

Guides de construction métallique

# Construction mixte

**Construction mixte acier-béton dans les bâtiments :  
Conception et dimensionnement à température ordinaire et en situation  
d'incendie selon l'Eurocode 4**

René Maquoi, Rik Debruyckere, Jean-François Demonceau et Lincy Pyl



# Colophon

Textes : René Maquoi, Rik Debruyckere, Jean-François Demonceau et Lincy Pyl

Basé sur : Staal-beton - Toepassing en berekening van staal-beton constructies voor gebouwen volgens Eurocode 4 bij normale temperatuur en brand - door prof.ir. J.W.B. Stark ing. R.J. Stark - een uitgave van Bouwen met Staal ([www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)).

Illustrations :

Toutes les photos non mentionnées ci-dessous et la base de la plupart des figures et tableaux proviennent des archives de Bouwen met Staal ([www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)).

Photo de couverture: Studwelders/Composite Metal Flooring

Tom de Rooij Vakfotografie 1-1a

ABT 1-1b, 4-1

Infosteel 1-8, 1-29, 1-33, p.3-1

Studwelders/Composite Metal Flooring p.1-1, 1-15

Corus 1-16

Vercruysse & Dujardin 1-20

Studiebureau Mouton 1-32

Thilges-C.F.L. 1-34

C.H. van Eldik 1-7, 1-26

Ingenieursbureau SmitWesterman p.2-1

Diane Heirend & Philippe Schmit s.a r.l p.4-1

Fas Keuzenkamp p.6-1, 6-2

Edition de : Infosteel

ISBN: 978-90-807555-74



5 Avenue Ariane

B-1200 Bruxelles

t. +32-2-509 15 01

f. +32-2-511 12 81

e. [info@infosteel.be](mailto:info@infosteel.be)

[www.infosteel.be](http://www.infosteel.be)

Tous les droits sont réservés. Tout ou partie de cette publication ne peut être reproduit, stocké ou enregistré sous forme de fichier et/ou rendu public – sous quelque forme et de quelque manière que ce soit : électronique, mécanique, par photocopie ou par tout autre moyen équivalent – sans l'accord écrit préalable de l'éditeur.

#### Avertissement

Le plus grand soin a été apporté à la rédaction de la version belge de l'ouvrage. Néanmoins des erreurs typographiques ou d'autres imperfections ne peuvent être totalement exclues. L'éditeur, et au besoin toutes les personnes ayant participé à la confection du livre, dégagent leur responsabilité quant aux conséquences directes ou indirectes pouvant résulter de ou être associées à la mise en œuvre du contenu de cette publication.

# Préface

Dans ce livre, les règles de calcul de l'Eurocode 4, applicables aux constructions mixtes acier-béton, sont présentées et commentées.

Au chapitre 1, on décrit les particularités de la construction mixte et on dégage les principes généraux régissant la conception et l'exécution des divers types d'éléments constitutifs des bâtiments: poutres mixtes, planchers mixtes, poteaux mixtes et assemblages mixtes.

Les détails du dimensionnement de ces éléments, tant à température ordinaire qu'en situation d'incendie, sont respectivement exposés aux chapitres 2 à 5. Les méthodes de calcul et les règles d'application sont conformes aux normes belges NBN EN 1994-1-1 et NBN EN 1994-1-2. Elles sont mises en œuvre dans un grand nombre d'exemples très largement documentés.

Le calcul complet de l'ossature mixte d'un complexe de cinéma érigé à Rotterdam fait l'objet du chapitre 6.

Par sa forme et son contenu, ce livre constitue un outil fort utile pour les praticiens des bureaux d'études et les bureaux de contrôle ainsi qu'un guide pour tous les intervenants dans la chaîne de la construction.

J.W.B Stark et R.J. Stark, qui sont à la fois des enseignants (TU Delft et TU Eindhoven) et des ingénieurs concepteurs, en ont préparé la version originale en néerlandais pour compte de Bouwen met Staal, qui en assure la diffusion aux Pays-Bas. Sur base d'une convention en bonne et due forme, Bouwen met Staal a cédé ses droits à Infosteel qui souhaitait préparer une édition appropriée au public belge, tant néerlandophone que francophone. La préparation de celle-ci a ainsi été confiée à J.F. Demonceau et R. Maquoi (Université de Liège), pour l'adaptation francophone, et à R. Debruyckere (SECO) et L. Pyl (Lessius Mechelen, Campus De Nayer), pour l'adaptation néerlandophone. Elle a toutefois été conduite en étroite symbiose afin de garantir la plus grande cohérence entre les deux textes.

Jo Naessens  
General Manager, Infosteel

# Sommaire

<b>1.</b>	<b>Introduction à la construction mixte</b>	<b>1-1</b>
<b>1.1</b>	<b>Poutres mixtes</b>	<b>1-3</b>
1.1.1	Composition	1-3
1.1.2	Conception	1-6
1.1.3	Assemblages	1-7
1.1.4	Comportement au feu	1-8
<b>1.2</b>	<b>Dalles mixtes</b>	<b>1-9</b>
1.2.1	Composition	1-9
1.2.2	Conception	1-10
1.2.3	Comportement au feu	1-12
<b>1.3</b>	<b>Poteaux mixtes</b>	<b>1-12</b>
1.3.1	Composition	1-12
1.3.2	Conception	1-13
1.3.3	Comportement au feu	1-13
1.3.4	Fabrication	1-14
<b>1.4</b>	<b>Avantages et inconvénients des constructions mixtes</b>	<b>1-15</b>
1.4.1	Aspects architecturaux	1-15
1.4.2	Aspects économiques	1-15
1.4.3	Faisabilité	1-16
1.4.4	Comparaison avec d'autres matériaux	1-16
<b>1.5</b>	<b>Applications</b>	<b>1-17</b>
1.5.1	Projets complexes	1-18
1.5.2	Rénovation	1-18
1.5.3	Immeubles de grande hauteur	1-18
<b>1.6</b>	<b>Projets exécutés en construction mixte</b>	<b>1-19</b>
<b>1.7</b>	<b>Normes</b>	<b>1-21</b>
1.7.1	Eurocode 4	1-21
1.7.2	Annexes Nationales à la NBN EN 1994	1-22
1.7.3	Normes de référence	1-24
<b>2.</b>	<b>Poutres mixtes</b>	<b>2-1</b>
<b>2.1</b>	<b>Bases de calcul</b>	<b>2-2</b>
2.1.1	Coefficients partiels	2-2
2.1.2	Propriétés des matériaux	2-2
2.1.3	Propriétés des connecteurs	2-4
2.1.4	Classification des sections	2-6
2.1.5	Largeur collaborante	2-8
<b>2.2</b>	<b>Propriétés des sections mixtes</b>	<b>2-10</b>
2.2.1	Moment résistant plastique $M_{pl,Rd}^+$ en flexion positive	2-10
2.2.1.1	Profilé en acier de nuance au plus égale à S355	2-10

	<b>Exemple 2.1</b>	<b>2-12</b>
	<b>Exemple 2.2</b>	<b>2-13</b>
2.2.1.2	Poutre en acier asymétrique	2-14
2.2.1.3	Profilé en acier de nuance d'acier S420 ou S460	2-14
2.2.2	Moment résistant plastique $M_{pl,Rd}^-$ en flexion négative	2-15
	<b>Exemple 2.3</b>	<b>2-16</b>
2.2.3	Moment résistant élastique $M_{el,Rd}^+$ et raideur flexionnelle sous flexion positive	2-18
2.2.4	Moment résistant élastique $M_{el,Rd}^-$ et raideur flexionnelle sous flexion négative	2-19
2.2.5	Résistance à l'effort tranchant	2-19
2.2.6	Interaction entre effort tranchant et moment de flexion	2-20
2.2.7	Poutres mixtes partiellement enrobées	2-21
<b>2.3</b>	<b>Capacité portante des poutres isostatiques</b>	<b>2-22</b>
2.3.1	Critères de résistance	2-22
2.3.2	Vérification de la résistance à la flexion	2-23
2.3.3	Vérification de la connexion à l'effort de cisaillement longitudinal pour une connexion complète	2-23
	<b>Exemple 2.4</b>	<b>2-27</b>
2.3.4	Vérification de la connexion à l'effort de cisaillement longitudinal pour une connexion partielle	2-28
	<b>Exemple 2.5</b>	<b>2-31</b>
<b>2.4</b>	<b>Capacité portante des poutres hyperstatiques</b>	<b>2-32</b>
2.4.1	Critère de résistance	2-32
2.4.2	Analyse rigide-plastique	2-33
	<b>Exemple 2.6</b>	<b>2-34</b>
2.4.3	Analyse élastique linéaire avec redistribution des moments	2-35
	<b>Exemple 2.7</b>	<b>2-36</b>
2.4.4	Vérification de la résistance au cisaillement longitudinal en cas de connexion complète	2-36
2.4.5	Vérification de la résistance au cisaillement longitudinal en cas de connexion partielle	2-37
	<b>Exemple 2.8</b>	<b>2-38</b>
	<b>Exemple 2.9</b>	<b>2-39</b>
2.4.6	Stabilité latérale des semelles comprimées non tenues (déversement)	2-40
<b>2.5</b>	<b>Flèche des poutres isostatiques</b>	<b>2-41</b>
2.5.1	Fluage et retrait du béton	2-41
2.5.2	Déformation des goujons	2-42
	<b>Exemple 2.10</b>	<b>2-43</b>
<b>2.6</b>	<b>Flèche des poutres mixtes acier-béton hyperstatiques</b>	<b>2-45</b>
<b>2.7</b>	<b>Fissuration du béton</b>	<b>2-46</b>
2.7.1	Généralités	2-46
2.7.2	Armature nominale sans contrôle de la fissuration	2-46
2.7.3	Méthode simplifiée de la NBN EN 1994-1-1	2-47
2.7.3.1	Armature minimale	2-47
2.7.3.2	Fissuration sous sollicitation directe	2-48
	<b>Exemple 2.11</b>	<b>2-49</b>

<b>2.8</b>	<b>Calcul des poutres mixtes acier-béton en situation d'incendie</b>	<b>2-51</b>
2.8.1	Introduction	2-51
2.8.2	Propriétés des matériaux	2-51
2.8.3	Méthode de calcul simplifiée pour les poutres mixtes acier-béton comportant un profilé en acier non enrobé	2-53
2.8.3.1	Analyse thermique	2-53
2.8.3.2	Analyse mécanique	2-54
	<b>Exemple 2.12</b>	<b>2-56</b>
2.8.4	Modèle de calcul simplifié pour les poutres mixtes acier-béton constituées d'un profilé en acier partiellement enrobé de béton	2-61
2.8.5	Vérification à l'aide de tableaux	2-63
	<b>Exemple 2.13</b>	<b>2-64</b>
<b>3.</b>	<b>Dalles mixtes acier-béton</b>	<b>3-1</b>
<b>3.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3-2</b>
<b>3.2</b>	<b>Actions et situations de calcul</b>	<b>3-3</b>
3.2.1	Phase de construction	3-3
3.2.2	Phase mixte	3-4
<b>3.3</b>	<b>Principe de la collaboration entre tôle nervurée et béton</b>	<b>3-4</b>
<b>3.4</b>	<b>Propriétés des sections des dalles mixtes acier-béton</b>	<b>3-8</b>
3.4.1	Moment résistant en flexion positive	3-8
3.4.1.1	Cas où l'axe neutre est situé au-dessus de la tôle nervurée	3-8
3.4.1.2	Cas où l'axe neutre est situé dans la hauteur de la tôle nervurée	3-9
	<b>Exemple 3.1</b>	<b>3-10</b>
3.4.2	Moment résistant en flexion négative	3-11
3.4.3	Rigidité flexionnelle en flexion positive	3-11
3.4.4	Rigidité flexionnelle en flexion négative	3-12
3.4.5	Effort tranchant et poinçonnement	3-12
	<b>Exemple 3.2</b>	<b>3-14</b>
<b>3.5</b>	<b>Capacité portante</b>	<b>3-14</b>
3.5.1	Phase de construction	3-14
3.5.2	Phase mixte	3-14
3.5.3	Vérification de la résistance au cisaillement longitudinal	3-16
3.5.3.1	Méthodes de base	3-16
	<b>Exemple 3.3</b>	<b>3-19</b>
3.5.3.2	Possibilités supplémentaires de la méthode $\tau_u$	3-20
<b>3.6</b>	<b>Flèche</b>	<b>3-21</b>
	<b>Exemple 3.4</b>	<b>3-22</b>
<b>3.7</b>	<b>Calcul de comportement au feu des dalles mixtes acier-béton</b>	<b>3-23</b>
3.7.1	Introduction	3-23
3.7.2	Dalles mixtes non protégées	3-23
3.7.2.1	Domaine d'application	3-23
3.7.2.2	Comportement thermique	3-24
3.7.2.3	Isolation thermique (critère "I")	3-24
3.7.2.4	Comportement mécanique au feu	3-25
3.7.2.5	Résistance mécanique (critère "R")	3-26
	<b>Exemple 3.5</b>	<b>3-29</b>
	<b>Exemple 3.6</b>	<b>3-30</b>
3.7.3	Dalles mixtes acier-béton protégées	3-32

<b>4.</b>	<b>Poteaux mixtes acier-béton</b>	<b>4-2</b>
4.1	Introduction	4-2
4.2	Bases de calcul	4-2
4.3	Résistance d'une section mixte acier-béton	4-3
4.3.1	Résistance en section sous compression axiale	4-3
4.3.2	Résistance en section sous combinaison de compression et de flexion	4-4
4.3.2.1	Courbe d'interaction	4-4
4.3.2.2	Influence de l'effort tranchant	4-8
4.4	Résistance au flambement d'un poteau mixte	4-8
4.4.1	Poteau soumis à compression axiale	4-8
	<b>Exemple 4.1</b>	<b>4-10</b>
4.4.2	Poteau soumis à combinaison de compression axiale et flexion mono-axiale	4-12
4.4.2.1	Méthode de calcul	4-12
4.4.2.2	Moments de flexion égaux en tête et en pied	4-12
4.4.2.3	Moments de flexion inégaux en tête et en pied	4-15
	<b>Exemple 4.2</b>	<b>4-16</b>
4.4.3	Poteau soumis à combinaison de compression axiale et flexion bi-axiale	4-18
4.5	Introduction des charges	4-18
4.6	Calcul des poteaux mixtes exposés au feu	4-21
4.6.1	Introduction	4-21
4.6.2	Comportement au feu	4-21
4.6.3	Modèles de calcul simplifiés pour les poteaux mixtes acier-béton	4-21
4.6.4	Poteau mixte constitué d'un profilé en acier totalement enrobé de béton	4-22
4.6.5	Poteau mixte avec profilé en acier partiellement enrobé de béton	4-23
4.6.5.1	Tableau de dimensionnement	4-23
4.6.5.2	Modèle de calcul	4-24
	<b>Exemple 4.3</b>	<b>4-26</b>
	<b>Exemple 4.4</b>	<b>4-26</b>
4.6.6	Poteau mixte constitué d'un profil creux en acier non protégé rempli de béton	4-27
4.6.6.1	Remplissage en béton non armé	4-27
4.6.6.2	Remplissage en béton armé	4-28
4.6.6.2.1	Tableau de dimensionnement	4-29
4.6.6.2.2	Modèle de calcul	4-30
	<b>Exemple 4.5</b>	<b>4-32</b>
<b>5.</b>	<b>Assemblages mixtes</b>	<b>5-2</b>
5.1	Types d'assemblages mixtes et principes de dimensionnement	5-2
5.1.1	Modélisation de la structure	5-2
5.1.2	Conception et calcul	5-8
5.1.3	Normes et règles de calcul	5-8
5.2	Analyse globale	5-9
5.2.1	Influence des assemblages sur la réponse structurale	5-9
5.2.2	Idéalisation du diagramme $M-\phi$ d'un assemblage	5-10
5.2.3	Modélisation	5-11
5.2.4	Classification	5-11

<b>5.3</b>	<b>Détermination des caractéristiques des assemblages</b>	<b>5-13</b>
5.3.1	Méthode des composantes	5-13
5.3.2	Procédure de calcul	5-15
5.3.2.1	Principe	5-15
5.3.2.2	Calcul du moment résistant d'un assemblage mixte avec plaque de contact	5-16
5.3.2.3	Calcul du moment résistant d'un assemblage mixte avec platine d'extrémité	5-16
5.3.2.4	Calcul de la rigidité d'un assemblage mixte avec plaque de contact	5-17
5.3.2.5	Calcul de la rigidité d'un assemblage mixte avec platine d'extrémité	5-18
<b>5.4</b>	<b>Exemple d'application</b>	<b>5-19</b>
<b>6.</b>	<b>Exemple d'application</b>	<b>6-2</b>
<b>6.1</b>	<b>Construction des planchers et données du projet</b>	<b>6-2</b>
<b>6.2</b>	<b>Poutre longitudinale</b>	<b>6-5</b>
6.2.1	Vérification à température ordinaire	6-5
6.2.2	Vérification au feu	6-13
<b>6.3</b>	<b>Poutre transversale</b>	<b>6-17</b>
6.3.1	Vérification à température ordinaire	6-17
6.3.2	Vérification au feu	6-22
<b>6.4</b>	<b>Poteau</b>	<b>6-22</b>
6.4.1	Vérification à température ordinaire	6-22
6.4.2	Vérification au feu	6-24



# 1

## Introduction à la construction mixte



# 1

## Introduction à la construction mixte

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 soient 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'élancement 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.

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 règles pour les bâtiments) aborde principalement le dimensionnement à froid des éléments structuraux rencontrés dans un bâtiment, à savoir les poutres, dalles et poteaux (Figure 1-1). 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 ou selon des modèles de calcul simplifiés ou, au contraire, avancés. Les ponts mixtes font l'objet d'une partie 2 (NBN EN 1994-2).

Figure 1-1 : Eléments structuraux de construction mixte



a. Poutre mixte

b. Poteau mixte

c. Dalle mixte

# 1.1 Poutres mixtes

## 1.1.1 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 monolithe. Ce principe a de tous temps été mis en œuvre dans les constructions en bois ; un bel exemple est la réalisation d'une poutre en superposant deux éléments en bois de hauteur  $h$  et de largeur  $b$  et en les reliant par des cales à leur interface.

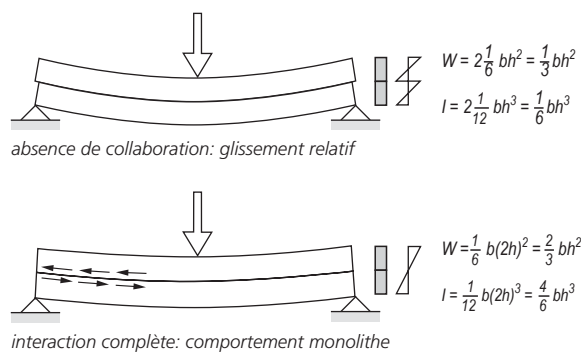


Figure 1-2 : Effet d'une interaction complète entre deux poutres identiques à section rectangulaire sur le module de flexion  $W$  et sur le moment d'inertie  $I$

La Figure 1-2 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 collaborante". 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 pré-dalles (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).

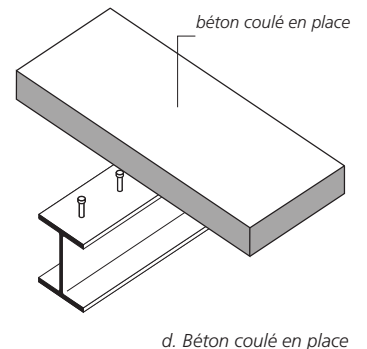
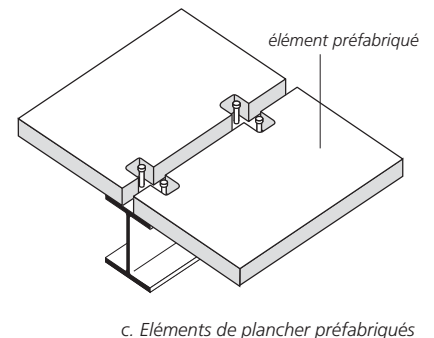
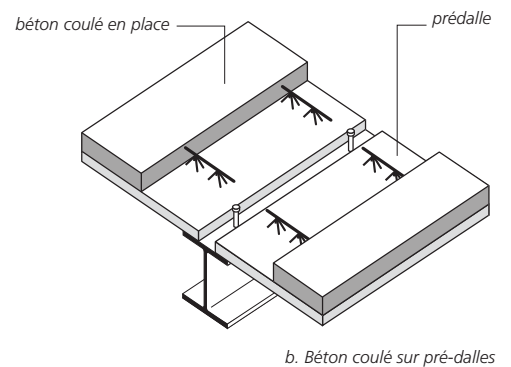
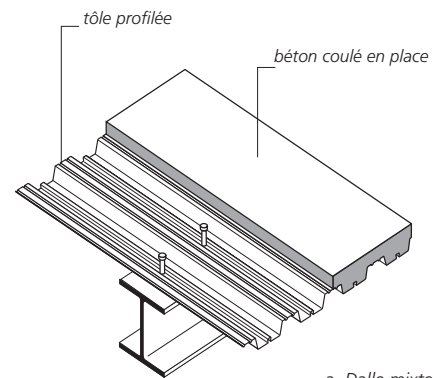


Figure 1-3 : Divers types de planchers dans les poutres mixtes

Le profilé en acier peut être :

- une section en I ou H laminée à chaud ;
- une section en I reconstituée par soudage ;
- une poutre intégrée, c'est-à-dire noyée dans l'épaisseur du plancher ;
- une poutrelle à âme évidée, appelée 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 principal 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<sup>1)</sup> ou d'une section rendue dissymétrique par l'ajout d'un plat renfort soudé sur l'une des semelles d'une section symétrique (Figure 1-4).

<sup>1)</sup> Ce produit est mentionné pour mémoire car les tentatives de commercialiser les types dissymétriques n'ont pas pleinement répondu à l'attente.

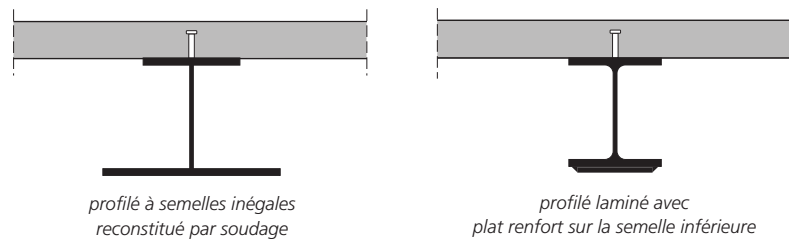


Figure 1-4 : Sections en acier dissymétriques

La connexion est d'une importance primordiale pour la transmission de l'effort de cisaillement longitudinal, appelé aussi effort 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 rigides et élevée pour les connecteurs souples.

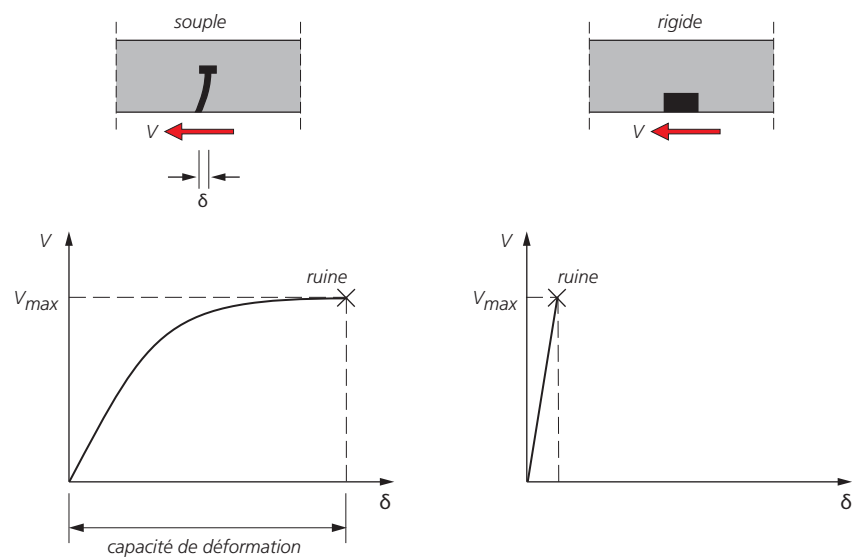


Figure 1-5 : Comportement d'un connecteur souple (à gauche) et d'un connecteur rigide (à droite)

Il existe plusieurs types de connecteurs dont certains sont illustrés à la Figure 1-6. Les goujons à tête (Figure 1-7) sont les connecteurs les plus utilisés en Europe occidentale ; ils sont généralement souples.

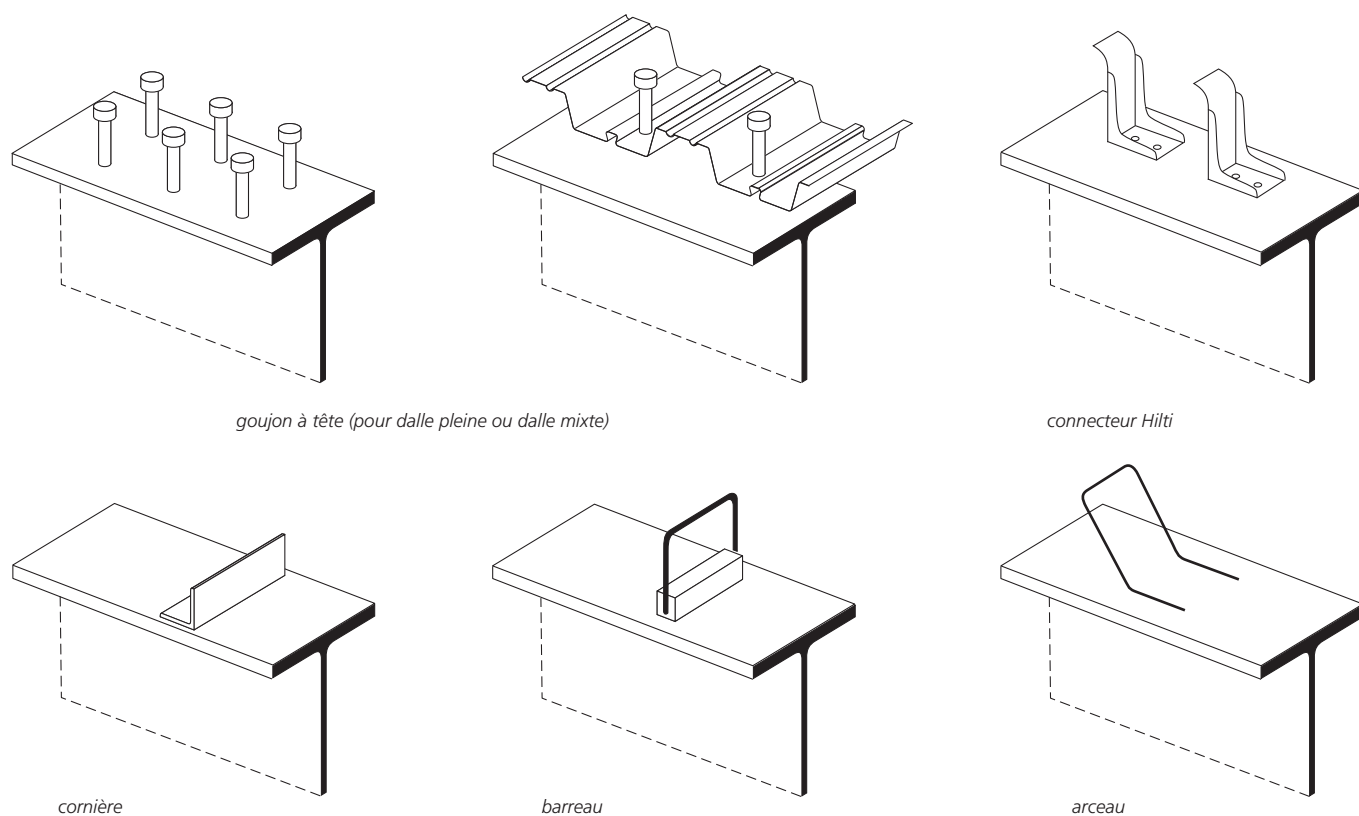
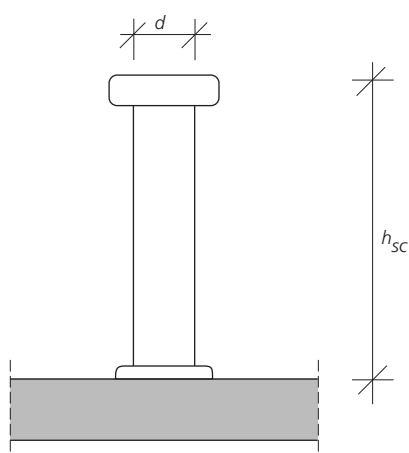


Figure 1-6 : Types de connecteurs

Différentes longueurs et diamètres de goujons sont disponibles sur le marché. Le goujon de diamètre 19 mm 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 1,25 mm, que l'épaisseur totale du revêtement de zinc ne dépasse pas 0,03 mm (30  $\mu\text{m}$ ) et que la face du profilé métallique accueillant ces goujons soit exempte de peinture.



Figure 1-7 : Goujon à tête



## 1.1.2 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.



Figure 1-8 : Exemple de construction avec dalle mixte non étayée

Indépendamment de leur mode d'exécution (en construction étayée ou non étayée), les poutres mixtes se distinguent selon leur type. Diverses variantes de poutres mixtes sont illustrées à la Figure 1-9.

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.

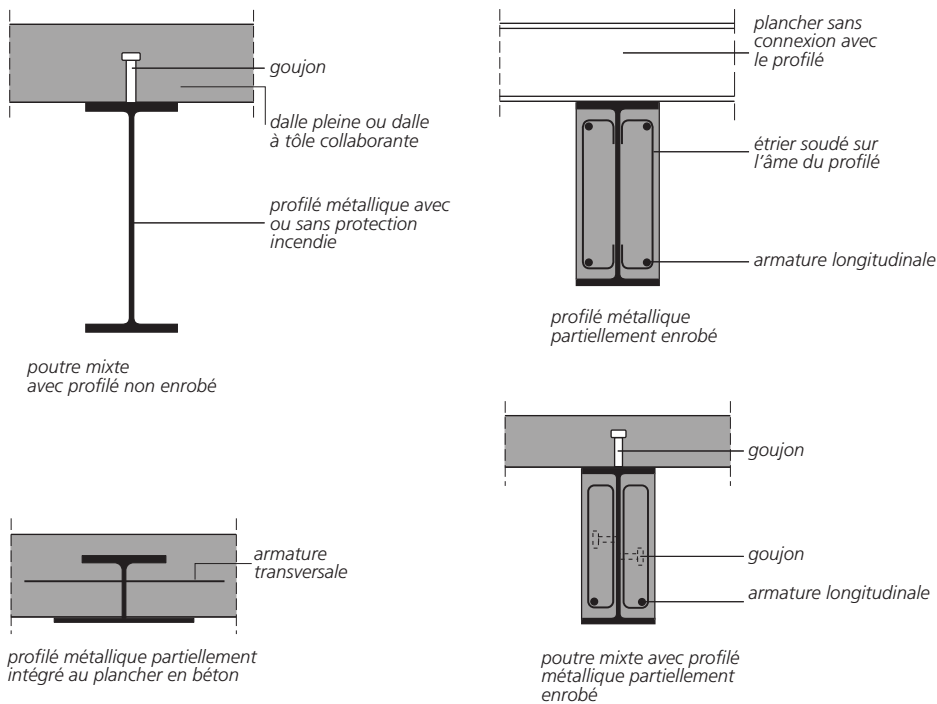


Figure 1-9 : Quelques types de poutres mixtes

Il est possible de disposer les poutres d'un même étage soit selon une seule direction (poutres 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 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 lors que 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 possibles à l'aide de logiciels appropriés.

### 1.1.3 Assemblages

Dans le domaine des bâtiments, les assemblages poutre-poteau jouent un rôle important, en particulier si les poutres mixtes sont continues. 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 (Figure 1-10). 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.

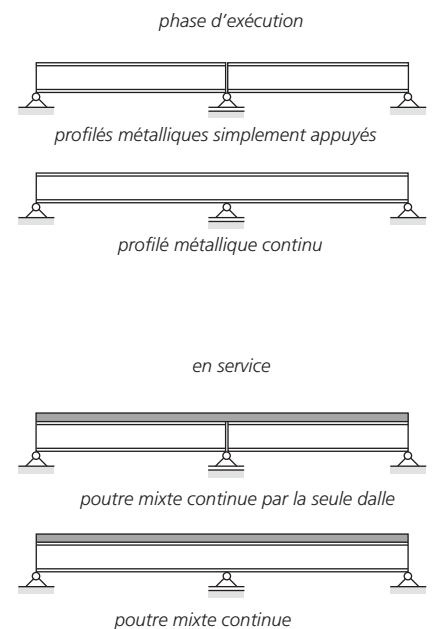


Figure 1-10 : Schémas statiques d'une poutre mixte

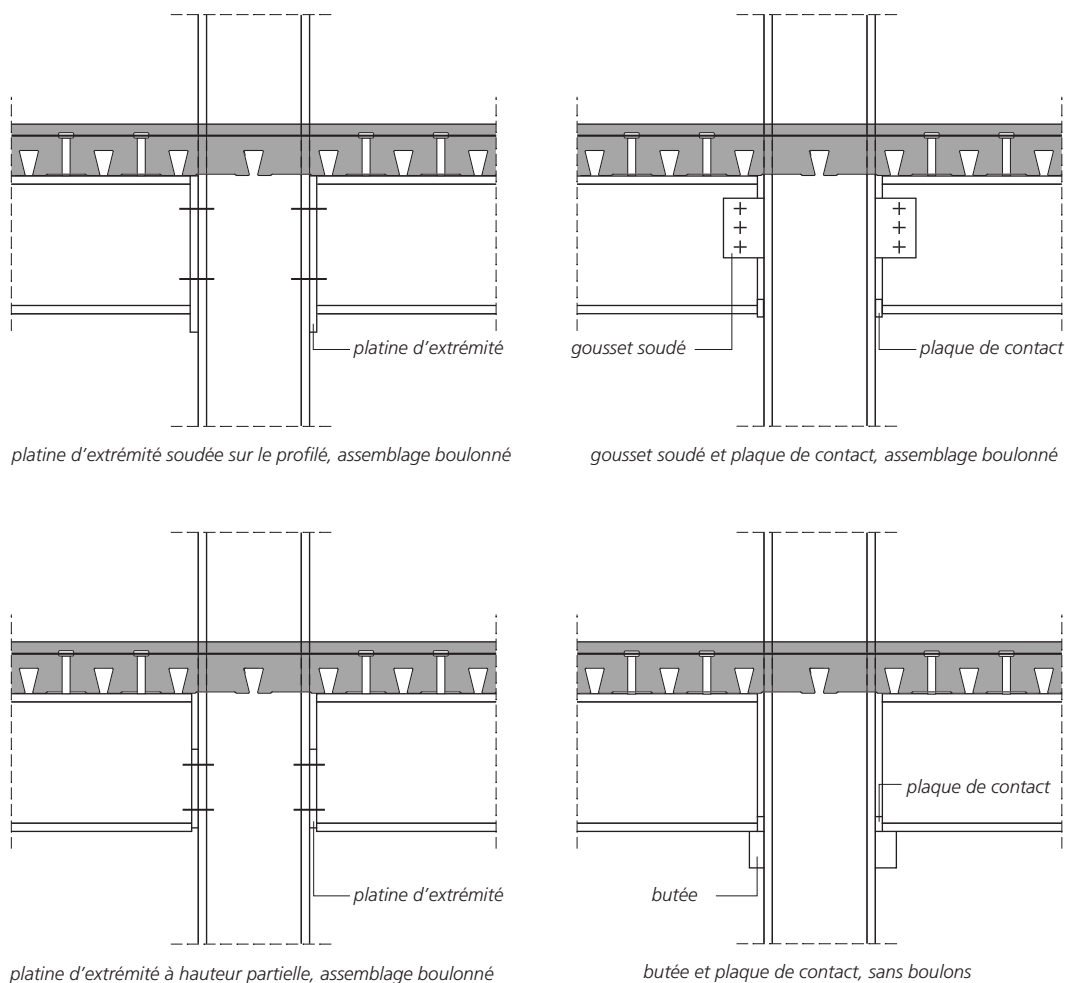


Figure 1-11 : Quelques exemples d'assemblages poutre-poteau en construction mixte

En raison de la grande variété de typologies d'assemblages, il est essentiel de choisir le type d'assemblage dès le début du projet. La Figure 1-11 montre quelques types d'assemblages poutre-poteau rencontrés dans les bâtiments en construction mixte acier-béton.

#### 1.1.4 Comportement au feu

Le comportement au feu des poutres mixtes acier-béton est bien meilleur que celui des poutres en acier. Dans la NBN EN 1994-1-2 consacrée à la résistance au feu des structures mixtes, les types suivants de poutres mixtes sont abordés (Figure 1-9) :

- poutre mixte dont le profilé en acier est non enrobé ;
- 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 enrobé de béton.

La qualification de ces types de poutres vis-à-vis de leur résistance au feu selon la NBN EN 1994-1-2 se fonde sur la théorie de la plasticité.

L'accroissement de la résistance au feu résultant de l'action composite acier-béton peut encore se trouver accentué en entourant le profilé métallique de plaques ignifuges ou en le recouvrant d'un isolant projeté ou d'une peinture intumescente.



## 1.2 Dalles mixtes

### 1.2.1 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. Les dalles mixtes sont tout 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).

Des dalles mixtes peuvent développer une action composite avec des poutres faites d'autres matériaux, tels, par exemple, le béton armé ou le bois.

Les tôles profilées assurent diverses fonctions :

- elles offrent une surface de travail lors de la construction ;
- elles servent de coffrage lors du bétonnage du plancher ;
- elles jouent le rôle d'armature inférieure pour le béton de la dalle.

Une très grande variété de tôles profilées existe sur le marché (Figure 1-13). Ces tôles se distinguent à la fois par leur forme, leur hauteur, l'entre-axe de leurs nervures, le raidissage de leurs parois, leur mode de recouvrement entre tôles contiguës et la manière dont l'action composite avec le béton est assurée.

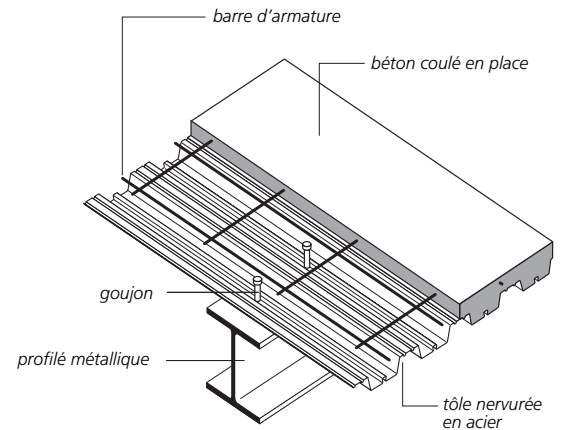


Figure 1-12 : Exemple de plancher à tôle profilée collaborante

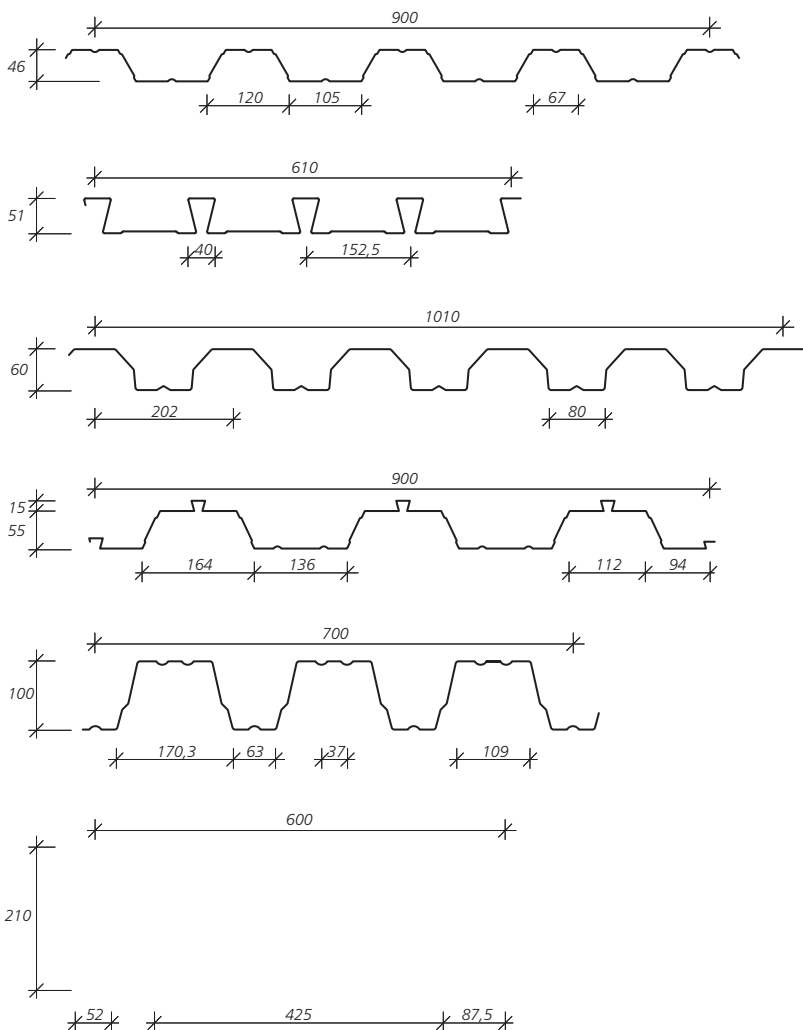


Figure 1-13 : Quelques types de tôles profilées pour dalles mixtes

L'épaisseur des tôles profilées varie de 0,75 mm à 1,5 mm ; en pratique, on la choisit généralement entre 0,75 mm et 1,2 mm. Pour des raisons de protection vis-à-vis de la corrosion, les deux faces des tôles profilées sont habituellement galvanisées ; la charge totale en zinc (pour les deux faces) est de l'ordre de 275 g/m<sup>2</sup>. Ceci correspond à une épaisseur moyenne de zinc d'environ 20 μm sur chacune des faces de la tôle. Les goujons à tête peuvent être soudés au travers des tôles profilées, moyennant certaines précautions mentionnées plus haut. En pratique, on fait référence à des tôles de "faible" hauteur et à des tôles de "grande" hauteur. La hauteur des premières varie de 16 mm à 100 mm ; elles autorisent des portées allant de 3,6 m (tôles non étayées) à 6,5 m (tôles étayées). Avec les tôles de grande hauteur (hauteur d'environ 200 mm), on arrive à franchir sans étaieement des portées pouvant atteindre 5,5 m.

Le béton des planchers est habituellement du béton normal (signifiant par là du béton "lourd"). L'utilisation de béton "léger" est permise et constitue une solution intéressante lorsque la légèreté est une préoccupation majeure ; les principaux inconvénients du béton léger sont un prix de revient supérieur et un délai de livraison habituellement plus long.

Normalement, 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 appui intermédiaire et elle y limite l'ouverture des fissures en face supérieure. Dans certains cas, des armatures de renfort sont disposées en travée à proximité de la tôle profilée ou dans les zones situées sous d'éventuelles charges localisées agissant sur le plancher pour y assurer une répartition satisfaisante de celles-ci. Des armatures supplémentaires peuvent aussi être requises dans le béton des nervures pour améliorer la résistance au feu de la dalle mixte.

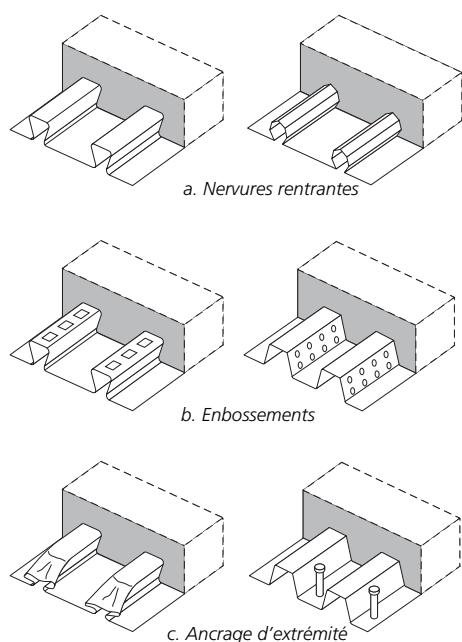


Figure 1-14 : Formes typiques de liaisons dans les dalles mixtes

## 1.2.2 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 (Figure 1-14) :

- friction, lorsque les nervures de la tôle sont de 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 (Figure 1-15), soit par la déformation des nervures aux extrémités de la tôle profilée (Figure 1-16).



Figure 1-15 : Ancrage procuré par des goujons connecteurs soudés au travers de la tôle