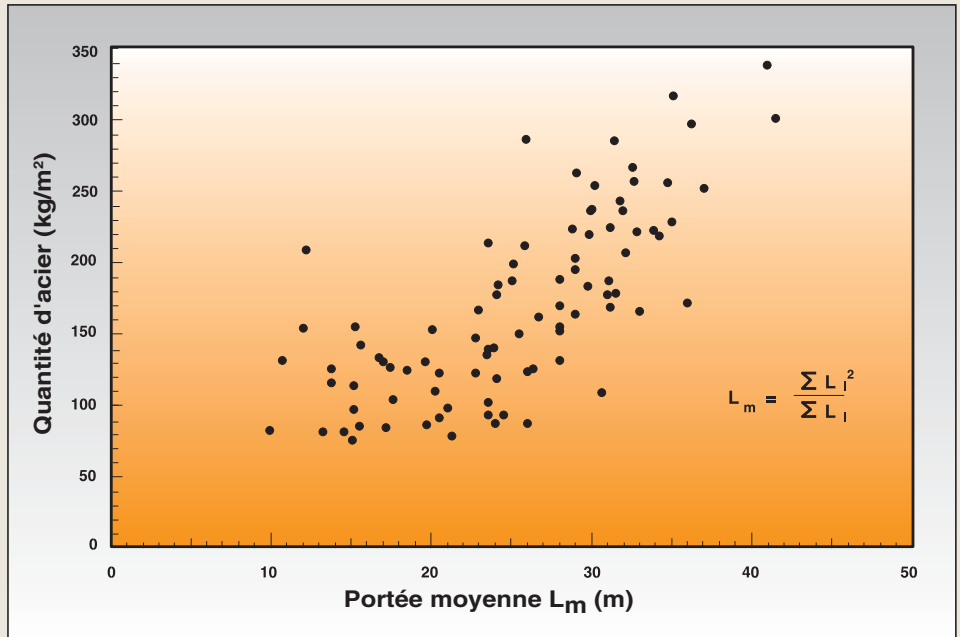
Pour obtenir ce type d'aciers, les profilés sont fabriqués selon un procédé de laminage thermo-mécanique, à vitesse de refroidissement accéléré, suivi d'un auto-revenu par chaleur résiduelle propre. Ces aciers possèdent une résistance élevée à la rupture fragile, même à basse température, et se distinguent par une excellente soudabilité. Le préchauffage peut être supprimé grâce à la faible valeur de carbone équivalent.

Entretoises sur appuis

Les entretoises sur appuis transmettent les charges horizontales et assurent la stabilité des poutres principales. Elles doivent également être capables de reprendre les efforts de véringage en cas de remplacement des appareils d'appui.

Les entretoises sont exécutées:

- soit en acier et assemblées aux poutres principales par boulonnage ou soudage,
- soit en béton armé avec des barres enfilées à travers des trous percés dans l'âme des poutres. Les entretoises en béton armée peuvent être utilisées avec des appuis directs ou indirects de poutres.



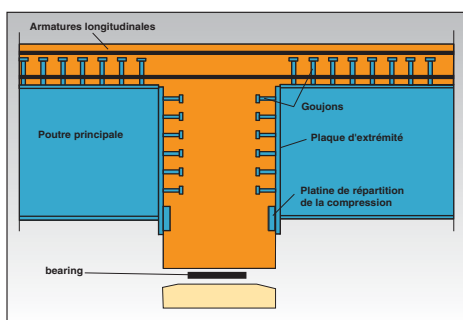
Tabliers mixtes de ponts-routes. - Quantité d'acier de construction par mètre carré de surface de tablier en fonction de la portée moyenne.



Pont-route à Bremgarten, Allemagne – avec entretoises en béton et support indirect



Pont de la ligne TGV Nord sur l'autoroute A23 à Fretin, France. - Tablier mixte à quatre travées de 16,9 - 21,9 - 23,0 - 17,8 mètres. Les deux poutres maîtresses et les entretoises en travée sont des poutrelles laminées; les entretoises sur appui sont en béton armé.



Joint de continuité des poutres maîtresses réalisé par encastrement dans une entretoise en béton armé coulé sur appui. - Coupe transversale de l'entretoise (schéma de principe).

Entretoises assurant la continuité

Dans le cas de ponts à travées multiples, l'assemblage des poutres maîtresses peut être réalisé en se servant d'entretoises en béton armé sur appui. Ce procédé combine les avantages suivants:

- les poutres principales sont mises en place en étant simplement appuyées à leurs extrémités comme des poutres isostatiques
- les joints de continuité sont réalisables sans boulons ni soudures.

Les poutres sont munies de plaques d'extrémité sur lesquelles sont soudées des goujons. Un ferrailage approprié de l'entretoise et de la dalle vient compléter le système. Lors du bétonnage,

les charges de poids propre sont reprises par les poutres métalliques, qui sont isostatiques dans cette phase. La structure est rendue mixte et continue par le durcissement du béton. Sur appui, les moments de flexion à reprendre sont dus uniquement aux actions permanentes en-dehors du poids propre et aux charges d'exploitation. Les efforts sont transmis de la façon suivante:

Les plaques d'extrémité répartissent la compression de la semelle inférieure sur le béton. Les goujons de la semelle supérieure transmettent les efforts de traction dans le tablier et son armature, tandis que les goujons des plaques d'extrémité introduisent l'effort tranchant dans l'entretoise en béton.



Pont à Schwedt, Allemagne – Joint de continuité des poutres maîtresses

Entretoises en travée

La distribution transversale des charges verticales se fait exclusivement par la dalle en béton. Les entretoises en travée n'assurent que la stabilité latérale des poutres maîtresses, sans transmission des charges.

Dans les zones de moment positif, elles empêchent le déversement des poutres durant les phases de construction. Après le

durcissement du béton, cette fonction est assumée par la dalle et les entretoises peuvent alors être démontées. Dans le cas de poutres continues, le flambement latéral des membrures inférieures comprimées dans les zones de moment négatif doit être empêché par les entretoises sur appuis, et si nécessaire, des entretoises supplémentaires en travée.

Nouvelle ligne du réseau de transport en commun à Oberhausen, Allemagne. – Franchissement des voies ferrées de la DB.



Pont mixte au dessus d'une ligne de chemin de fer en activité à Choisy, France – Les poutres sont livrées en train par paires de poutres prêtes à monter jusque sur le site de construction.

Dalle

La dalle est armée longitudinalement et transversalement avec des aciers passifs. Le ferrailage doit être conçu de manière à limiter la fissuration, en particulier dans les zones de moment négatif.

Pour des ponts à deux ou trois travées continues, les moments négatifs peuvent être réduits par une dénivellation d'appui après le durcissement du béton.

Appuis

Pour les ponts mixtes, on utilise généralement des appareils d'appui en néoprène fretté. Le faible poids propre de la construction mixte permet de réduire les dimensions des éléments servant d'appui tels que culées, piles et fondations (en particulier les fondations sur pieux). Les économies réalisées sont caractéristiques de ce type de construction.

Fabrication, transport et montage

Le parachèvement des poutrelles laminées – sciage, perçage, cintrage autour de l'axe fort et éventuellement de l'axe faible, soudage des plaques d'appui et des goujons, traitement de surface – peut être réalisé au laminoir ce qui permet d'en réduire les coûts et les délais.

Mais la fabrication peut également être assurée partiellement ou en totalité dans un atelier de construction métallique.

Les pièces prêtes au montage sont transportées sur le chantier par chemin de fer ou camion. Elles sont relativement légères et ne nécessitent donc que des moyens de levage simples.

Les poutres sont souvent pré-assemblées par paires afin de conférer davantage de stabilité propre aux unités de montage. Les poutres ou paires de poutres sont posées par des grues fixes ou mobiles soit dans leur position définitive au-dessus de la brèche, soit sur une aire de montage en attendant d'être ultérieurement mises en place par lancement.

Le faible poids de ces pièces permet une pose rapide. En général on peut se passer d'appuis provisoires. Lorsque les voies franchies sont en service, les perturbations de la circulation sont minimales, en particulier si les travaux sont programmés aux heures creuses.

Pont mixte à Choisy, France – Levage d'une paire de poutres pré-assemblées le matin même..



Pont-rail sur l'autoroute A23 à Fretin, France. – Lancement de l'ossature métallique avec dessus, assemblé, le coffrage. Coffrage de tablier en prédalles.







Coffrage en prédalles.



Exemple d'un support du coffrage de l'encorbellement.

Dalle coulée en place

La dalle peut être coulée en place en utilisant un coffrage réutilisable fixe ou mobile, un coffrage perdu en tôle nervurée ou encore des prédalles.

A condition que certaines dispositions constructives et de ferrailage soient respectées, les prédalles participent, avec le béton armé, à la résistance de la dalle dans le sens transversal. Pour les parties latérales en encorbellement, on a généralement recours à un coffrage traditionnel avec des supports accrochés aux poutres de rive.

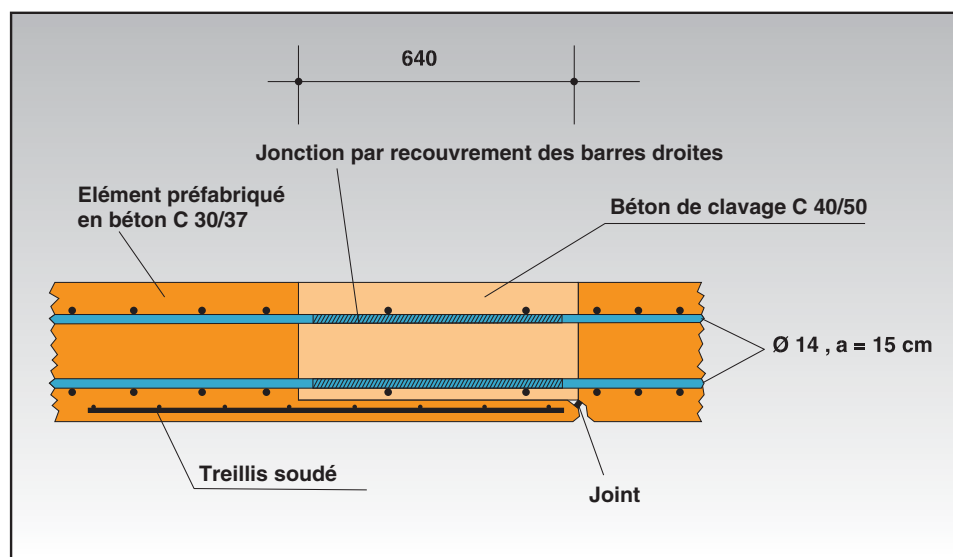
Dalle préfabriquée

En alternative au coulage en place, la dalle peut être réalisée en éléments préfabriqués. L'avantage essentiel de cette technique réside dans la réduction du nombre d'opérations à effectuer sur site et donc du temps de construction.

Si le tablier est un bipoutre, les éléments préfabriqués couvrent toute la largeur du pont en une pièce. Des alvéoles sont ménagées dans la dalle pour permettre la connexion aux poutres métalliques.

Les éléments préfabriqués sont posés sur les semelles des poutres dans un lit de mortier. On peut aussi prévoir un faible espace à l'interface dalle-semelle qui sera rempli ultérieurement avec un coulis de mortier. On procède ensuite au bétonnage des alvéoles et des joints de clavage qui assurent la continuité de la dalle.

Dans le cas des ouvrages à travées continues, les moments sur appui peuvent être réduits et la dalle peut être précontrainte dans le sens longitudinal par des dénivellations d'appui après le durcissement du béton des joints.



Dalle en éléments préfabriqués. - Exemple de réalisation d'un joint transversal.



Tablier préfabriqué. - Montage d'une dalle en béton préfabriquée.



Cet exemple montre le pont à 8 travées Horlofftal à Hungen en Allemagne, construit en 2006. Sur 5 de ces travées, la poutraison est constituée de gros profilés laminés en qualité S460.

Poutres mixtes préfabriquées

La minimalisation des perturbations au trafic existant implique une période de construction la plus courte possible. La préfabrication d'éléments mixtes satisfait parfaitement à cette exigence grâce à leur légèreté, ce qui les rend par conséquent faciles à manutentionner et à transporter. En effet, ces éléments peuvent être levés et mis en place à l'aide de grues légères (contrairement aux poutres précontraintes en béton beaucoup plus lourdes)

Les principaux avantages à la préfabrication des semelles en béton sont :

- stabilisation de la poutre (transport et construction),
- mesures contre le déversement inutiles pendant le coulage du béton,
- échafaudage non nécessaire,
- raidisseurs rarement nécessaires.

complétés, grâce au haut degré de préfabrication, par :

- la qualité du travail en atelier,
- l'inutilité de l'intervention d'un constructeur métallique sur le site,
- l'action de collaboration acier-béton présente au montage.

Ces avantages amènent une efficacité très importante du chantier en général en optimisant le temps de construction. Il en résulte une amélioration substantielle de la qualité finale de l'ouvrage.

Mise en place d'une poutre mixte partiellement préfabriquée



6. Ponts à poutrelles enrobées (Ponts P.P.E.)



Pont de Frontignan
à Sète, dans le midi
de la France.

Principe

Le tablier d'un pont à poutrelles enrobées (PPE) est constitué d'une dalle en béton armé comportant une armature longitudinale rigide en poutrelles laminées faiblement espacées et une armature transversale en fers à béton.

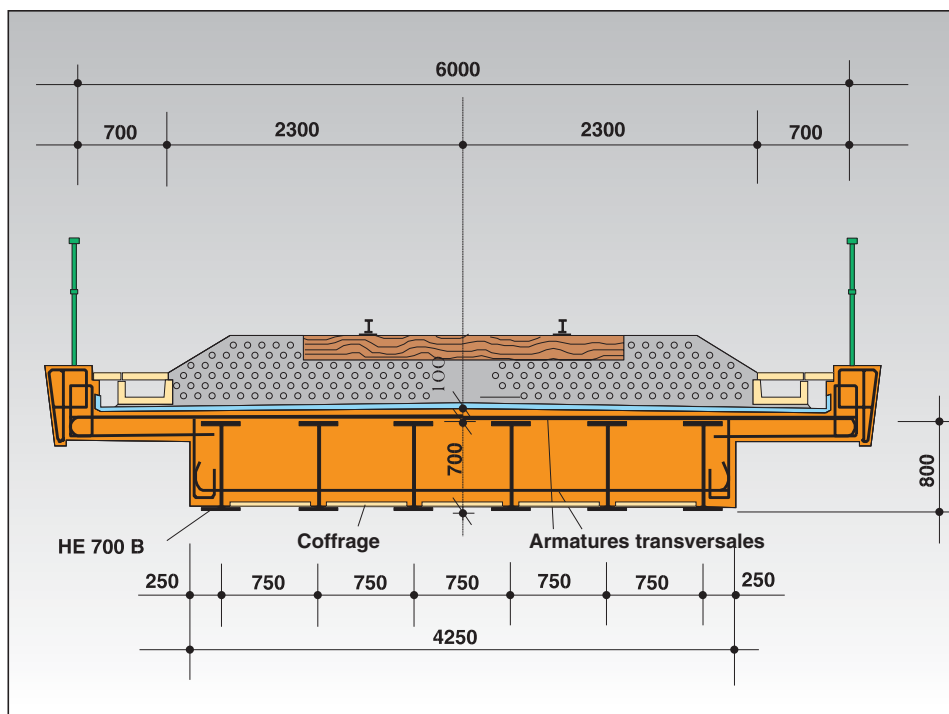
Les poutrelles et le béton armé travaillent ensemble et forment une section mixte. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des moyens spécifiques de liaison ou de connexion, à condition de prévoir un décalaminage des poutres avant leur mise en place et de respecter quelques règles constructives (se référer aux prescriptions de dimensionnement).



Pont de chemin de fer à plusieurs voies à Nienburg, Allemagne. - Les profils en long des voies ferrées et de la route limitent fortement l'épaisseur du tablier.



Construction d'un pont-rail à poutrelles enrobées dans le cadre de la réalisation du tunnel routier du Puyomons entre la France et l'Espagne.



Exemple de coupe transversale d'un pont-rail à voie unique.



Domaines d'emploi

Initialement réservés aux ouvrages ferroviaires, les tabliers à poutrelles enrobées se sont, depuis quelques décennies, également imposés pour les ponts-routes. Il s'agit d'une construction robuste, simple et durable, dont la réalisation ne requiert pas de personnel hautement spécialisé. Grâce à leur réserve de résistance élevée, de nombreux ouvrages anciens de ce type restent parfaitement adaptés, même sous des conditions d'exploitation plus sévères.

La construction à poutrelles enrobées convient :

- pour les tabliers de ponts à épaisseur limitée ou très faible,
- pour des ouvrages franchissant des voies à forte densité de circulation: la mise en place est simple et rapide; elle ne nécessite pas d'appuis provisoires ni de cintre et perturbe donc très peu la circulation,
- pour le remplacement de tabliers d'ouvrages anciens: la minceur de la dalle facilite l'adaptation aux piles ou culées existantes. Cette construction monolithique convient en outre parfaitement à la mise en place par ripage ou lançage.

Les portées réalisables atteignent

- 40 (50) m pour les ponts routiers,
 - 30 (35) m pour les ponts de chemin de fer ;
- (les valeurs entre parenthèses s'appliquent à des ouvrages à travées continues).

Exemple d'un pont à travées multiples en poutrelles enrobées - Ouvrage d'accès au viaduc de franchissement de la Moselle par la ligne ferroviaire à grande vitesse LGV Est à Pagny sur Moselle (54).

Passage supérieur au-dessus d'une autoroute à Fameck, France. - Les poutrelles sont cintrées sur l'axe faible suivant la courbure du tracé de la route.





Pont-route à poutrelles enrobées à Esch-sur-Alzette, Luxembourg. – Portée 19 m; hauteur de construction 0,65 m. Pour des raisons architecturales, les poutres de rive ne sont pas enrobées laissant visible leur face extérieure.

Conception de la structure et calculs justificatifs

Les tabliers de type PPE sont traités dans le sens longitudinal comme une structure mixte et dans le sens transversal comme une dalle en béton armé.

Aux états limites ultimes, le moment plastique résistant est évalué sans tenir compte du béton fissuré. Pour le calcul des déformations sous surcharges permanentes et sous charges d'exploitation, on tient compte de la partie du béton tendu. Une vérification de la résistance à la fatigue n'est exigée que pour les joints soudés.

Pour les poutrelles, les nuances d'acier usuelles sont les S 235, S 275 et S 355. Les aciers à haute limite d'élasticité S 420 et S 460 peuvent être plus avantageux en termes de coûts pour les grandes portées, à condition que les critères de déformation sous charges d'exploitation ne soient pas déterminants pour le dimensionnement.

Poutrelles

L'armature longitudinale de la dalle est constituée de poutrelles laminées posées avec un entraxe maximum de 75 cm. Pour permettre un bétonnage correct entre les poutrelles, l'espace libre entre les ailes de deux poutrelles voisines ne doit pas être inférieur à 15 cm. L'aile supérieure est noyée dans le béton avec un recouvrement de 7 à 15 cm, sans excéder cependant un tiers de la hauteur nominale du profilé. Seuls les bords et la sous-face de l'aile inférieure restent visibles sous l'ouvrage fini.

Les poutrelles doivent être cintrées autour de leur axe fort pour être adaptées au profil en long de l'ouvrage et pour compenser la déformation sous charge permanente; au besoin, elles sont cintrées autour de l'axe faible suivant la courbure horizontale du tracé. Cette opération est réalisée en usine par déformation à froid sur une presse.

L'utilisation de l'effet de continuité est avantageuse pour les ouvrages à travées multiples. Pour réaliser cette continuité, les poutrelles sont:

- soit livrées et montées d'un seul tenant, en fonction des possibilités de fabrication et de transport.
- soit raboutées sur le chantier.

Les joints peuvent être soudés (soudures à pleine pénétration) ou boulonnés à l'aide d'éclisses. Ils sont décalés les uns par rapport aux autres et disposés en travée dans des zones faiblement sollicitées en flexion.

Afin de maintenir les poutrelles en position pendant le bétonnage, on prévoit des écarteurs (par ex. des tiges filetées). La stabilité au déversement des poutrelles sous poids propre (acier + béton frais) et charges de chantier doit être vérifiée; si nécessaire, on réalise le bétonnage en plusieurs levées et/ou on dispose des contreventements transversaux.

Vue de dessous d'un tablier à poutrelles enrobées. – Seules les ailes inférieures des poutrelles sont visibles.



6. Ponts à poutrelles enrobées



Ferrailage

Les armatures transversales en ronds à béton servent à reprendre les efforts dus à la flexion transversale.

Les aciers inférieurs passent à travers les poutrelles par des trous percés dans leur âme tandis que les lits d'armatures supérieures passent au-dessus des poutrelles. Toutes ces armatures transversales sont ancrées, au-delà des poutres de rive par scellement dans le béton, ou sinon par boulonnage sur celles-ci. Des armatures et des étriers sont prévus en fonction des besoins statiques, et/ou pour limiter la fissuration.

Construction d'un pont-rail à poutrelles enrobées pour les Chemins de Fer Néerlandais à Amsterdam.



Pont de la ligne ferroviaire à grande vitesse LGV Ouest, France

6. Ponts à poutrelles enrobées



Pont de Cyrnos à Dakar au Sénégal
détail de l'appui

Appuis

Des appareils d'appui en néoprène fretté sont généralement disposés sous chaque poutrelle. Pour réduire le nombre d'appareils d'appui, on incorpore parfois un chevêtre au droit de la pile ou de la culée mais cela nécessite un ferrailage supplémentaire.

Fabrication, transport et montage

Le parachèvement des poutrelles laminées est limité à quelques opérations simples. Il est réalisé au laminoir et comporte le sciage à longueur, le perçage, le cintrage, le soudage des plaques d'appui et l'application de la protection contre la corrosion uniquement autour de l'aile inférieure.

Les poutrelles sont livrées sur le chantier, prêtes au montage, en longueurs pouvant atteindre couramment 34 m et 40 m dans des cas exceptionnels. Les grandes longueurs sont transportées de préférence par chemin de fer. Les différents éléments sont relativement légers et ne nécessitent donc que des capacités de levage restreintes.

Pont de Cyrnos à Dakar au Sénégal vue de la sous-face et d'une pile intermédiaire





Ouvrage ferroviaire à Berchem au Luxembourg. Mise en place le long des voies d'un demi-ouvrage préfabriqué, sous circulation (en parallèle) à vitesse réduite.



Différentes méthodes de construction sur site ont fait leurs preuves

- montage des poutrelles en position définitive sur leurs appuis, et mise en place d'écarteurs et des dispositifs d'antidéversement,
- assemblage des poutrelles à l'arrière d'une culée et lancement de l'ossature dans l'axe de l'ouvrage,
- assemblage des poutrelles le long des voies sur des appuis provisoires, bétonnage et mise en place définitive par ripage.

Ce dernier procédé est souvent utilisé pour le remplacement d'ouvrages anciens. Toutes ces méthodes perturbent très peu la circulation sur les voies existantes.



Construction d'un passage supérieur de l'autoroute A104, France. - Seul un étaieage au droit des piles est nécessaire. La perturbation de la circulation sur l'autoroute est ainsi minimale.

Ouvrage de la ligne du TGV Atlantique à Massy, France. - Lancement au-dessus des bretelles de l'échangeur de l'autoroute A10



Coffrage et bétonnage

Le coffrage inférieur du tablier est constitué de plaques de fibro-ciment ou de prédalles qui sont laissées en place après le bétonnage. Pour assurer l'étanchéité lors du coulage du béton, elles sont posées sur des bandes de caoutchouc, ou encore calées au mortier de ciment. Pour les rives, on réalise un coffrage traditionnel sur des supports fixés aux ailes inférieures des poutrelles, ou on a recours à des éléments préfabriqués en béton accrochés aux poutrelles de rive.

Tout l'espace entre les poutrelles est rempli de béton, et la semelle supérieure est recouverte d'au moins 7 cm. On effectue souvent le bétonnage par phases successives, la première ayant une épaisseur d'au moins 15 cm. Ce béton, après sa prise, maintient les poutres vis-à-vis du déversement et permet de réaliser les bétonnages suivants sans aucune perturbation du trafic.

6. Ponts à poutrelles enrobées



Levage d'un ensemble pré-assemblé au dessus d'une voie existante.



Connexion rigide par éclisses boulonnées



Vue sur les appuis.



Assemblage de la première travée au dessus d'une voie existante.



Ouvrage ferroviaire à Frontignan - Sète, France

7. Ponts PreCoBeam



Solution alternative PreCoBeam développée par le bureau d'ingénieurs SSF, de Munich



Oxycoupage avec la forme en aileron de requin d'un profilé laminé (HD400x42) 1 en S460 pour le pont PreCoBeam de Vigaun, Autriche.



Séparation de 2 demi-poutres PreCoBeam dans les ateliers de finissage d'ArcelorMittal.

La solution PreCoBeam (Prefabricated Composite Beam pour Poutre Mixte Préfabriquée) est une nouvelle méthode de construction inventée au tout début de ce siècle et bien adaptée aux ponts. Elle amène une possibilité de construction économique supplémentaire en poutres laminées avec un très haut degré de préfabrication.

Principe

La poutrelle métallique laminée est oxycoupée dans sa longueur suivant une forme bien particulière afin d'obtenir deux demi-pièces de section en T. Cette forme de découpe, en aileron de requin en l'occurrence, permet une connexion continue le long de la poutre en reprenant les efforts de cisaillement entre le profilé et la dalle

sans aucun autre recours (ni par des goujons, ni par des soudures).

Fabrication et montage

Après découpe, une protection anticorrosion est appliquée aux parties du profilé qui seront exposées à l'air lorsque la poutre sera définitivement en place. Des armatures sont ensuite placées au droit des découpes et une table supérieure en béton est coulée en atelier pour constituer ainsi un élément de pont préfabriqué.

Sur site, une fois les éléments préfabriqués du pont mis en place et maintenus sur leurs supports, le béton complémentaire de la dalle et celui de clavetage peuvent être coulés.

Cette solution est très modulable car elle offre de multiples possibilités de sections transversales remplissant parfaitement les exigences de dimensionnement. Ainsi, les poutres PreCoBeam, possédant les derniers développements en matière de connexion continue et intégrant les avantages de la préfabrication, atteignent aisément les objectifs recherchés pour une construction économique et durable :

- haute sécurité vis-à-vis des impacts de véhicules, particulièrement pour les ponts bipoutres (choc),
- réduction de la surface à peindre et entretenir,
- construction métallique simple réalisée avec très peu de soudures,
- maintenance espacée et contrôle aisé.



Utilisation de PreCoBeam pour un pont à Vigaun, Autriche



Levage d'une poutre PreCoBeam sur le site de Vigaun, Autriche



Vue du pont de Vigaun en PreCoBeam constitué de 3 travées de 26,15 m avec un élanement de 1/23.

8. Poutres mixtes préfléchies



Construction d'un pont-route à une travée à Kerpen Horrem, Allemagne - Poutres mixtes préfléchies de type Préflex, à base de poutrelles laminées HEA 1000 de 41,25 m de longueur.

Principe

Quand on contreflèche une poutrelle sa semelle tendue est sollicitée d'une manière élastique et réversible.

Une poutrelle, préalablement cintrée, à la presse est préfléchiée dans le sens opposé à l'aide d'un équipement spécial. La semelle tendue, munie de connecteurs, est alors enrobée de béton.

Après durcissement, la poutrelle est déchargée; elle tend alors à revenir à sa forme initiale en mettant le béton en compression – la semelle est précontrainte.

Après la pose de la poutre sur le chantier, une dalle en béton est coulée sur l'aile visible de la poutrelle. On obtient ainsi une poutre doublement mixte.

Lorsque la poutre mixte préfléchiée est sollicitée en flexion:

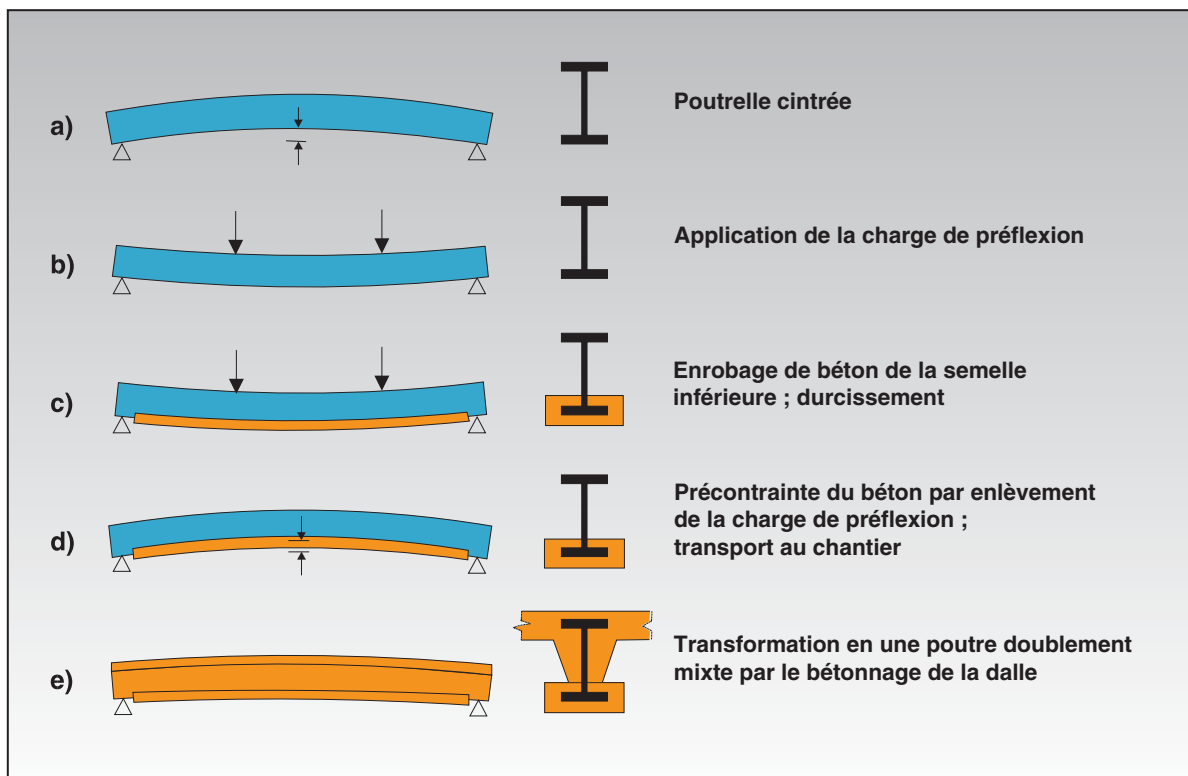
- le béton de la dalle supérieure augmente la résistance et la rigidité comme pour une poutre mixte ordinaire,
- les contraintes de compression dans le béton de la membrure inférieure dues à la précontrainte sont certes réduites, mais jamais complètement annulées: c'est pourquoi le béton ne se fissure pas. Le béton de la membrure inférieure augmente la rigidité en flexion de la poutre et réduit les déformations sous charges.

Applications

Les poutres mixtes préfléchies possèdent:

- une résistance (à la flexion) très élevée; elles conviennent pour la construction de ponts fortement sollicités et tout particulièrement de ponts de chemin de fer;
- une très grande rigidité; les déformations sous les charges d'exploitation sont faibles.

Grâce à ces propriétés, les poutres mixtes préfléchies sont surtout utilisées lorsque la hauteur de construction disponible est très faible. L'élanement (rapport de la portée sur l'épaisseur du tablier) peut atteindre 45 pour les ponts routiers.



Fabrication of prestressed composite girder.

Principe de fabrication d'une poutre mixte préfléchie.

Afin de leur donner la contreflèche requise, les poutrelles sont cintrées au laminage. Les connecteurs et éventuellement des plats de renfort sont soudés sur les semelles en atelier. Les poutrelles sont préfléchies sur une installation de mise en charge, la membrure tendue est bétonnée et les poutrelles sont relâchées après le durcissement du béton, comme illustré ci-dessus.

Les poutres préfléchies sont généralement utilisées en tant que poutres isostatiques. Mais il est aussi possible de réaliser un joint de continuité sur appui.

Après la mise en place des poutrelles sur le site, un coffrage particulier est posé sur les membrures inférieures. Sa forme permet de coffrer simultanément la dalle et les âmes des poutrelles préfléchies. L'application d'un revêtement anticorrosion n'est donc pas nécessaire.

Les poutres peuvent également être disposées côte à côte, en particulier si les charges à porter sont très élevées (p.ex. ponts-rails). Elles forment une dalle massive avec le béton coulé sur place. Le coffrage de la face inférieure est superflu, les membrures inférieures assurant le rôle.

9. Ponts-rails à poutres latérales (Ponts RA.P.L.)



9. Ponts-rails à poutres latérales (ponts RA.P.L.)



Franchissement de la rue Emile Mark à Differdange, Luxembourg – Remplacement de deux tabliers à pose directe des rails par deux tabliers intégrant une voie ballastée ce qui a considérablement réduit la hauteur de construction disponible, justifiant le choix d'un pont RAPL. La photo montre l'ossature d'un des 2 ponts, assemblée par boulonnage sur une aire de préfabrication, avant son bétonnage.



Nouveau franchissement de la rue Emile Mark à Differdange, Luxembourg – Le choix d'un Pont Rail à Poutres Latérales pour chacune des deux voies uniques s'est imposé par sa hauteur de construction très faible.

Principe

Les poutres principales en profilés H sont disposées des deux côtés de la voie. Leurs ailes inférieures supportent une dalle sur laquelle repose le ballast.

Applications

Les ponts à poutres latérales sont utilisés dans les cas où la hauteur de construction disponible est très faible et pour des portées allant jusqu'à environ 16 m (avec des poutres isostatiques et une voie à écartement normal). Sur les lignes à plusieurs voies, la construction de tabliers indépendants étroits permet de garder l'écartement des voies. Ce type de pont convient aussi bien pour des ouvrages neufs que pour le remplacement de ponts existants. Grâce à la faible épaisseur de la dalle, la voie à pose directe peut alors être remplacée par une voie sur ballast. La préfabrication complète du tablier permet une mise en place rapide, l'exploitation n'étant interrompue que pendant une courte durée.



Transformation des quais de la gare centrale de Zurich. – Les anciens tabliers sont remplacés par des tabliers à poutres latérales continues sur 5 travées. Une cuve en béton armé maintient la voie ballastée. Les poutrelles assemblées en longueurs de 69 m sont montées avec un portique de manutention dans un temps très court et un espace réduit.



Cet exemple montre un pont en bow-string pour la LGV Méditerranée au dessus de l'autoroute A7 près d'Avignon (F). Le tablier est constitué de poutrelles enrobées placées perpendiculairement à l'axe du pont.



Pont de la LGV Est, France

Conception et réalisation

Les poutres maîtresses sont en poutrelles laminées pour les courtes portées. Pour les plus importantes dépassant le domaine d'application des poutrelles laminées, on a recours à des poutres reconstituées.

La dalle est réalisée de préférence au moyen de la technique des poutrelles enrobées: les poutrelles sont faiblement espacées entre elles, disposées transversalement et noyées dans le béton; le coffrage est supporté par les ailes inférieures qui restent apparentes. Ce système permet de reporter des charges élevées sur les poutres latérales et ceci avec une épaisseur de dalle très faible. Il convient donc également pour des ouvrages à double voies.

Pont RAPL à poutrelles principales enrobées

La méthodologie de la page 30 peut être appliquée aux poutres latérales d'un RAPL. Le béton est coulé sur la hauteur de la face intérieure de l'âme des poutres latérales de façon à former un cuvelage qui maintient le ballast. La stabilité au déversement des poutres latérales est assurée par un effet de cadre. Pour cela, une partie des poutrelles transversales sont assemblées rigidement aux (ou encastrées sur ? voir avec Oliver) poutres principales.

La dalle peut également être conçue comme une dalle en béton armé simple. Pendant le bétonnage, la stabilité latérale des poutres est alors assurée par des entretoises et un contreventement.

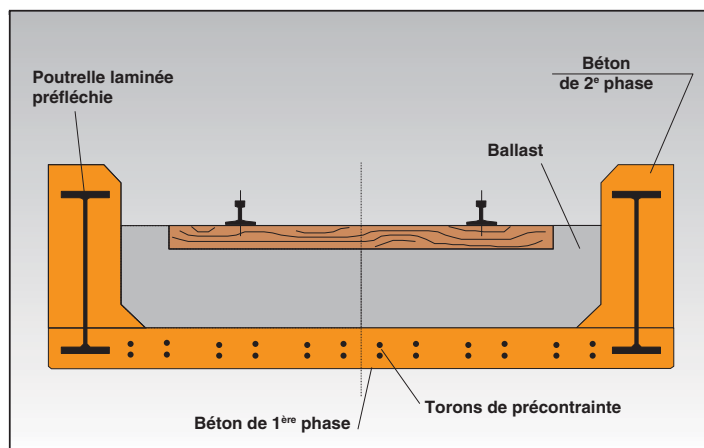


Cette photo représente le lancement d'un pont à poutres latérales de la LGV Méditerranée ouverte en 2002. Les semelles exposées des poutrelles enrobées transversales sont visibles en sous-face du tablier. La structure peinte en bleu, visible à gauche est l'avant-bec utilisé pour le lançage.

Suivant le principe présenté au chapitre précédent (page 30), la dalle inférieure peut aussi être précontrainte longitudinalement par une préflexion des poutres principales. On obtient ainsi une structure extrêmement rigide (système de la SNCB-NMBS).



Extension de la gare de Bruxelles-Midi pour les trains Eurostar. - Mise en place rapide, à l'aide d'un portique, des tabliers préfabriqués à poutres latérales préfléchies et noyées dans le béton.



Coupe transversale d'un tablier à poutres latérales préfléchies (schéma de principe). - Ce système ingénieux de tablier entièrement préfabriqué associant préflexion, précontrainte et mixité a été développé par la Société Nationale des Chemins de Fer Belges. (SNCB NMBS)



Viaduc de la Savoureuse,
près de Belfort – France

10. Ponts en treillis



Nouveaux ponts-rails sur la Muota, ligne CFF du Gotthard, Suisse. - Les diagonales et les membrures supérieures sont des poutrelles laminées des séries HD et HE. Un acier thermomécanique a été utilisé en raison de ses bonnes propriétés de soudabilité.

Les ponts à poutres en treillis sont particulièrement adaptés au franchissement de portées moyennes ou grandes. Ils se distinguent par une capacité portante élevée, une grande rigidité et un faible poids propre. D'autre part, on apprécie la transparence et la variété de formes de ces structures à barres minces.

Les ossatures en treillis ont en particulier fait leurs preuves pour la construction de ponts de petites portées sur des sites éloignés et difficilement accessibles. Le faible poids des différents composants simplifie le transport et le montage sur site.

Conception et réalisation

L'appui d'une dalle en béton armé sur les membrures supérieures de deux poutres en treillis constitue une disposition particulièrement favorable d'un point de vue constructif et statique. Connectée aux poutres métalliques, la dalle est collaborante.

Lorsque la hauteur de construction est limitée, on adopte une disposition à poutres latérales avec un tablier appuyé au niveau des membrures inférieures. C'est souvent le cas pour les ponts-rails (cf photo ci-dessus)

Aujourd'hui, la préférence va aux treillis à membrures parallèles. Les diagonales forment un angle constant avec les membrures et permettent une réalisation plus rationnelle des assemblages aux nœuds, sans montants verticaux.

La conception traditionnelle des nœuds d'assemblage prévoit l'emploi de goussets. Une disposition différente des poutrelles et un choix judicieux des dimensions et des épaisseurs des profils permettent de souder directement les ailes des diagonales sur celles des membrures. Cet assemblage sans gousset est plus simple, et le coût de fabrication sensiblement réduit. Les poutrelles laminées s'adaptent parfaitement à la confection des membrures et diagonales.

Produits industriels de haute qualité, économiques et livrables en grandes quantités, elles sont disponibles dans une vaste gamme de dimensions. Leur résistance à la fatigue est élevée, et elles peuvent être galvanisées à chaud.

Pour les diagonales sollicitées en compression, on utilise des poutrelles à larges ailes, en particulier les profils des séries HD 360 et HD 400, qui se distinguent par leur inertie élevée dans le plan des ailes, leur largeur pouvant atteindre 450 mm. Les épaisseurs d'ailes sont échelonnées de 18 à 125 mm.

Les sections ouvertes des poutrelles facilitent l'exécution des assemblages. Tous les profilés peuvent être fournis dans des nuances d'acier à hautes performances caractérisées par une bonne ténacité, une limite d'élasticité élevée et une excellente soudabilité.



Viaduc routier de Costa Martina, Espagne. – Structure treillis en profilés laminés, continue sur 3 travées de 60,6 - 121,2 - 60,6 mètres. La photo montre le pont avant le montage des éléments en béton armé préfabriqués de la dalle.

Pont routier sur l'Alzette à Cruchten, Luxembourg – Le tablier est mixte, les nœuds des treillis ne comprennent pas de goussets et les membrures sont en acier S 460 à haute limite d'élasticité.



11. Passerelles pour piétons et cyclistes



Passerelle enjambant la voie express à Soleuvre, Luxembourg.



Passerelle pour piétons au Kirchberg, Luxembourg



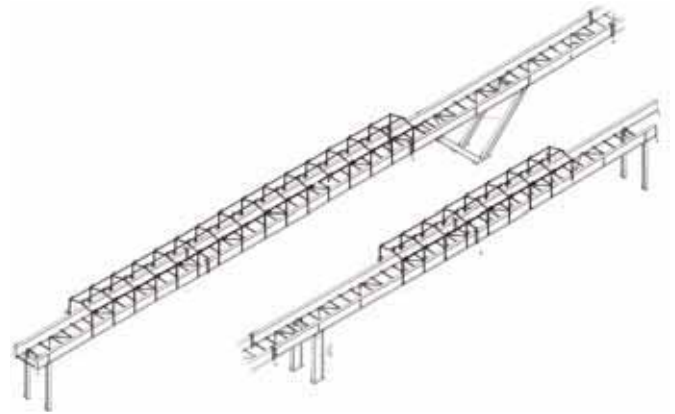
La conception d'une passerelle piétonnière ne découle pas seulement de considérations purement fonctionnelles. L'esthétique, l'intégration au site, le raccordement aux chemins existants, l'aménagement de rampes, etc. influencent souvent d'une façon déterminante le choix du type de structure.

Parmi les systèmes constructifs les plus couramment employés, on distingue les tabliers à dalle supérieure et à poutres sous chaussée et les tabliers à dalle inférieure et à poutres latérales. Les poutres principales sont droites ou cintrées en arc.

Vue de dessous de la passerelle à Soleuvre, Luxembourg – Les culées sont constituées de palplanches.



Passerelle pour les visiteurs d'un parc d'attractions à Wavre, Belgique. – Structure métallique avec couverture et habillage figuratif.



Passerelle au dessus de la route nationale à Wasserbillig, Luxembourg

Tablier à dalle supérieure

Dans la plupart des cas, la dalle repose sur une ossature bipoutre. Un platelage en bois convient bien si l'écartement des poutres n'est pas très important. Il est alors nécessaire d'entretoiser et de contreventer les poutres principales. Avec une dalle en béton armé on peut profiter des avantages de la construction mixte. En raison de la faible largeur du tablier, la dalle se prête bien à une réalisation en éléments préfabriqués.

La conception et la réalisation de ces passerelles s'apparentent à celles des ponts routiers de portées égales – les dimensions des poutrelles sont évidemment plus faibles et le domaine des portées réalisables peut être plus grand.



Vue de dessous des bi-poutres de la passerelle mixte à Wasserbillig, Luxembourg



Passerelle d'accès au bâtiment de la Cour de Justice des Communautés Européennes à Luxembourg. – conçue sous la forme d'un treillis

Construction d'un pont à poutres latérales

Le pont à poutres latérales a l'avantage d'avoir un tablier abaissé, sans retombée de poutres, dont les poutres peuvent servir de garde-corps.

En section transversale, les poutres latérales et les « pièces de pont » ou entretoises forment un cadre. Les pièces de pont sont rigidement assemblées à des montants soudés dans la chambre des poutres principales et assurent ainsi la stabilité latérale de ces dernières.

Le platelage est réalisé en bois, en éléments préfabriqués en béton ou en béton coulé sur un coffrage perdu ou collaborant placé au dessus

des entretoises ou pièces de pont. Au besoin, un contreventement horizontal triangulé, de montage ou permanent, est disposé en sous-face.

Transport et montage

Les poutres principales, les entretoises et pièces de pont et les contreventements sont généralement transportés sur le chantier en pièces isolées. Il est préférable, dans la mesure du possible, d'acheminer les poutres en grandes longueurs afin d'éviter les rabouages sur site.

Le choix de la méthode de mise en place dépend des conditions de chantier et des perturbations admissibles sur les voies franchies. L'ossature

est soit montée en position définitive, soit préassemblée à proximité, puis ensuite installée, à l'aide d'une grue, ou sinon lancée ou ripée. Le platelage est rajouté par la suite.

Accessoires

Une passerelle est regardée de loin mais aussi vue de près par ses utilisateurs. Garde-corps, mains courantes, éclairage, etc. sont donc autant d'éléments qui méritent d'être traités avec soin. Les passerelles d'accès et de liaison entre bâtiments sont souvent couvertes. En cas d'utilisation sur un Pont à poutres latérales, la charpente de la toiture est fixée sur les semelles supérieures des poutres maîtresses.

Autres types de structure

D'autres types de structure sont parfois choisis pour des raisons diverses: ponts et structures suspendus, haubanés, en treillis, en arc,... La diversité et la gamme étendue des profilés laminés en font des éléments constitutifs de ces ouvrages bien adaptés à ces applications particulières.

Conclusion

L'utilisation de profilés laminés pour la construction de passerelles satisfait à différents objectifs: simplicité de la conception, faibles coûts de fabrication, rapidité de montage, perturbations réduites des flux de circulation, formes et couleurs agréables.

Montage d'une passerelle au-dessus d'une autoroute. L'ossature préassemblée comprenant le coffrage en tôle nervurée est posée en 1 opération sur ses appuis par une grue mobile.





Passerelle sur la Sûre à Steinheim, Luxembourg

Vue du platelage en bois du pont à poutres latérales en profilés laminés de Steinheim, Luxembourg



Vue de dessous montrant les pièces de pont et contreventements du pont de Steinheim, Luxembourg



12. Parachèvement des poutrelles chez ArcelorMittal Commercial Sections



Découpage de PreCoBeam par procédé d'oxycoupage entièrement automatique dans les ateliers de parachèvement

12. Parachèvement des poutrelles chez ArcelorMittal Commercial Sections



Atelier de parachèvement – Cintrage d'une poutrelle à la presse

L'atelier de parachèvement de ArcelorMittal Commercial Sections est équipé pour le façonnage de poutrelles de grande longueur et de poids métrique élevé, en particulier pour les opérations nécessaires à la fabrication de poutres de ponts telles que le sciage, le cintrage autour de l'un ou des deux axes, le soudage de goujons,



Atelier de parachèvement – Soudage de goujons

de platines d'appui et de plaques d'extrémité, le perçage des âmes et des ailes.

Le découpage longitudinal, le grugeage, le fraisage et des travaux de soudage peuvent également être effectués dans cet atelier.



Installation de traitement de surface automatique – Grenailage et application d'une couche de peinture

L'usine assure aussi le traitement de surface par grenailage, application de couches de peinture ou métallisation. Les éléments peuvent ainsi être livrés complètement parachévés directement du laminoir au chantier, ce qui permet de réduire leurs coûts et les délais.

Traitement de surface

Outre l'influence esthétique exercée par la couleur (voir le chapitre "conception et esthétique"), le traitement de surface assure une fonction essentielle: la protection du métal contre la corrosion.

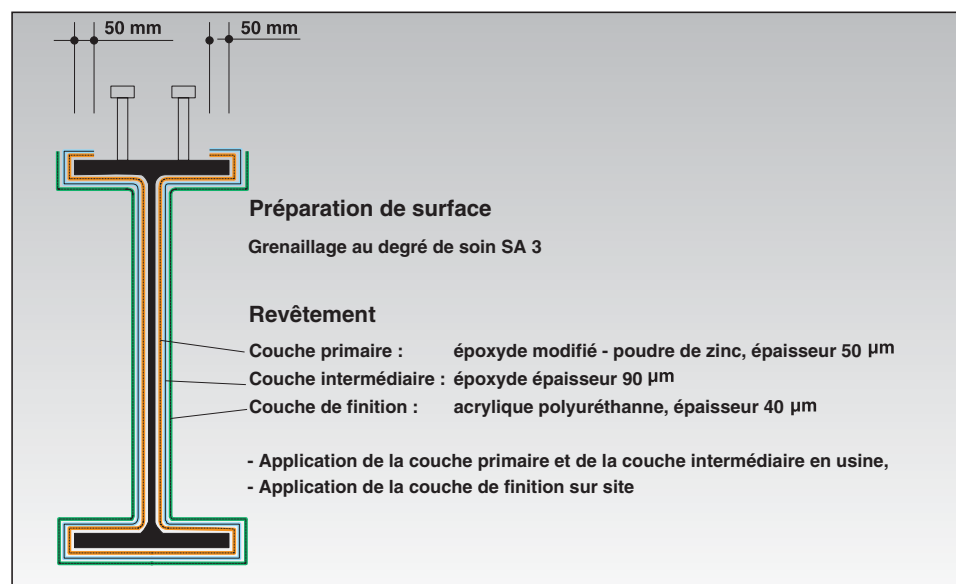
Une protection efficace et de longue durée suppose:

- une préparation soignée des surfaces,
- une application contrôlée des revêtements anticorrosion,
- une inspection régulière des revêtements et la réparation sans délai d'éventuelles détériorations.

Ces dernières années, des progrès considérables ont été réalisés dans les formulations des produits de revêtement, leur mise en œuvre, leur durabilité et la réduction de la pollution. Les systèmes de revêtement modernes ne nécessitent normalement pas de remise en état avant 20 ans.



Franchissement des voies ferrées d'une ligne à fort trafic. - Les semelles inférieures des poutrelles enrobées sont durablement protégées par un traitement anticorrosion à hautes performances.



Exemple d'un traitement anticorrosion de tablier mixte.

Le système le plus adapté pour un ouvrage donné sera choisi en tenant compte de la nature et de la durée d'utilisation de l'ouvrage, des conditions climatiques et autres contraintes liées à l'environnement du site, des possibilités d'entretien et, avant travaux, de préparation des surfaces et d'application des revêtements ou de galvanisation en atelier et sur chantier.

Les éléments en acier noyés dans le béton ne nécessitent pas de revêtement. Il faut cependant traiter avec soin les zones de transition.

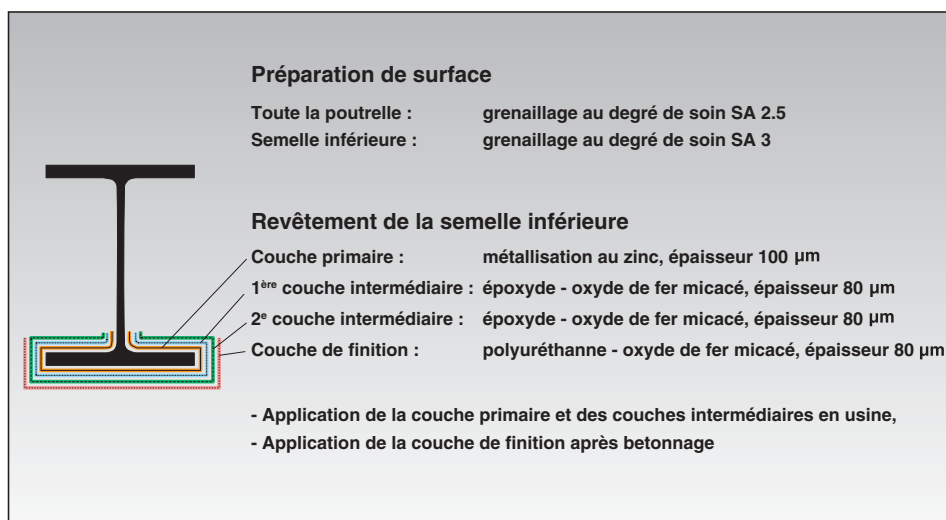
Il est préférable d'exécuter un maximum de travaux de traitement de surface dans un atelier dont l'environnement (température, hygrométrie) est contrôlé. Pour les profilés laminés, ces travaux peuvent être déjà réalisés au laminage. Le plus souvent, seule la couche de peinture de finition reste à appliquer sur le chantier, après le montage.

Systèmes de protection contre la corrosion

Le choix d'un système approprié et son application correcte sont les conditions fondamentales pour assurer l'efficacité de la protection contre la corrosion.

Les types de traitement disponibles sont multiples:

- application d'un système de peinture
- métallisation par projection de métal (zinc) fondu
- galvanisation à chaud au trempé
- galvanisation + mise en peinture (système duplex).



Exemple d'un traitement anticorrosion de tablier en poutrelles enrobées.

13. Logiciel de pré-dimensionnement ACOBRI



ACOBRi (**A**rcelor**M**ittal **C**omposite **B**ridges) a pour objet d'aider à la conception et au pré-dimensionnement des poutres principales en profilés laminés d'un tablier de pont mixte acier-béton. ACOBRi traite des ponts routes, des ponts-rails et des passerelles à simple ou plusieurs travées. Le logiciel ACOBRi permet de traiter différents types de tablier : classiques, à poutres mixtes préfabriquées, avec caisson, avec caisson remplis de béton ou encore en poutrelles enrobées. Le pré-dimensionnement s'effectue suivant les règlements français, allemand ou Eurocode (EN). Le logiciel est multilingue et permet l'édition des notes de calcul en français, allemand et anglais.

Veillez consulter notre site internet pour obtenir la dernière version de nos logiciels

••••• arcelormittal.com

14. Les ponts à base de laminés à chaud dans la construction durable

La préservation durable des ressources naturelles dans nos sociétés industrialisées constitue aujourd'hui une priorité pour la construction et le développement de notre environnement. Elle exige d'une part la modification des paramètres économiques au niveau des procédés de construction afin de tenir compte notamment du cycle de vie des ouvrages et d'autre part, des transformations interdisciplinaires des modes de construction en vue d'une considération équitable des objectifs de durabilité tant au niveau de l'environnement que de la société.

Ces objectifs de durabilité sont présents dans les domaines:

- écologiques,
- économiques,
- socioculturels,
- techniques,
- orientés procédé.

Ces objectifs sont tous non seulement interdépendants, mais aussi ambivalents. Ils doivent apporter des réponses cohérentes à des problèmes complexes, afin de léguer aux générations futures un environnement construit qui soit vivable.

Les ponts représentent un enjeu capital dans les infrastructures de transport dans nos sociétés. L'augmentation fulgurante de la densité de trafic depuis ces dernières décades a contribué à la construction de nombreuses nouvelles routes et autoroutes ou à la planification de réalisation de ces dernières dans un futur proche. Les ponts à faible portée représentent la majeure partie

de l'ensemble de ces ouvrages; l'utilisation des profilés laminés à chaud correspond parfaitement à ce type d'application.

La construction durable de ponts basés sur l'utilisation de profilés laminés à chaud respecte pleinement les aspects des différents objectifs de durabilité.

Aspects écologiques de la durabilité

De ce point de vue, il importe principalement à utiliser des matériaux de construction écologiques ne présentant pas de risques pour la santé, à réduire les quantités de déchets produits lors du démantèlement des ouvrages en fin de vie, ainsi qu'à conserver au mieux l'énergie contenue dans les matériaux de construction résultant ainsi en une utilisation efficace et idéale des matériaux. Dans le cas des profilés laminés à chaud, le matériau utilisé est l'acier. Il présente dans ce contexte des caractéristiques exceptionnelles car il est le matériau le plus recyclé dans le monde.

En effet, la filière moderne de production de l'acier dans les fours électriques utilise comme matière première uniquement de la ferraille. En outre, cette méthode de production permet de réduire sensiblement les émissions de bruit, de particules et de CO₂ ainsi que la consommation d'eau et d'énergie primaire. De plus, les éléments de construction déjà installés peuvent être réaffectés à des utilisations ultérieures.

Les ponts utilisant les profilés laminés à chaud sont des structures présentant une maintenance aisée, une déconstruction facilitée et offrant ainsi la possibilité de préserver les ressources naturelles par le recyclage en fin de vie. Le taux de récupération des profilés laminés dans les ponts est de 99%. De plus, les éléments en acier peuvent être réutilisés après le démantèlement. La conception des ponts mobiles s'est développée sur base de profilés laminés à chaud en utilisant leur avantage au niveau de la légèreté, de la possibilité d'assemblage détachables et de la rapidité de mise en œuvre.

Aspects économiques de la durabilité

Ici, les investisseurs visent en premier lieu la diminution du coût des investissements, l'optimisation des coûts d'exploitation, une durée de vie aussi longue que possible ainsi qu'une grande flexibilité dans l'utilisation de l'ouvrage.

Le matériau utilisé pour les profils laminés à chaud, l'acier, permet aux architectes et aux concepteurs de répondre sans problèmes à ces exigences tout en combinant avec des modes de construction légers et rapides la qualité, la fonctionnalité et l'esthétique.

Les superstructures élancées permettent une diminution de la hauteur de construction et des volumes de terrassement entraînant une diminution des coûts de matériaux, de transport et de construction.



Reconstruction du pont sur la Nahe près de Bad Münster am Stein, Allemagne – Ce pont se situe dans une réserve naturelle. Un tablier mixte a été posé sur les piles existantes.

Les temps de construction faibles et la diminution résultante de la perturbation du trafic épargne des coûts supplémentaires aux usagers. Les remises d'offre contenant des coûts de cycle de vie prouvent la compétitivité et la durabilité des constructions mixtes de ponts à faible ou moyenne portée.

En supplément aux coûts de construction économiques, les ponts aciers ou mixtes sont aussi des coûts opérationnels économiques. Les inspections ou les travaux de maintenance se trouvent facilités par un accès aisé aux éléments structuraux. Inspecter un pont mixte est simple et efficace.

Les ponts utilisant des profilés laminés peuvent être réparés. Les ponts mixtes présentent une méthode flexible et bon marché pour l'adaptabilité aux changements dans les exigences comme par exemple l'élargissement des voies ou bien le renforcement de la structure.

Aspects socioculturels de la durabilité

Cet aspect permet à l'architecte de concilier ses propres exigences envers l'esthétique d'un pont ainsi que les attentes sociales de son proche environnement. Ici aussi, les ouvrages en acier constitués de profilés laminés à chaud offrent à

l'utilisateur le moyen de concevoir des structures transparentes aux lignes allégées, robustes et sûrs. L'environnement d'un pont en acier constitue un milieu sain car l'acier ne dégage pas de substances dangereuses. Il ne présente donc aucun danger pour la santé des êtres vivants.

Aspects techniques de la durabilité

Les ponts mixtes à base de poutrelles sont capables de résister à de forts taux d'utilisation et possèdent l'avantage d'être adaptables aux possibles changements d'utilisation pendant leur service sans dommage ou perte de fonctionnalité. De plus, la problématique de la rénovation des ouvrages se trouve considérablement allégée par des conceptions intelligentes qu'offrent les solutions en acier. Les solutions mixtes offrent le potentiel de respecter d'un côté l'argent public avec des techniques de construction économiques et d'un autre côté de satisfaire les critères à la fois techniques, économiques et politiques par l'adaptabilité des systèmes en acier.

Aspects procédés de la durabilité

La construction métallique offre de nombreux avantages par sa flexibilité, sa transparence et son économie. Dans les réalisations de ponts mixtes à faible et moyenne portée, les profilés

laminés à chaud sont en grande majorité utilisés comme éléments porteurs principaux. Leur production industrielle garantit un haut niveau de qualité sur une très large gamme de produits disponibles et ce dans de nombreuses nuances d'acier, avec en particulier les hautes limites d'élasticité comme par exemple la qualité HISTAR. La préfabrication en atelier permet d'acheminer sur chantier les produits finis ayant subi les contrôles de qualité nécessaires et pouvant être directement livrés à la longueur requise pour le montage final. Par conséquent, les sites de construction et les surfaces de dépôt sont réduits au minimum et diminuent d'autant les nuisances sonores ou les émissions de poussières. La propreté est une caractéristique des chantiers de construction en acier.

La rapidité d'exécution des constructions à base de profilés laminés à chaud a pour conséquence une épargne au niveau des coûts de contrôle de la circulation et une réduction du potentiel d'accident. Ces ponts sont conçus pour être montés sans interférence notable avec le trafic passant sous l'ouvrage et pour minimiser la perturbation de trafic pendant leur maintenance.

Assistance technique

Assistance technique

Nous vous proposons des conseils techniques gratuits pour optimiser l'emploi de nos produits et solutions dans vos projets et pour répondre à vos questions relatives à l'utilisation des profilés et aciers marchands. Ces conseils techniques couvrent la conception d'éléments de structures, les détails constructifs, la protection des surfaces, la protection incendie, la métallurgie et le soudage. Nos spécialistes sont à votre disposition pour accompagner vos initiatives à travers le monde. Pour faciliter le dimensionnement de vos projets, nous proposons également un ensemble de logiciels et documentations techniques que vous pouvez consulter ou télécharger sur le site

Contact: sections.tecom@arcelormittal.com

••••• arcelormittal.com

Parachèvement

Pour compléter les possibilités techniques de nos partenaires, nous nous sommes dotés d'outils de parachèvement performants et offrons un large éventail de services, tels que :

- forage
- oxycoupage
- découpe en tés
- crantage
- contrefléchage
- cintrage
- dressage
- mise à longueur exacte par sciage à froid
- soudage de connecteurs
- grenailage
- traitements de surface

Construction

ArcelorMittal dispose d'une équipe de professionnels multi-produits dédiée au marché de la construction.

Une palette complète de produits et solutions dédiés à la construction sous toutes ses formes : structures, façades, couvertures, etc. est disponible sur le site

www.constructalia.com

Photos:

SNCF, Nederlandse Spoorwegen, Christmann & Pfeifer, TUC RAIL, Fietz, Carlo Hommel, Oliver Hechler, Jean-Pierre Jacqueton, Andreas Girkes, Falk Satzger, Claudine Bosseler, URSSA, Paul Wurth, IMW, SSF Ingenieure, Milestone Consulting Engineers.

Vos Partenaires

ArcelorMittal
Commercial Sections
66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette
Luxembourg
Tel: +352 5313 3010
Fax: +352 5313 2799

sections.tecom@arcelormittal.com

.....www.arcelormittal.com

FRANCE

ArcelorMittal
Commercial Sections France S.A.
6, rue André Campra
F-93212 La Plaine Saint Denis Cedex
Tél: +33 (0) 1 71 92 00 00
Fax: +33 (0) 1 71 92 17 97

sections.france@arcelormittal.com

ConstruirAcier
20 rue Jean Jaurès
F-92800 Puteaux
Tél : +33 (0) 1 55 23 02 30
Fax : +33 (0) 1 55 23 02 49
www.construiracier.fr

CTICM

Centre Technique Industriel de la
Construction Métallique
Espace technologique - L'orme des merisiers -
Immeuble Apollo
F-91193 Saint-Aubin
Tél. : +33 (0) 1 60 13 83 00
Fax : +33 (0) 1 60 13 13 03
www.cticm.com

BELGIQUE

ArcelorMittal
Commercial Sections Benelux B.V.
Boompjes 40
NL-3011 XB Rotterdam (Pays-Bas)
Tél.: +31 1 020 60 555
Fax. : +31 1 020 60 559

sections.benelux@arcelormittal.com

Centre Information Acier
Chaussée de Zellik 12
B-1082 Bruxelles (Berchem-Sainte-Agathe)
Tél. : +32 2 509 15 01
Fax : +33 2 511 12 81
www.infosteel.com

ArcelorMittal
Commercial Sections

66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette
LUXEMBOURG
Tel.: + 352 5313 3010
Fax: + 352 5313 2799

.....arcelormittal.com



Mixed Sources

Product group from well-managed
forests and other controlled sources
www.fsc.org Cert no. SGS-COC-004080
© 1996 Forest Stewardship Council