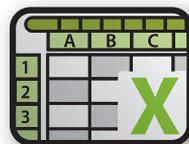


Assemblages des pieds de poteaux en acier



D'après l'Eurocode 3

> Dimensionnement des assemblages de pieds de poteaux métalliques encastrés et articulés



Feuilles de calcul à télécharger

Guide Eurocode

D'après la norme NF EN 1993-1-8: 2005
(Eurocode 3, partie 1-8)



ASSEMBLAGES DES PIEDS DE POTEUX EN ACIER

**Dimensionnement des assemblages
de pieds de poteaux métalliques
encastés et articulés**

Directeur de collection : Ménad CHENAF (CSTB)
Auteur : Ivor RYAN (CTICM)

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 918 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.

Feuilles de calcul



Vous pouvez télécharger gratuitement les feuilles de calcul développées sous Excel® 2003 sur le site : <http://e-cahiers.cstb.fr/>

Rubrique téléchargement, puis Eurocodes

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^{er} juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB février 2010 - novembre 2013

ISBN 978-2-86891-440-8

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^{er} 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 proposées 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'accompagnant 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

1.	INTRODUCTION.....	5
1.1	Objet.....	5
1.2	Domaine d'application.....	5
1.3	Contenu et utilisation.....	9
1.4	Conception de la fondation, vérification du sol et résistance des fixations dans la fondation.....	10
1.5	Symboles et définitions.....	12
2.	CONFIGURATIONS D'ASSEMBLAGES DE PIEDS DE POTEAU TRAITÉES DANS CE GUIDE.....	15
2.1	Classification des assemblages suivant leur rigidité.....	15
2.2	Configurations d'assemblages de pieds de poteaux traitées.....	17
3.	RÉSISTANCES DES ACIERS, BÉTONS ET TIGES D'ANCRAGE.....	23
3.1	Valeurs des coefficients partiels.....	23
3.2	Résistances des aciers des platines d'extrémité et des poteaux.....	23
3.3	Résistance à la pression localisée du béton / joint de scellement.....	24
3.4	Tiges d'ancrage.....	25
4.	MÉTHODOLOGIE DE CALCUL DES DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS D'ASSEMBLAGES DE PIED DE POTEAU.....	33
4.1	Inventaire des références utilisées.....	33
4.2	Informations concernant toutes les configurations d'assemblages traitées.....	34
4.3	Résistances des assemblages.....	37
4.4	Étape préliminaire : Établissement des paramètres de calcul.....	38
4.5	Étapes principales de calcul spécifiques à la Configuration A1.....	39
4.6	Étapes principales de calcul spécifiques à la Configuration A2.....	40
4.7	Étapes de calcul spécifiques à la Configuration A3.....	41
4.8	Étapes principales de calcul spécifiques à la Configuration E.....	42
4.9	Estimation des dimensions de la platine d'extrémité, des tiges d'ancrage et de la rigidité d'un assemblage.....	43
4.10	Sélection d'un assemblage à l'aide des tableaux d'assemblages prédimensionnés.....	45
5.	EXEMPLES D'APPLICATION À DES ASSEMBLAGES TYPIQUES.....	47
5.1	Exemple 1 : Configuration A1.....	47
5.2	Exemple 2 : Configuration A2.....	52
5.3	Exemple 3 : Configuration A3.....	71
5.4	Exemple 4 : Configuration E.....	74
5.5	Diagramme d'interaction <i>M-N</i> de résistance d'un assemblage : méthodologie de l'Annexe F.....	100
5.6	Utilisation des tableaux des assemblages prédimensionnés de l'Annexe N et de l'Annexe O du guide.....	104
6.	RÉFÉRENCES.....	113

ANNEXE A : Résistance de calcul du joint de scellement à la pression localisée	117
A.1 Influence des dimensions de la fondation sur la résistance du joint de scellement à la pression localisée	117
A.2 Résistance de calcul du joint de scellement à la pression localisée	121
ANNEXE B : Résistance des composants de l'assemblage : méthode des tronçons en T	125
B.1 Généralités	125
B.2 Tronçon en T tendu	127
B.3 Tronçon en T comprimé	138
ANNEXE C : Résistance d'un assemblage de pied de poteau en compression seule	147
C.1 Introduction	147
C.2 Étapes de calcul	147
ANNEXE D : Estimation des dimensions de la platine d'extrémité pour un poteau soumis à un effort axial de compression	151
D.1 Étape n° 1 : Choix des paramètres de résistance de calcul des matériaux ..	151
D.2 Étape n° 2 : Estimation préliminaire de l'aire de la plaque d'assise	151
D.3 Étape n° 3 : Choix du type de platine d'extrémité	151
D.4 Étape n° 4 : Détermination de la largeur additionnelle d'appui	152
D.5 Étape n° 5 : Détermination des dimensions en plan minimales requis pour la platine	153
D.6 Étape n° 6 : Détermination de l'épaisseur minimale requise pour la platine d'extrémité	153
ANNEXE E : Vérification d'un assemblage de pied de poteau « encastré »	155
E.1 Introduction	155
E.2 Étapes de calcul	155
ANNEXE F : Diagramme de résistance d'un assemblage de pied de poteau sous interaction $M-N$	161
F.1 Introduction	161
F.2 Moment résistant en fonction de l'effort normal appliqué : étapes de calcul	161
F.3 Méthode pour déterminer le diagramme d'interaction $M-N$	170
ANNEXE G : Rigidité des pieds de poteaux à la flexion	175
G.1 Introduction	175
G.2 Méthode des composants	177
G.3 Coefficients de rigidité des composants et des tronçons en T	179
G.4 Rigidité initiale $S_{j,ini}$ de l'assemblage en rotation	183
G.5 Limites de classification	185
G.6 Évaluation de la rigidité dès la phase de prédimensionnement	187

ANNEXE H : Ancrage des tiges d'ancrage en barre lisse dans le béton	189
H.1 Introduction	189
H.2 Limitations sur l'utilisation des différents types et classes de tiges d'ancrage	189
H.3 Contrainte d'adhérence de calcul	190
H.4 Longueur d'ancrage de référence requise	191
H.5 Ancrage par coude ou par crochet	192
H.6 Ancrage par un dispositif à l'extrémité des tiges.....	194
ANNEXE I : Résistance de l'assemblage au cisaillement par frottement	197
ANNEXE J : Transmission de l'effort tranchant par cisaillement des tiges d'ancrage.....	199
J.1 Reprise de l'effort de cisaillement par cisaillement/flexion des tiges d'ancrage.....	199
J.2 Résistance des tiges d'ancrage en cisaillement	200
J.3 Résistance des tiges d'ancrage soumises à une combinaison de traction et de cisaillement	201
ANNEXE K : Reprise de l'effort de cisaillement par une bêche	203
K.1 Généralités sur les bèches	203
K.2 Conception et vérification d'une bêche en profil I ou H pour transmettre un effort de cisaillement V_z selon l'axe faible du poteau	203
K.3 Conception et vérification d'une bêche en cornière	209
K.4 Conception et vérification d'une bêche en I transmettant un effort tranchant résultant incliné par rapport à l'axe z-z du poteau	213
ANNEXE L : Dimensionnement forfaitaire des cordons d'angle des soudures.....	217
ANNEXE M : Aides donnant le coefficient α pour le calcul des résistances des tronçons en T en traction	219
ANNEXE N : Tableaux d'assemblages prédimensionnés de pieds de poteaux articulés	223
ANNEXE O : Tableaux d'assemblages prédimensionnés de pieds de poteaux encastres	229

1. INTRODUCTION

1.1 Objet

Ce guide a pour objectif principal de fournir aux acteurs de la profession (constructeurs, bureaux d'études, organismes de contrôle, etc.) des outils pratiques pour la conception et le calcul des assemblages de pieds de poteaux des bâtiments courants en acier selon la version EN des Eurocodes. À cette fin, ce guide présente les méthodes de vérification nécessaires, des exemples d'application de ces méthodes et donne des tableaux de dimensionnement des deux types d'assemblages de pieds de poteaux les plus utilisés dans les bâtiments courants de la construction métallique : les assemblages de pieds de poteaux par platine d'extrémité « articulés » et « encastrés ».

Les assemblages des pieds de poteaux se distinguent des autres assemblages courants de la construction métallique par le fait qu'en plus des composants ou éléments de fixation habituels en acier – profils, plats, boulons, soudures – interviennent également le béton de la fondation et les éléments de liaison avec cette fondation (scellement et tiges d'ancrage). Par conséquent, l'application des règles de la norme **EN 1993-1-8** [①, ②] au calcul de ces assemblages fait appel non seulement aux règles générales de la norme **EN 1993-1-1** [③, ④] mais aussi à celles de la norme **EN 1992-1-1** [⑤, ⑥]. Cependant, dans cette dernière norme, certaines lacunes sont à combler, notamment en ce qui concerne les règles de calcul pour l'ancrage des tiges fabriquées à partir de barres « lisses ».

1.2 Domaine d'application

Les assemblages visés par ce guide sont les assemblages courants de pieds de poteaux par platine soudée à l'extrémité du poteau et solidarisée à la fondation en béton par des tiges d'ancrage et un scellement/calage.

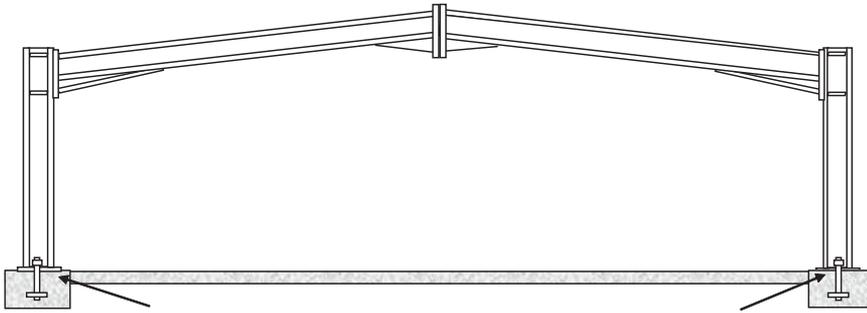
Ces assemblages sont typiquement ceux utilisés dans les bâtiments industriels ou commerciaux à un niveau (usines, hangars, bâtiments de stockage/logistique, etc.) dont la stabilité transversale est réalisée par portiques (Figure 1-1 et Figure 1-2). Des assemblages semblables sont également employés pour les poteaux de tous bâtiments courants à un ou à plusieurs niveaux, par exemple les bâtiments de bureaux, de logements, de parkings, écoles et hôpitaux (Figure 1-3).

Les deux types d'assemblages concernés sont :

- les assemblages dits « articulés », transmettant une charge axiale et un effort tranchant ;
- les assemblages dits « encastrés », transmettant une charge axiale, un effort tranchant et un moment de flexion.

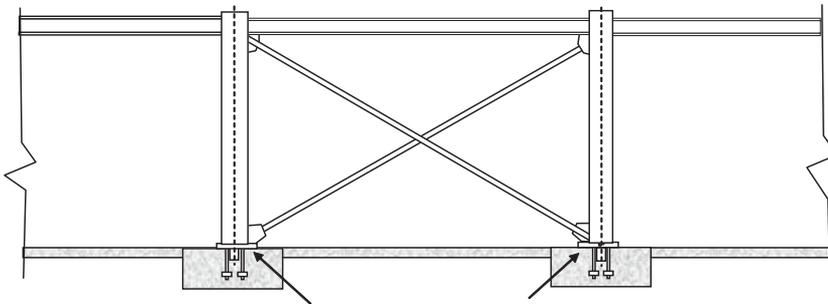
Les méthodologies de vérification présentées dans ce guide sont applicables aux assemblages en pieds de poteaux à section en I bisymétrique, laminés ou reconstitués soudés, avec platine d'extrémité non raidie. Les aciers des poteaux et platines sont ceux mentionnés dans l'EN 1993-1-1 [3, 4], les aciers des tiges d'ancrage sont ceux précisés par l'EN 1993-1-8 [1, 2] ou par l'EN 1993-1-1 et les classes de béton sont celles définies par l'EN 1992-1-1 [5, 6].

Pour les poteaux ayant un autre profil de section, par exemple pour les poteaux de section tubulaire, et pour les platines d'extrémité raidies, des adaptations des méthodes de vérification exposées sont possibles.



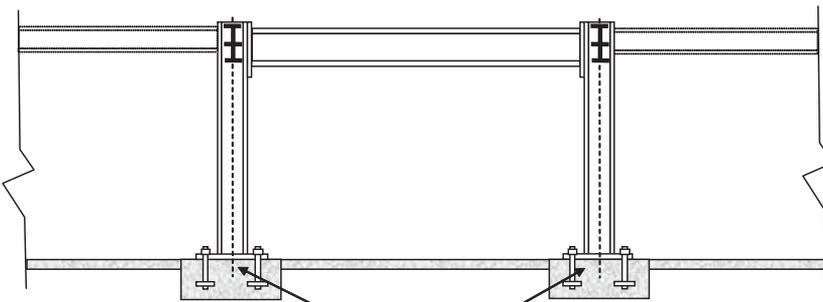
Assemblages de pieds de poteaux par platine d'extrémité
Assemblages « articulés » : Configuration A1 (avec ou sans bêche) ou A2

a) *Assemblages courants de pieds de poteaux d'un portique typique.*



Assemblages de pieds de poteaux par platine d'extrémité avec bêche et avec gousset recevant la barre de contreventement
Assemblages « articulés » : Configuration A1 avec bêche ou A2

b) *Assemblages soumis au soulèvement et à un effort tranchant.*



Assemblages de pieds de poteaux par platine d'extrémité
d'un portique de stabilité longitudinale d'un bâtiment
Assemblages « encastrés » avec ou sans bêche : Configuration E

c) *Assemblages de pieds de poteaux d'un portique de stabilité longitudinale.*

Figure 1-1 : Assemblages en pieds de poteaux d'un bâtiment industriel.

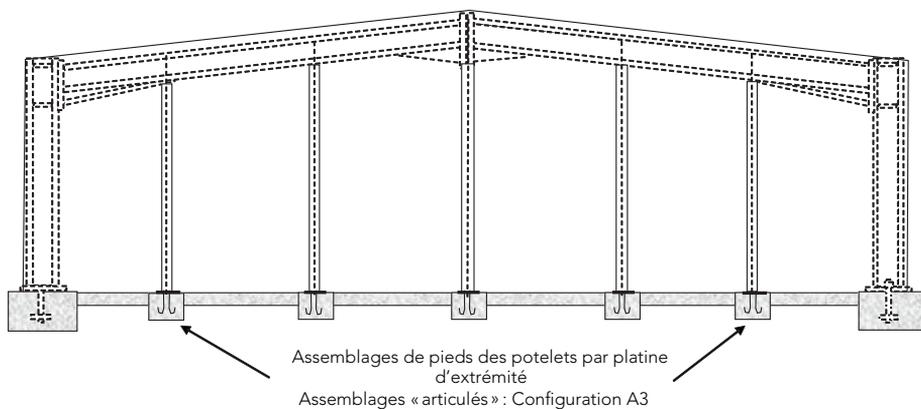


Figure 1-2 : Assemblages en pieds des potelets d'un mur pignon d'un bâtiment industriel.

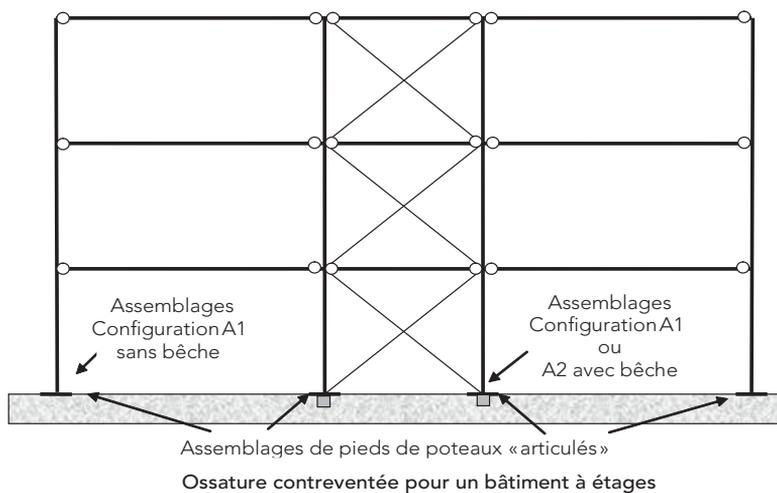


Figure 1-3 : Assemblages « articulés » en pieds de poteaux d'un bâtiment à plusieurs niveaux.

1.3 Contenu et utilisation

Le Chapitre 2 définit les deux types d'assemblages traités dans ce guide – articulés et encastres – et en précise des variantes qui conduisent à identifier les quatre configurations d'assemblages de pieds de poteaux qui seront considérées par la suite.

Le Chapitre 3 définit les résistances de calcul des aciers, bétons et tiges d'ancrage habituellement utilisés dans la pratique.

Pour les quatre configurations d'assemblages traitées, le Chapitre 4 présente les méthodologies de vérification de la résistance en fonction des combinaisons des efforts appliqués (compression ou traction dans le poteau, cisaillement selon un ou deux axes et, éventuellement, flexion autour de l'axe principal du poteau). Les méthodologies de vérification font intervenir les règles et outils/aides de calcul exposés aux Annexes A à N de ce guide et incluent la classification des assemblages par rigidité.

Le Chapitre 5 présente des exemples de calcul appliquant les méthodologies exposées au Chapitre 4 à des cas concrets d'assemblages typiques de pieds de poteaux, et cela pour chaque configuration d'assemblage.

■ Prédimensionnement des assemblages

Une méthode de prédimensionnement des platines d'extrémité des pieds de poteaux est présentée dans l'Annexe D.

Des tableaux de capacité de résistance d'assemblages prédimensionnés de pieds de poteaux en profils laminés courants sont fournis en Annexe N et en Annexe O, ainsi que dans les fichiers adéquats présents sur le CD accompagnant ce guide, pour les types respectivement « articulés » et « encastres ». Ces tableaux donnent des capacités de résistance dans le cadre des choix suivants :

- profils laminés (pris dans les gammes courantes) et platines d'extrémité de la même nuance d'acier : S235, S275 ou S355 ;
- bétons de classes C20/25, C25/30 et C30/37 ;
- tiges d'ancrage de différents diamètres soit de Classe 4.6, soit en acier S355 de résistance réduite (voir l'EN 1993-1-8 §3.6.1(3)).

■ Outils de calcul et d'aide complémentaires

En outre, le guide contient les annexes suivantes [(7) à (12), (16), et (21) à (24)] qui, soit présentent les règles de calcul spécifiques aux composants des assemblages, soit donnent le déroulement par étapes des applications de ces dernières règles aux deux types d'assemblages traités, soit constituent autant d'aides complémentaires au calcul :

- Annexe A : Résistance de calcul du joint de scellement à la pression localisée
- Annexe B : Résistance des composants de l'assemblage : méthode des tronçons en T
- Annexe C : Résistance d'un assemblage de pied de poteau en compression seule
- Annexe D : Estimation des dimensions de la platine d'extrémité pour un poteau soumis à un effort axial de compression
- Annexe E : Vérification d'un assemblage de pied de poteau « encastré »
- Annexe F : Diagramme de résistance d'un assemblage de pied de poteau sous interaction *M-N*
- Annexe G : Rigidité des pieds de poteaux à la flexion
- Annexe H : Ancrage des tiges d'ancrage en barre lisse dans le béton
- Annexe I : Résistance de l'assemblage au cisaillement par frottement
- Annexe J : Transmission de l'effort tranchant par cisaillement des tiges d'ancrage
- Annexe K : Reprise de l'effort de cisaillement par une bêche
- Annexe L : Dimensionnement forfaitaire des cordons d'angle des soudures
- Annexe M : Aides donnant le coefficient α pour le calcul des résistances des tronçons en T en traction

1.4 Conception de la fondation, vérification du sol et résistance des fixations dans la fondation

1.4.1 Fondation et sol

L'utilisateur est averti du fait que ce guide ne couvre pas les vérifications qu'il convient de réaliser en ce qui concerne la résistance du béton, la résistance globale de la fondation en béton, la détermination des armatures nécessaire dans la fondation en béton et la résistance du sol sous la fondation et/ou autour de la fondation.

Les règles de calcul pour les diverses vérifications de la résistance de la fondation en béton sont celles de l'**EN 1992-1-1**, norme référencée par l'**EN 1993-1-8** aux paragraphes suivants : 6.2.2(5), 6.2.2(9), 6.2.5(7), 6.2.6.12(3), 6.2.6.12(5), 6.2.8.1(5), et 6.2.9(1).

Il convient de faire les vérifications de la résistance du sol selon l'**EN 1997** [18].

1.4.2 Résistance des fixations dans la fondation en béton

Il n'y a pas actuellement dans l'EN 1992-1-1 de règles de calcul spécifiques pour la vérification de la résistance d'ancrage en traction ou en cisaillement de fixations en acier telles les tiges d'ancrage couramment utilisées pour les pieds de poteaux traités par ce guide.

En ce qui concerne les tiges d'ancrage tendues fabriquées à partir de barres rondes lisses et conçues pour transmettre l'effort de traction au béton uniquement par l'adhérence, référence est faite dans ce guide aux règles de calcul pour les armatures lisses données dans l'ENV 1922-1-1 [15] (voir le paragraphe 3.4.2 et l'Annexe H).

En ce qui concerne la vérification de la résistance d'ancrage en traction des tiges (voir l'Annexe H), référence est faite dans ce guide aux règles de calcul proposées aux parties pertinentes de la norme expérimentale XP EN 1992-4[16].

Lorsqu'une bêche est utilisée ou lorsque les tiges d'ancrage sont conçues pour transmettre l'effort tranchant au pied du poteau, et en complément des vérifications présentées dans ce guide (voir le paragraphe 3.4.3 l'Annexe J et l'Annexe K de ce guide), il est conseillé de justifier le béton résistant aux efforts transmis par la bêche ou le groupe de tiges d'ancrage selon les règles de calcul proposées par la référence [16].

1.5 Symboles et définitions

Tableau 1-1 : Symboles et définitions.

Symbole	Définition
α	Coefficient intervenant dans la longueur de tronçons en T équivalents pour une rangée de tiges d'ancrage intérieure en traction
α_{bf}	Rapport de la largeur ou longueur de l'aire de répartition (de l'effort transmis au pied de poteau) à l'intérieur de la fondation à la largeur ou longueur de la platine d'extrémité
α_{cb}	Coefficient intervenant dans la formule pour la résistance de calcul au cisaillement d'une tige d'ancrage
β_j	Coefficient propre au matériau de scellement
γ_c	Coefficient partiel relatif à la résistance à la compression du béton selon l'EN 1992-1-1
γ_{M0}	Coefficient partiel relatif à la résistance à la traction de l'acier de la platine d'extrémité
γ_{M2}	Coefficient partiel relatif à la résistance de la section nette d'une tige d'ancrage, à la traction, au cisaillement ou à la pression diamétrale
a_{fc}	Dimension de la gorge des cordons de soudure semelle de poteau sur platine d'extrémité
a_{wc}	Dimension de la gorge des cordons de soudure âme de poteau sur platine d'extrémité
a_{fn}	Dimension de la gorge des cordons de soudure semelle de bêche sur platine d'extrémité
a_{wn}	Dimension de la gorge des cordons de soudure âme de bêche sur platine d'extrémité
b_a	Hauteur en plan de l'aile de la cornière formant bêche (longueur de l'aile de la cornière soudée à la platine d'extrémité)
b_{eff}	Largeur efficace d'un tronçon en T équivalent comprimé
$b_{eff,c,wc}$	Largeur efficace en compression de l'âme du poteau
b_p	Largeur de la platine d'extrémité
b_f	Largeur en plan de la fondation (correspondant à la largeur de la platine d'extrémité du poteau)
b_{fc}	Largeur de la section du poteau (largeur de la semelle du poteau en I)
b_{eff}	Largeur efficace de la semelle de tronçon en T
b_n	Largeur en plan de la bêche
c	Largeur d'appui additionnelle (au-delà du périmètre de la section du poteau)
d	Diamètre nominal d'une tige d'ancrage
d_f	Profondeur de la fondation
e, e_x	Pince entre le centre d'un trou de tige d'ancrage et le bord de la platine d'extrémité
e_b, e_h	Distances minimales des bords de la platine d'extrémité rectangulaire aux bords de la fondation rectangulaire

Symbole	Définition
e_m	Épaisseur du joint de scellement (mortier de calage ou coulis)
e_N	Excentricité effective M_{Ed} / N_{Ed}
f_{yc}	Limite d'élasticité de l'acier du poteau
f_{yp}	Limite d'élasticité de l'acier de la platine d'extrémité
f_{bd}	Contrainte ultime de calcul d'adhérence armature-béton selon l'EN 1992-1-1
f_{cd}	Résistance de calcul à la compression du béton de la fondation selon l'EN 1992-1-1
f_{jd}	Résistance de calcul à la pression localisée du scellement/béton de la fondation
f_{yn}	Limite d'élasticité de l'acier constituant la bêche de cisaillement
f_{un}	Résistance à la traction de l'acier constituant la bêche
f_{yb}, f_{ub}	Limite d'élasticité et résistance à la traction de l'acier de la tige d'ancrage
h_{af}	Longueur de l'aile de la cornière (bêche) encastrée dans la fondation
h_f	Hauteur en plan de fondation (correspondant à la hauteur de la platine d'extrémité du poteau)
h_c	Hauteur de la section du poteau
h_n	Hauteur en plan de la bêche en profilé en I
h_p	Longueur de la platine d'extrémité
ℓ_{eff}	Longueur efficace d'un tronçon en T équivalent tendu ou comprimé
m, m_x	Distance transversale entre un trou de tige d'ancrage dans la platine d'extrémité et la position de la rotule plastique à coté de l'élément tendu (âme ou semelle du poteau) d'un tronçon en T équivalent tendu
n	Distance transversale entre un trou de tige d'ancrage dans la platine d'extrémité et la position de l'effort de levier sur un tronçon en T équivalent tendu
p, p_1, p_2	Distance entre rangées ou files des tiges d'ancrage
t_{fc}	Épaisseur de la semelle du poteau
t_{wc}	Épaisseur de l'âme du poteau
t_{an}	Épaisseur de l'aile d'une bêche en cornière
t_{fn}	Épaisseur de la semelle d'une bêche de cisaillement en profil I
t_p	Épaisseur de la platine d'extrémité
t_m	Épaisseur de l'âme de la bêche en profil I
A_{C0}	Aire rectangulaire chargée immédiatement sous la platine du pied de poteau, de dimensions b_1 et d_1
A_{C1}	Aire rectangulaire maximale du béton résistante à un effort axial de compression après diffusion dans la profondeur de la fondation, de dimensions b_2 et d_2
$C_{f,d}$	Coefficient de frottement acier-béton
$F_{C,wc,Rd}$	Résistance de calcul en compression d'un tronçon en T comprimé « âme »
$F_{C,fc,Rd}$	Résistance de calcul d'un tronçon en T comprimé « semelle »

Symbole	Définition
$F_{C,Rd}$	Résistance de calcul du côté en compression de l'assemblage
$F_{f,Rd}$	Résistance de calcul à un effort tranchant par frottement entre la platine d'extrémité et le joint de scellement
$F_{t,Rd}$	Résistance de calcul en traction de la section nette d'une tige d'ancrage
$F_{t,anc,Rd}$	Résistance de calcul d'ancrage en traction d'une tige d'ancrage
$F_{t,ext,Rd}$	Résistance de calcul d'un tronçon en T équivalent tendu pour une rangée extérieure des tiges d'ancrage
$F_{t,int,Rd}$	Résistance de calcul d'un tronçon en T équivalent tendu pour une rangée intérieure ou centrale des tiges d'ancrage
$F_{T,Rd}$	Résistance de calcul en traction du côté tendu de l'assemblage
$F_{v,Rd}$	Résistance de calcul à l'effort tranchant du joint de scellement
$F_{vb,Rd}$	Résistance de calcul au cisaillement d'une tige d'ancrage
I_c	Moment d'inertie en flexion du poteau
L_c	Hauteur du poteau
L_b	Longueur d'une tige d'ancrage soumise à allongement
L_b^*	Longueur maximale d'une tige d'ancrage soumise à allongement avec l'apparition de l'effet de levier
$L_{eff,n}$	Profondeur efficace d'une bêche de cisaillement
L_n	Profondeur totale d'une bêche de cisaillement
M_{Ed}	Moment de calcul appliqué au pied de poteau
$M_{Rd}, M_{j,Rd}$	Résistance de calcul d'un assemblage de pied de poteau à un moment en combinaison avec un effort axial N_{Rd}
N_{Ed}	Effort axial de calcul appliqué au pied de poteau
$N_{Rd}, N_{j,Rd}$	Résistance de calcul d'un assemblage de pied de poteau à un effort axial en combinaison avec un moment M_{Rd}
$N_{T,Rd}$	Résistance de calcul d'un assemblage de pied de poteau en traction seule (effort de soulèvement)
$N_{C,Rd}$	Résistance de calcul d'un assemblage de pied de poteau en compression axiale seule
$N_{sec,Ed}$	Effort axial secondaire dans la fondation de la bêche de cisaillement
Q	Effort de l'effet de levier sur les boulons dans un tronçon en T tendu
$V_{Ed}, V_{y,Ed}, V_{z,Ed}$	Effort tranchant de calcul appliqué en pied de poteau, composante de cet effort selon l'axe y-y ou selon l'axe z-z
V_{Rd}	Résistance de calcul à un effort tranchant appliqué en pied de poteau
$V_{n,Rd}$	Résistance de calcul d'une bêche à un effort tranchant appliqué en pied de poteau

2. CONFIGURATIONS D'ASSEMBLAGES DE PIEDS DE POTEAU TRAITÉES DANS CE GUIDE

2.1 Classification des assemblages suivant leur rigidité

L'EN 1993-1-8 donne des règles permettant de déterminer la rigidité des assemblages poutre-poutre, poutre-poteau et pieds de poteaux. Afin de simplifier la modélisation des assemblages dans le cadre de l'analyse globale de la structure, ces règles définissent également une classification qui permet de déterminer s'il est acceptable – c'est-à-dire sans nuire à l'adéquation des prédictions de l'analyse globale ni pour le comportement ni pour la résistance de la structure et/ou de chacun de ses éléments – qu'un assemblage soit modélisé comme « articulé » ou « rigide ». Lorsqu'un assemblage n'entre pas dans une de ces deux modélisations extrêmes, il y a lieu, en principe, de modéliser dans l'analyse globale son caractère « semi-rigide », voire son comportement moment-rotation $M-\phi$ complet. Ainsi, pour les assemblages poutre-poutre et poutre-poteau, des critères sont donnés pour permettre le classement d'un assemblage comme « rigide », « semi-rigide » ou « articulé ». Par contre, pour les assemblages de pieds de poteaux, on constate que seuls des critères pour distinguer les assemblages « rigides » des assemblages « semi-rigides » sont donnés, c'est-à-dire qu'on n'y trouve aucun critère pour identifier un assemblage de pied de poteau qu'on puisse classer « articulé ».

Cependant, en construction métallique, il est une pratique courante et de longue date de considérer que des assemblages de pieds de poteaux tels que ceux présentés à la Figure 2-1 et satisfaisant des critères plus ou moins restrictifs peuvent être traités comme des « articulations » et que des assemblages de pieds de poteaux dits « encastrés » de la Figure 2-2 peuvent être traités comme des assemblages « rigides ».

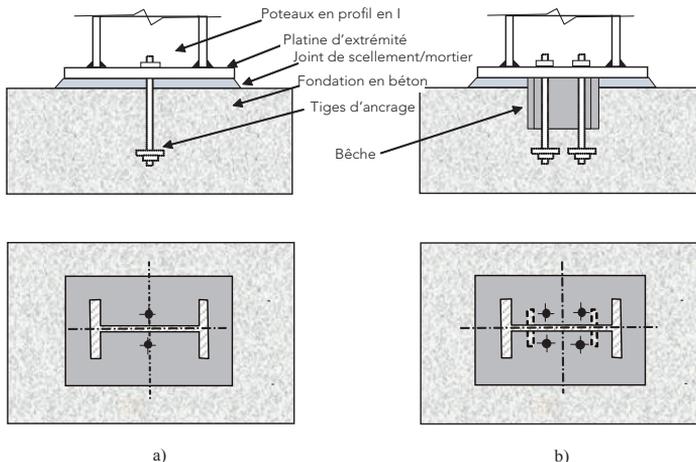


Figure 2-1 : Assemblages de pieds de poteaux dits « articulés ».

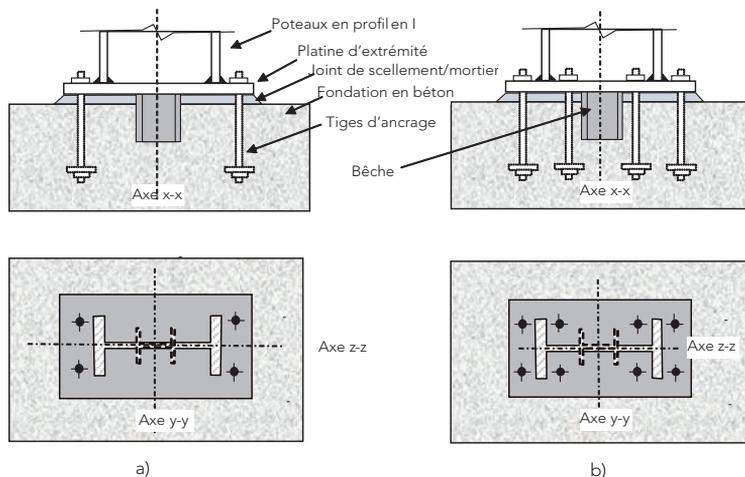


Figure 2-2 : Assemblages de pieds de poteaux dits « encastrés ».

En l'absence d'une classification spécifique dans l'EN 1993-1-8 pour identifier les pieds de poteaux « articulés », l'Annexe Nationale française à l'EN 1993-1-8 a repris la définition, conventionnelle et empirique, donnée dans la référence [12] (« Pieds de Poteaux Articulés ») publiée par le CTICM, et référencée dans la suite de ce guide comme méthode conventionnelle.

Ainsi, pour qu'un assemblage de pied d'un poteau laminé, par platine d'extrémité fixée avec deux tiges d'ancrage sur (ou très proches de) l'axe principal du poteau, puisse être considéré « articulé » (voir Figure 2-1), on doit s'assurer que :

- soit la hauteur h_p de la platine d'extrémité est inférieure ou égale à 300 mm ;
- soit, pour les assemblages dont la platine d'extrémité à une hauteur h_p comprise entre 300 mm et 600 mm :
 - $\theta \times h_p \leq 3 \text{ mm}$ et
 - $N_{\text{Ed,ser}} \times \theta \times h_c \leq 1,5 \times 10^6 \text{ N.mm}$,
 où
 - h_c est la hauteur du profil du poteau ;
 - θ est la rotation à l'état limite de service en pied du poteau considéré comme « articulé » ;
 - $N_{\text{Ed,ser}}$ est l'effort axial de compression associé à la rotation θ (voir Figure 2-3).

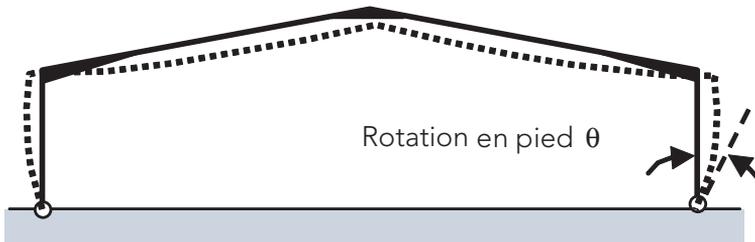


Figure 2-3 : Rotation en pied de poteau à l'état limite de service.

Les règles de calcul de l'EN 1993-1-8 pour la rigidité des assemblages et pour leur classification par rigidité sont présentées en détails dans l'Annexe G de ce guide et sont mises en application dans les exemples de calcul traités au Chapitre 5.

L'utilisateur doit retenir que :

- les pieds de poteaux dits « articulés » dans ce guide (voir la Figure 2-1), qu'ils soient ou non classés « articulés » selon la méthode conventionnelle, ne sont pas sans rigidité flexionnelle ;
- les pieds de poteaux dits « encastrés » dans ce guide (voir la Figure 2-2) ne sont pas forcément classés « rigides » selon les critères de classification de l'EN 1993-1-8 [1].

2.2 Configurations d'assemblages de pieds de poteaux traitées

2.2.1 Introduction

Les deux types d'assemblages de pieds de poteaux concernés par ce guide sont :

- les pieds de poteaux « articulés » qu'on dit être de la Configuration A ;
- les pieds de poteaux « encastrés » qu'on dit être de la Configuration E.

Afin de mieux cerner à la fois les spécificités des dispositions constructives à mettre en œuvre en fonction des efforts appliqués, les façons dont ces efforts sont transmis à la fondation et les vérifications des résistances associées, les pieds de poteaux « articulés » de Configuration A sont séparés en trois sous-configurations, à savoir :

- configuration A1 : Pied de poteau soumis à un effort axial de compression et à un effort tranchant transmis par frottement ou par une bêche ;
- configuration A2 : Pied de poteau soumis à un effort axial de soulèvement et à un effort tranchant transmis par une bêche ;
- configuration A3 : Pied de poteau soumis à un effort axial et à un effort tranchant transmis par cisaillement des tiges d'ancrage.

On peut comprendre que pour certains cas de chargement un assemblage de pied de poteau « articulé » est de la Configuration A1 et que pour d'autres cas de chargement ce même assemblage est de la Configuration A2 ou, lorsque certaines conditions restrictives de mise en œuvre et de sollicitations sont remplies, de la Configuration A3.

Pour assurer la résistance à l'effort tranchant transmis par le pied de poteau à son appui, l'**EN 1993-1-8** §6.2.8.1(5) prévoit l'utilisation de l'une des quatre méthodes suivantes :

- résistance par frottement au niveau de la liaison entre la platine d'extrémité et son appui ;
- résistance au cisaillement des tiges d'ancrage ;
- résistance au cisaillement de la partie environnante de la fondation ;

et, « lorsque les méthodes ci-dessous sont inadéquates » :

- résistance des éléments spéciaux comme des bêches.

La troisième méthode citée ci-dessus, qui correspond au cas d'un pied du poteau noyé dans une réservation faite dans la fondation à l'emplacement du poteau, n'est pas traitée dans ce guide.

2.2.2 Configuration A1 : Pied de poteau « articulé » soumis à un effort axial de compression et à un effort tranchant transmis par frottement ou par bêche

On utilise par exemple cette configuration d'assemblage aux pieds de poteaux de charpente repérés sur la Figure 1-1a et la Figure 1-3. Les dispositions constructives correspondantes sont montrées sur la Figure 2-4.

La Figure 2-4 montre des assemblages de Configuration A1 soumis à un effort normal de compression N et à un effort tranchant V_z suivant l'axe z-z de la section du poteau. La Figure 2-4a montre la disposition lorsque la résistance au frottement entre la platine et le joint de scellement permet de transmettre l'effort tranchant à la fondation. Lorsque l'effort tranchant à transmettre excède la résistance au frottement, la mise en œuvre d'une bêche est normalement requise (voir la Figure 2-4b). La mise en œuvre d'une bêche est traitée en détails pour la Configuration A2.

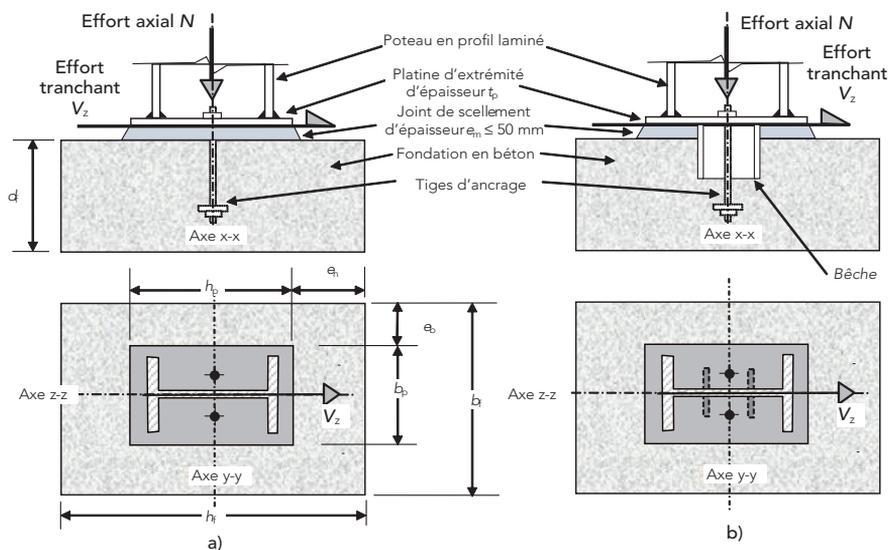


Figure 2-4 : Pieds de poteaux de Configurations A1 : sollicitations et dispositions constructives.