



ESDEP

GROUPE DE TRAVAIL 11

ASSEMBLAGES SOUS CHARGEMENT STATIQUE

Leçon 11.1.2

**Introduction au dimensionnement des
assemblages**



OBJECTIF

Introduire le concept de dimensionnement des assemblages en s'attachant particulièrement à décrire les mécanismes de transmission des efforts dans diverses configurations d'assemblages.

PREREQUIS

Connaissances de base en mécanique appliquée et théorie de l'élasticité et de la plasticité.

[Leçons 2.3.1 & 2.3.2](#): Propriétés des aciers
[Leçon 2.4](#): Nuances et qualités des aciers
[Leçon 11.1.1](#): Assemblages pour les bâtiments

LEÇONS CONNEXES

[Leçons 11.2.1, 11.2.2 & 11.2.3](#): Assemblages soudés
[Leçons 11.3.1, 11.3.2 & 11.3.3](#): Assemblages boulonnés
[Leçons 11.4](#): Analyse des assemblages
[Leçon 11.5](#): Assemblages de type articulé pour les bâtiments
[Leçon 11.6](#): Assemblages transmettant des moments de flexion dans les structures continues
[Leçon 11.7](#): Assemblages à résistance partielle dans les structures semi-continues
[Leçon 11.8](#): Joints dans les bâtiments
[Volume 13](#): Structures tubulaires.

RESUME

Les composantes principales des assemblages soudés et boulonnés sont décrites.

Le concept de transmission d'efforts entre éléments assemblés est présenté et les différents types de composantes par lesquelles transitent les charges sont identifiés. Les étapes à franchir lors de la distribution des efforts, la détermination des critères de résistance et la vérification de la résistance des composantes sont établies d'une manière générale, en prélude à une couverture plus détaillée du sujet dans les [leçons 11.2, 11.3](#) et [11.4](#).

1. INTRODUCTION

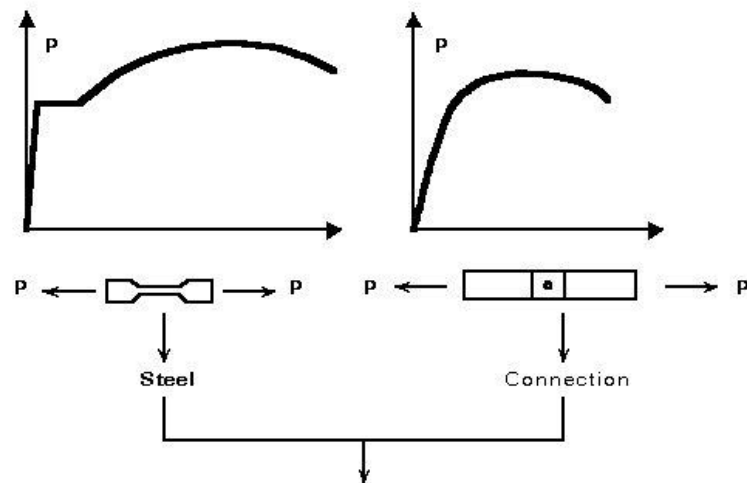
Les raisons de la grande variété des configurations d'assemblages en construction métallique a été expliqué à la [leçon 11.1.1](#). Les principaux critères que les assemblages doivent satisfaire d'un point de vue structural et économique y ont également été présentés. Dans la présente leçon, les critères d'ordre structural (résistance, rigidité et capacité de déformation) sont discutés de manière beaucoup plus détaillée.

La classification des assemblages suggérée dans l'Eurocode 3 [1] est explicitée. Cette classification a trait à la raideur et la résistance des assemblages poutre-poteau.

La liberté du concepteur de choisir le type d'assemblage et de choisir la géométrie exacte de l'assemblage pour chacun de ces types conduit à une grande variété d'assemblages comme le montrent, par exemple, les figures de la [leçon 11.1.1](#). L'analyse des propriétés structurales des assemblages est présentée au § 4 dans lequel des exemples classiques de transmission d'efforts sont fournis.

2. CRITERES EN MATIERE DE COMPORTEMENT STRUCTURAL

Les propriétés de l'acier à considérer sont sa résistance, sa rigidité et sa ductilité ou capacité de déformation. Ces propriétés peuvent être mises en évidence lors d'un essai de traction, voir [figure 1](#). Une structure en acier correctement dimensionnée possède les mêmes propriétés.



Requirements of strength, stiffness and deformation capacity.
Connections should have comparable properties to the structural steel.

Figure 1 Strength, stiffness and deformation capacity of steel and connections

Les critères fondamentaux dans le cas des membrures/assemblages concernent la résistance, la rigidité et la capacité de déformation.

La [figure 2](#) définit la résistance, la rigidité et la capacité de déformation d'un assemblage poutre-poteau dimensionné pour transmettre un moment de flexion de la poutre au poteau.

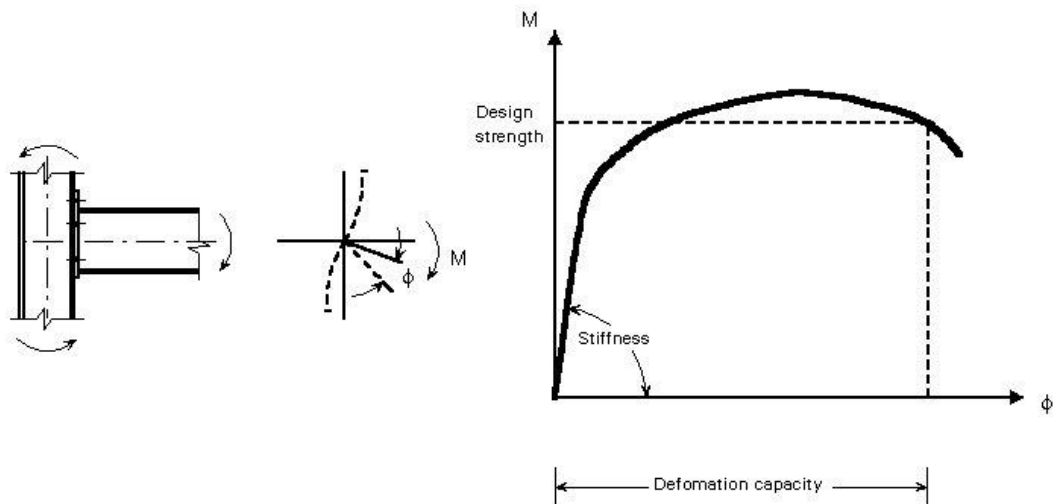


Figure 2 Moment-rotation diagram of a beam-to-beam connection (M - ϕ curve)

La capacité de rotation est une mesure de la déformation qui peut être atteinte avant que la ruine, quelque part dans l'assemblage, ne provoque une chute de la résistance flexionnelle.

La résistance, la rigidité et la capacité de déformation des assemblages sont discutées de manière détaillée ci-après :

Résistance

Une analyse statique doit être réalisée en vue de la détermination des efforts agissant sur l'assemblage. Cette analyse nécessite la définition préalable des charges de calcul et la modélisation de la structure, voir [figure 3](#). Lors de la modélisation de la structure, une attention particulière doit être accordée à la rigidité des assemblages. Ces derniers peuvent être supposés rigides, être considérés comme des rotules ou posséder une rigidité intermédiaire entre ces deux extrêmes. La capacité de déformation des membrures (poutres et poteaux) et des assemblages joue un rôle important dans la distribution à la ruine des efforts dans la structure.

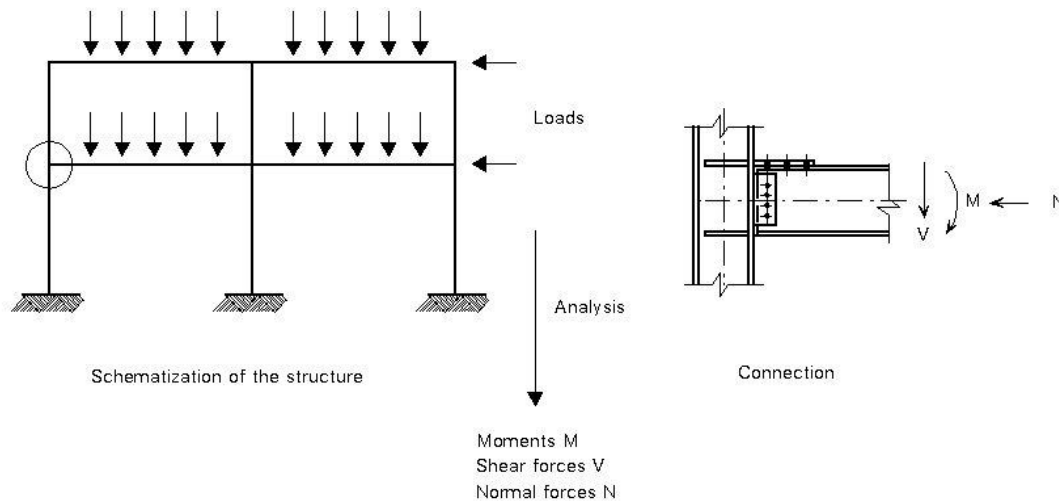


Figure 3 Analysis of the forces on the connection

Toutes les parties de la structure doivent être dimensionnées de manière telle qu'elles puissent résister aux efforts sollicitants et qu'elles possèdent une capacité de déformation conforme aux hypothèses formulées lors de l'analyse globale.

Rigidité

La rigidité d'un assemblage influe sur le niveau de chargement pour lequel il doit être dimensionné. Un assemblage à faible rigidité flexionnelle n'attire à lui qu'un moment de flexion limité et peut être considéré comme un assemblage rotulé lors de la modélisation de la structure.

Bien sûr, la rigidité des assemblages affecte la valeur des flèches de poutres. Mais dans les structures non contreventées, en particulier, la rigidité des assemblages peut également avoir un effet significatif sur les déplacements de la structure dans son ensemble et sur sa stabilité.

Lorsque les assemblages sont considérés comme rigides lors de la modélisation de la structure en vue de son analyse statique, la configuration des assemblages doit effectivement être telle que leurs déformations aient une influence négligeable sur la distribution des efforts intérieurs et sur les déformations de la structure.

Par contre, si l'hypothèse d'assemblages rotulés est formulée, les assemblages doivent être suffisamment souples pour se déformer en rotation sans développer de moments de flexion significatifs qui peuvent conduire à la ruine prématurée de (parties de) l'assemblage ou des éléments assemblés.

Le traitement de la rigidité des assemblages est présenté au § 3.

Dans de nombreux cas, il est tout à fait licite de dimensionner les assemblages en ne prenant explicitement en compte que leur résistance.

Capacité de déformation

Les exigences en matière de résistance et de rigidité sont claires. Elles découlent du calcul statique.

L'exigence en matière de capacité de déformation est plus qualitative. En pratique, il est parfois difficile de vérifier si cette exigence est satisfaite.

Les assemblages à comportement ductile qui possèdent une capacité de déformation importante, contribuent à la sécurité globale de la structure lorsqu'un assemblage tend à être surchargé. Le recours à de tels assemblages peut également constituer une exigence en matière de dimensionnement dans certains cas, par exemple lorsque la structure est dimensionnée plastiquement et que des rotules sont susceptibles de se former dans les assemblages.

3. CLASSIFICATION COMME BASE DU DIMENSIONNEMENT

Les assemblages doivent être dimensionnés en fonction du type de comportement désiré. De nombreuses approches de dimensionnement sont envisageables d'un point de vue rigidité et résistance. A la [figure 4](#), trois exemples de dimensionnement d'un assemblage poutre-poteau sont présentés, conjointement avec leurs courbes moment-rotation caractéristiques. Ces courbes moment - rotation peuvent être décrites comme suit :

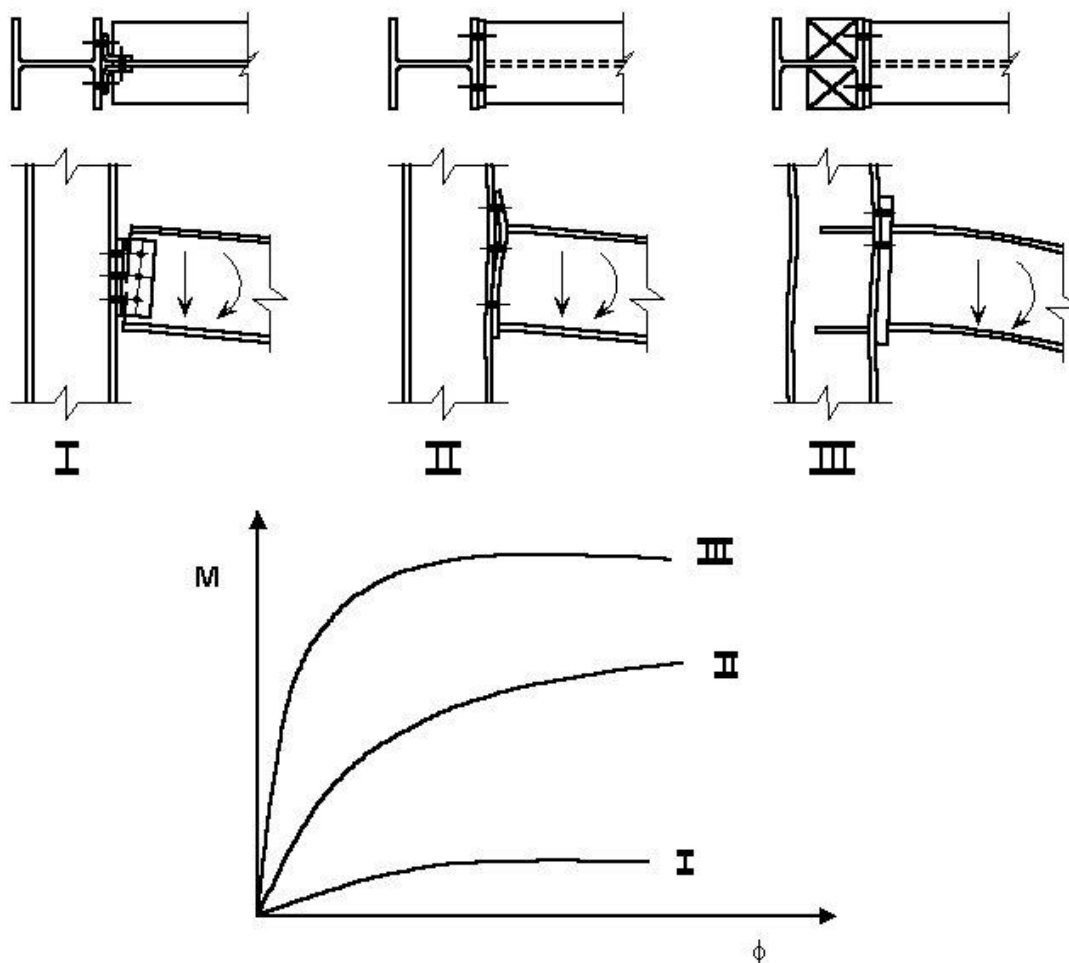


Figure 4 Moment-rotation diagrams ($M-\phi$ curves)

- I. La rigidité et la résistance flexionnelle sont faibles et peuvent être raisonnablement négligées, ce qui conduit au concept d'assemblage rotulé. Seul un effort de cisaillement y est transmis, sa valeur s'identifiant à celle de la réaction d'appui qui agit à l'extrémité de la poutre et qui équilibre les charges appliquées à cette dernière.
- II. Comportement intermédiaire entre celui des courbes I et III, pour lequel les assemblages ont une résistance flexionnelle inférieure à celle de la poutre et une rigidité en rotation qui autorise une rotation relative entre les éléments assemblés. (Ces assemblages sont généralement semi-rigides et partiellement résistants. Ils peuvent aussi, parfois, être à résistance complète et semi-rigides ou rigides mais à résistance partielle).
- III. La rigidité en rotation est très élevée et la résistance flexionnelle de l'assemblage est au moins égale à celle de la poutre. La continuité en rotation entre la poutre et le poteau est assurée ; la réaction d'appui et le moment de flexion à l'extrémité de la poutre sont transférés au poteau.

Ces trois options peuvent s'appliquer aux ossatures multi-étagées. Le type III convient aux structures contreventées et non contreventées ; le type I est réservé aux structures

contreventées. Le type II peut s'utiliser dans le cas de structures contreventées et non contreventées ; pour ces dernières, l'influence de la rigidité des assemblages sur le comportement de la structure doit être considérée. La [figure 5](#) illustre la manière dont la rigidité flexionnelle est schématisée en vue de l'analyse structurale.

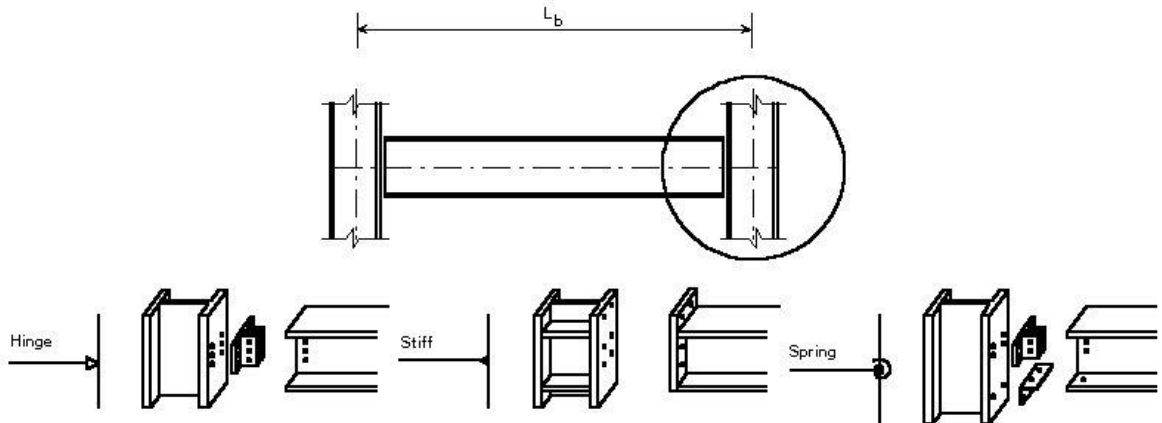


Figure 5 Schematization of rotational stiffness

L'Eurocode 3 [1] fournit les règles de calcul des caractéristiques de rigidité et de résistance flexionnelles.

Les courbes $M-\phi$ relevées lors d'essais sont en général non-linéaires. Il convient de remarquer que certains assemblages raides ne possèdent qu'une résistance flexionnelle limitée et vice versa. Des exemples sont fournis à la [figure 6](#). La courbe E moment - rotation est caractéristique de certains types d'assemblages boulonnés pour lesquels les trous de boulons présentent un jeu par rapport au diamètre des boulons. Pour des moments faibles, le glissement provoque une rotation qui précède une réaugmentation du moment transmis.

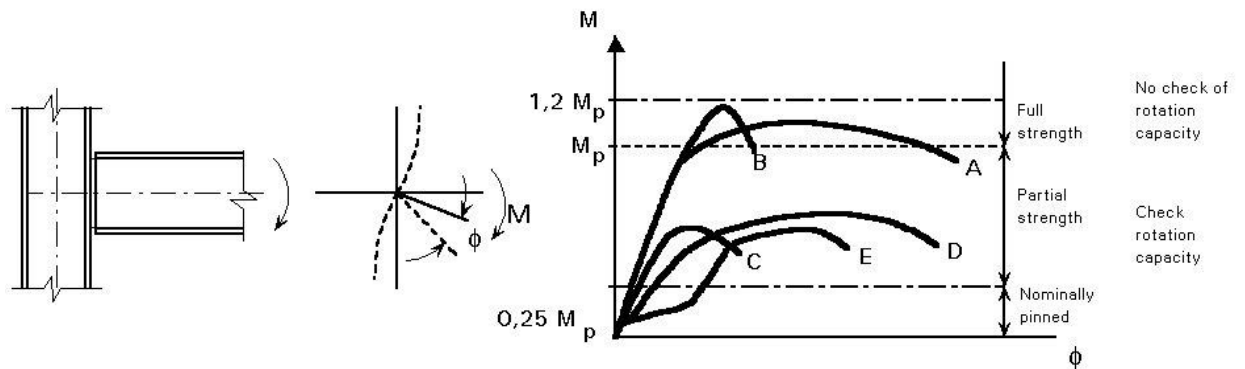


Figure 6 Various forms of $M-\phi$ curves

En vue d'applications pratiques, il est nécessaire d'idéaliser les courbes $M-\phi$. Pour le dimensionnement, on peut recourir à une idéalisation non-linéaire ou à des idéalizations multilinéaires telles les idéalizations bilinéaires et trilinéaires de la [figure 7](#).

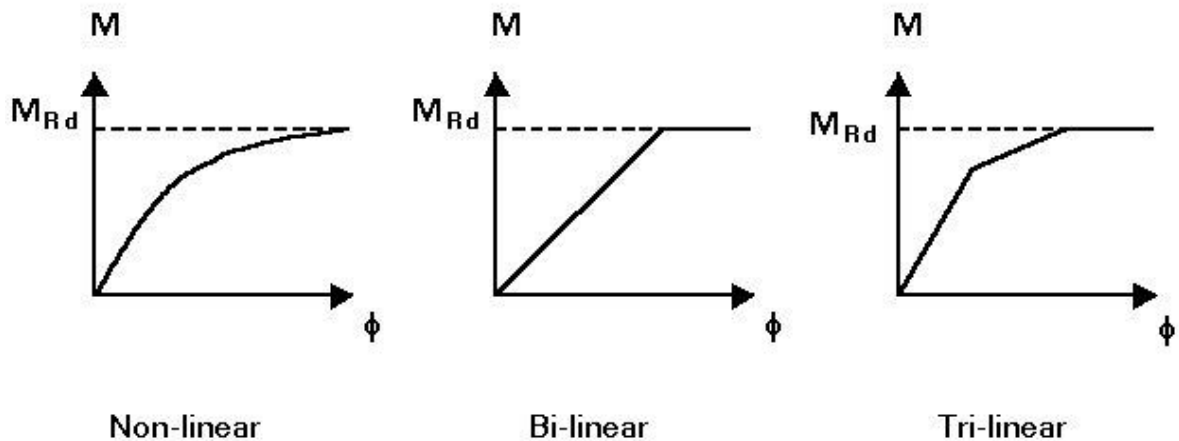


Figure 7 Possible idealisations for M- ϕ curves

L'Eurocode 3 [1] propose une classification fondée sur la résistance et la rigidité.

Pour la résistance, les classes suivantes sont différenciées :

- articulation $M_{Rd} \leq 0,25 M_{pl.Rd}$
- résistance partielle $0,25 M_{pl.Rd} < M_{Rd} < M_{pl.Rd}$
- résistance complète $M_{Rd} \geq M_{pl.Rd}$
- résistance complète sans vérification de la capacité de rotation $M_{Rd} \geq 1,2 M_{pl.Rd}$

où: M_{Rd} est le moment résistant de calcul de l'assemblage

$M_{pl.Rd}$ est la résistance de calcul de la poutre (plein moment plastique).

Cette classification fondée sur la résistance est applicable aux structures analysées selon la théorie de la plasticité. Dans le cas d'un assemblage à résistance complète, la rotule plastique se forme théoriquement dans la poutre. En réalité, pourtant, il n'est pas rare que la limite d'élasticité du matériau dont est constituée la poutre soit (considérablement) supérieure à la valeur minimale spécifiée. La rotule plastique peut par conséquent apparaître dans l'assemblage en dépit d'une valeur calculée $M_{Rd} > M_{pl.Rd}$. Dans de tels cas, il s'avère aussi utile de s'assurer que la capacité de rotation est suffisante pour que le mécanisme plastique puisse se former. La présence de capacité de rotation doit être démontrée dans tous les cas. Une valeur limite supérieure au-delà de laquelle on suppose que la rotule plastique se forme dans la poutre est définie $\geq 2 M_{pl.Rd}$.

Pour la rigidité, la classification s'établit comme suit :

- articulation $S_j \leq 0,5 EI_b/L_b$
- semi-rigide $0,5 EI_b/L_b < S_j < 8 EI_b/L_b$ (ossatures contreventées)
ou $25 EI_b/L_b$ (ossatures non contreventées)

où : S_j est la rigidité (sécante) en rotation de l'assemblage

EI_b est la raideur flexionnelle de la poutre

L_b est la longueur de la poutre (voir [figure 5](#)).

Le dimensionnement des assemblages articulés n'a trait qu'à la reprise des efforts tranchants et est couvert par la [leçon 11.5](#).

Pour les assemblages résistant en flexion, la résistance au cisaillement et au moment doivent toutes deux être considérées. Les assemblages rigides et/ou à résistance complète sont couverts à la [leçon 11.6](#).

Le dimensionnement relatif au comportement semi-rigide et/ou à résistance partielle est traité à la [leçon 11.7](#).

4. TRANSMISSION DES EFFORTS

Dans le § 2, il est précisé que les assemblages doivent être dimensionnés pour transmettre des moments et ou des efforts tranchants et/ou des efforts normaux, comme, par exemple, à la [figure 3](#). L'étape suivante de l'analyse consiste à déterminer la distribution des efforts au sein de l'assemblage, [figure 8](#). Il n'est pas nécessaire et il est d'ailleurs souvent très ardu, de déterminer la distribution réelle des efforts intérieurs. Il est suffisant de supposer une distribution réaliste pour laquelle :

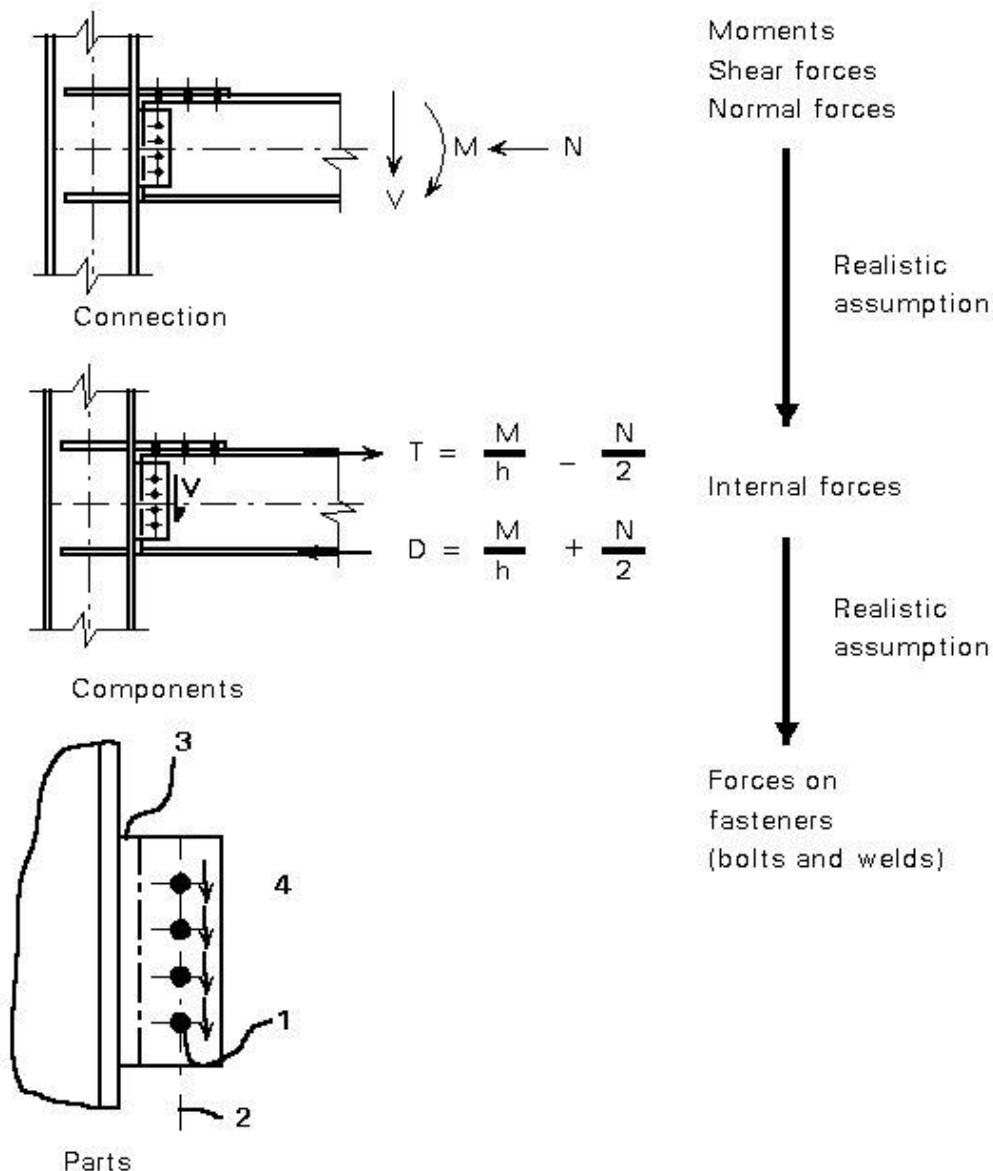


Figure 8 Analysis of forces on components and fasteners

- les efforts intérieurs sont en équilibre avec les efforts extérieurs appliqués
- chaque composante est en mesure de résister aux forces auxquelles elle est soumise
- les déformations introduites par la distribution supposée sont compatibles avec la capacité de déformation des connecteurs (boulons, soudures) et des parties assemblées.

Déterminer la distribution des efforts constitue la partie la plus difficile de la procédure de calcul vu que cela implique de formuler un certain nombre d'hypothèses sur la manière dont l'assemblage « travaille ».

Aux [leçons 11.4](#) (Analyse des assemblages) ce sujet est abordé en détail.

Ainsi que cela a déjà été précisé à la [leçon 11.1.1](#), il existe un large éventail de types et de configurations d'assemblages.

Pour couvrir cet éventail, il est utile d'appliquer le concept qui consiste à isoler dans l'assemblage un ensemble de zones de transmission élémentaires d'effort associées aux composants de l'assemblage. Ces zones élémentaires sont indiquées à la [figure 9](#).

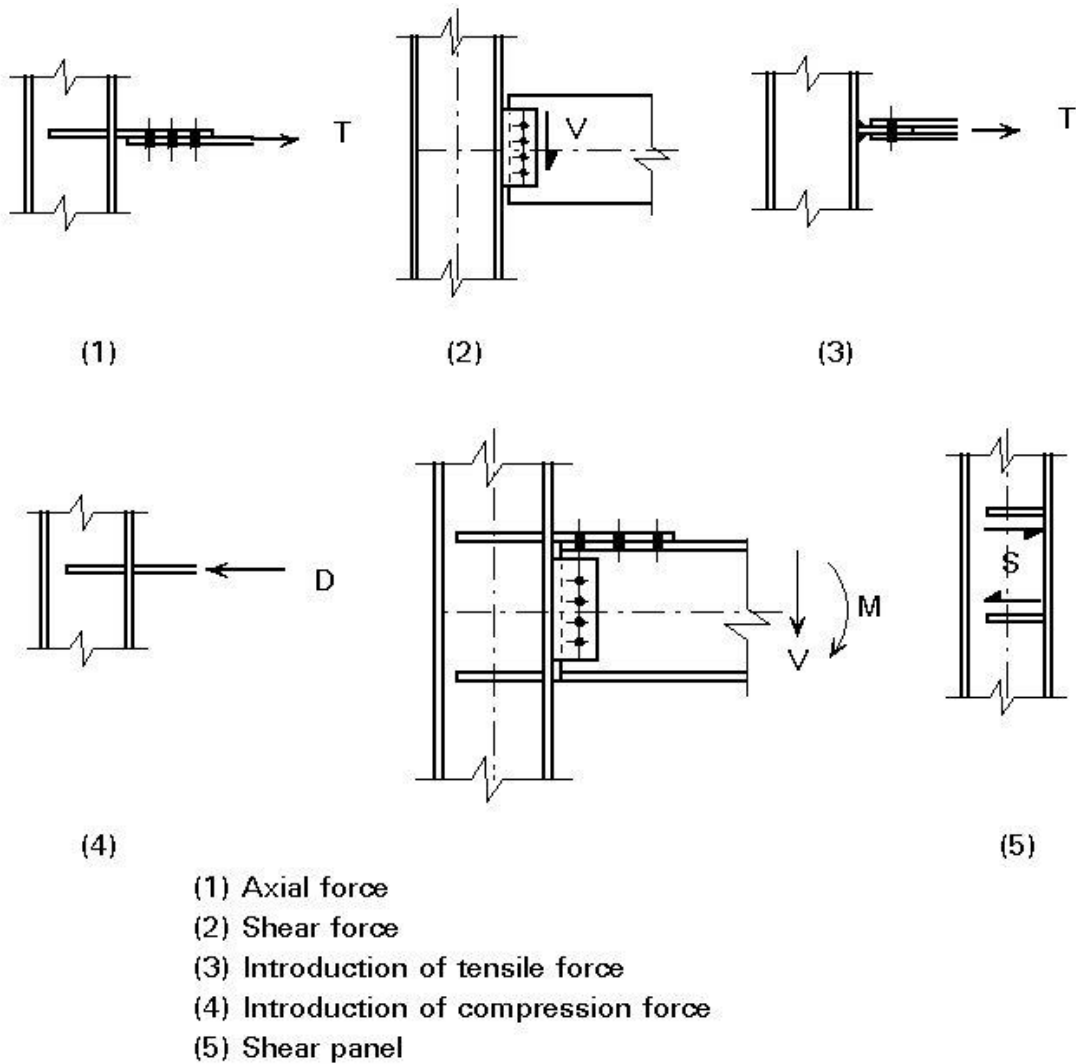


Figure 9 Basic force transfers in connections

D'autres exemples sont fournis aux [figures 10, 11, 12, 13 et 14](#)

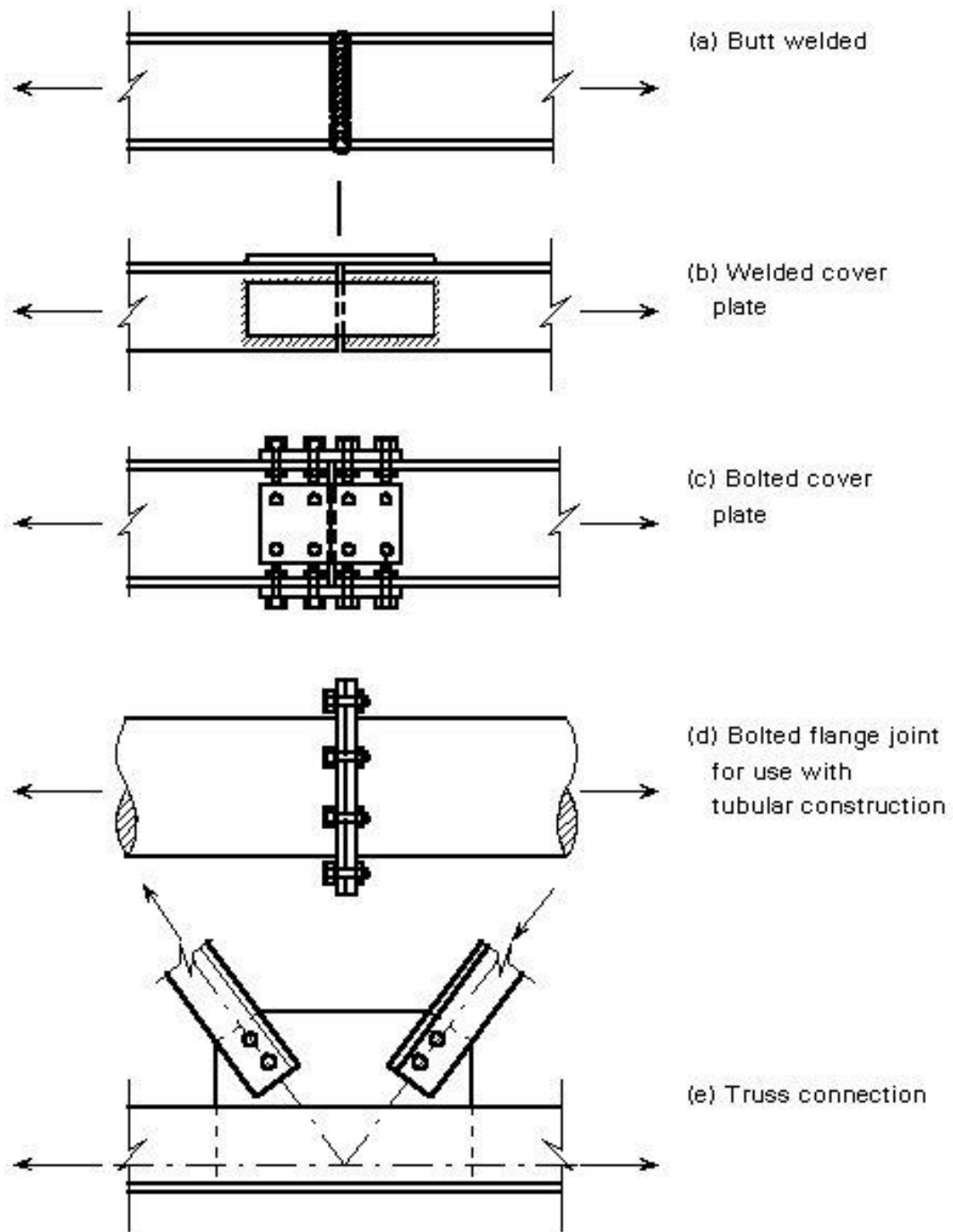


Figure 10 Examples of transfer of tensile or compressive axial member force

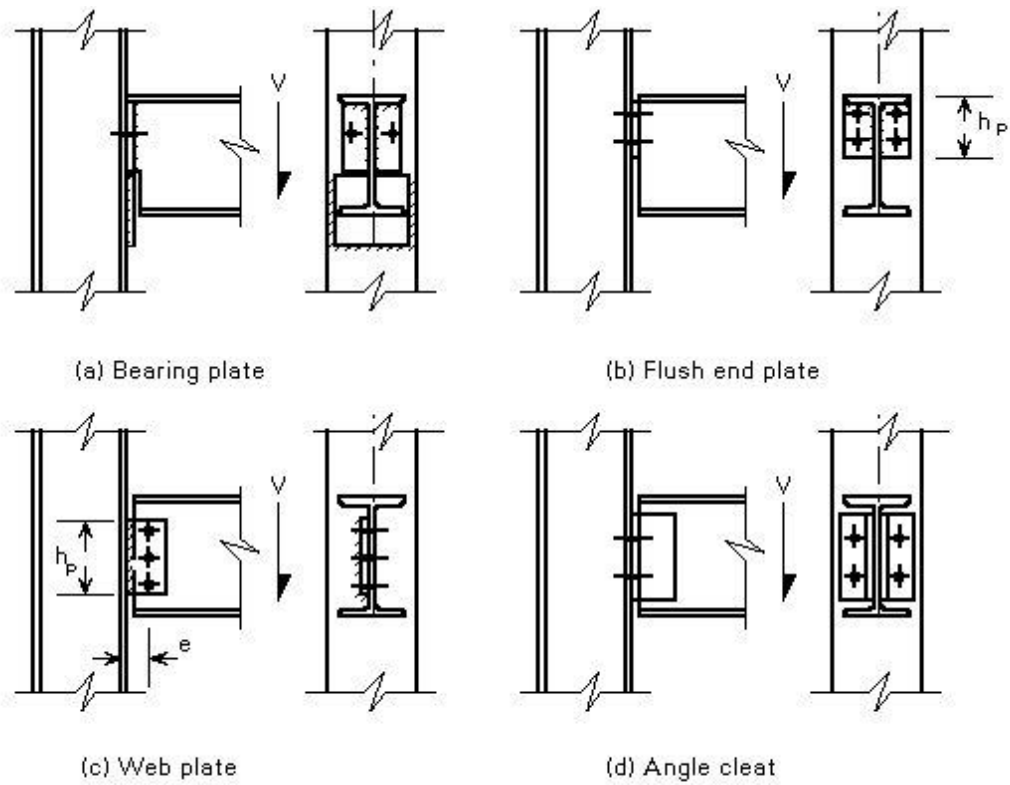


Figure 11 Examples of transfer of shear force

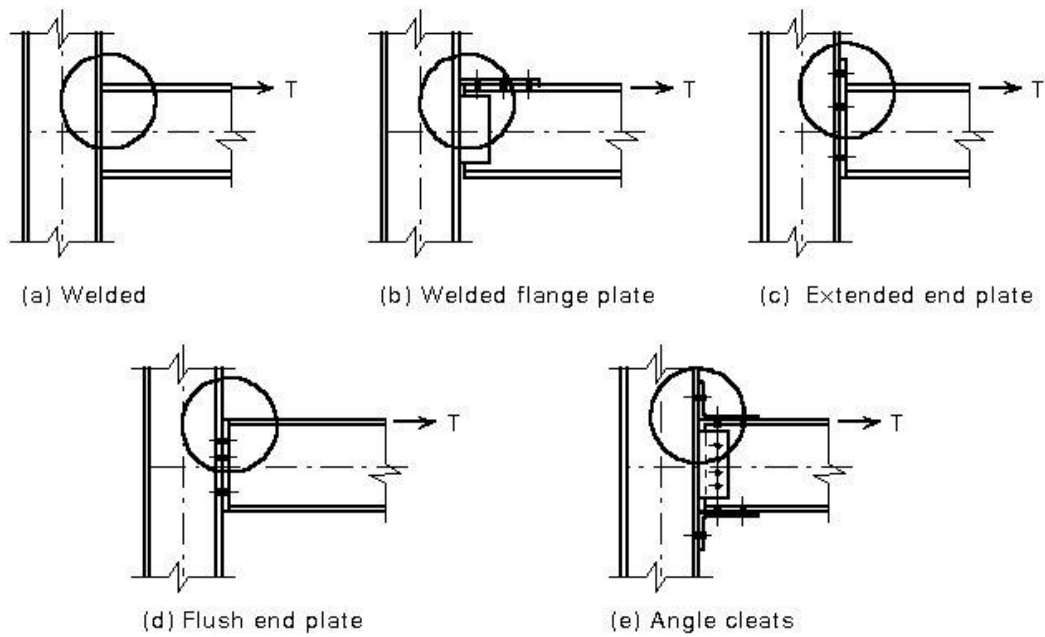


Figure 12 Examples of transfer of local tensile force

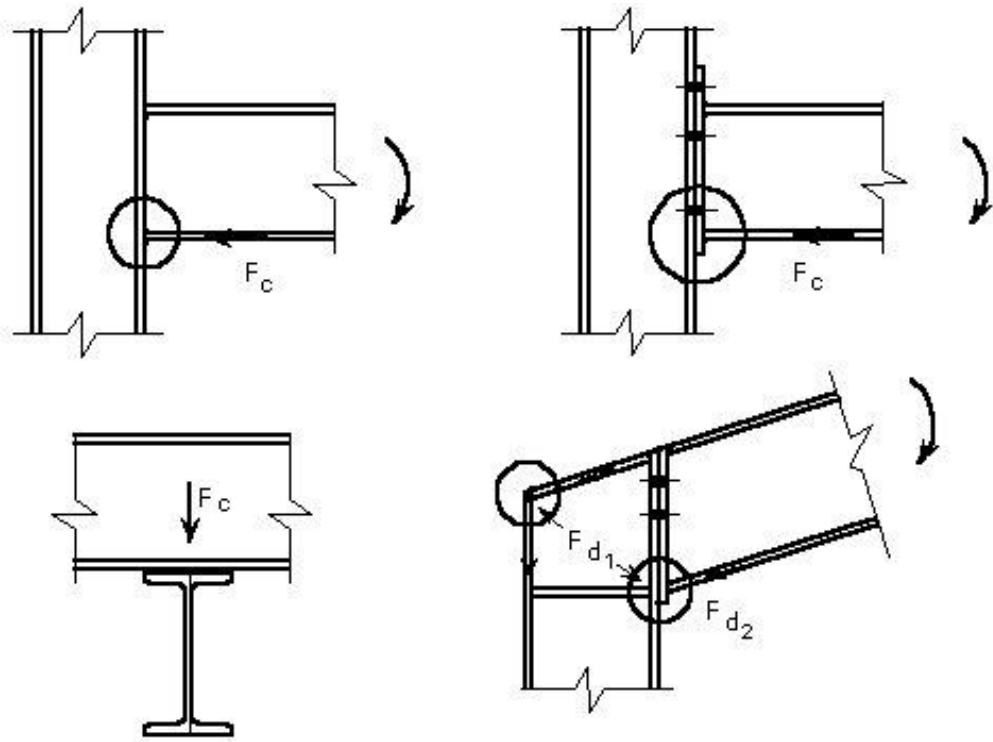


Figure 13 Examples of transfer of local compressive forces

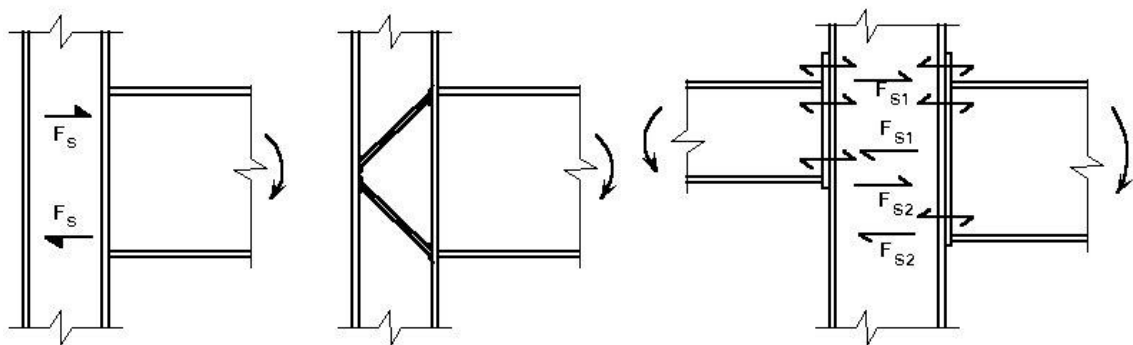


Figure 14 Examples of transfer of shear force through a shear panel

A chacune de ces zones de transmissions élémentaires d'effort correspondent un certain nombre de modes de ruine. Chacun d'entre eux doit d'ailleurs être vérifié. La zone la plus faible détermine la résistance de l'assemblage aux chargements appliqués. Cette procédure est illustrée à la [figure 15](#) dans le cas de l'introduction de charges transversales dans l'âme (d'un poteau) exempte de renforts et raidisseurs.

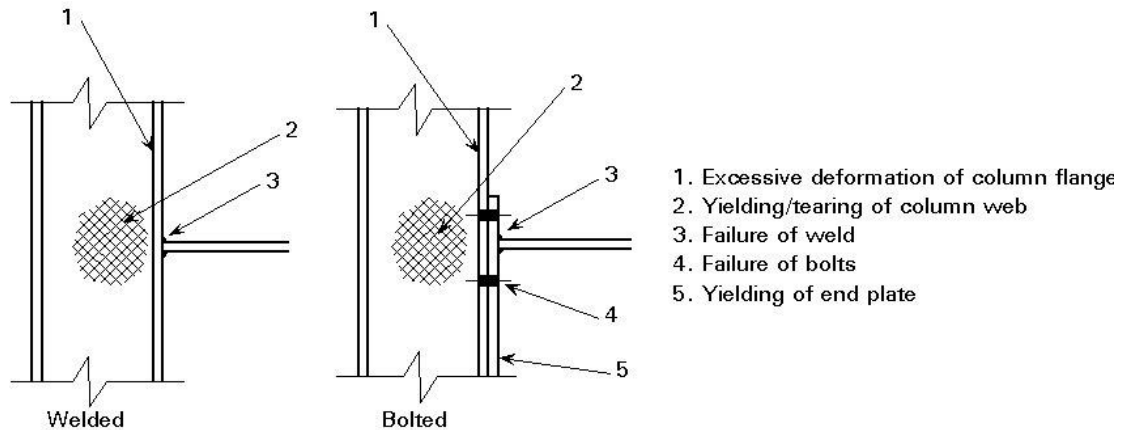


Figure 15 Possible failure modes for the introduction of a tension force in a column web (Case 3 in Figure 9)

Une information plus détaillée sur les connecteurs est fournie aux [leçons 11.2](#) (soudures) et [11.3](#) (boulons), tandis que les [leçons 11.4](#) couvrent de manière détaillée le calcul et le dimensionnement des assemblages par le concept des zones élémentaires de transmission d'effort.

5. CONCLUSION

- Au niveau structural, la principale exigence, pour un assemblage, est d'être capable de transmettre, de manière sécuritaire, les charges désirées entre les éléments assemblés.
- Cette exigence requiert la prise en considération de trois propriétés des assemblages : résistance, rigidité et capacité de déformation.
- Les assemblages poutre-poteau peuvent être classés selon leur rigidité comme rotulés, semi-rigides et rigides. En matière de résistance à la flexion, ils peuvent être classés comme rotulés, à résistance partielle et à résistance complète.
- L'analyse des assemblages requiert le choix d'une distribution réaliste des efforts internes en équilibre avec les forces extérieures appliquées, dans laquelle chaque élément est capable de transmettre l'effort qui est supposé lui être appliqué et pour laquelle les déformations des éléments sont inférieures à leur capacité de déformation.
- Lors de l'analyse des assemblages, un certain nombre de zones de transmissions élémentaires d'effort peuvent généralement être identifiées.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Eurocode 3 : "Design of steel structures" : ENV 1993-1-1 : Part 1.1 : General rules and rules for buildings, CEN, 1992.

Le chapitre 6 traite du dimensionnement des connecteurs et des composantes d'assemblage ; les Annexes J et L couvrent le dimensionnement des assemblages poutre-poteau et des pieds de poteaux.

7. LECTURES COMPLÉMENTAIRES

1. Essentials of Eurocode 3, Design manual for steel structures in buildings. ECCS, Publication No 65, Brussels 1991.

Aide au dimensionnement destiné à faciliter l'utilisation de l'Eurocode 3 ; contient des tableaux et des recommandations.

2. Design examples to Eurocode 3. ECCS, Publication No 71, Brussels, 1993

Contient de nombreux exemples résolus de dimensionnement des assemblages soudés et boulonnés.

3. Kulak, G.L., Fisher, J. W. and Struik, J.H. A., "Guide to design criteria for bolted and riveted joints". 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1987.

Fournit une appréciation d'ensemble des noeuds boulonnés et passe en revue de manière détaillée les méthodes de calcul et de dimensionnement.

4. Hart, F., Henn, W. and Sontag, H., "Stahlbau Atlas - Gesehossbauten", International Architekture Dorkumentation, Munich, 1982.

Cet ouvrage présente un large éventail de solutions pratiques en matière d'assemblages de bâtiments en acier et mixtes. Il a été traduit en quatre langues (Français, Anglais, Néerlandais, Italien).

5. Pask, J. W., "Manual on Connections", Volume 1 - Joints in Simple Connections, BCSA, 1982.

Étude minutieuse du dimensionnement des assemblages de structures multi-étagées. Suggère un ensemble d'assemblages standardisés.

6. Ballio, G. and Mazzolani, F.M., Theory and design of steel structures. Deals extensively with connections.

Texte complet sur la théorie et le dimensionnement des structures en acier. Traite de manière approfondie des assemblages.

7. Bijlaard F. S. K. et al, Structural properties of semi-rigid joints in steel frames IABSE publications 1989.

Met en évidence les sources de déformabilité des assemblages et présente des méthodes d'évaluation des propriétés de résistance et de raideur.

8. Owens, G. W. and Cheal, B.D., Structural Steelwork Connections, 1st Ed, 1989.

Revue complète de nombreux aspects du comportement et du dimensionnement des assemblages.

9. Joints in Simple Construction, Volume 1 : Design Methods & Volume 2 : Practical Applications. SCI/BCSA Publications 205 and 206. SCI/BCSA Publications 205 and 206.

S'étend sur les aspects plus pratiques du dimensionnement des assemblages ; fournit des tableaux que l'on consulte comme un indicateur et qui sont destinés à faciliter le dimensionnement des assemblages.

TRADUCTION DES FIGURES

Acier

Assemblage

Exigences en matière de résistance, rigidité et capacité de déformation. Les assemblages devraient avoir des propriétés comparables à celles de l'acier de structures.

[Figure 1](#) - *Résistance, rigidité et capacité de déformation de l'acier et des assemblages*

Résistance de calcul

Rigidité

Capacité de déformation

[Figure 2](#) - *Diagramme moment-rotation pour un assemblage poutre-poteau (courbe $M - \phi$)*

Chargement

Modélisation de la structure

Analyse

Moments M

Efforts tranchants V

Efforts normaux N

Assemblage

[Figure 3](#) - *Calcul des efforts dans l'assemblage*

[Figure 4](#) - *Diagrammes moment-rotation (courbes $M - \phi$)*

Rotulé

Rigide

Ressort

[Figure 5](#) - *Modélisation de la raideur en rotation.*

[Figure 6](#) - *Différentes formes de courbes $M - \phi$*

Non-linéaire

Bi-linéaire

Tri-linéaire

[Figure 7](#) - *Idéalisations possibles des courbes $M - \phi$*

Assemblages

Moments

Efforts tranchants

Efforts normaux

Hypothèse réaliste

Efforts intérieurs

Composantes

Hypothèse réaliste

Efforts appliqués aux connecteurs

(soudures et boulons).

Figure 8 - Calcul des efforts appliqués aux composantes et aux connecteurs

- (1) Effort axial (2) Effort de cisaillement (3) Introduction d'un effort de traction
(4) Introduction d'un effort de compression (5) Panneau cisailé.

Figure 9 - Zones élémentaires de transmission d'effort dans les assemblages

- (a) Soudures en bout (b) Plat de recouvrement soudé
(c) Plat de recouvrement boulonné (d) Brides boulonnées pour construction tubulaire
(e) Assemblage de treillis.

Figure 10 - Exemples de transmission de l'effort axial de traction en compression agissant dans une membrure

- (a) Plat de support (b) Platine courte d'extrémité
(c) Plat d'assemblage à l'âme (d) Cornières d'âme

Figure 11 - Exemples de transmission d'un effort tranchant