

Ecole Nationale Polytechnique d'Oran

MAURICE AUDIN

Département Génie Civil



Bâtiment Durable

Projet n°1

# Construction Mixte

Technologie de Construction.

**Béton Bois et Béton Acier**



Mawloud Fellahi & KHEFIF Noureddine



## Sommaire :

### Introduction :

- I. Historique et définition de la construction mixte :
  - La construction mixte en général.
  - La construction mixte Bois\_Béton.
  - La construction mixte Acier\_Béton.
- II. Caractéristique techniques et emploi des matériaux :
  - Le béton.
  - Le bois.
  - Les aciers.
- III. Construction Mixte Bois\_Béton :
  - Les apports de la mixité (La construction mixte Bois\_Béton).
    - A. Différents système de structure :
    - B. Plancher.
- IV. Construction Mixte Acier\_Béton :
  - A. Les éléments constructifs.
  - B. Méthode de construction et montage.
- V. Avantages et inconvénients.
- VI. Exemple d'usage.

## Référence Bibliographique

## Historique et définition de la construction mixte



### Généralité :

### Définition de la construction mixte :

Un élément structural de construction est défini comme mixte s'il associe les deux matériaux de manière à tirer le meilleur parti de cette association. L'idée de base est similaire à celle exploitée en béton armé. Toutefois, en construction mixte, la solidarisation entre les composants de la section constituée de deux matériaux différents n'est très généralement pas obtenue par adhérence (cas du béton armé) mais au moyen d'organes de liaison, appelés connecteurs. C'est cette connexion, troisième composant de la construction mixte, qui assure l'action composite d'une section faite de deux matériaux. Le rôle majeur de la connexion est d'empêcher, ou à tout le moins limiter, le glissement tendant à se produire à l'interface entre les deux matériaux sous l'effet des actions extérieures et de transmettre les efforts entre la partie acier et la partie béton de la section mixte. En d'autres termes, une section mixte tend à se comporter comme section monolithe.

Une structure mixte doit sa capacité portante à la collaboration structurale entre l'acier et le béton, qui exploite les caractéristiques favorables respectives de ces matériaux de façon optimale. Bien que ceux-ci de natures différentes, ils se complètent fort opportunément :

- Le béton est tout indiqué pour résister à la compression tandis que l'acier est mieux adapté pour transmettre des efforts de traction.
- L'élançement des éléments en acier les rend sensibles au flambement par flexion, au flambement par flexion-torsion et au voilement local tandis que la présence du béton permet de limiter l'apparition de ces formes d'instabilité.
- Le béton recouvrant l'acier met celui-ci à l'abri de la corrosion.
- Le béton constitue une bonne protection contre l'incendie car, grâce à la plus grande inertie thermique du béton, l'acier s'échauffe moins rapidement et une

redistribution des efforts s'opère de l'acier (plus chaud) vers le béton (plus froid).

- Grâce à sa ductilité, l'acier confère à la construction mixte une très bonne capacité de déformation plastique.

## Raison d'utiliser des structures mixtes :

Tout dimensionnement doit non seulement prendre en compte l'optimisation de la résistance aux charges, de la raideur et de la ductilité mais également les aspects architecturaux, économiques, de fabrication et d'utilisation des poutres, dalle et poteaux.

### a) Aspects architecturaux :

Les structures mixtes permettant de nombreuses variations architecturales pour combiner les différents types d'éléments mixtes.

En plus de réduire les dimensions des poutres, la construction mixte permet

- Des poteaux plus importantes.
- Des dalles plus minces.
- Des Poteaux plus élancés.

Et offre une grande flexibilité et de nombreuses possibilités lors de la conception.

### b) Aspects économiques :

L'intérêt économique des structures mixtes provient de dimensions plus réduites (la rigidité plus élevée entraîne des flèches plus faibles, des portées plus grandes et des hauteurs totales plus faibles) et d'une construction plus rapide.

Les rapports portés sur hauteur ( $\frac{L}{h} = 35$ ). Des poutres sont faibles et peuvent présenter plusieurs avantages :

- La réduction des hauteurs permet de réduire la hauteur totale du bâtiment et permet dès lors une diminution de la surface des murs extérieurs.
- Les portées plus grandes pour des hauteurs identiques (par rapport aux autres méthodes de construction) permettent de réduire le nombre des poteaux par plancher ce qui offre plus de flexibilité.
- Pour une même hauteur totale de bâtiment, celui-ci présenter plus étages.

Les structures mixtes sont simples à construire et présentent des temps de construction réduits :

- Economie de coût suite à la réalisation plus rapide du bâtiment.
- Coût de financement plus faible.
- Prêt à l'emploi plus rapidement et donc revenu d'utilisation plus élevé.

## Construction mixte Bois\_Béton :

Un système constructif comprend une structure auto-stable de type Poteaux/Béton/Dalle béton associées à une enveloppe « manteau » en panneau à ossature bois, les éléments du mur manteau bois sont préfabriqués en atelier, comme des murs d'ossature bois traditionnels. Ils sont posés en nez de dalle sur la construction en béton. Les murs d'ossature à l'eau et à l'air. C'est également le lien qui supportera le parement extérieur du bâtiment.

La conception d'ouvrage mixte bois\_béton va permettre de mettre en avant les propriétés de ces deux matériaux qui une fois combiné, suscite l'engouement de bon nombre de maître d'ouvrage. En effet, pour répondre aux problématiques actuelles de développement durable et de construction écoresponsable, la solution du bois est aujourd'hui largement employée. Cependant, face à des normes incendie et à la des réglementations de plus en plus exigeantes, l'emploi du seul matériau bois est aujourd'hui encore compliqué. C'est ici que la solution de la conception mixte des édifices en structure mixte bois\_béton.

## Historique du bois/béton :

Le lendemain de la première guerre mondiale que vont commencer les premiers essais et les premières expérimentations de structure mixte bois-béton. Durant cette période entre deux guerres, le monde entre en pénurie de métal et d'acier, jusqu'alors nécessaire dans la conception de toutes les structures en béton (utilisation dans l'armature du béton), c'est ainsi que le bois va être de plus en plus utilisé et expérimenté dans les ouvrages, en remplacement de l'acier.

Dès 1922, un brevet est déposé avec la description d'un système de connexion par des clous positionnés entre une dalle de béton et des éléments de solivage en bois. La volonté de reconnaissance de ce système est en marche. Les premières constructions apparaissent alors dans les années 40. Les premiers essais, les premiers problèmes et limites du système apparaissent. La destruction de la structure apparaît par ruine du béton au cisaillement ou du bois en traction mais pas par ruine de la résine époxy utilisée alors. Commencement également à se soulever les problèmes du système sur le long terme, l'humidité du bois et les impacts accidentels.

Depuis, les systèmes mixtes ont fait l'objet d'étude, de thèse et de nombreux essais. On parle de 10000m<sup>2</sup> de plancher bois, rénovés à l'aide de cette technique en république socialiste « Tchécoslovaque » dès les années 60, mais également de ponts mixtes construits en « Nouvelle Zélande » et aux USA à partir des années 70. cependant, contrairement aux structures mixtes Acier\_Béton, il n'existe encore aucun Eurocode

spécifique aux structure mixte Bois\_Béton. Il faut pour cela se référencer à l'Eurocode 5 : conception et calcul des structures en bois (EN 1995).

## Caractéristiques techniques et emploi des matériaux

a) Le béton :

Le béton est un matériau de construction composite homogène, constitué de granulats (sable, gravillons... etc.) agglomérés par un liant hydraulique (ciment) qui durcit en présence d'eau. En ajoutant des adjuvants qui améliorent sensiblement les performances du matériau.

Propriétés mécanique :

La résistance du béton aux efforts de compression et de traction varie en fonction de la nature du ciment employé, de son dosage, des granulats et de la quantité d'eau ainsi que du soin apporté à la mise en œuvre et des contrôles auxquels il est soumis. Malgré cette diversité, il reste clair que le béton présente des résistances à la compression élevées et des résistances faibles en traction (en pratique, elles sont négligées). C'est pourquoi il est généralement associé à des armatures en acier dans les zones tendues.

Propriétés physiques :

Conductivité thermique	Propriétés acoustiques	Comportement au feu
$\lambda_{moy} = 1,75 W.m^{-1}.K^{-1}$	Protection contre le bruit. Un bloc plein et creux enduit sur les deux faces (20cm) ou béton plein : <ul style="list-style-type: none"><li>• 59db(A) au bruit rose.</li><li>• 54db(A) au bruit route.</li></ul> Un mur en béton plein 16cm : <ul style="list-style-type: none"><li>• 57db(A) au bruit rose.</li><li>• 53db(A) au bruit route.</li></ul>	Un affaiblissement des résistances à la compression et à la traction du béton. A 600°C le béton perd 45% de sa résistance en compression et 100% en traction. A 200°C son module d'élasticité est quant à lui, divisé par 2.

b) Le bois :

Le bois est un matériau naturel. Il consiste la plus grande partie du tronc des plantes ligneuses. Il joue un double rôle comme conducteur de la sève brute et tissu de soutien qui donne leur résistance aux tiges. Il sert aussi parfois de tissu de réserve. C'est un des matériaux les plus appréciés pour ses propriétés

mécaniques, pour son pouvoir calorifique et comme matière première pour de multiples branches industrielles. Il a de nombreux usages dans le bâtiment et l'industrie.

### Propriétés mécanique :

Le bois présente des performances différentes selon la direction (parallèle ou perpendiculaire aux fibres). Elles sont similaires au béton en flexion, compression axiale et cisaillement, supérieures au béton en traction axiale, et inférieures au béton en traction et compression perpendiculaire.

### Propriétés physiques :

Conductivité thermique	Propriétés acoustiques	Comportement au feu
Un faible conducteur thermique étant donné qu'il dispose de très peu d'éléments libres et qu'il est très poreux cependant : La conductivité thermique est plus élevée selon l'axe longitudinal étant donné la porosité.	Un bon comportement acoustique. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour 10mm : isolement de 18dB.</li> <li>• Pour 30mm : isolement de 25dB.</li> </ul>	La résistance au feu correspond au temps pendant lequel le bois peut jouer son rôle de structure. Le dimensionnement se fait par le calcul de la section résiduelle qui est en fonction de la vitesse de combustion.

### c) L'acier :

Les propriétés auxquelles on s'attache sont, d'une part, les caractéristiques mécaniques déterminées dans des conditions standards par les essais de traction et de flexion par choc (limite élastique, charge de rupture, allongement, striction et résilience), d'autre part, la trempabilité. Un acier de construction sera donc défini par sa composition chimique, par ses caractéristiques mécaniques et, si nécessaire, par sa trempabilité. Dans le cas d'un acier destiné à recevoir un traitement thermique après mise en œuvre, les caractéristiques dépendent à la fois de la dimension des pièces, de la trempabilité de l'acier et des conditions de mise en œuvre. Elles peuvent être très différentes de celles qu'indiquent les tables et qui correspondent à des conditions standards. La ductilité peut être fonction de l'importance des déformations subies par le métal depuis le demi-produit d'origine (corroyage)

L'acier est un remarquable matériau de construction, qui peut supporter les charges les plus lourdes et couvrir avec des sections réduites des portées immenses. Dès les débuts de son utilisation, il permet de réaliser des œuvres extrêmement hardies et de battre des records de hauteur (379m à l'Empire State Building) ou de portée (1200m au pont de Golden Gate). Le rôle que le métal a joué dans les diverses expositions internationales (Crystal Palace à Londres en 1851, tour Eiffel à Paris en 1889...etc.).

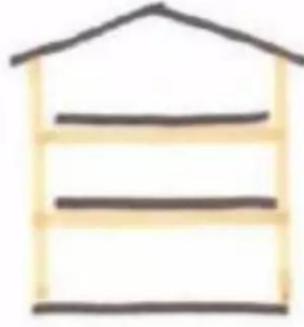
## Construction Mixte Bois\_Béton

### Les apports de la mixité (La construction mixte Bois\_Béton) :

Les arguments en faveur de la mixité bois et béton :

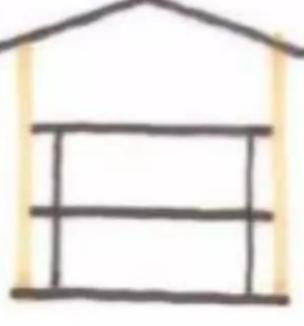
Améliorer le confort d'été	Gain de surface habitable	Diminuer le temps de chantier	Diminuer le nombre d'intervenant	Offrir une meilleure réponse prix-qualité

#### A. Différents système de structure Mixte Bois\_Béton :

- 

① Structure bois verticale et horizontale avec chape béton rapportée.
- 

② Structure bois verticale et horizontale, béton connecté (solution des planchers mixtes)
- 

③ Structure béton auto stable dalle béton et panneau ossature bois entre dalle
- 

④ Structure béton auto stable dalle béton et panneau ossature en rideau

## B. Les planchers mixtes bois\_béton :

Ce plancher est utilisé dans des projets neufs, c'est avant tout pour son intérêt technique. En effet, un tel plancher permet de mettre en place de bien plus grande portée qu'un plancher bois traditionnel ou qu'une dalle béton seule. Cet avantage permet une grande plus-value dans le domaine architectural de la conception et également dans le domaine de la technique.

Enfin ces avantages quant à la résistance au feu et aux performances acoustiques en font un atout majeur dans un projet.

### Principe :

Le principe de collaboration entre un solivage et une dalle béton consiste à faire travailler, grâce à la mise en œuvre de connecteurs, le béton en compression et le bois en traction, utilisant ainsi au mieux les propriétés des deux matériaux. Cette technique particulièrement indiquée dans le cadre des réhabilitations de structures anciennes permet ainsi d'augmenter notablement la rigidité et la résistance des planchers en bois.

### Capacité :

Il est possible, dans certains cas de conférer une capacité portante de  $500\text{Kg/m}^2$  à une structure ne pouvant théoriquement reprendre que quelques dizaine de  $\text{Kg/m}^2$ , et ce par la mise en œuvre d'une dalle de béton de 8 à 10cm avec interprétation de connecteurs.

### Connecteurs :

Le rôle de ces connecteurs est de reprendre l'effort de cisaillement à l'interface entre le bois et le béton, de sorte que l'ensemble du plancher devient une structure mécaniquement homogène et donc beaucoup plus rigide et résistante. Les performances mécaniques du procédé dépendent très fortement des caractéristiques des connecteurs. C'est pourquoi est indispensable de connaître de façon précise la résistance unitaire de chaque connecteur, dont dépendra la résistance de la structure, mais également le glissement (au sens de l'Eurocode 5) de celui-ci, fondamental pour prédire la rigidité finale du plancher.



## Normes actuelles :

NF EN 1995 (NF P21-711) EC5 : calcul des structures en bois.

## Appuis des poutres :

Le cisaillement longitudinal entre bois et le béton sera maximal au droit des appuis, et c'est donc aux extrémités de la poutre que leur densité sera la plus importante. D'autre part, l'effort tranchant au droit des appuis devient très intense et donc prépondérant dans la vérification des sections de bois. Il est donc impératif de vérifier l'état sanitaire des appuis de poutres de façon à assurer que la section retenue pour le calcul correspond bien à la section réellement résistante de la poutre.

## Plancher à solivage :

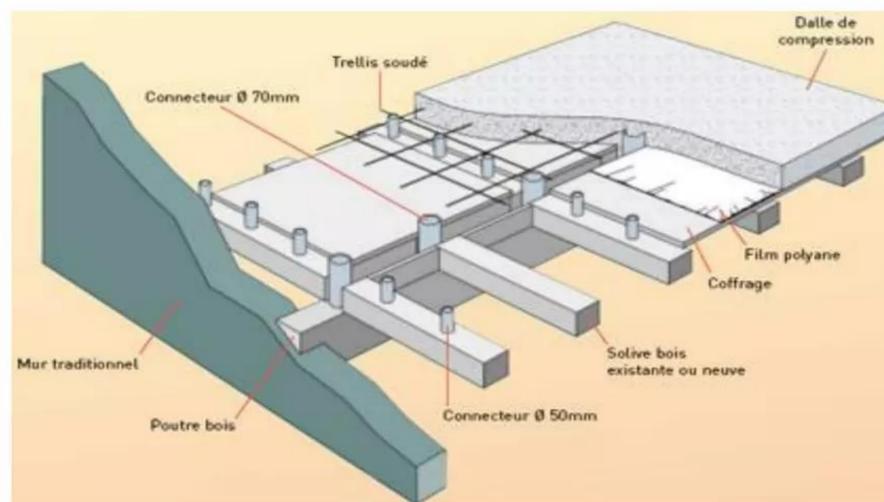


Figure : Plancher à solivage.

C'est le système le plus répandu. Il permet d'une part d'intervenir dans la réhabilitation d'existant, et d'autre part d'imaginer également des programmes neufs. Il s'agit d'une dalle béton au sol du niveau supérieur et poutres apparentes en sous-face.

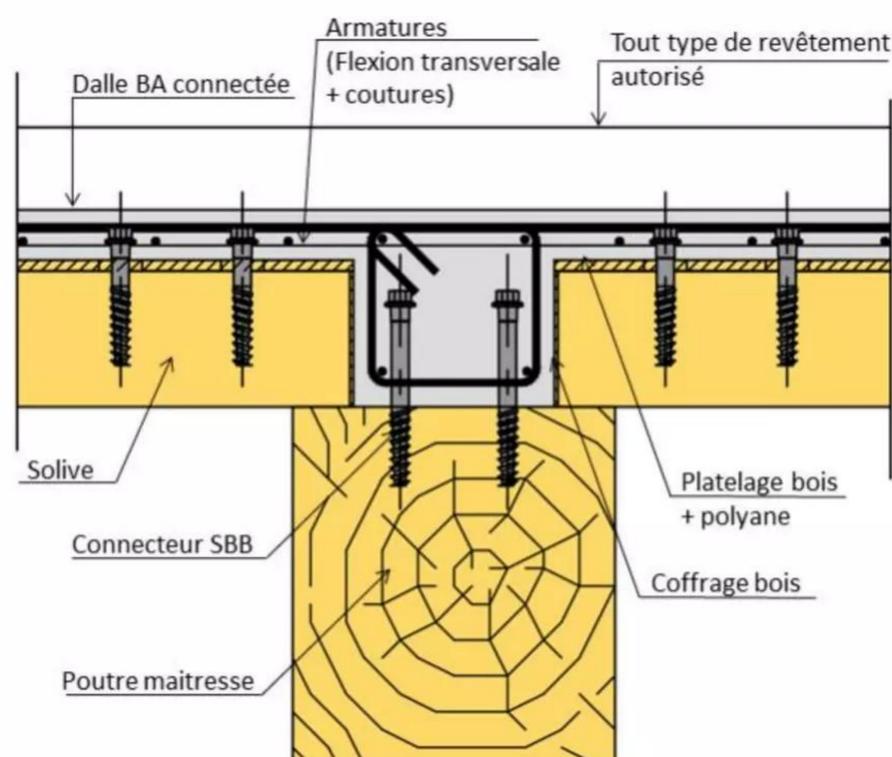


Figure : Plancher en bois.

## Plancher à prédalle :

Ce système est constitué d'une dalle béton au sol du niveau supérieur et d'une sous-face intégralement en bois massif, lisse, moulurée ou décalée.

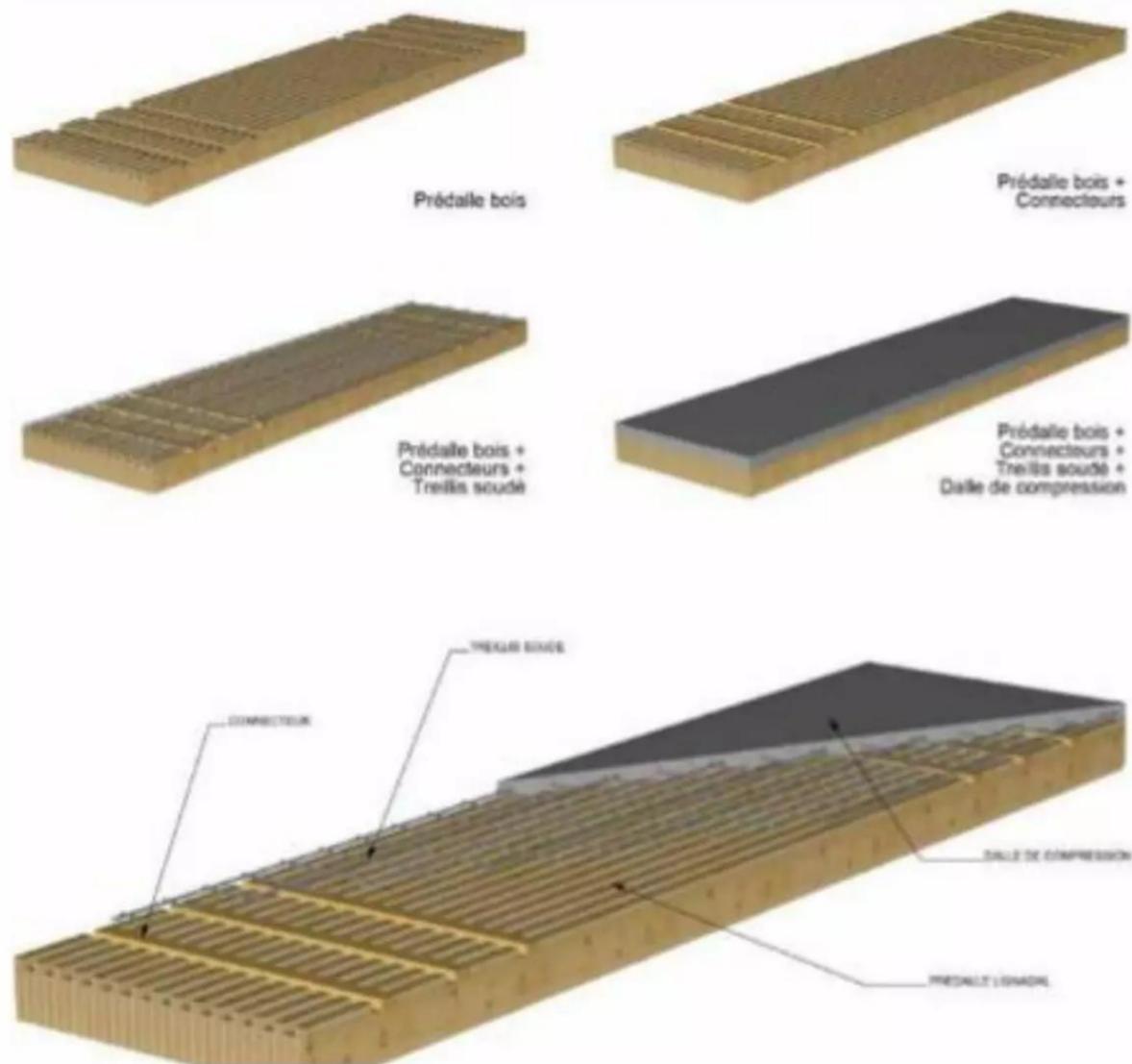


Figure : Plancher à prédalle.

## Construction Mixte Acier\_Béton :

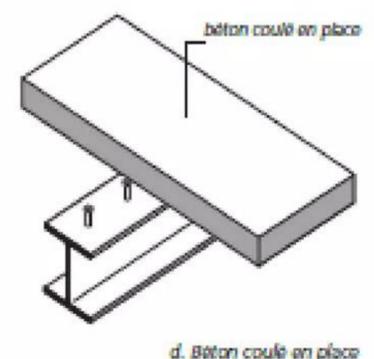
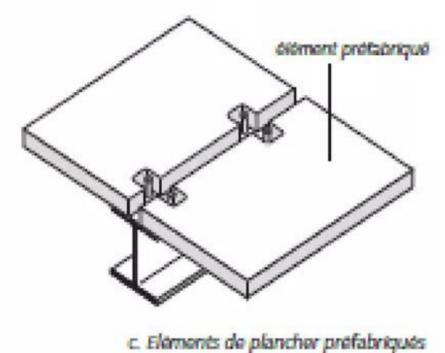
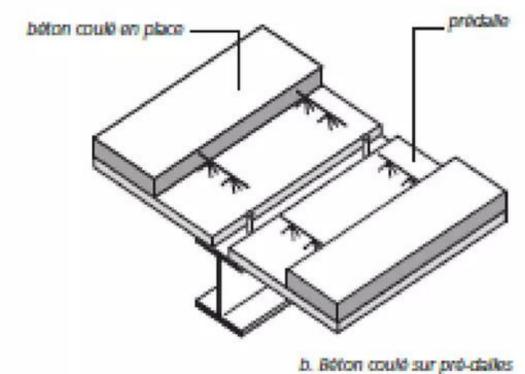
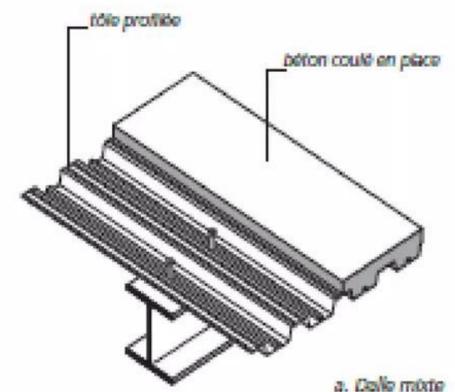
Dans le programme des Eurocodes, un Eurocode particulier- à savoir l'Eurocode 4 est consacré au calcul des structures mixtes acier-béton. La NBN en 1994-1-1 (Eurocode 4- Calcul des structures mixtes acier-béton-Partie 1-1 ; règles générales et règle pour les bâtiments) aborde principalement le dimensionnement à froid des éléments structuraux rencontrés dans un bâtiment, à savoir les poutres, dalles et poteaux. Dans la partie 1-2 de l'Eurocode 4, désignée NBN EN 1994-1-2, on trouve les règles générales pour le calcul du comportement au feu avec vérification selon des tableaux de dimensionnement au selon des modèles de calcul simplifiés ou, au contraire, avancés. Les ponts mixtes font l'objet d'une partie 2 (NBN EN 1994-2).

### A. Les éléments constructifs :

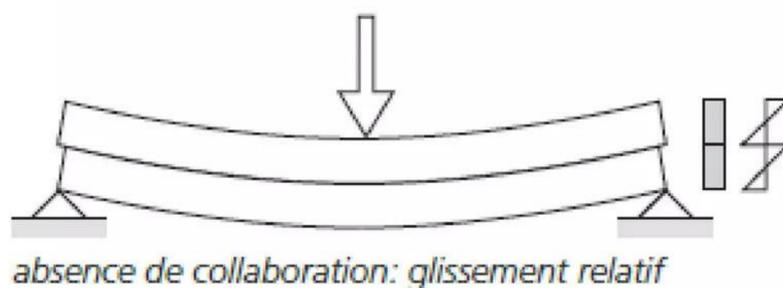
#### I. Poutre Mixte :

a. Composition : Une poutre mixte comporte trois composants :

- Une partie en béton, se présentant habituellement sous la forme d'une semelle en béton à la partie supérieure de la section.
- Un profilé en acier.
- Une connexion, assurée le plus souvent par des goujons connecteurs.

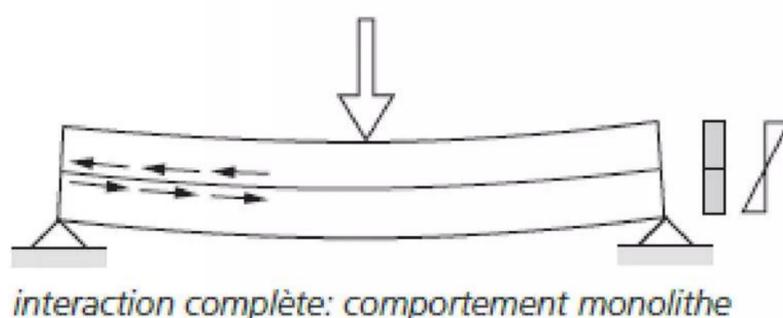


La connexion vise à ce que la partie en béton et le profilé en acier travaillent concomitamment de manière à approcher le comportement d'une section monolithique. Ce principe de tous temps été mis en œuvre dans les constructions en bois ; un bel exemple est réalisation d'une poutre en superposant deux éléments en bois de hauteur  $h$  et largeur  $b$  et en les reliant par des cales à leur interface.



$$W = 2 \frac{1}{6} bh^2 = \frac{1}{3} bh^2$$

$$I = 2 \frac{1}{12} bh^3 = \frac{1}{6} bh^3$$



$$W = \frac{1}{6} b(2h)^2 = \frac{2}{3} bh^2$$

$$I = \frac{1}{12} b(2h)^3 = \frac{4}{6} bh^3$$

Figure1-2 : Effet d'une interaction complète entre deux poutres identiques à section rectangulaire sur le module de flexion  $W$  et sur d'inertie  $I$ .

(Construction mixte acier-béton dans les bâtiments. Introduction P03)

La figure1-2 illustre l'effet de la présence d'une connexion sur les caractéristiques statiques d'une section transversale. Par la collaboration structurale entre les éléments constitutifs, le module de flexion, déterminant pour la résistance, est deux fois plus grand qu'en l'absence de collaboration. Le moment d'inertie, caractérisant la rigidité et déterminant pour la flèche, est quant à lui quadruplé.

La semelle en béton d'une poutre mixte, appelée communément « dalle », fait généralement partie intégrante d'un plancher en béton, elle intervient dans le comportement de la poutre par une largeur limitée dite « largeur participante » ou encore « largeur collaborant ».

En pratique, ce plancher peut être de l'un des types suivants :

- Un plancher mixte obtenu en coulant le béton sur une tôle profilée qui assure successivement le rôle de coffrage et celui d'armature inférieure (Figure 1-3a).
- Un plancher en béton coulé en place sur prédalle (Figure 1-3b).
- Un plancher constitué d'éléments préfabriqués (hourdis) en béton (Figure 1-3c).
- Un plancher en béton coulé en place sur coffrage traditionnel (Figure 1-3d).

Le profilé en acier peut être :

- Une section en **I** ou **H** laminé à chaud.
- Une section en **I** reconstitué par soudage.
- Une poutre intégrée, c'est-à-dire noyée dans l'épaisseur du plancher.
- Une poutrelle à âme évidée, rappelée aussi poutre alvéolaire.
- Une poutre en treillis.

Compte tenu qu'après durcissement du béton, la semelle en béton assure normalement le rôle de semelle supérieure de la section mixte, l'utilisation d'un profilé en acier à section dissymétrique par rapport à son axe principale horizontal est pleinement pertinente ; à cet effet, on peut envisager l'emploi d'une section reconstituée par soudage, d'une section laminée à chaud dissymétrique ou d'une section rendue dissymétrique par l'ajout d'un plat renfort sur l'une des semelles d'une section symétrique (Figure1-4).

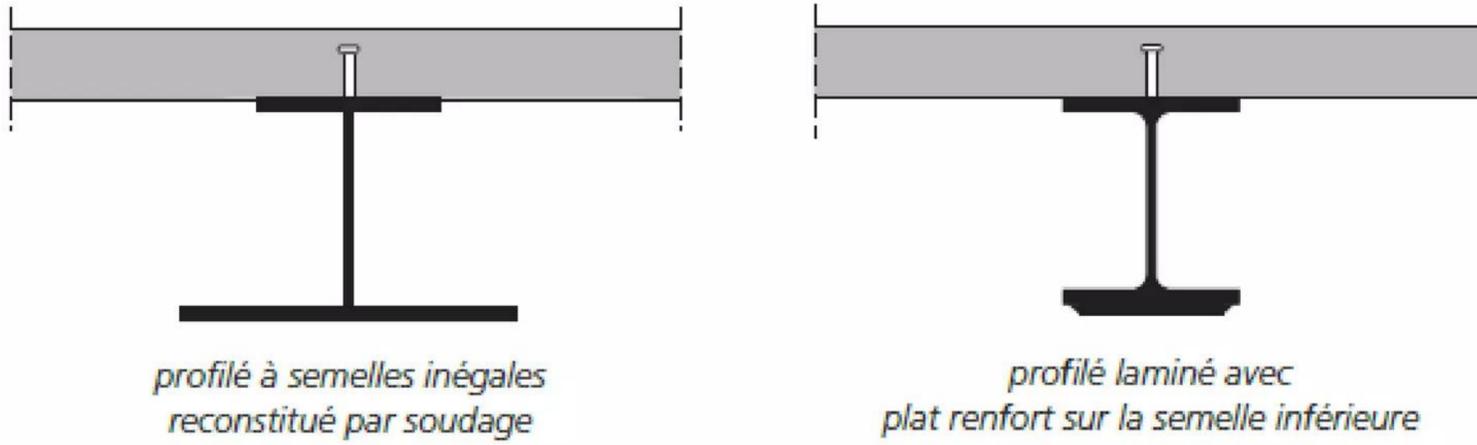


Figure 1-4 : Sections en acier dissymétriques.

(Construction mixte acier-béton dans les bâtiments. introduction P04).

La connexion est d'une importance primordiale pour la transmission de l'effort de cisaillement longitudinale, appelé aussi efforts rasant, à l'interface entre le profilé en acier et la partie en béton. Les connecteurs sont, selon la manière dont ils sont conçus, dits rigides ou souples (Figure 1-5). Ces deux types se distinguent par une capacité de déformation très différente : faible pour les connecteurs rigide et élevée pour les connecteurs souples.

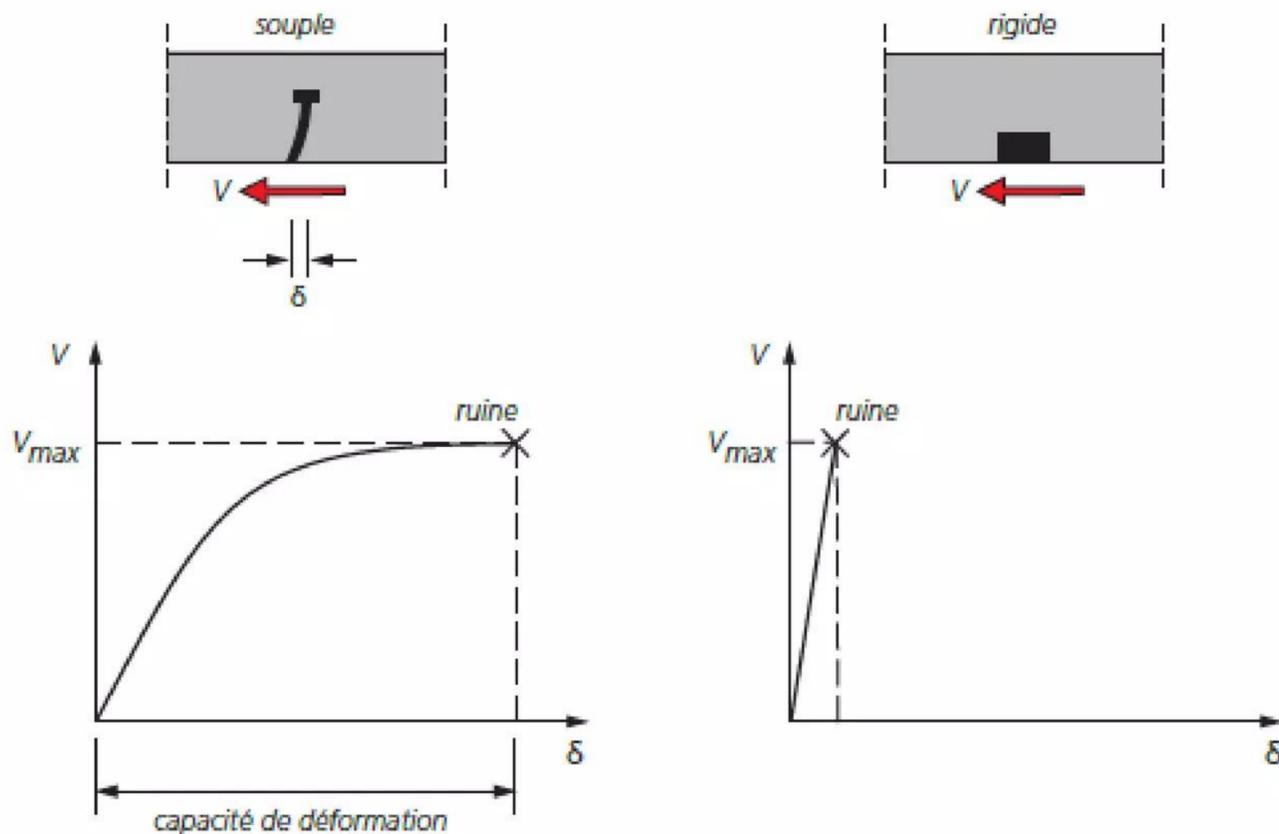


Figure 1-5 : comportement d'un connecteur souple (à gauche) et d'un connecteur rigide (à droite).

(Construction mixte acier-béton dans les bâtiments. Introduction P04).

## Les connecteurs :

Il existe plusieurs types de connecteurs dont certains ont illustré à la Figure1-6. Les goujons à tête (Figure1-7) sont les connecteurs les plus utilisés en Europe occidentale ; ils sont généralement souples.

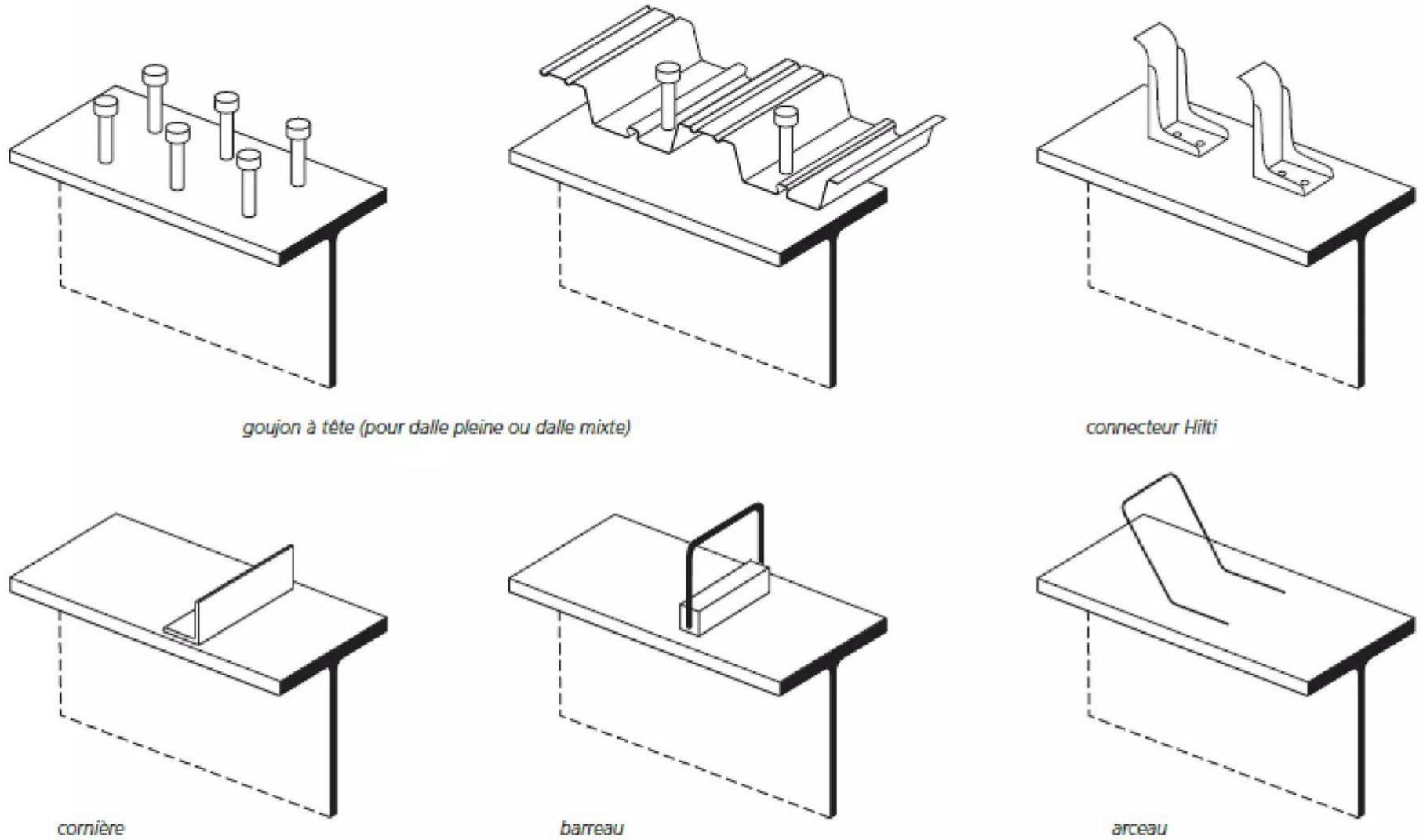


Figure1-6 : Type de connecteurs.

(Guide de construction mixte acier-béton dans les bâtiments. P05)

## Les goujons :

Différents longueurs et diamètres de goujons sont disponibles sur le marché. Le goujon de diamètre 19mm est le plus courant. Les goujons sont soudés au pistolet sur la face externe de la semelle, et/ou éventuellement sur l'âme, du profilé en acier lorsque celui-ci est partiellement enrobé (béton présent entre les semelles) ; ils peuvent l'être au travers de la tôle profilée d'une dalle mixte pour autant que l'épaisseur de tôle n'excède pas 1,25mm, que l'épaisseur totale du revêtement de zinc ne dépasse pas 0,03mm (30 $\mu$ m) et que la face du profilé métallique es goujons soit exempte de peinture.

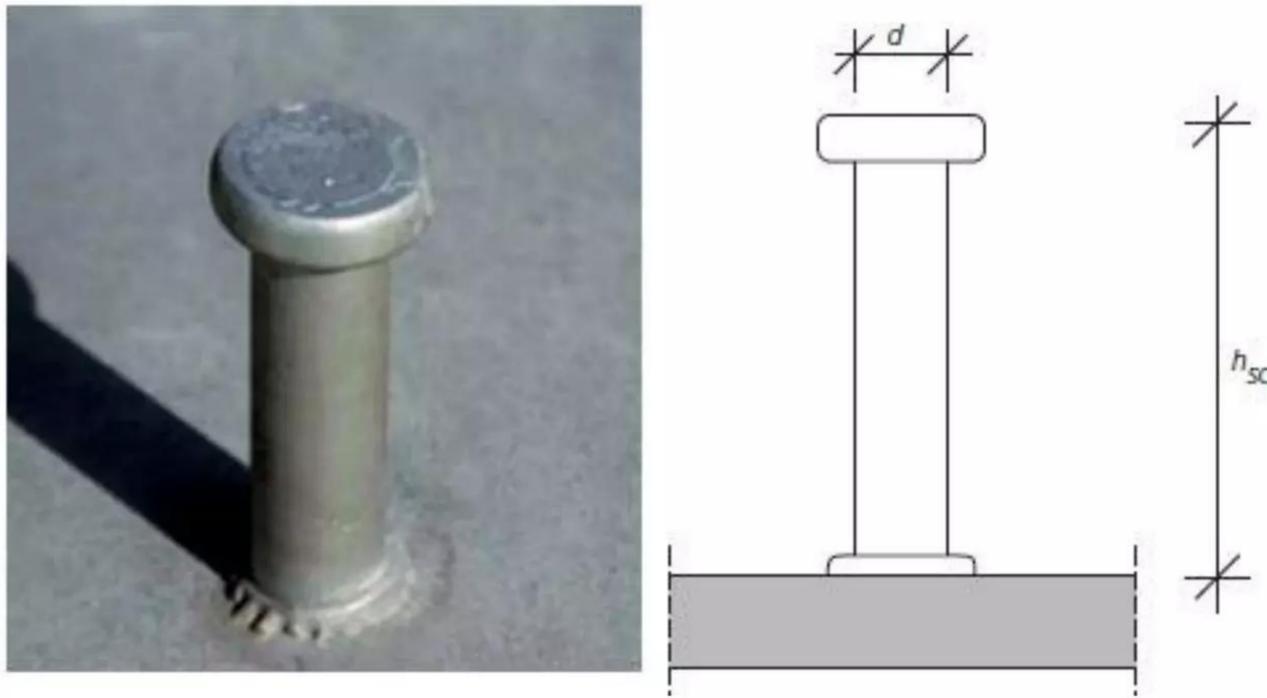


Figure1-7 : Goujon à tête.

(Guide de construction mixte acier-béton dans les bâtiments. P05)

b. Conception :

Pour la construction d'une poutre mixte acier-béton, on distingue deux possibilités :

- Le coffrage de la dalle en béton et/ou le profilé en acier est étayé au niveau du sol ou de l'étage inférieur et l'enlèvement des étais s'effectue lorsque le béton a suffisamment durci.
- Ni le coffrage de la dalle en béton, ni le profilé en acier ne sont étayés. Le coffrage de la dalle en béton repose ainsi sur le profilé en acier.

La seconde situation présente l'avantage que, durant la construction, les étais constituent un moindre obstacle et qu'en principe, le béton des dalles de plusieurs étages peut être coulé simultanément (Figure 1-8). Le profilé en acier porte la totalité du poids mort, en ce compris celui du béton frais. Cette phase est souvent déterminante pour le dimensionnement du profilé en acier.

Le mode d'exécution a une incidence sur la déformée de la poutre mixte. Lorsque la section mixte peut développer sa résistance plastique, la capacité portante de la poutre est indépendante du mode d'exécution.



Figure1-8 : Exemple de construction avec dalle mixte non étayée.

(Introduction construction mixte P06)

Indépendamment de leur d'exécution (en construction étayée ou non étayée). Les poutres mixtes se distinguent selon leur type. Diverses variantes de poutre mixtes sont illustrées à la Figure1-9.

Par ailleurs, selon les desiderata du projet, on peut opter pour des poutres simplement appuyées à leurs extrémités, donc isostatiques, ou pour des poutres continues, donc hyperstatiques. Figure 1-9 : Quelques types de poutres mixtes.

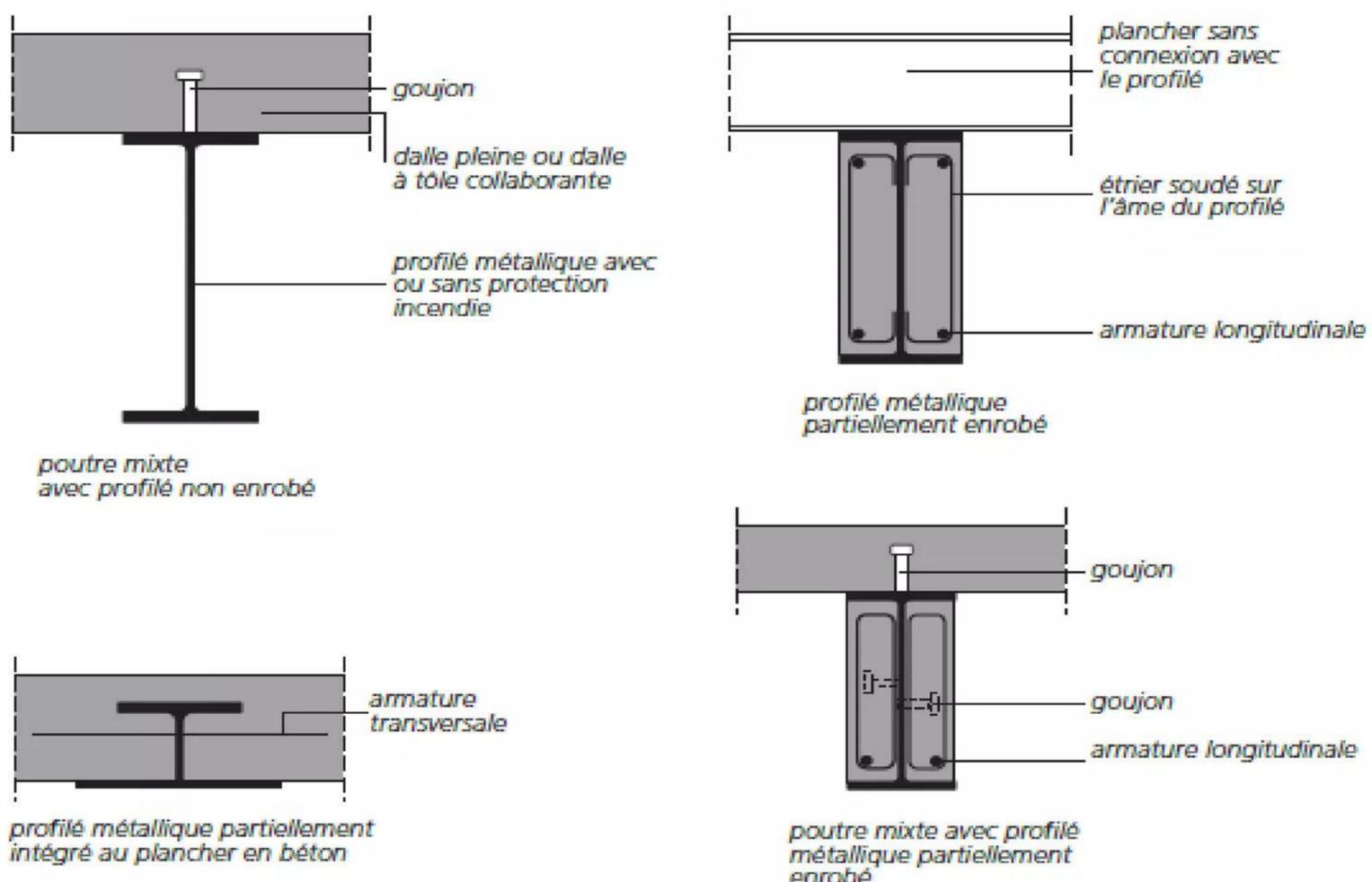


Figure1-9 : quelques types des poutres mixtes.

(Guide de construction mixte acier-béton dans les bâtiments. P06)

Il est possible de disposer les poutres d'un même étage soit selon une seule direction (poutre parallèles), soit dans deux directions (réseau de poutres, souvent orthogonal).

Dans ce dernier cas, les poutres se croisent soit en reposant l'une sur l'autre (poutres superposées), soit en étant disposées dans un même plan horizontal. Le système constructif à poutres superposées facilite l'intégration des équipements techniques mais augmente par contre l'encombrement.

La conception d'une poutre mixte peut commencer par le dimensionnement d'un profilé en acier seul dont la vérification au déversement n'est généralement pas nécessaire en raison de l'appui latéral et torsionnel procuré par la dalle en béton. Le profilé en acier requis dans la poutre mixte peut normalement être choisi environ deux numéros en-dessous de celui déterminé précédemment. Il est souhaitable de vérifier d'emblée si l'espace nécessaire à la mise en place en place des connecteurs n'est pas susceptible de poser problème, en particulier dans le cas d'une dalle mixte puisque les connecteurs ne peuvent être placés que dans les creux d'onde de la tôle profilée. Dès lorsque de nombreux facteurs interviennent (nombre de goujons, épaisseur du plancher, massivité du profilé) dans la recherche de la poutre mixte optimale, il est utile d'envisager l'examen des diverses variantes possible à l'aide de logiciel appropriés.

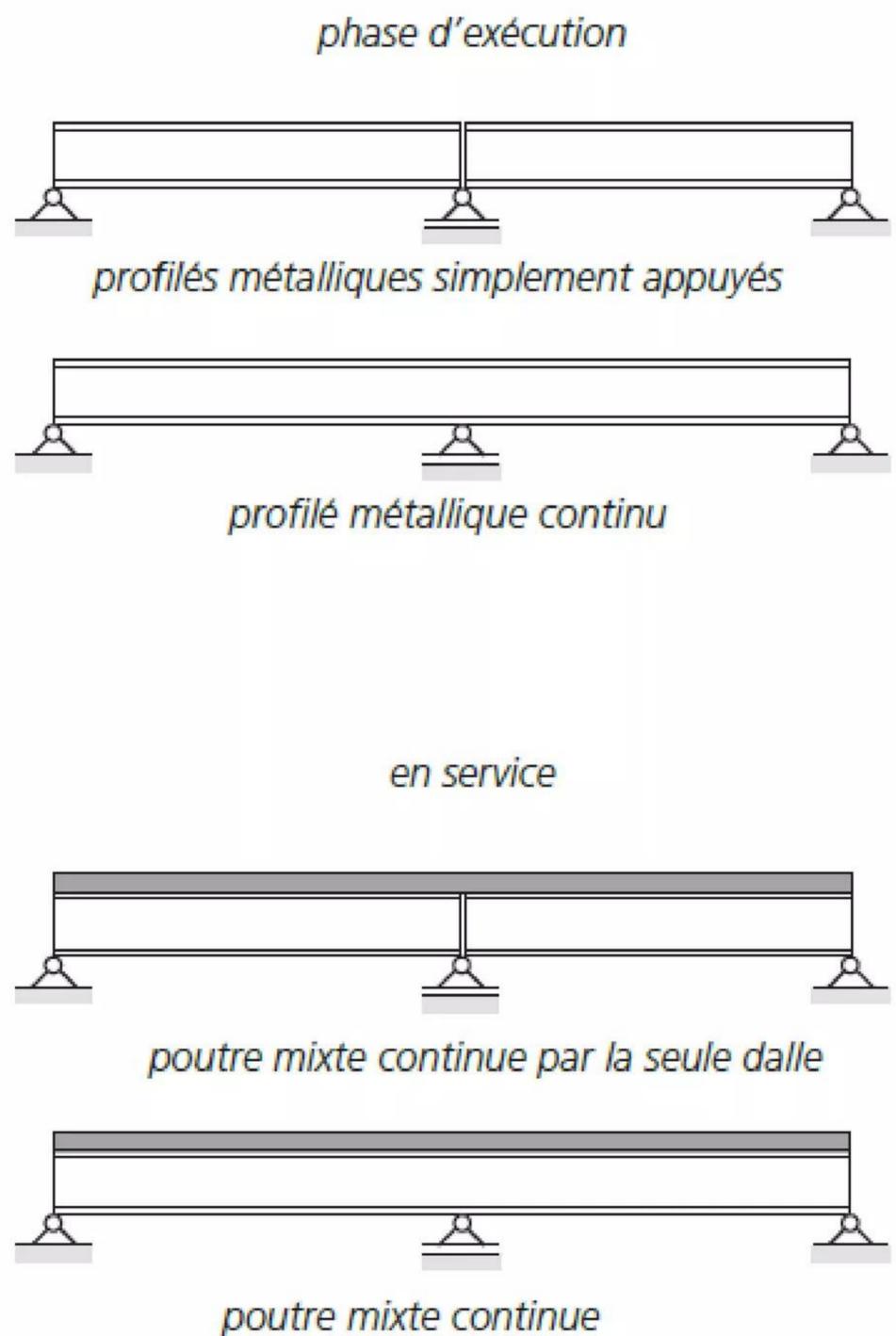


Figure1-10 : Schémas statiques d'une poutre mixte.

(Guide de construction mixte acier-béton dans les bâtiments. P10)

### c. Assemblage :

Dans le domaine des bâtiments, les assemblages poutre-poteau jouent un rôle important, en particulier si les poutres mixtes sont continuées. La distribution des efforts intérieurs le long d'une poutre mixte continue dépend des propriétés de ces assemblages. On peut concevoir ceux-ci de manière que la poutre se comporte pour ainsi dire comme simplement appuyée en stade d'exécution tandis qu'elle fonctionne en poutre continue en stade d'exploitation (Figure1-10). Comme il n'est généralement pas souhaitable d'avoir des joints dans le plancher au droit des appuis intermédiaires des poutres mixtes, celles-ci sont normalement conçues pour offrir une continuité lorsque la construction est achevée.

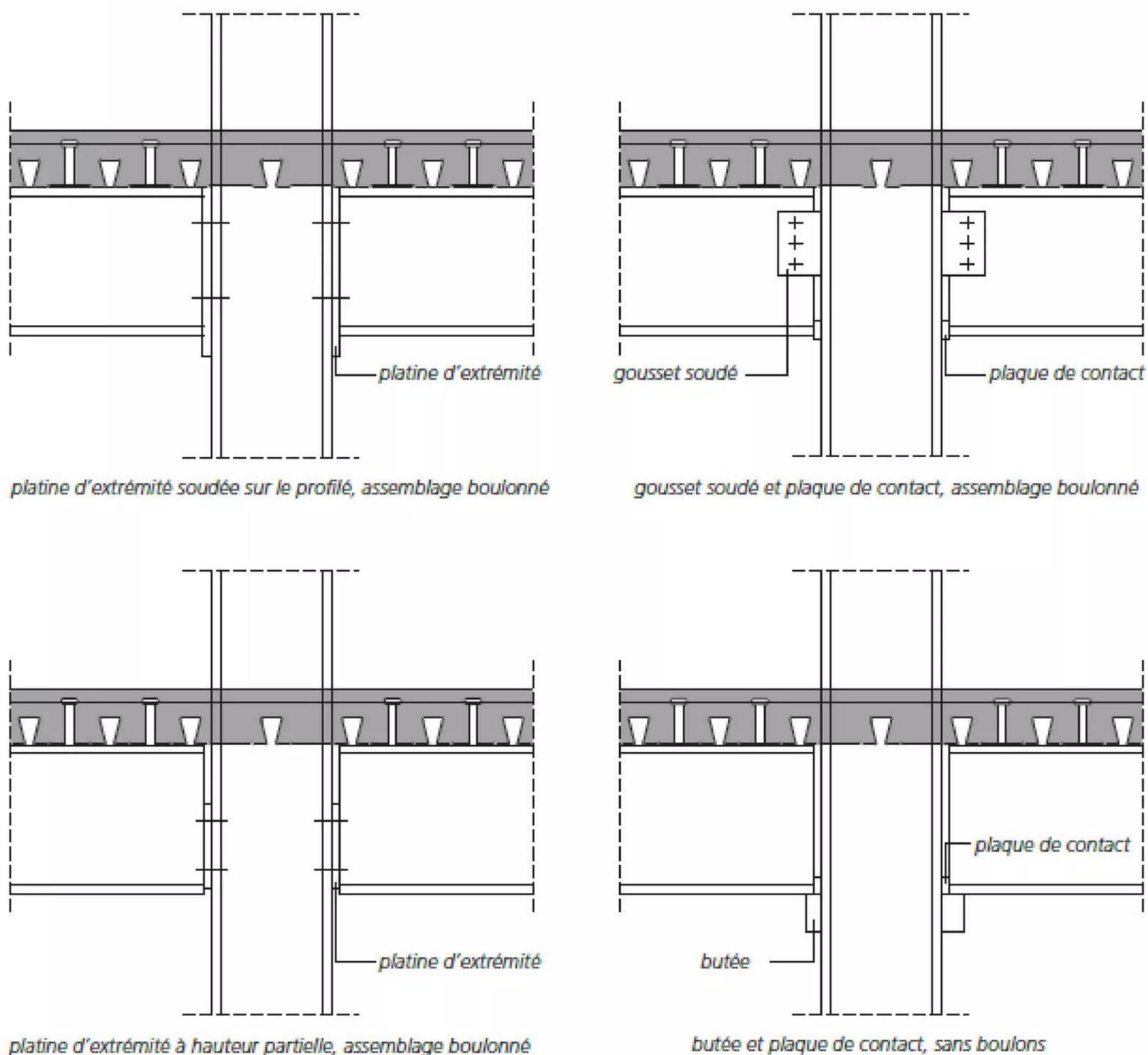


Figure 1-11 : Quelques exemples d'assemblages poutre-poteau en construction mixte  
(Guide de construction mixte acier-béton dans les bâtiments. P8)

En raison de la grande variété de typologies d'assemblage, il est essentiel de choisir le type d'assemblage dès le début du projet Figure1-11.

#### d. Comportement au feu :

Le comportement au feu des poutres mixtes acier-béton est bien meilleur que celui des poutres en acier. Dans la NBN EN1994-1-2 consacrée à la résistance au feu des structures mixtes, les types suivants de poutres mixtes sont abordés (Figure1-9) :

- Poutre mixte dont le profilé en acier est non enrobée.
- Poutre constituée d'un profilé en acier partiellement enrobé de béton.
- Poutre constituée d'un profilé en acier noyé dans le plancher.
- Poutre mixte dont le profilé en acier est partiellement enrobée de béton.

La qualification selon la NBN EN 1994-1-2. Se fonde sur la théorie de la plasticité.

## II. Dalles mixtes :

### a. Composition :

Une dalle mixte comporte une tôle mince profilée en acier conçue pour développer une collaboration structurale efficace avec le béton du plancher qu'elle va recevoir.

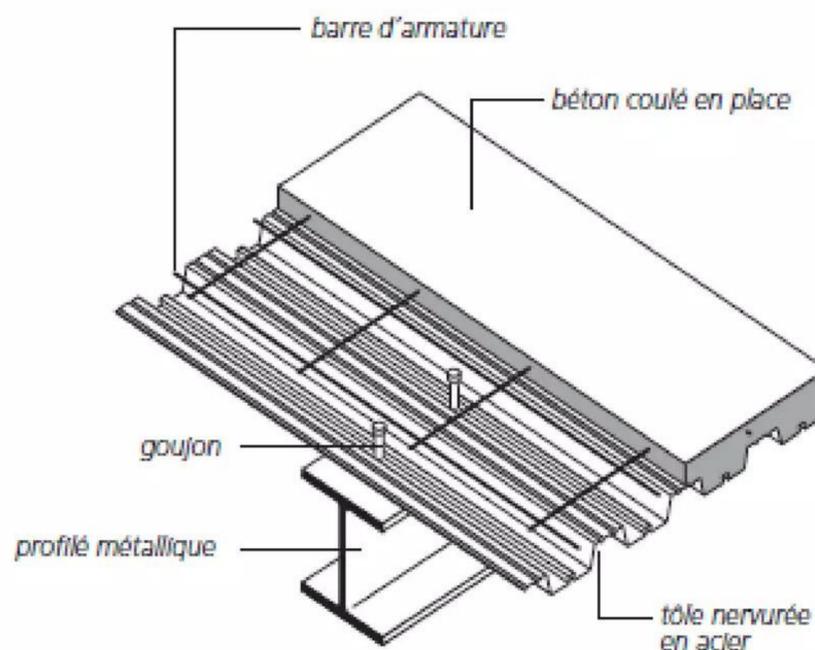


Figure 1-12 : exemple d'un plancher à tôle profilée collaborant.

(Guide de construction mixte acier-béton dans les bâtiments. P9)

Les dalles mixtes sont indiquées pour les applications dans les bâtiments en acier où elles peuvent, moyennant une connexion, développer une action composite avec les poutres de plancher en acier Figure (1-12), ou avec d'autres matériaux, tels, par exemple, le béton armé ou le bois.

Les tôles profilées assurent diverses fonctions :

- Une surface de travail lors de la construction.
- Elles servent de coffrage lors du bétonnage du plancher.
- Elles jouent le rôle d'armature inférieur pour le béton de la dalle.

Une très grande variété de tôles profilées existe sur le marché Figure (1-12). Ces tôles se distinguent à la fois par leur forme, leur hauteur, l'entre axe de leur nervures, le raidissage de leurs parois, leur mode de recouvrement entre tôle contiguës et la manière dont l'action composite avec le béton est assurée.

Le béton des planchers est habituellement du béton normal. L'utilisation de béton « léger » est permise et constitue une solution intéressante lorsque la légèreté est une précaution majeure.

Une armature de répartition, le plus souvent sous forme de treillis, est disposée en face supérieure de la dalle dans les zones des appuis intermédiaires des dalles. Elle a une double fonction : elle assure la reprise du moment négatif sur appuis intermédiaire et elle y limite l'ouverture des fissures en face supérieure.

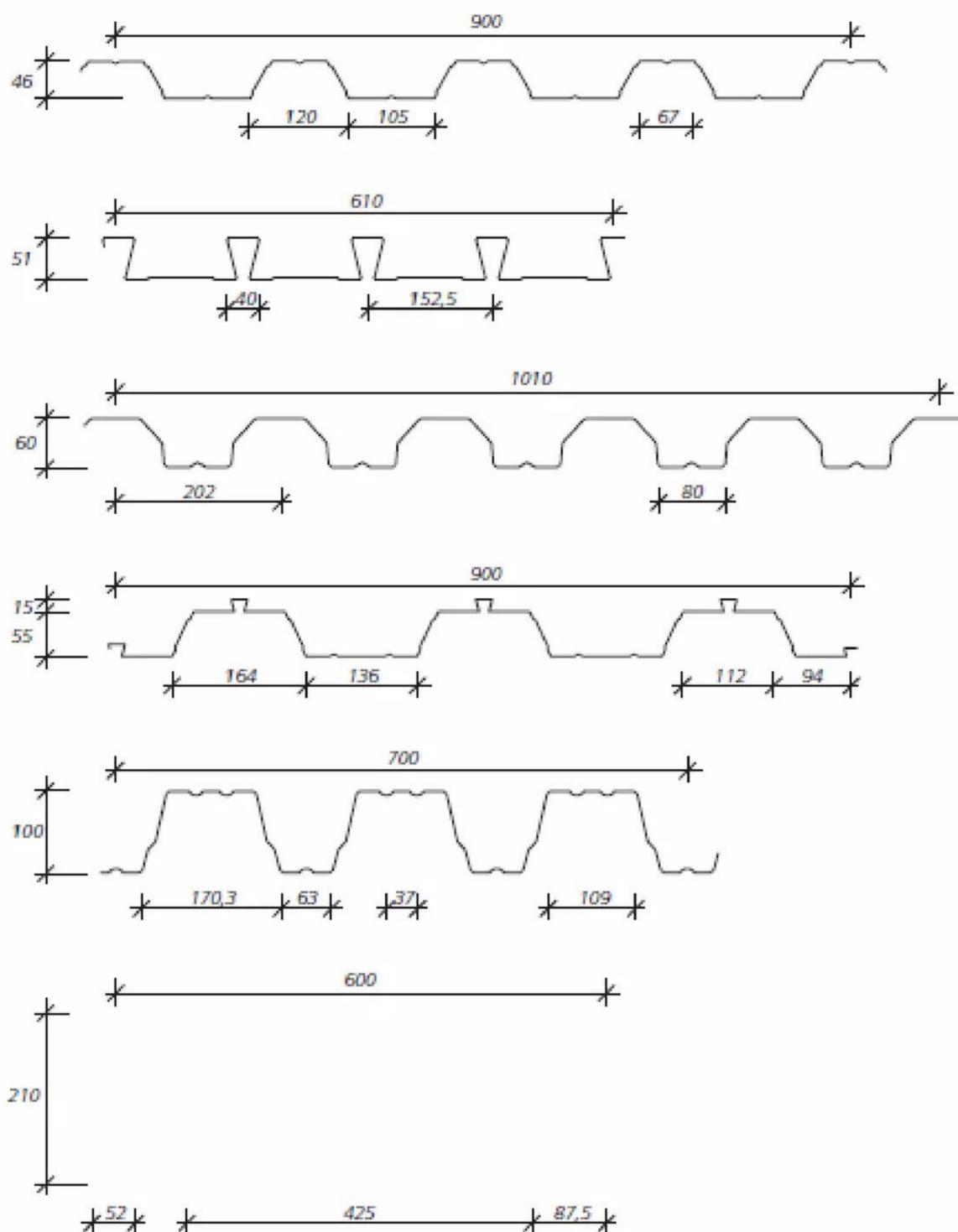


Figure1-13 : quelques types de tôles profilées pour dalles mixtes.  
(Guide de construction mixte acier-béton dans les bâtiments. P09)

### III. Poteaux :

A côté de la possibilité de réaliser des poteaux métalliques ou en béton uniquement, la capacité portante des poteaux mixtes est largement dominée par la partie métallique de ceux-ci.

Les poteaux mixtes sont généralement utilisés en présence d'efforts normaux élevés et d'un souhait de sections de faibles dimensions. Comme les poteaux mixtes peuvent être préfabriqués ou préparés en atelier, le temps de construction peut être fortement réduit par rapport à la construction sur place en béton armé. L'avantage principal des poteaux mixtes par rapport aux poteaux métalliques est la grande résistance au feu de ceux-ci sans la mise en œuvre de mesures préventives.

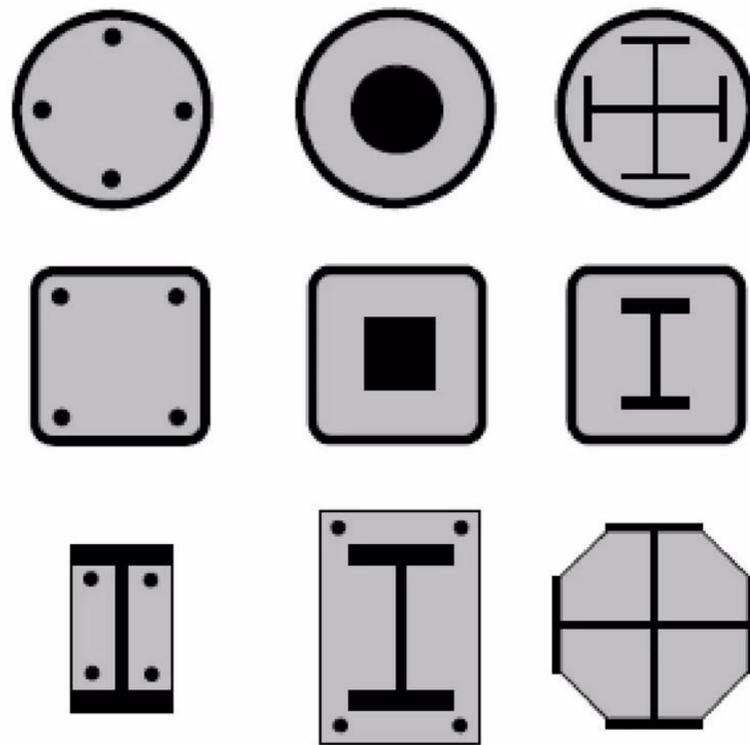


Figure1-13' : Exemple des poteaux mixtes

(Introduction à la construction mixte dans les bâtiments. P11)

## b. Conception :

L'action composite entre la tôle profilée et le béton est obtenue par la mise en œuvre d'un ou plusieurs des phénomènes suivants (Figure1-14) :

- Friction, lorsque les nervures de la tôle sont forme rentrante (nervures en queue d'aronde).
- Action mécanique procurée par les déformations des parois (indentations, bossages).
- Ancrage d'extrémité assuré soit par des goujons soudés au travers de la tôle, soit par la déformation des nervures aux extrémités de la tôle profilée.

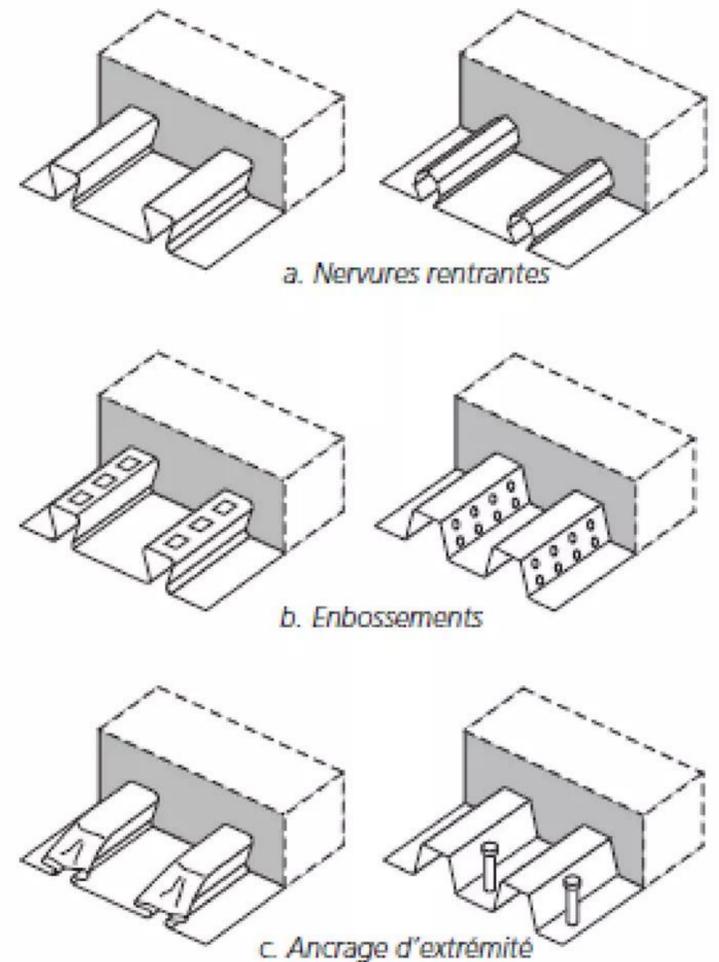


Figure1-14 :

(Guide de construction mixte acier-béton dans les bâtiments. P09)

## B. Méthode de construction et montage.

Généralement deux méthodes opposées de construction sont utilisées, chacune présente ses avantages et ses inconvénients qu'il est utile de mentionner.

- **La méthode de construction conventionnelle en béton :**

Permet une grande variété de style et de formes, elle est simple à mettre en œuvre sur chantier et offre une résistance thermique, une isolation phonique et une résistance contre les agents chimiques agressifs. Cependant, le poids propre est élevé ne regard de la résistance, le coffrage et le durcissement du béton demandent un temps important. De plus, comme le béton est incapable de résister à la traction, la mise en place d'armature est nécessaire, ce qui allonge encore le temps de construction.

### Montage :

Les planchers mixtes sont maintenant la solution privilégiée pour une grande variété de structures car ils offrent aux concepteurs et aux clients les avantages suivant :

- **Plate-forme de travail :**

Avant le bétonnage, la tôle profilée constitue une plate-forme de travail et qui permet d'accélérer le processus de construction d'autres éléments.



- Coffrage permanent :

La tôle profilée porte de poutre et sert de coffrage permanent au béton tel que généralement des étais provisoires ne sont pas nécessaires. La tôle profilée est également une barrière efficace à la vapeur.

La retombée de la poutre reste propre après le bétonnage et l'utilisation de tôle peinte peut donner un bon aspect au plafond mais la peinture peut causer des difficultés en cas de soudage des goujons à travers la tôle.

- Armatures :

La section d'acier du profilé métallique est généralement suffisante pour résister, en tant qu'armature, au moment de flexion positif. Des armatures supplémentaires peuvent être présentes dans la dalle pour résister au retrait, aux mouvements dus à la température ou afin d'assurer une continuité aux appuis (moment négatifs). L'action mixte est obtenue grâce à la forme du profil ou à l'aide de moyens mécaniques tel que des indentations ou un bossage de la tôle profilée.

- Vitesse et simplicité de construction :

Les tôles combinant une rigidité élevée et un faible poids rendent aisé le transport et le stockage du matériel sur chantier. Un camion est souvent capable de transporter jusqu'à 1500 m<sup>2</sup> de plancher. Une équipe de quatre hommes peut installer 400m<sup>2</sup> de plancher par jour. Les panneaux sont légers et sont des éléments préfabriqués qui peuvent être aisément transportés et installés par deux ou trois hommes.

- Produits à la qualité contrôlée :

Les éléments métalliques des structures mixtes sont fabriqués et contrôlés en usine. Cela permet l'établissement de procédures de qualité strictes qui diminuent l'incertitude liée au travail sur chantier. Le résultat en est une précision de construction plus élevée.

## Avantages Techniques, Economiques et inconvenients



La comparaison entre les méthodes mentionner en (Chapitre n°2 : P15) montre que leur combinaison est la voie la plus économique. En plus de présenter les avantages de chacune de ces méthodes, d'autre avantage peuvent apparaitre. Ainsi par exemple, les éléments mixtes peuvent présenter des capacités de charge plus élevées que des éléments métallique ou en béton armé. La rigidité et la redistribution plastique peuvent également être augmentées en combinant l'acier et le béton. D'une part, cela permet de tirer parti des réserves plastiques de la structure et de l'autre de réduire les facteurs de sécurité grâce à la ductilité inhérente aux modes de ruine des structures mixtes.

Réaliser une structure mixte de manière économique peut se faire suivant les opérations suivantes :

- L'ossature métallique contreventée ou non est érigée. Si des tubes creux sont utilisés pour les poteaux, les cages d'armature peuvent déjà être positionnées en atelier.
- Tous les corbeaux, ailettes et goujons assurant le transfert d'efforts entre l'acier et le béton doivent être préparés en atelier pour accélérer l'érection sur chantier qui demande une planification détaillée. Après avoir positionné les poteaux, les poutres métalliques sont simplement appuyées entre elles.
- Les éléments en béton armé ou la tôle profilée sont disposées entre les poutres servant à la fois de coffrage et de plate-forme de travail.
- Finalement, lors de bétonnage en une même phase des dalles et des poteaux, la rigidité et la résistance des poteaux et des poutres augmente et les assemblages d'être des rotules pour devenir semi-rigides.

### Comparaison avec d'autres méthodes :

Pour avoir usé des effets de synergie et profiter des avantages disponibles possible, il est nécessaire d'utiliser des éléments mixtes, les éléments mixtes présentent une rigidité et une capacité de charge plus grandes qu'un élément métallique présentant les mêmes dimensions.

	Poutre mixte		Poutre métallique sans connexion au cisaillement	
Section métallique	IPE 400		IPE 550	HE 360 B
Hauteur [mm]	560		710	520
Charge	100%		100%	100%
Poids d'acier	100%		159%	214%
Hauteur totale	100%		127%	93%
Rigidité	100%		72%	46%

Tableau1 : poutre mixte-poutre métallique.

(Cours de stabilité : les constructions mixtes dans le bâtiment P4)

Le Tableau 1 : compare une poutre mixte avec deux types de poutre métallique sans connexion de cisaillement dans la dalle de béton. La capacité de charge est sensiblement identique mais les différences de rigidité et de hauteur totale sont clairement mises en évidence.

Généralement, les dimensions des sections d'éléments mixtes sont bien inférieures à celles des éléments correspondant en béton armé ou en acier seul.

Le tableau2 ; par exemple, compare les tailles de poteaux et poutres mixtes relativement importantes avec leur équivalent en béton armé pour des conditions de chargement identiques.

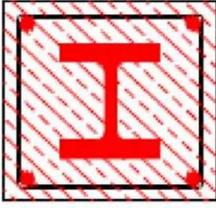
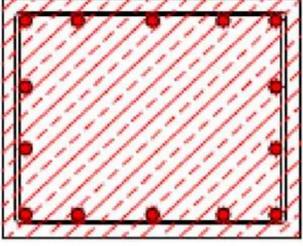
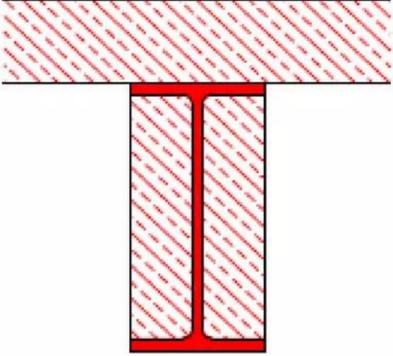
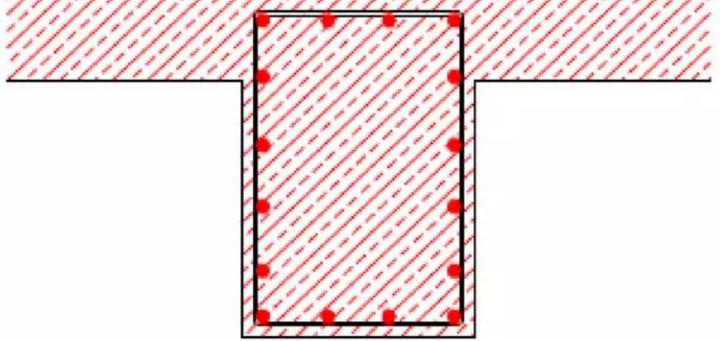
	Mixte	Béton armé
Poteau		
Dimensions [cm]	70 / 70	80 / 120
Poutre		
Dimensions [cm]	160 / 40	160 / 120

Tableau 2 : comparaison d'éléments mixtes et en béton armé.

(Cours de stabilité : les constructions mixtes dans le bâtiment P4)

## Exemples é Usages.

### Construction Mixte Acier-Béton :

Centre de presse, Luxembourg-Kirchberg.



Saint-Gobain





Pont -mixte



LGV Est Raccordement de Vendenheim



LGV méditerranéenne Viaduc de la Drôme.

## Construction Mixte Bois-Béton :





Figure : Logement Miroir de vénus.



Figure : Le Cheylas



## Référence Bibliographique

---

Cours de stabilité : les constructions mixtes dans le bâtiment (Chapitre n°1).

La construction mixte acier-béton : vérification des états limite de service des plancher selon l'Eurocode 4 (EN 1994-1-1 de décembre 2004). Exemple de calcul.

Manuel de calcul de construction mixte acier béton selon la norme EN1994-1-1 (2004).

René Maquoi, Rik Debruyckere, Jean-François Demonceau et Lincy Pyl : Construction mixte acier-béton dans les bâtiments.

Master architecture construction mixte bois\_béton.