

# Assemblages poteaux-poutres et poutres-poutres en acier



D'après l'Eurocode 3

- > Calcul des assemblages par platines d'about, par double cornières d'âme ou par éclisses de semelles et d'âme



# Guide Eurocode



D'après les normes NF EN 1993-1-1: 2005  
(Eurocode 3, partie 1-1) et NF EN 1993-1-8: 2005  
(Eurocode 3, partie 1-8)

## ASSEMBLAGES POTEAUX-POUTRES ET POUTRES-POUTRES EN ACIER

**Calcul des assemblages par platines d'about,  
par double cornières d'âme ou par éclisses  
de semelles et d'âme**

Directeur de collection : Ménad CHENAF (CSTB)

Auteur : Cabinet JAILLET-ROUBY

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de développement durable dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec ses 909 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

## **Avertissement**

Le présent guide ne se substitue en aucun cas aux textes de références qu'ils soient réglementaires, normatifs ou codificatifs.

Le CSTB décline toute responsabilité quant aux conséquences directes ou indirectes de toute nature qui pourraient résulter de toute interprétation erronée du contenu du présent guide.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB novembre 2012

ISBN 978-2-86891-491-0

## **AVANT-PROPOS**

Les autorités publiques ont confié au CSTB l'organisation et la gestion d'un programme d'accompagnement de la mise en œuvre de la directive « produits de construction » (Directive 89/106 du 21 décembre 1988). Ce programme d'accompagnement, appelé « Plan Europe » comporte plusieurs volets, tous concourant à l'intégration des textes techniques européens du domaine de la construction dans les usages français.

Le Plan Europe a été dirigé et organisé par le CSTB, en partenariat avec les acteurs du bâtiment, partenariat formalisé par une convention en date du 1<sup>er</sup> juin 2004. Les partenaires concernés sont :

- le ministère de l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer ;
- le Secrétariat d'État au Logement ;
- la Fédération Française du Bâtiment (FFB) ;
- la Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment (CAPEB) ;
- l'Union Sociale pour l'Habitat (USH) ;
- la Fédération française des Promoteurs Constructeurs de France (FPC France) ;
- la Confédération des Organismes indépendants tierce partie de Prévention, de Contrôle et d'Inspection (COPREC) ;
- l'Union Nationale des Syndicats Français d'Architectes (UNSFA) ;
- la Fédération professionnelle de l'ingénierie (SYNTEC-Ingénierie) ;
- la Chambre de l'Ingénierie et du Conseil de France (CICF) ;
- l'Association Française de Normalisation (AFNOR) ;
- le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

L'un des volets du Plan Europe est dédié spécifiquement aux Eurocodes. Il vise à procurer aux acteurs de la construction, pour les ouvrages courants, des outils leur permettant d'appliquer les principes et méthodes de dimensionnement proposés dans ces normes. Sont abordés à ce titre tous les matériaux habituels de structure : acier, béton, bois et maçonnerie vis-à-vis des actions normales, climatiques (vent, neige) ou accidentelles (feu, séisme).

Ce guide attire l'attention de l'utilisateur sur le domaine d'application couvert, forcément restreint par rapport à celui de l'Eurocode en question. Le choix délibéré a été de traiter les cas les plus couramment rencontrés, cette restriction s'accompagne d'une simplification de traitement.

Enfin, il est indispensable de souligner que les méthodes proposées dans ce guide sont destinées à réaliser des calculs de structure, et que leur utilisation suppose la connaissance des principes généraux de résistance des matériaux et de la mécanique des structures. Cette connaissance est indispensable pour effectuer les choix judicieux qui incombent au calculateur et apprécier la pertinence des résultats obtenus dans le contexte particulier de l'ouvrage qu'il dimensionne.

## SOMMAIRE

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>1.</b> | <b>OBJET</b> .....   | <b>3</b>   |
| <b>2.</b> | <b>DOMAINE D'APPLICATION</b> .....   | <b>5</b>   |
| <b>3.</b> | <b>GUIDE D'APPLICATION POUR LE CALCUL DES ASSEMBLAGES<br/>PAR PLATINE BOULONNÉE</b> .....                            | <b>7</b>   |
| 3.1       | Généralités.....   | 7          |
| 3.2       | Domaine d'application .....  | 7          |
| 3.3       | Attaches poutre-poutre – Résistance .....  | 9          |
| 3.4       | Attaches poteau-poutre – Résistance .....  | 30         |
| 3.5       | Analyse globale .....  | 45         |
| 3.6       | Attaches poutre-poutre – Rigidité .....  | 49         |
| 3.7       | Attaches poteau-poutre – Rigidité .....  | 53         |
| 3.8       | Tables .....   | 57         |
| 3.9       | Notations .....  | 68         |
| 3.10      | Exemple de calcul n° 1 : assemblage poutre-poutre non raidie.....  | 69         |
| 3.11      | Exemple de calcul n° 2 : assemblage poutre-poutre raidie .....   | 92         |
| 3.12      | Exemple de calcul n° 3 : assemblage poutre-poteau non raidi .....  | 109        |
| 3.13      | Exemple de calcul n° 4 : assemblage poteau-poutre raidie .....   | 139        |
| <b>4.</b> | <b>GUIDE D'APPLICATION POUR LE CALCUL DES ASSEMBLAGES<br/>ARTICULÉS PAR CORNIÈRES D'ÂME</b> .....                    | <b>165</b> |
| 4.1       | Généralités.....   | 165        |
| 4.2       | Domaine d'application .....  | 165        |
| 4.3       | Fonctionnement de l'assemblage .....   | 166        |
| 4.4       | Cas étudiés .....  | 168        |
| 4.5       | Cas d'un élément porteur ayant une rigidité de rotation nulle.....   | 169        |
| 4.6       | Cas d'un élément porteur infiniment raide en rotation .....  | 195        |
| 4.7       | Exemples.....  | 222        |
| 4.8       | Tables de capacité d'attaches types.....   | 264        |
| <b>5.</b> | <b>GUIDE D'APPLICATION POUR LE CALCUL DES ASSEMBLAGES<br/>DE CONTINUITÉ PAR ÉCLISSAGE D'ÂME ET DE SEMELLES</b> ..... | <b>339</b> |
| 5.1       | Objet .....  | 339        |
| 5.2       | Domaine d'application .....  | 339        |
| 5.3       | Généralités.....   | 340        |
| 5.4       | Assemblage de catégorie C : résistant au glissement à l'ELU .....  | 348        |
| 5.5       | Assemblage de catégorie A : résistant en pression diamétrale.....  | 369        |
| 5.6       | Assemblage de catégorie B : résistant au glissement à l'ELS .....  | 379        |
| 5.7       | Tables .....   | 381        |
| 5.8       | Exemples d'application .....   | 426        |
| <b>6.</b> | <b>RÉFÉRENCES</b> .....  | <b>461</b> |

## 1. OBJET

Le présent guide concerne le dimensionnement des assemblages couramment utilisés en construction métallique. Il s'inscrit dans le programme d'accompagnement de la Directive Produits de Construction (DPC) et a pour objectif de faciliter l'application des normes suivantes :

- **NF EN 1993-1-1** [①] (Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments) et de son Annexe Nationale de mai 2007 [②] ;
- **NF EN 1993-1-8** [③] (Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 1-8 : calcul des assemblages) et de son Annexe Nationale de juillet 2007 [④].

Le présent guide s'est fixé comme principal objectif de permettre à l'utilisateur la justification des zones d'assemblages et des dispositifs utilisés pour la connexion entre les éléments. Pour cela, il détaille le calcul des coefficients nécessaires au calcul, les procédures de dimensionnement, ainsi que la manière de mener les diverses justifications.

Le présent guide se compose :

- de parties explicatives reprenant les prescriptions de la norme pour ce qui concerne les divers cas de figure relevant du domaine d'application (cf. paragraphe 2 ci-dessous) ;
- de nombreux exemples d'application permettant d'illustrer la mise en œuvre des prescriptions de la norme ;
- d'une série de tableaux précalculés pour des attaches courantes, permettant de simplifier le travail du projeteur.

Sur un plan pratique, la principale difficulté vient des nombreux coefficients dont il faut tenir compte dans les calculs, ce qui rend ces derniers quelque peu complexes à mener. L'objet du présent guide est notamment de faciliter la démarche calculatoire en en décrivant les principes, en montrant des exemples pratiques d'application de cette démarche, et en fournissant des outils permettant de s'affranchir de certains calculs.

## 2. DOMAINE D'APPLICATION

Le présent guide détaille les méthodes de dimensionnement pour les trois types d'assemblages suivants :

- les assemblages boulonnés par platine d'extrémité soudée : il est traité des attaches par platine d'about boulonnée des profils en I ou en H. Il peut s'agir d'attaches poutre sur poutre, ou poutre sur poteau ;
- les assemblages par interposition de cornières : il est traité des assemblages considérés articulés avec boulons non précontraints et perçages normaux, transmettant uniquement un effort tranchant vertical de haut en bas par une attache composée d'une double cornière d'âme à ailes égales :
  - soit par doubles cornières à une ligne horizontale et deux rangées verticales (utilisées pour des profilés de faible hauteur),
  - soit par doubles cornières d'âme à plusieurs lignes horizontales et une rangée verticale, d'utilisation courante ;
- les assemblages de continuité par interposition d'éclisses boulonnées :
  - soumis à un moment de flexion par rapport à l'axe de forte inertie de la section,
  - soumis à un effort tranchant accompagnant le moment de flexion,
  - pour lesquels l'effort normal peut être négligé (en pratique, inférieur à 5 %  $N_{pl,Rd}$ ).

Tous les développements de ce guide sont établis pour des profils du commerce en I ou en H, ou des profilés reconstitués soudés (PRS) à section en I ou H symétrique de classe 1 à 3 selon la norme **NF EN 1993-1-1**. L'acier constitutif est conforme à la norme **NF EN 10025 [5]** (à l'exception de la norme **NF EN 10025-5**, acier possédant une résistance améliorée à la corrosion).

Pour les structures de bâtiment, l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1993-1-1 prescrit d'utiliser comme valeurs de  $f_y$  et  $f_u$  celles données dans le tableau 3.1 (NF). Les valeurs correspondantes considérées dans ce guide sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

|      | $t \leq 40 \text{ mm}$        |                               |
|------|-------------------------------|-------------------------------|
|      | $f_y \text{ (N/mm}^2\text{)}$ | $f_u \text{ (N/mm}^2\text{)}$ |
| S235 | 235                           | 360                           |
| S275 | 275                           | 430                           |
| S355 | 355                           | 490                           |

Tableau 2.1 : Valeurs de  $f_y$  et  $f_u$ .

Le module d'Young –  $E$  – vaut 210 000 MPa dans tous les développements du présent guide.

## 3. GUIDE D'APPLICATION POUR LE CALCUL DES ASSEMBLAGES PAR PLATINE BOULONNÉE

### 3.1 Généralités

Cette partie est consacrée aux assemblages de profils en I ou H, réalisés par boulonnage de platines d'about.

Elle a pour but de clarifier la démarche de calcul préconisée par la norme et présente :

- un exposé de la méthode de calcul : calcul du moment résistant  $M_{j,Rd}$  ; calcul de la rigidité en rotation  $S_j$  ;
- des tableaux d'assemblages conçus pour avoir une résistance au moins égale au moment capable de la barre attachée ;
- des exemples de calcul détaillés.

### 3.2 Domaine d'application

Cette partie traite des attaches par platine d'about boulonnée des profils en I ou en H. Il peut s'agir d'attaches poutre sur poutre, ou poutre sur poteau.

Les assemblages sont calculés en flexion (par rapport à l'axe de forte inertie) : on détermine un moment résistant et une rigidité en rotation. Les valeurs obtenues restent valables tant que l'effort normal  $N_{j,Ed}$  dans la barre reste inférieur à 5 % de sa résistance  $N_{pl,Rd}$ . Au-delà de cette limite, on peut vérifier la résistance de l'assemblage en calculant l'effort résistant  $N_{j,Rd}$  de l'assemblage (se reporter à la norme) et en écrivant le critère :

$$\frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} + \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1.$$

On se limite aux profils de hauteur inférieure ou égale à 600 mm. La mise en place d'un jarret n'est pas envisagée.

Les platines comportent deux lignes de boulons.

La platine peut comporter une rangée de boulons extérieure, laquelle peut être raidie.

L'âme du poteau peut être raidie par une ou plusieurs doublures d'âme. Le poteau peut comporter des raidisseurs transversaux en face de la semelle tendue de la poutre, ou en face de la semelle comprimée. Le cas des raidisseurs diagonaux n'est pas traité.

Le recours à des contre-plaques pour renforcer la semelle du poteau n'est pas envisagé.

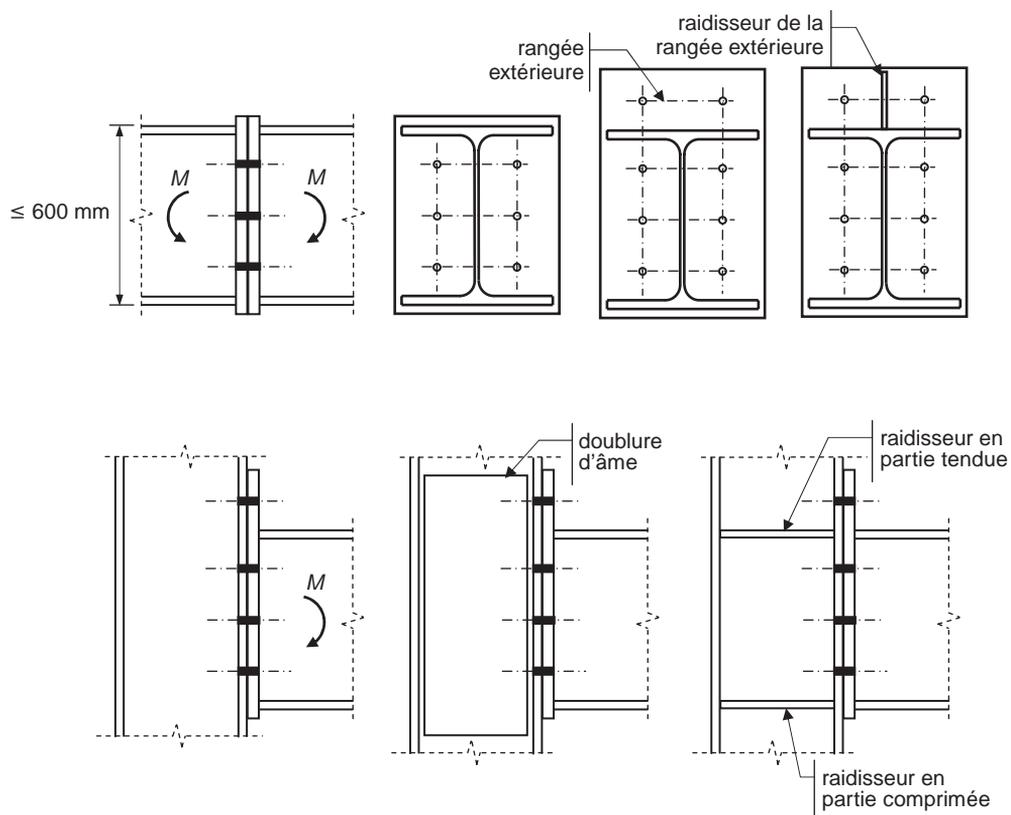


Figure 3.1 : Assemblages poutre-poutre et poteau-poutre.

### 3.3 Attaches poutre-poutre – Résistance

Le diagramme suivant donne la méthodologie générale du calcul :

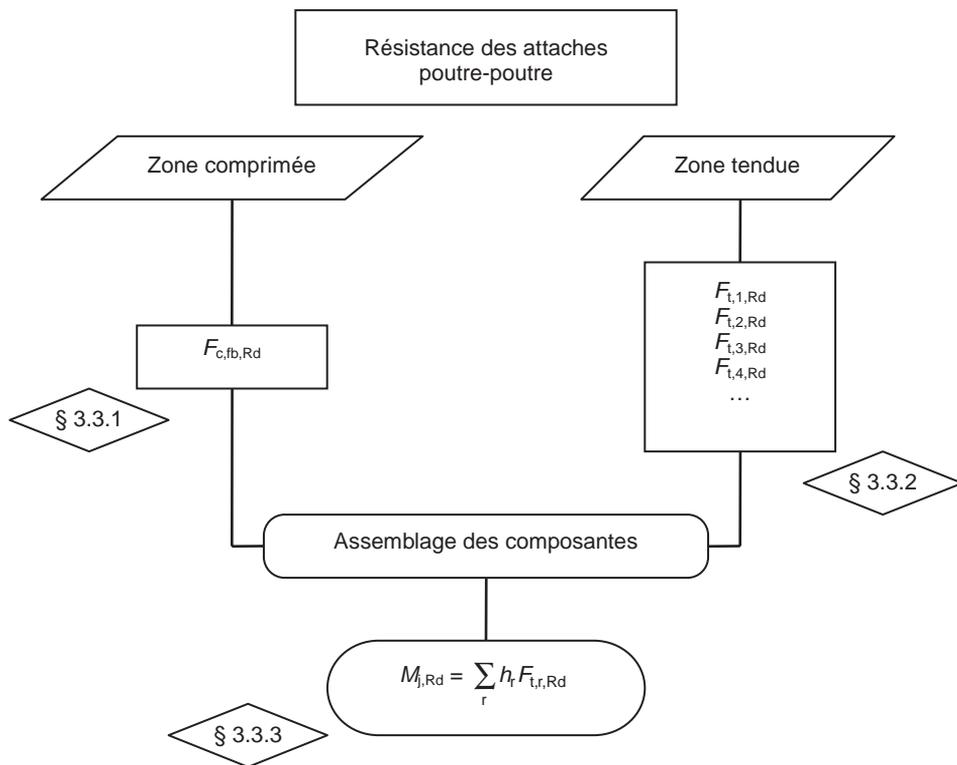


Figure 3.2 : Logigramme de justification d'une attache poutre-poutre.

Le tableau suivant décrit l'enchaînement des calculs :

|  |  | Dans ce guide   | Dans la norme NF EN 1993-1-8 |  |
|--|--|---|------------------------------|--|
| Résistance de la zone comprimée                          | Calcul de $F_{c,fb,Rd}$  |   | Paragraphe 3.3.1             | Clause 6.2.6.7 (1) et figure 6.15                      |
| Résistance de la zone tendue                             | Calcul de la résistance $F_{t,r,Rd}$ de chaque rangée de boulons | Détermination des longueurs $L_{eff}$ des tronçons en T équivalents         | Paragraphe 3.3.2.1           | Articles 6.2.6.5 et 6.2.6.4.2                          |
|  |  | Détermination de la résistance de chaque rangée et chaque groupe de boulons | Paragraphe 3.3.2.2           | Articles 6.2.4.1 et 6.2.6.8                            |
|  |  | Assemblage des résistances des rangées et des groupes                       | Paragraphe 3.3.2.3           | Article 6.2.4.2 et clauses 6.2.7.2 (8) et 6.2.7.2 (3)  |
| Assemblage des résistances des zones comprimée et tendue | Limitation des résistances des rangées de boulons                |   | Paragraphe 3.3.3             | Clauses 6.2.7.2 (7) et 6.2.7.2 (9) et Annexe Nationale |
|  | $M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{t,r,Rd}$                               |   |                              | Clause 6.2.7.2 (1)                                     |

*Tableau 3.1 : Enchaînement des calculs de justifications pour la résistance des attaches poutre-poteau.*

### 3.3.1 Résistance de la zone comprimée

À partir du moment résistant de la poutre  $M_{c,Rd}$  (élastique ou plastique suivant la classe de la section ; prenant en compte si nécessaire l'interaction avec l'effort tranchant), on calcule la résistance de la zone comprimée (cf. clause 6.2.6.7 (1) de la norme NF EN 1993-1-8) :

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_b - t_{fb}}$$

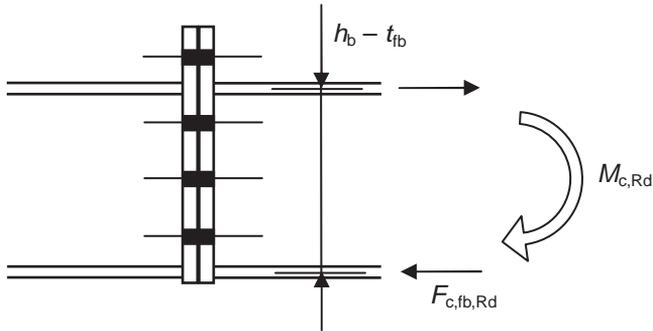


Figure 3.3 : Attache poutre-poutre fléchie.

Cet effort est supposé agir au niveau du milieu de la semelle inférieure de la poutre. C'est le centre de compression de l'assemblage (cf. figure 6.15 de la norme NF EN 1993-1-8).

#### Note

- Pour attacher le moment capable de la poutre, il faut nécessairement :
- recourir à une rangée de boulons extérieure, pour garantir un bras de levier des boulons au moins égal à  $(h_b - t_{fb})$  ;
  - ou bien renforcer la section de la poutre (jarret, etc.), ce qui n'est pas traité dans cet ouvrage.

### 3.3.2 Résistance de la zone tendue

La démarche générale est décrite dans le tableau suivant :

|  | Rangée 1            | Rangée 2            | Rangée 3            | Groupe 2+3          | Rangée 4     | Groupe 3+4 | Groupe 2+3+4 |     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|------------|--------------|-----|
| Longueur du tronçon en T équivalent<br>(cf. paragraphe 3.3.2.1)                | $L_{eff}$           | $L_{eff}$           | $L_{eff}$           | $L_{eff}$           | ...          | ...        |              |     |
| Résistance du T sous les différents modes de ruine<br>(cf. paragraphe 3.3.2.2) | $F_{T,1,Rd}$<br>... | $F_{T,1,Rd}$<br>... | $F_{T,1,Rd}$<br>... | $F_{T,1,Rd}$<br>... | ...          | ...        |              |     |
| Résistance du T  | $F_{T,Rd}$          | $F_{T,Rd}$          | $F_{T,Rd}$          | $F_{T,Rd}$          | ...          | ...        |              |     |
| Assemblage des rangées et groupe de rangées<br>(cf. paragraphe 3.3.2.3)        |                     |                     |                     |                     |              |            |              |     |
|  | $F_{t,1,Rd}$        | $F_{t,2,Rd}$        | $F_{t,3,Rd}$        |                     | $F_{t,4,Rd}$ |            |              | ... |

Tableau 3.2 : Démarche de calcul.

#### 3.3.2.1 Longueur du tronçon en T équivalent

Le comportement de la partie tendue de l'assemblage est étudié en référence à celui d'un tronçon en T :

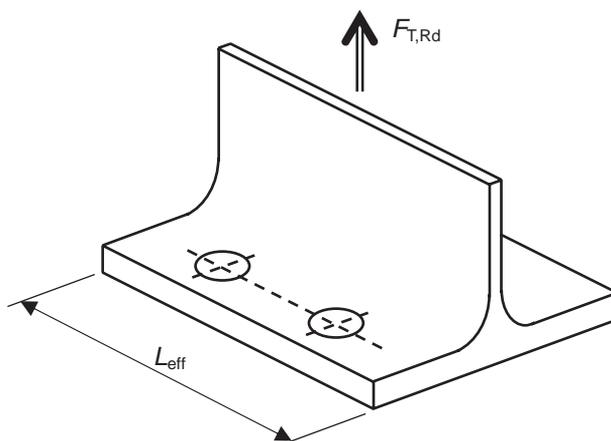


Figure 3.4 : Schéma pour le calcul du tronçon en T équivalent.

Chaque rangée de boulons ou chaque groupe de rangées de boulons se voit donc attribuer une longueur efficace  $L_{eff}$ , qui est la longueur du tronçon en T qui a la même résistance et la même rigidité que la rangée (ou le groupe de rangées) de boulons.

Cette longueur sera plus ou moins grande suivant la configuration de la ou des rangées de boulons : proximité d'un raidisseur, proximité d'un bord libre, etc.

C'est ce qui est explicité dans les tableaux des pages suivantes.

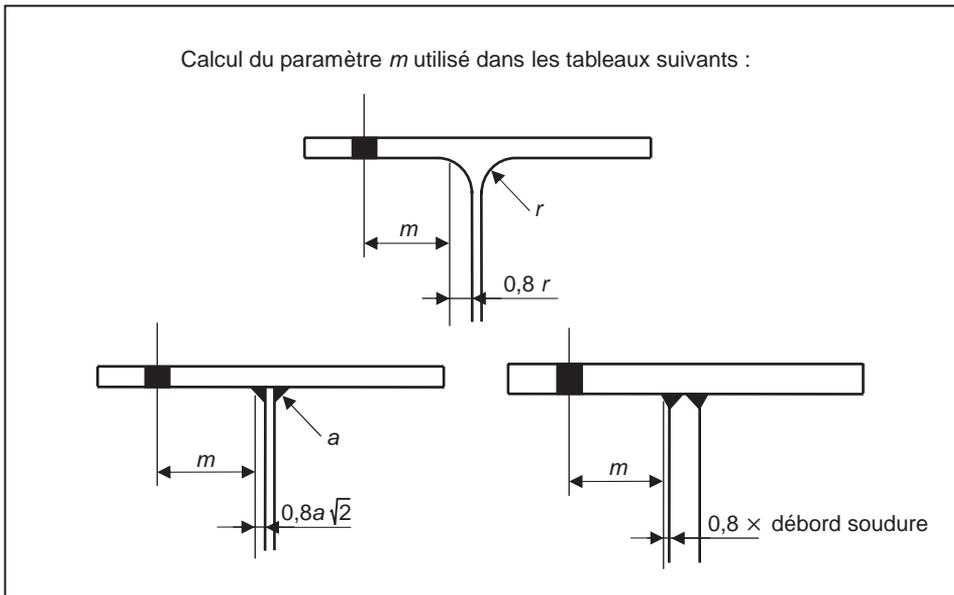


Figure 3.5 : Définition du paramètre  $m$ .

■ Rangée extérieure non raidie (cf. tableau 6.6 de la norme NF EN 1993-1-8)

|  |                            | Mode de ruine | Longueur du tronçon en T équivalent |   |
|--|----------------------------|---------------|-------------------------------------|---|
| Rangée extérieure non raidie                                   | Mécanismes circulaires     |               | $2\pi m_x$                          | $L_0 = \text{minimum de ces trois valeurs}$ |
|  |                            |               | $\pi m_x + w$                       |   |
|  |                            |               | $\pi m_x + 2e$                      |   |
|  | Mécanismes non circulaires |               | $4m_x + 1,25e$                      |   |
|  |                            |               | $e + 2m_x + 0,625 e_x$              |   |
|  |                            |               | $0,5b_p$                            |   |
|  |                            |               | $0,5w + 2m_x + 0,625 e_x$           |   |
|  |                            |               | $L_1 = \text{minimum}(L_0, L_2)$    | $L_2$                                       |
| À chaque valeur de L est liée sa valeur $m_{\text{associé}}$ . |                            |               |                                     |   |

Tableau 3.3 : Mécanisme de ruine dans le cas de la rangée extérieure non raidie.

■ Rangée extérieure raidie (cf. tableau 6.5 de la norme NF EN 1993-1-8)

Pour traiter la rangée de boulons extérieure raidie, on a utilisé, par analogie, les formules données pour la rangée d'extrémité adjacente à un raidisseur, dans le cas de la semelle de poteau raidie (cette analogie est utilisée dans l'article de I. Ryan dans la revue *Construction Métallique* n° 3, 2006 [6]).

|  |                                  | Mode de ruine | Longueur du tronçon en T équivalent   |   |
|--|----------------------------------|---------------|---|---|
| Rangée extérieure raidie                                       | Mécanismes circulaires           |               | $2\pi m_{\min}$ $m_{\min} = \min(m, m_2)$ $(m_{\text{associé}} = m_{\min})$   | $L_0 = \text{minimum}$<br>de ces trois valeurs  |
|  |                                  |               | $\pi m_{\min} + 2e$ $(m_{\text{associé}} = m_{\min})$   |   |
|  |                                  |               | $\pi m_{\min} + 2e_1$ $(m_{\text{associé}} = m_{\min})$   |   |
|  | Mécanismes non circulaires       |               | $\alpha m \quad \alpha(\lambda_1, \lambda_2)$ avec $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$<br>$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$<br>$(m_{\text{associé}} = m)$                   | $L_2 = \text{minimum}$<br>de ces quatre valeurs |
|  |                                  |               | $\alpha' m_2 \quad \alpha'(\lambda'_1, \lambda'_2)$ avec $\lambda'_1 = \frac{m_2}{m_2+e_1}$<br>$\lambda'_2 = \frac{m}{m_2+e_1}$<br>$(m_{\text{associé}} = m_2)$ |   |
|  |                                  |               | $e_1 + \alpha m \quad (2m + 0,625e)$ $(m_{\text{associé}} = m)$   |   |
|  |                                  |               | $e + \alpha' m_2 \quad (2m_2 + 0,625e_1)$ $(m_{\text{associé}} = m_2)$  |   |
|  | $L_1 = \text{minimum}(L_0, L_2)$ |               | $L_2$   |   |
| À chaque valeur de L est liée sa valeur $m_{\text{associé}}$ . |                                  |               |   |   |

Tableau 3.4 : Mécanismes de ruine dans le cas de la rangée extérieure raidie.

Détermination de  $\alpha$  (cf. figure 6.11 de la norme NF EN 1993-1-8) :

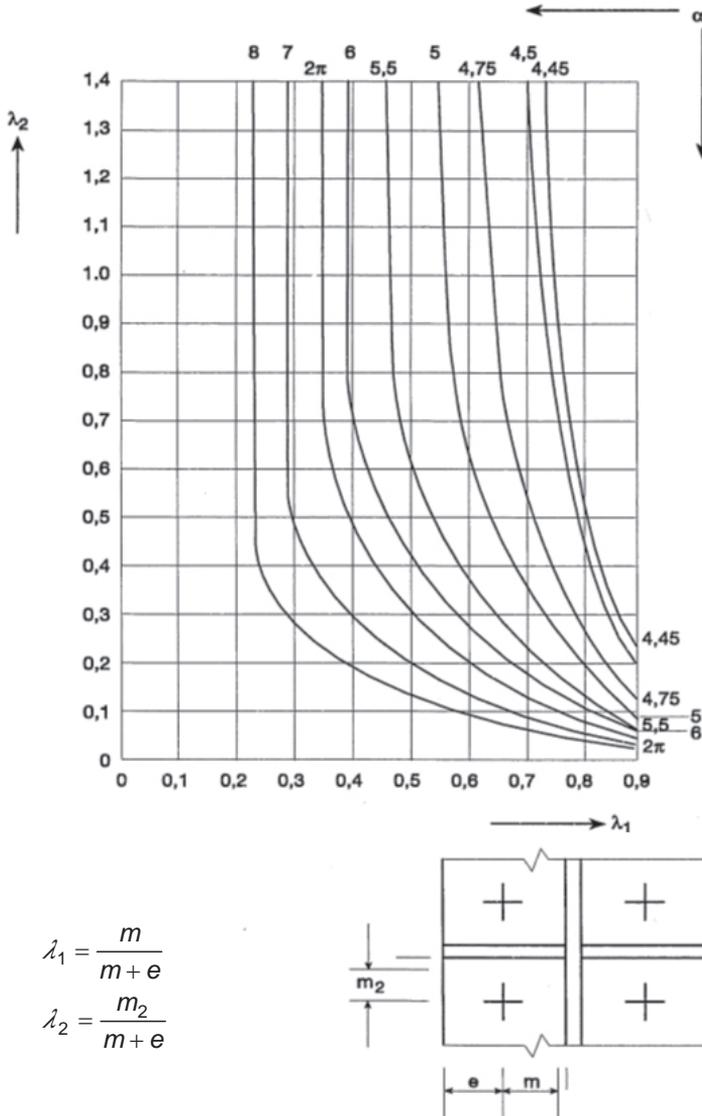


Figure 3.6 : Valeurs de  $\alpha$  pour les semelles de poteau raidies et les platines d'about.

- Rangée intérieure et rangée centrale (cf. le tableau 6.6 de l'EN 1993-1-8)

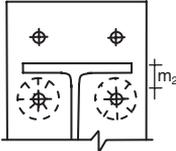
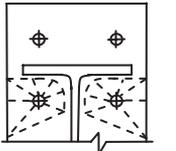
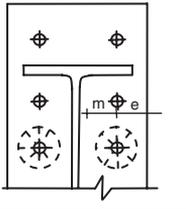
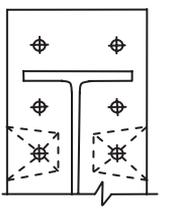
|                   |                            | Mode de ruine   | Longueur du tronçon en T équivalent  |       |
|-------------------|----------------------------|---|--|-------|
| Rangée intérieure | Mécanismes circulaires     |    | $2 \pi m$  | $L_0$ |
|                   | Mécanismes non circulaires |    | $\alpha m$ avec $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$<br>$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ | $L_2$ |
|                   |                            |   | $L_1 = \text{minimum } (L_0, L_2)$<br>( $m_{\text{associé}} = m$ )           | $L_2$ |
| Rangée centrale   | Mécanismes circulaires     |   | $2 \pi m$  | $L_0$ |
|                   | Mécanismes non circulaires |  | $4m + 1,25e$   | $L_2$ |
|                   |                            |   | $L_1 = \text{minimum } (L_0, L_2)$<br>( $m_{\text{associé}} = m$ )           | $L_2$ |

Tableau 3.5 : Mécanismes de ruine pour la rangée intérieure et la rangée centrale.

- Groupes de rangées (cf. tableau 6.6 de la norme NF EN 1993-1-8)

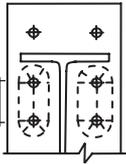
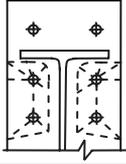
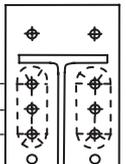
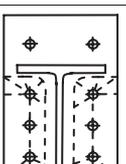
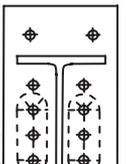
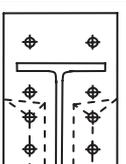
|                                   |                            | Mode de ruine   | Longueur du tronçon en T équivalent  |       |
|-----------------------------------|----------------------------|---|--|-------|
| Groupe de rangées 2 + 3           | Mécanismes circulaires     |    | $2\pi m + 2\rho =$<br>$(\pi m + \rho)$<br>$+(\pi m + \rho)$  | $L_0$ |
|                                   | Mécanismes non circulaires |    | $\alpha m + \rho =$<br>$(\alpha m - (2m + 0,625e) + 0,5\rho)$<br>$+(2m + 0,625e) + 0,5\rho$  | $L_2$ |
|                                   |                            |   | $L_1 = \text{minimum } (L_0, L_2)$<br>$(m_{\text{associé}} = m)$   | $L_2$ |
| Groupe de rangées 2 + 3 + 4 + ... | Mécanismes circulaires     |    | $2\pi m + 2\sum \rho_i =$<br>$(\pi m + \rho_1)$<br>$+(\rho_1 + \rho_2)$<br>$+(\pi m + \rho_2)$                                       | $L_0$ |
|                                   | Mécanismes non circulaires |   | $\alpha m + \sum \rho_i =$<br>$(\alpha m - (2m + 0,625e) + 0,5\rho_1)$<br>$+(0,5\rho_1 + 0,5\rho_2)$<br>$+(2m + 0,625e) + 0,5\rho_2$ | $L_2$ |
|                                   |                            |   | $L_1 = \text{minimum } (L_0, L_2)$<br>$(m_{\text{associé}} = m)$   | $L_2$ |
| Groupe de rangées 3 + 4 + ...     | Mécanismes circulaires     |  | $2\pi m + 2\sum \rho_i =$<br>$(\pi m + \rho_1)$<br>$+(\rho_1 + \rho_2)$<br>$+(\pi m + \rho_2)$                                       | $L_0$ |
|                                   | Mécanismes non circulaires |  | $4m + 1,25e + \sum \rho_i =$<br>$+(2m + 0,625e) + 0,5\rho_1)$<br>$+(0,5\rho_1 + 0,5\rho_2)$<br>$+(2m + 0,625e) + 0,5\rho_2)$         | $L_2$ |
|                                   |                            |   | $L_1 = \text{minimum } (L_0, L_2)$<br>$(m_{\text{associé}} = m)$   | $L_2$ |

Tableau 3.6 : Mécanismes de ruine pour les groupes de rangées.

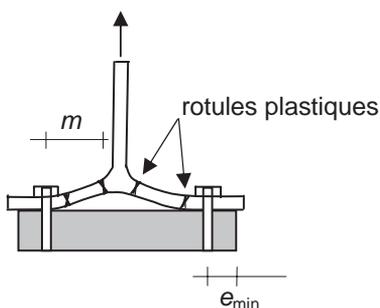
**3.3.2.2 Résistance du T équivalent sous les différents modes de ruine**

Les cinq modes de ruine d'un tronçon en T (cf. tableau 6.2 et article 6.2.6.8 de la norme NF EN 1993-1-8) sont les suivants :

**■ Mode 1**

Mécanisme complet de plastification de la semelle :

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m_{\text{associé}}}$$



$$n = \min(e_{\min} ; 1,25 \text{ m})$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{L_{\text{eff}} t_f^2 f_y}{4 M_0}$$

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,Rd} (L_{\text{eff}} = L_1)$$

$$M_{pl,2,Rd} = M_{pl,Rd} (L_{\text{eff}} = L_2)$$

$$L_b^* = \frac{8,8 m^3_{\text{associé}} n b_{\text{rangées}} A_s}{L_1 t_f^3}$$

Figure 3.7 : Plastification complète de la semelle.

**■ Mode 2**

Mécanisme partiel de plastification de la semelle et rupture des boulons :

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m_{\text{associé}} + n}$$

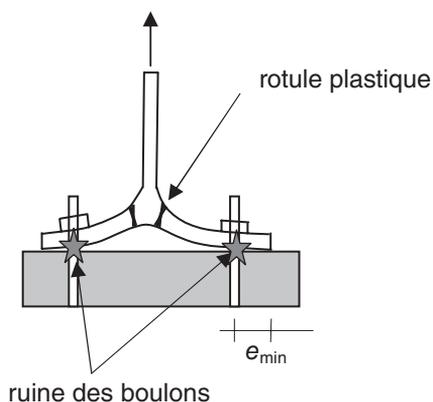


Figure 3.8 : Plastification partielle de la semelle et rupture des boulons.

■ Mode 3

Rupture des boulons :

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

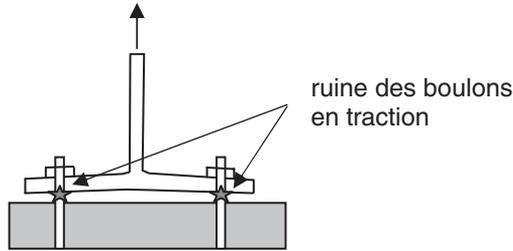


Figure 3.9 : Rupture des boulons.

■ Mode 1-2

Si les boulons sont flexibles, ils ne peuvent pas plaquer suffisamment la semelle pour imposer un mode 1 ou un mode 2. On obtient dans ce cas un mode 1-2.

Les boulons sont considérés flexibles si :  $L_b > L_b^*$

$$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m_{associé}}$$

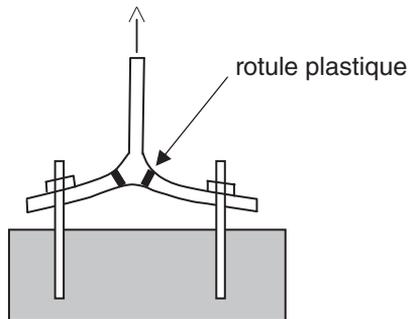


Figure 3.10 : Plastification de la semelle et allongement des boulons.

## ■ Mode 4

Plastification de l'âme tendue :

$$F_{T,4,Rd} = F_{tw,Rd} = \frac{L_{\text{eff}} t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

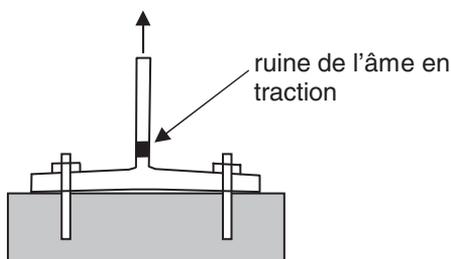


Figure 3.11 : Plastification de l'âme tendue.

Dans les formules précédentes,  $F_{t,Rd}$  est la résistance à la traction d'un boulon (cf. tableau 3.4 de la norme NF EN 1993-1-8) :

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}, \text{ avec } \gamma_{M2} = 1,25.$$

$L_b$  est la longueur du boulon soumise à allongement : longueur de serrage (épaisseur totale du matériau et des rondelles) + 0,5 × [hauteur de la tête + hauteur de l'écrou].

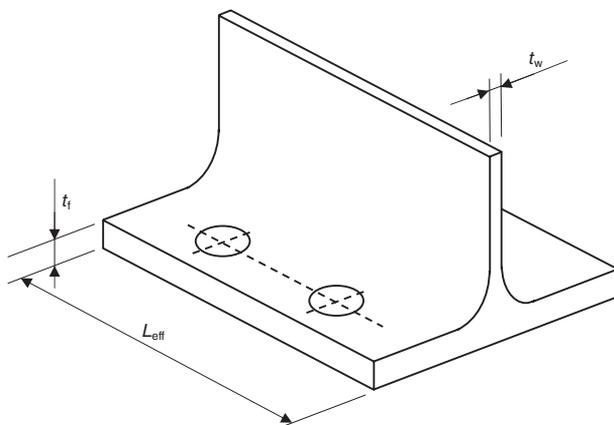


Figure 3.12 : Tronçon en T équivalent.

À partir des longueurs efficaces déterminées au paragraphe 3.3.2.1 de ce guide, et des formules ci-dessus, on peut remplir toutes les cases du tableau ci-dessous, et en déduire la résistance de chaque ligne du tableau (cf. clauses 6.2.4.1 (6) et 6.2.4.1 (7) de la norme **NF EN 1993-1-8**) :

$\min (F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}, F_{T,4,Rd})$  ou  $\min (F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}, F_{T,4,Rd})$

|                  | Mode 1            | Mode 2       | Mode 3       | Mode 4       | Résistance =<br>minimum des<br>différents modes |
|------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|---|
|                  | Mode 1-2          |              |              |              |   |
| Rangée 1         | $F_{T,1,Rd}$      | $F_{T,2,Rd}$ | $F_{T,3,Rd}$ | $F_{T,4,Rd}$ | $F_{T,Rd}^1$                                    |
|                  | ou $F_{T,1-2,Rd}$ |              |              |              |   |
| Rangée 2         | ...               | ...          | ...          | ...          | $F_{T,Rd}^2$                                    |
|                  | ...               |              |              |              |   |
| Rangée 3         |                   |              |              |              | $F_{T,Rd}^3$                                    |
|                  |                   |              |              |              |   |
| Groupe 2 + 3     |                   |              |              |              | $F_{T,Rd}^{2+3}$                                |
|                  |                   |              |              |              |   |
| Rangée 4         |                   |              |              |              | $F_{T,Rd}^4$                                    |
|                  |                   |              |              |              |   |
| Groupe 3 + 4     |                   |              |              |              | $F_{T,Rd}^{3+4}$                                |
|                  |                   |              |              |              |   |
| Groupe 2 + 3 + 4 |                   |              |              |              | $F_{T,Rd}^{2+3+4}$                              |
|                  |                   |              |              |              |   |
| Etc.             | ...               |              |              |              | ...   |

*Tableau 3.7 : Restitution tabulée des résultats par mode de ruine.*

■ **Cas particulier : mode 4 pour les rangées 1 et 2**

La formule du mode 4 (cf. article 6.2.6.8 de la norme **NF EN 1993-1-8**) fait référence à l'épaisseur de l'âme, ce qui se comprend bien pour des boulons intérieurs, qui transmettent leur effort vers l'âme de la poutre située à proximité, mais est paradoxal pour les boulons extérieurs, qui sont loins de l'âme.

Comme le texte de la norme (cf. article 6.2.6.8 de la norme NF EN 1993-1-8) ne donne pas de précisions particulières pour les rangées 1 et 2, on se réfère aux clauses 6.2.6.3 (5) et 6.2.6.3 (6) de la norme NF EN 1993-1-8, qui évoquent la possibilité d'augmenter la résistance d'une semelle de poteau avec des raidisseurs transversaux. La semelle de la poutre joue manifestement pour la platine le rôle des raidisseurs transversaux pour les semelles du poteau.

La résistance du mode 4 devient donc, pour la rangée intérieure :

$$F_{T,4,Rd} = \frac{L_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} + \frac{L_f \left(\frac{t_f}{2}\right) f_y}{\gamma_{M0}}$$

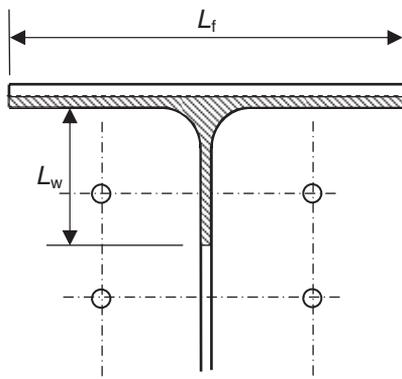


Figure 3.13 : Schématisation du mode de ruine 4, rangée intérieure.

Pour la rangée extérieure non raidie :

$$F_{T,4,Rd} = \frac{L_f \left(\frac{t_f}{2}\right) f_y}{\gamma_{M0}}$$

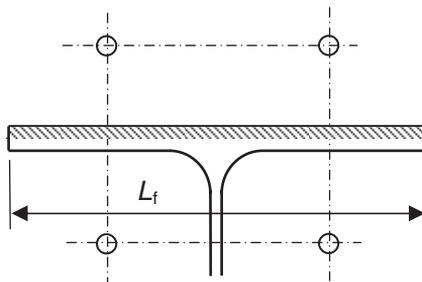


Figure 3.14 : Schématisation du mode de ruine 4, rangée extérieure non raidie.

Pour la rangée extérieure raidie :

$$F_{T,4,Rd} = \frac{h_{st} t_{si} f_y}{\gamma_{M0}} + \frac{L_f \left( \frac{t_f}{2} \right) f_y}{\gamma_{M0}}$$

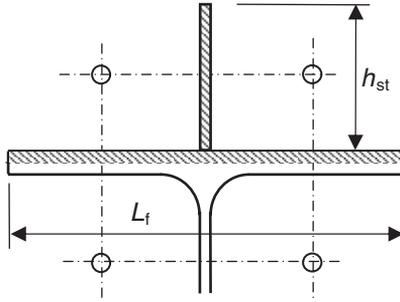


Figure 3.15 : Schématisation du mode de ruine 4, rangée extérieure raidie.

### 3.3.2.3 Résistance de chaque rangée : assemblage des résistances des rangées et groupes

On détermine successivement les résistances des rangées en partant de la première (cf. clauses 6.2.7.2 (3) et 6.2.7.2 (8) de la norme NF EN 1993-1-8) :

|                  | Résistance<br>(cf. paragraphe<br>3.3.2.2) |           | Résistance<br>rangée |
|------------------|---|-----------|----------------------|
| Rangée 1         | $F_{T,Rd}^1$                              | —————→    |                      |
| Rangée 2         | $F_{T,Rd}^2$                              | —————→    |                      |
| Rangée 3         | $F_{T,Rd}^3$                              | } minimum | —————→               |
| Groupe 2 + 3     | $F_{T,Rd}^{2+3}$                          |           |                      |
| Rangée 4         | $F_{T,Rd}^4$                              | } minimum | —————→               |
| Groupe 3 + 4     | $F_{T,Rd}^{3+4}$                          |           |                      |
| Groupe 2 + 3 + 4 | $F_{T,Rd}^{2+3+4}$                        |           |                      |
| Etc.             | ...                                       |           |                      |

Tableau 3.8 : Résistance par rangée et groupe de boulons.

Le tableau ci-dessus exprime qu'une rangée ne peut atteindre sa résistance maximale que si la résistance des groupes auxquels elle appartient n'est pas dépassée.

### 3.3.3 Résistance de l'assemblage

Les paragraphes 3.3.1 et 3.3.2 de ce guide ont permis de calculer une résistance maximale en compression, et pour chaque rangée de boulons, une résistance maximale en traction.

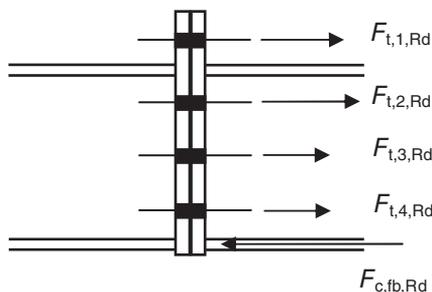


Figure 3.16 : Efforts dans les composants de l'attache.

Le moment résistant de l'assemblage est calculé à partir des résistances des rangées en traction, dont les valeurs sont éventuellement tronquées pour satisfaire aux limitations suivantes.

- Insuffisance de capacité de rotation de l'assemblage (cf. clause 6.2.7.2 (9) de la norme NF EN 1993-1-8)

Lors d'une mise en charge progressive, le comportement de l'attache est idéalement le suivant :

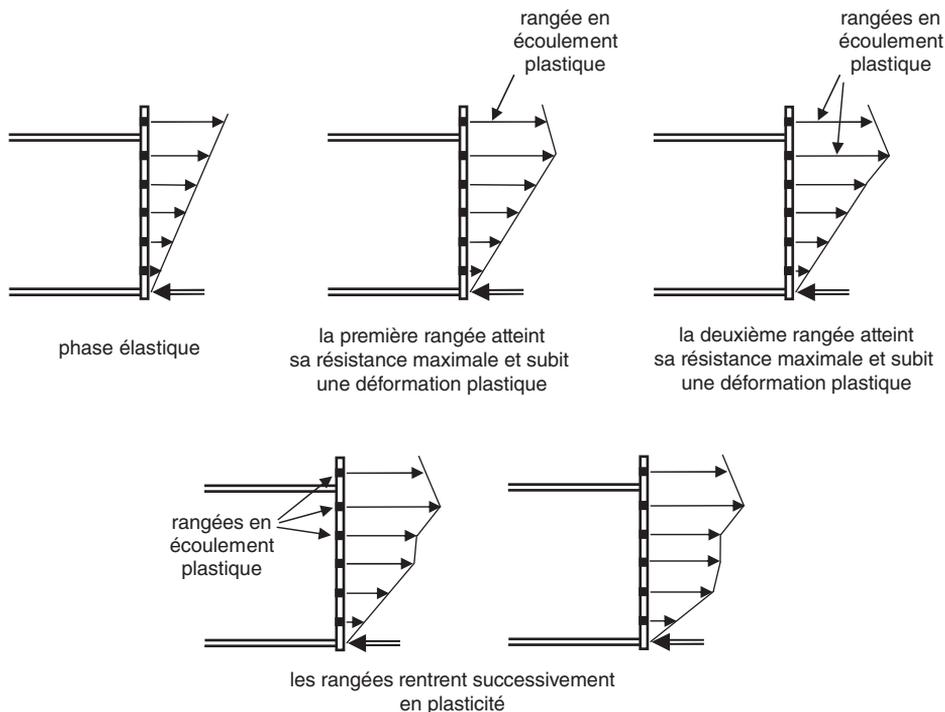


Figure 3.17 : Cinématique du comportement de l'attache.

Si une rangée de boulons supérieure a une capacité de déformation plastique trop limitée, elle bloque ce processus et empêche donc les rangées inférieures d'atteindre leur pleine capacité.

La capacité de déformation plastique d'une rangée est jugée insuffisante si :  $F_{t,i,Rd} > 1,9F_{t,Rd}$  (cette condition exprime que ce sont les boulons en traction qui sont jugés manquer de ductilité, et pas les platines et semelles qui sont fléchies).

Lorsque cette condition est remplie pour une rangée de boulons, on limite la capacité résistante des rangées situées en dessous : répartition triangulaire.

L'Annexe Nationale de la norme NF EN 1993-1-8 impose de plus une limitation suivant la répartition triangulaire suivante :

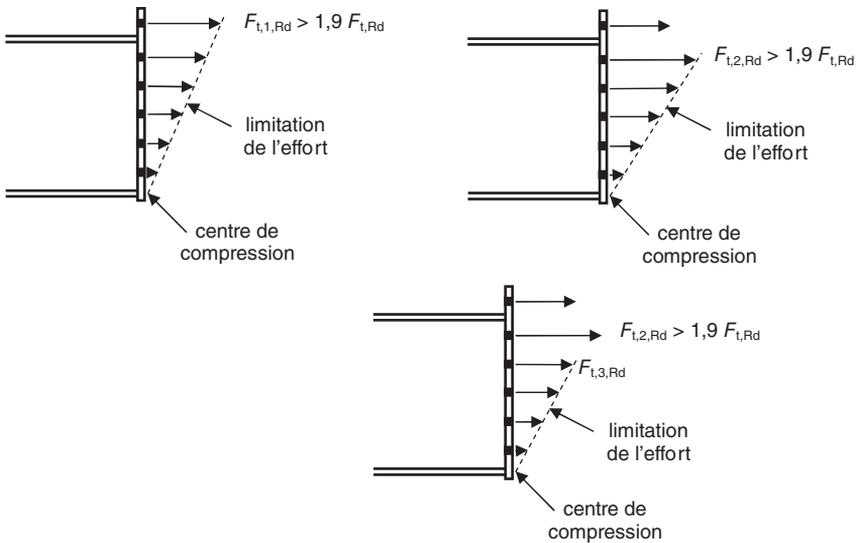


Figure 3.18 : Limitation des efforts dans les boulons.

Ce dernier schéma de limitation doit aussi être utilisé si c'est la composante en compression qui limite la résistance de l'assemblage (c'est-à-dire si l'on est dans le cas ci-dessous).

- Atteinte de la résistance maximale en compression (cf. clause 6.2.7.2 (7) de la norme NF EN 1993-1-8)

Il convient que :  $\sum_r F_{t,r,Rd} < F_{c,fb,Rd}$ .

Pour satisfaire à cette condition, on néglige la résistance des rangées de boulons les plus proches du centre de compression.

Finalement, la résistance de l'assemblage est calculée comme suit (cf. clause 6.2.7.2 (1) de la norme NF EN 1993-1-8) :

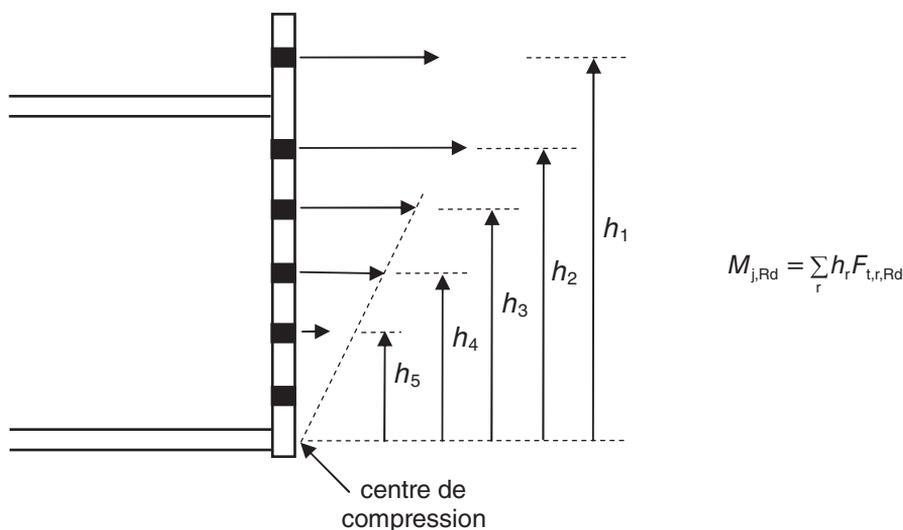


Figure 3.19 : Schéma de calcul du moment résistant.

Ce moment résistant reste inchangé si l'effort normal  $N_{j,Ed}$  dans la barre reste inférieur à 5 % de sa résistance  $N_{pl,Rd}$  (cf. clause 6.2.3 (2) de la norme NF EN 1993-1-8).

#### Note

La valeur du moment résistant  $M_{j,Rd}$  est indépendante de la nature (HR ou ordinaire) des boulons.

### 3.3.4 Résistance à l'effort tranchant

On peut calculer l'effort tranchant  $V_{Rd}$  auquel l'assemblage peut résister, sans que cela affecte sa capacité en flexion (c'est-à-dire, sans que  $M_{j,Rd}$  ne change). Cette valeur est calculée ici pour des boulons ordinaires.

La capacité d'un boulon au cisaillement est (cf. tableau 3.4 de la norme NF EN 1993-1-8) :

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_V f_{ub} A}{\gamma_{M2}} ;$$

$$\gamma_{M2} = 1,25.$$

|                               | Section            | $\alpha_V$ |     |     |     |     |     |      |
|-------------------------------|--------------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                               |                    | 4,6        | 4,8 | 5,6 | 5,8 | 6,8 | 8,8 | 10,9 |
| Cisaillement en partie lisse  | A                  | 0,6        |     |     |     |     |     |      |
| Cisaillement en partie fileté | A = A <sub>e</sub> | 0,6        | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,5  |

Tableau 3.9 : Coefficient de cisaillement des boulons.

Soit  $N_1$  le nombre de rangées de boulons qui ne sont pas utilisées pour reprendre de la traction (rangées proches du centre de compression).

Soit  $N_2$  le nombre de rangées de boulons utilisées pour reprendre de la traction.

$$V_{Rd} = 2N_1 F_{V,Rd} + 2N_2 \frac{0,4}{1,4} F_{V,Rd}$$

(cf. clause 6.2.2 (2) de la norme NF EN 1993-1-8).

### 3.3.5 Soudures de la platine

Les soudures de la platine doivent être dimensionnées pour que le moment résistant de l'assemblage soit limité par les autres composantes de base, et non par les soudures.

Un moyen d'y parvenir est de réaliser des soudures à pleine résistance, capables de transmettre tout effort présent dans l'âme ou la semelle attachées (voir la méthode de calcul des soudures utilisée pour l'établissement des tables au paragraphe 3.8.1 de ce guide).

#### Note

Les soudures à pleine résistance ne sont pas forcément nécessaires. Par exemple, pour une platine mince dont la résistance est gouvernée par le mode 1 (plastification complète de la platine), il est inutile de réaliser des soudures qui attachent la résistance du mode 4 (traction dans l'âme).

### 3.4 Attaches poteau-poutre – Résistance

Le diagramme suivant donne la méthodologie générale du calcul :

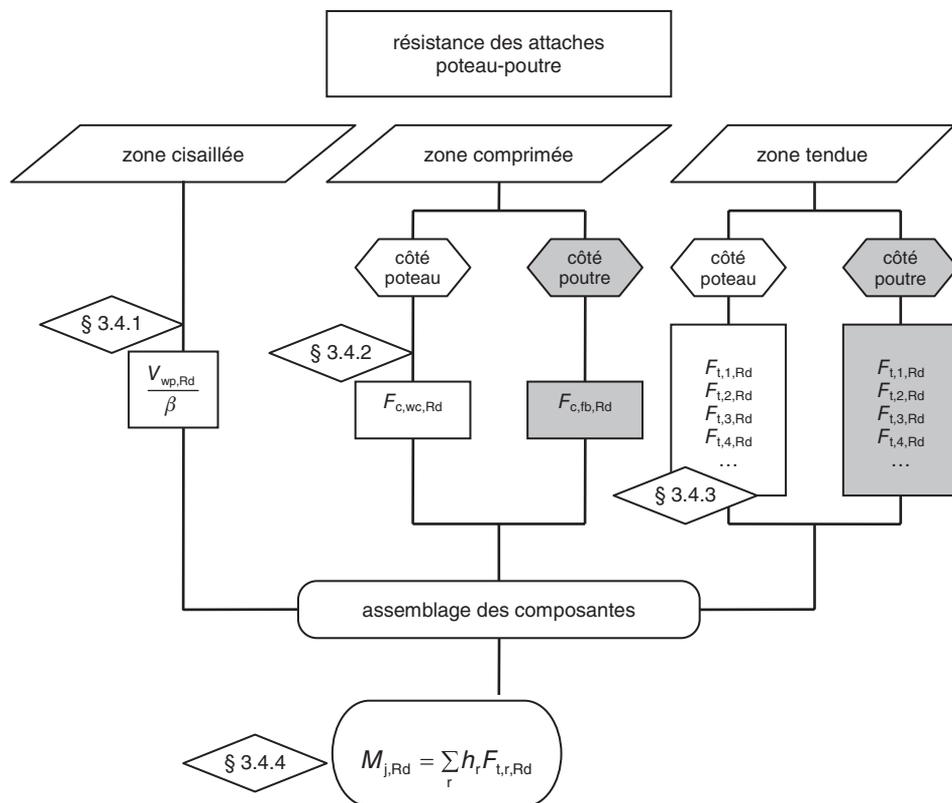


Figure 3.20 : Logigramme de justification d'une attache poteau-poutre.

Le tableau suivant décrit l'enchaînement des calculs.

|  |   | Dans ce guide   | Dans la norme NF EN 1993-1-8  |
|--|---|---|---|
| Résistance de la zone cisailée                           | Calcul de $V_{wp,Rd}$ et $\beta$                      |   | Paragraphe 3.4.1<br>Articles 6.2.6.1 et 5.3                         |
| Résistance de la zone comprimée                          | Calcul de $F_{c,fb,Rd}$                               |   | Paragraphe 3.3.1<br>Clause 6.2.6.7 (1) et figure 6.15               |
|  | Calcul de $F_{c,wc,Rd}$                               |   | Paragraphe 3.4.2<br>Article 6.2.6.2                                 |
| Résistance de la zone tendue                             | Côté poutre   | Détermination des longueurs $L_{eff}$ des tronçons en T équivalents         | Paragraphe 3.3.2.1<br>Articles 6.2.6.5 et 6.2.6.4.2                 |
|  |   | Détermination de la résistance de chaque rangée et chaque groupe de boulons | Paragraphe 3.3.2.2<br>Articles 6.2.4.1 et 6.2.6.8                   |
|  | Côté poteau   | Détermination des longueurs $L_{eff}$ des tronçons en T équivalents         | Paragraphe 3.4.3.1<br>Article 6.2.6.4                               |
|  |   | Détermination de la résistance de chaque rangée et chaque groupe de boulons | Paragraphe 3.4.3.2<br>Articles 6.2.4.1 et 6.2.6.3                   |
|  | Assemblage des résistances des rangées et des groupes |   | Paragraphe 3.4.3.3<br>Article 6.2.4.2 et clauses 6.2.7.2 (8) et (3) |
| Assemblage des résistances des zones comprimée et tendue | Limitation des résistances des rangées de boulons     |   | Paragraphe 3.4.4<br>Clauses 6.2.7.2 (7) et (9) et Annexe Nationale  |
|  | $M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{t,r,Rd}$                    |   | Clause 6.2.7.2 (1)  |

*Tableau 3.10 : Enchaînement des calculs de justifications pour la résistance des attaches poteau-poutre.*

### 3.4.1 Résistance de la zone cisailée

La résistance de cette composante est  $\frac{V_{wp,Rd}}{\beta}$  (cf. clause 6.2.7.2 (7) de la norme NF EN 1993-1-8).

- Paramètre  $\beta$  : configuration de l'assemblage (cf. clauses 5.3 (7) à 5.3 (9) de la norme NF EN 1993-1-8)

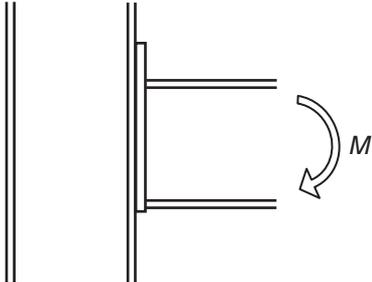
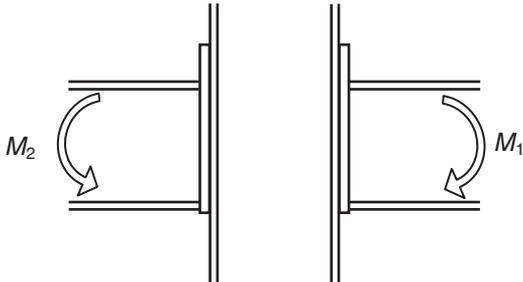
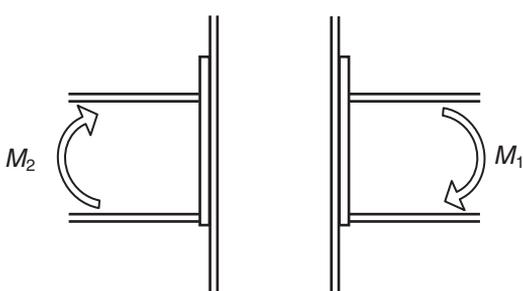
|   |   | Paramètre de transformation $\beta$ |
|---|---|-------------------------------------|
|    | Le panneau d'âme doit équilibrer le cisaillement dû à $M$   | 1                                   |
|   | Si $M_1 = M_2$ , pas de cisaillement du panneau d'âme   | 0                                   |
|  | Les cisaillements dus à $M_1$ et $M_2$ s'ajoutent<br><br>La résistance et la rigidité du panneau d'âme sont divisées par deux | 2                                   |

Tableau 3.11 : Paramètre de transformation  $\beta$ .

Dans le cas général :  $\beta_{\text{côté 1}} = \left| 1 - \frac{M_{j,2,Ed}}{M_{j,1,Ed}} \right| \leq 2$

■ Résistance du poteau non raidi

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{Mo}}, \text{ où } A_{vc} \text{ est l'aire de cisaillement du poteau}$$

(cf. clause 6.2.6.1 (2) de la norme NF EN 1993-1-8).

Si l'élancement de l'âme est trop grand ( $d/t_w > 69\varepsilon$ ), la résistance doit être minorée, en tenant compte du risque de voilement.

■ Raidissage par doublure(s) d'âme (cf. clauses 6.2.6.1 (6) à 6.2.6.1 (14) de la norme NF EN 1993-1-8)

Dispositions constructives :

- $t_s \geq t_{wc}$  ;
- $b_s \geq d_{wc}$  (la doublure s'étend jusqu'au pied du congé âme-semelle) ;
- $t_s \geq \frac{b_s}{40\varepsilon}$  ;
- nuance d'acier = celle du poteau.

$A_{vc}$  est augmentée de la quantité  $b_s t_{wc}$  (même si l'épaisseur de la doublure ou des doublures est bien plus grande que  $t_{wc}$  ; pour la résistance, une deuxième doublure de l'autre côté de l'âme n'apporte rien).

■ Raidissage par raidisseurs transversaux (cf. clause 6.2.6.1 (4) de la norme NF EN 1993-1-8)

Les semelles et les raidisseurs forment un cadre dont la résistance plastique est la plus petite des deux valeurs :

$$V_{wp,add,Rd} = \begin{cases} \frac{4 M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \\ \frac{2 M_{pl,fc,Rd} + 2 M_{pl,st,Rd}}{d_s} \end{cases}$$

$V_{wp,add,Rd}$  est à rajouter à  $V_{wp,Rd}$ .

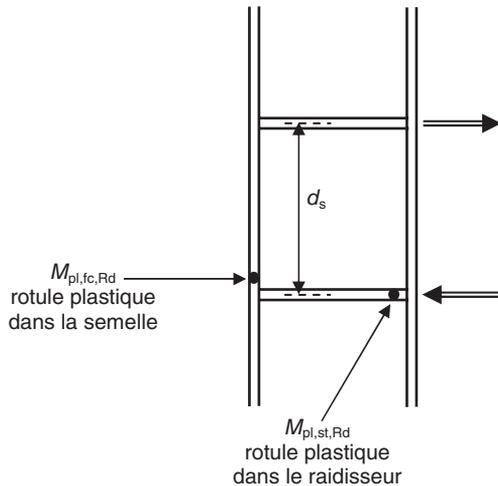


Figure 3.21 : Plastifications dans le cas d'un poteau raidi.

### 3.4.2 Résistance de la zone comprimée

Pour ce qui concerne le côté poutre ( $F_{c,fb,Rd}$ ), se référer au paragraphe 3.3.1 de ce guide.

#### 3.4.2.1 Âme non raidie

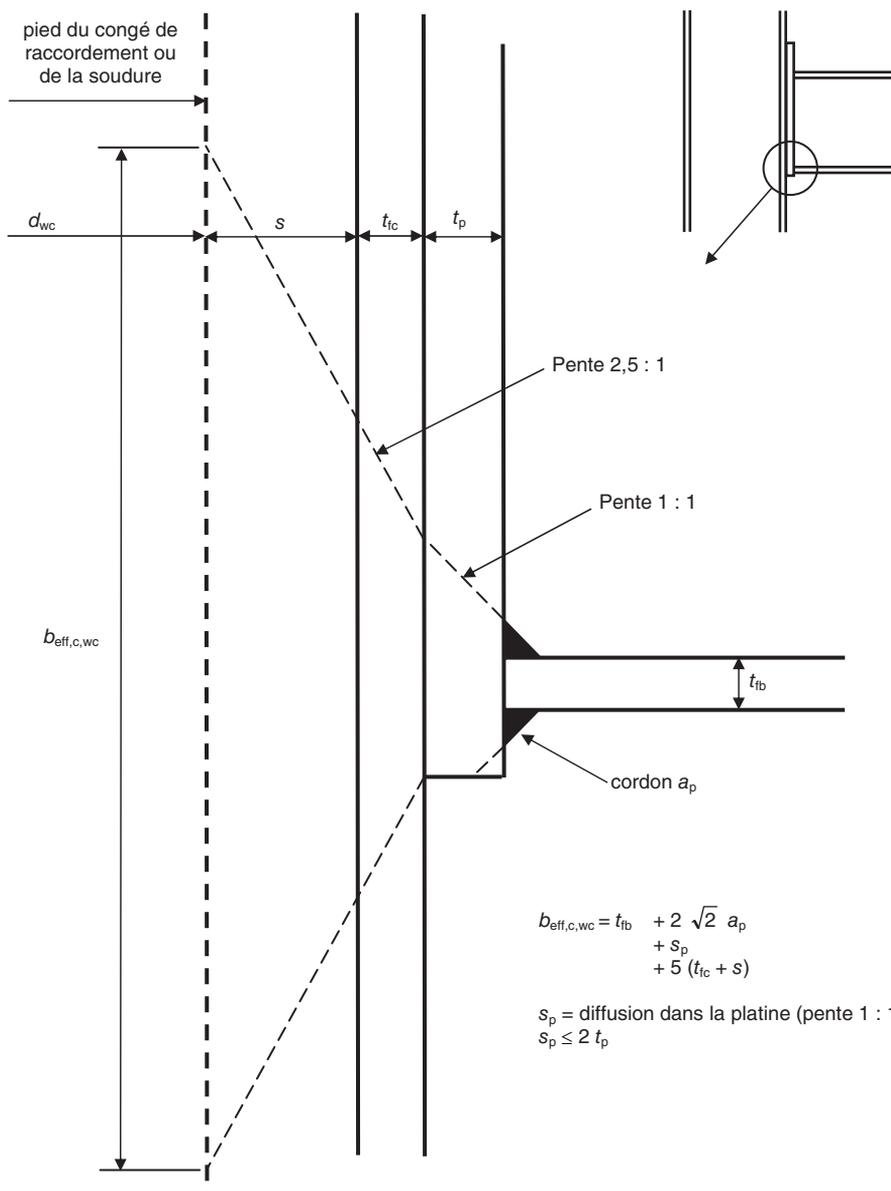


Figure 3.22 : Diffusion de la compression dans l'âme du poteau.

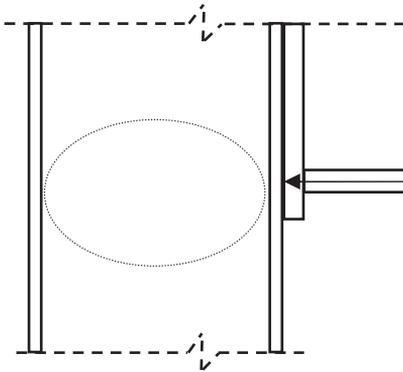
$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} \rho b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}$$

(cf. clause 6.2.6.2 (1) de la norme NF EN 1993-1-8) ;

où :

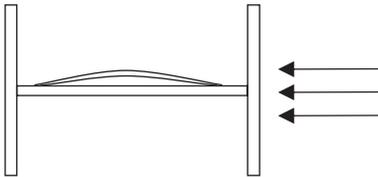
- $\omega$  est l'interaction avec le cisaillement de l'âme du poteau ;
- $k_{wc}$  est l'interaction avec la contrainte de compression dans l'âme du poteau ;
- $\rho$  est la réduction pour risque de voilement de l'âme ;
- $b_{\text{eff},c,wc}$  est la hauteur efficace comprimée.

■ Voilement de l'âme sous compression



élancement réduit :

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}}$$



$$\text{si } \bar{\lambda}_p \leq 0,72 \quad \rho = 1$$

$$\text{si } \bar{\lambda}_p > 0,72 \quad \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,2}{\bar{\lambda}_p^2}$$

Figure 3.23 : Zone de voilement de l'âme du poteau.

■ Interaction avec la contrainte de compression dans l'âme du poteau

Cette interaction n'est à prendre en compte que si la contrainte de compression dépasse 70 % de la limite élastique. Dans ce cas, se reporter à la clause 6.2.6.2 (2) de la norme NF EN 1993-1-8.

■ Interaction avec le cisaillement de l'âme de poteau

En écrivant que la combinaison dans l'âme de la contrainte de compression (sur la section  $b_{\text{eff},c,wc} t_{wc}$ ) et de la contrainte de cisaillement (sur la section  $A_{vc}$ ) doit rester inférieure à la limite élastique, on obtient le coefficient de réduction  $\omega_1$  :

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \left( \frac{b_{\text{eff},c,wc} t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

Le coefficient  $\beta$  (cf. paragraphe 3.4.1 de ce guide) permet de pondérer  $\omega_1$  en tenant compte du degré de sollicitation du panneau d'âme de poteau par le cisaillement.

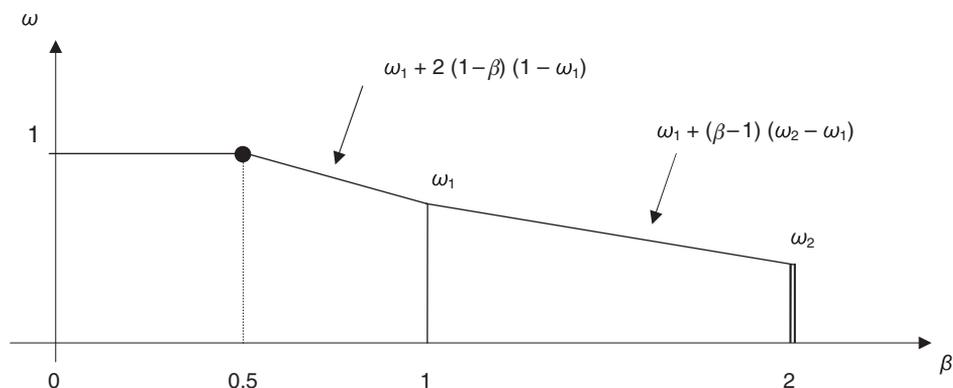


Figure 3.24 : Valeurs de  $\omega$  en fonction de  $\beta$ .

Avec : 
$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2 \left( \frac{b_{\text{eff},c,wc} t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}}$$

**3.4.2.2 Raidissage par doublure d'âme (cf. clause 6.2.6.2. (6) de la norme NF EN 1993-1-8)**

Dans les calculs du paragraphe 3.4.2.1 de ce guide, on tient compte de l'augmentation de résistance en remplaçant  $t_{wc}$  par  $t_{wc \text{ eff}}$  :

$t_{wc \text{ eff}} = 1,5 t_{wc}$  si doublure d'âme d'un seul côté ;

$t_{wc \text{ eff}} = 2,0 t_{wc}$  si doublure d'âme de part et d'autre.

Mais la valeur de  $A_{vc}$  qui intervient dans le calcul de  $\omega_1$  et  $\omega_2$  est à trouver au paragraphe 3.4.1 de ce guide.

### 3.4.2.3 Raidissage transversal (cf. clause 6.2.6.2 (5) de la norme NF EN 1993-1-8)

Les résistances de l'âme du poteau et des raidisseurs s'ajoutent :

$$F_{c,c,Rd} = F_{c,wc,Rd} + F_{c,st,Rd} ;$$

- $F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ , le voilement est empêché par le raidisseur (pas de coefficient  $\rho$ ). Dans le calcul de  $\omega_1$  et  $\omega_2$ , on remplace  $b_{eff,c,wc} t_{wc}$  par  $(b_{eff,c,wc} t_{wc} + A_{st})$  ;

- $F_{c,st,Rd} = \frac{A_{st} f_{y,st}}{\gamma_{M0}}$ .

### 3.4.3 Résistance de la zone tendue

Pour ce qui concerne le côté poutre, se référer au paragraphe 3.3.2 de ce guide.

#### Note

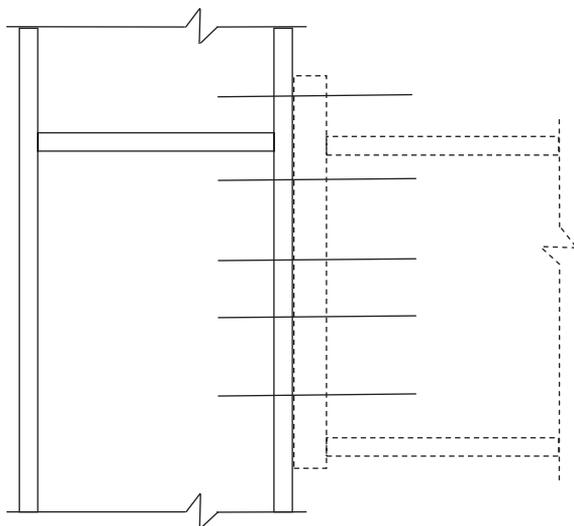
Les valeurs de  $e_{min}$  et de  $L_b$  peuvent être modifiées, par rapport à une attache poutre-poutre.

Pour le côté poteau, la démarche générale est identique à celle du côté poutre.

### 3.4.3.1 Longueur du tronçon en T équivalent

On rencontre certaines particularités pour le calcul des longueurs des tronçons équivalents en T :

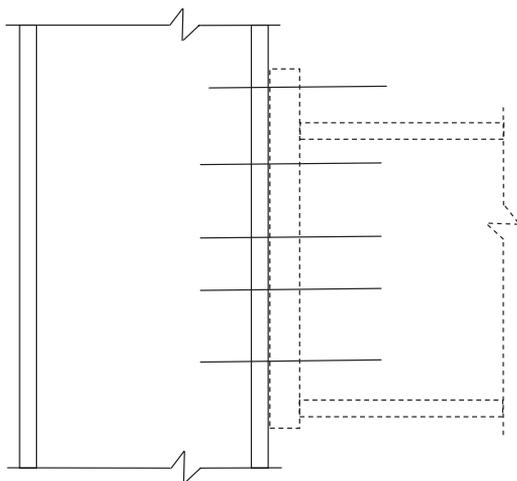
- cas du poteau raidi en partie tendue :



**rangée 1 :**  
voir rangée extérieure raidie  
(côté poutre)

**autres rangées et groupes :**  
voir leurs vis-à-vis côté poutre

- cas du poteau non raidi :



|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Rangée 1</b>             | Voir pages suivantes   |
| <b>Rangée 2</b>             | Voir rangée centrale<br>(côté poutre :<br>cf. paragraphe 3.2.1<br>de ce guide)   |
| <b>Groupe 1 + 2</b>         | Voir pages suivantes   |
| <b>Rangée 3</b>             | Voir rangée centrale<br>(côté poutre :<br>cf. paragraphe 3.3.2.1<br>de ce guide) |
| <b>Groupe 2 + 3</b>         | Voir groupe 3 + 4<br>(côté poutre :<br>cf. paragraphe 3.3.2.1<br>de ce guide)    |
| <b>Groupe<br/>1 + 2 + 3</b> | Voir pages suivantes   |

Figure 3.25 : Schémas pour le calcul de la longueur en T équivalent.

Rangée d'extrémité (cf. tableau 6.4 de la norme NF EN 1993-1-8) :

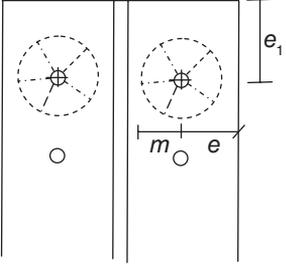
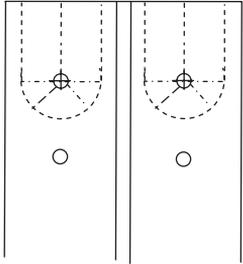
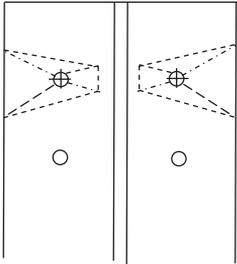
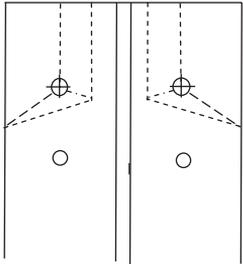
|          |                          | Mode de ruine   | Longueur du tronçon en T équivalent |  |
|----------|--------------------------|---|-------------------------------------|--|
| Rangée 1 | Mécanisme circulaire     |    | $2\pi m$                            | $L_0 = \text{minimum}$<br>des deux valeurs |
|          |                          |    | $\pi m + 2e_1$                      |  |
|          | Mécanisme non circulaire |  | $4m + 1,25e$                        | $L_2 = \text{minimum}$<br>des deux valeurs |
|          |                          |  | $2m + 0,625e + e_1$                 |  |
|          |                          | $L_1 = \text{minimum} (L_0, L_2)$   | $L_2$                               |  |
|          |                          | $(m_{\text{associé}} = m)$  |                                     |  |

Tableau 3.12 : Mécanismes de ruine dans le cas de la rangée d'extrémité.

|                          |                            | Mode de ruine | Longueur du tronçon en T équivalent  |  |
|--------------------------|----------------------------|---------------|--|--|
| Groupe de rangées 1 et 2 | Mécanismes circulaires     |               | $(\pi m + \rho)$<br><br>$+(\pi m + \rho)$<br>$= 2\pi m + 2\rho$                      | $L_0 = \text{minimum}$<br>des deux valeurs |
|                          |                            |               | $(2e_1 + \rho)$<br><br>$+(\pi m + \rho)$<br>$= 2e_1 + \pi m + 2\rho$                 |  |
|                          | Mécanismes non circulaires |               | $(2m + 0,625e + 0,5\rho)$<br><br>$+(2m + 0,625e + 0,5\rho)$<br>$= 4m + 1,25e + \rho$ | $L_2 = \text{minimum}$<br>des deux valeurs |
|                          |                            |               | $(e_1 + 0,5\rho)$<br><br>$+(2m + 0,625e + 0,5\rho)$<br>$= e_1 + 2m + 0,625e + \rho$  |  |

$$L_1 = \text{minimum} (L_0, L_2) \quad L_2$$

$$(m_{\text{associé}} = m)$$

Tableau 3.12 : Mécanismes de ruine dans le cas de la rangée d'extrémité (suite).

|                             |                            | Mode de ruine | Longueur du tronçon en T équivalent   |  |
|-----------------------------|----------------------------|---------------|---|--|
| Groupe de rangées 1 + 2 + 3 | Mécanismes circulaires     |               | $(\pi m + \rho_1)$<br>$+ (\rho_1 + \rho_2)$<br>$+ (\pi m + \rho_2)$<br>$= 2\pi m + 2\sum \rho_i$                            | $L_0 = \text{minimum}$<br>de ces deux<br>valeurs |
|                             |                            |               | $(2e_1 + \rho_1)$<br>$+ (\rho_1 + \rho_2)$<br>$+ (\pi m + \rho_2)$<br>$= 2e_1 + \pi m + 2\sum \rho_i$                       |  |
|                             | Mécanismes non circulaires |               | $(2m + 0,625e + 0,5\rho_1)$<br>$+ (0,5\rho_1 + 0,5\rho_2)$<br>$+ (2m + 0,625e + 0,5\rho_2)$<br>$= 4m + 1,25e + \sum \rho_i$ | $L_2 = \text{minimum}$<br>de ces deux<br>valeurs |
|                             |                            |               | $(e_1 + 0,5\rho_1)$<br>$+ (0,5\rho_1 + 0,5\rho_2)$<br>$+ (2m + 0,625e + 0,5\rho_2)$<br>$= e_1 + 2m + 0,625e + \sum \rho_i$  |  |

$$L_1 = \text{minimum}(L_0, L_2) \quad L_2$$

$$m_{\text{associé}} = m$$

Tableau 3.12 : Mécanismes de ruine dans le cas de la rangée d'extrémité (suite).

**3.4.3.2 Résistance du T équivalent sous les différents modes de ruine**

Les formules et la démarche données au paragraphe 3.3.2.2 de ce guide sont applicables.

La résistance de l'âme de poteau tendue (désignée par le mode 4 dans le paragraphe 3.3.2.2) a une expression modifiée pour tenir compte :

- de la sollicitation du panneau d'âme de poteau par le cisaillement ;
- de la présence de doublures d'âme.

$$F_{T,4,Rd} = F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega L_{\text{eff}} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (\text{cf. clauses 6.2.6.3 (1) et 6.2.6.3 (3) de la norme NF EN 1993-1-8}).$$

**■ Interaction avec le cisaillement du panneau d'âme**

Elle est évaluée au travers du coefficient  $\omega$  calculé comme au paragraphe 3.4.2.1 de ce guide, en remplaçant  $b_{\text{eff},c,wc}$  par la longueur efficace considérée  $L_{\text{eff}}$  (cf. clause 6.2.6.3 (4) de la norme NF EN 1993-1-8).

**■ Présence de doublures d'âme**

Dans ce cas,  $t_{wc}$  est remplacée par l'épaisseur efficace  $t_{w,\text{eff}}$ , qui dépend de la manière dont sont réalisées les soudures longitudinales des doublures d'âme (cf. clause 6.2.6.3 (8) de la norme NF EN 1993-1-8) :

| Soudures longitudinales                         |                                    | $t_{w,\text{eff}}$ |
|---|------------------------------------|--------------------|
| Bout-à-bout pleine pénétration ( $a \geq t_s$ ) | Une doublure d'âme                 | $1,5 t_{wc}$       |
|   | Doublures d'âme de part et d'autre | $2,0 t_{wc}$       |
| Soudure d'angle ( $a \geq t_s/\sqrt{2}$ )       | S235, S275 et S355                 | $1,4 t_{wc}$       |
|   | S420 et S460                       | $1,3 t_{wc}$       |

Tableau 3.13 : Épaisseur efficace.

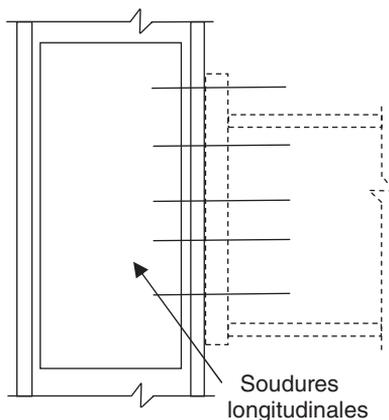


Figure 3.26 : Positions des soudures.

En présence de doublures d'âme, la valeur de  $A_{vc}$  qui intervient dans le calcul de  $\omega_1$  et  $\omega_2$  est à trouver au paragraphe 3.4.1 de ce guide (cf. clause 6.2.6.3 (9) de la norme NF EN 1993-1-8).

#### 3.4.3 Résistance de chaque rangée : assemblage des résistances des rangées et groupes

Pour chaque rangée et chaque groupe de rangée, on détermine la résistance qui est le minimum des résistances du côté poteau et du côté poutre, puis on applique la méthode du paragraphe 3.3.2.3 de ce guide pour assembler les lignes seules avec les groupes et obtenir la résistance  $F_{t,r,Rd}$  de chaque rangée de boulons.

#### 3.4.4 Résistance de l'assemblage

Les paragraphes 3.3.4.2 et 3.4.3 de ce guide ont permis de calculer une résistance maximale en cisaillement de l'âme, une résistance maximale en compression et, pour chaque rangée, une résistance maximale en traction.

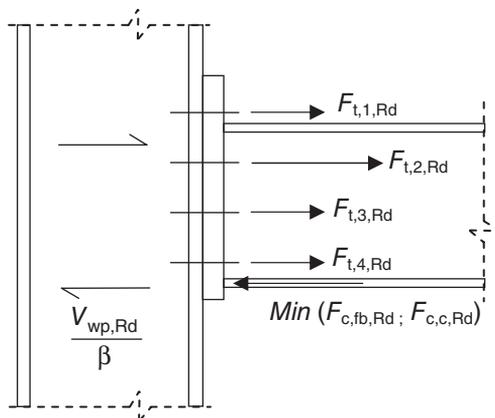


Figure 3.27 : Efforts dans les composants de l'attache.

Le moment résistant de l'assemblage est calculé à partir des résistances des rangées de boulons, dont les valeurs sont éventuellement tronquées pour satisfaire aux limitations suivantes.

#### ■ Insuffisance de capacité de rotation de l'assemblage

Le principe est le même que pour les assemblages poutre-poutre (cf. paragraphe 3.3.3 de ce guide).

Le schéma de limitation préconisé par l'Annexe Nationale (cf. paragraphe 3.3.3 de ce guide) doit aussi être utilisé si c'est une composante en compression ou la composante de cisaillement qui limite la résistance de l'assemblage (c'est-à-dire si l'on est dans le cas ci-dessous).