



Programme d'éducation
et de formation
tout au long de la vie

PROJET SKILLS

BÂTIMENTS EN ACIER EN EUROPE

Bâtiments en acier à simple rez-de-chaussée

Partie 6 : Conception et calcul des poteaux composés



Bâtiments en acier à simple rez-de-chaussée

Partie 6 : Conception et calcul des poteaux composés

AVANT-PROPOS

Cette publication est la sixième partie du guide de conception et calcul : *Bâtiments en acier à simple rez-de-chaussée*.

Les 11 parties de ce guide sont :

- Partie 1 : Guide pour les architectes
- Partie 2 : Conception
- Partie 3 : Actions
- Partie 4 : Conception et calcul des portiques
- Partie 5 : Conception et calcul des structures à treillis
- Partie 6 : Conception et calcul des poteaux composés
- Partie 7 : Ingénierie incendie
- Partie 8 : Enveloppe des bâtiments
- Partie 9 : Introduction aux logiciels de calcul
- Partie 10 : Guide pour la spécification d'un projet de construction
- Partie 11 : Assemblages de continuité par platines d'about

Le guide *Bâtiments en acier à simple rez-de-chaussée* est le premier d'un ensemble en deux volumes, le second s'intitulant *Bâtiments en acier à plusieurs niveaux*.

Ces deux guides ont été réalisés dans le cadre du projet européen "Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030" que l'on peut traduire en français par « Faciliter le développement du marché des profilés laminés pour les halles industrielles et les bâtiments de faible hauteur ».

Ces guides de conception et de calcul ont été rédigés sous la direction d'ArcelorMittal, Peiner Träger et Corus. Le contenu technique a été préparé par le CTICM et le SCI, collaborant dans le cadre de « Steel Alliance », réalisée grâce à une subvention financière du Fonds de Recherche du Charbon et de l'Acier (RFCS) de la Communauté européenne.

La traduction française de la présente publication a été réalisée dans le cadre du projet SKILLS, sous l'égide du CTICM et dans le cadre d'une collaboration avec ConstruireAcier et l'APK. Le projet SKILLS a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues.

Contenu

	Page n°
AVANT-PROPOS	v
RÉSUMÉ	viii
1 INTRODUCTION	1
2 TYPES DE POTEAUX COMPOSÉS ET LEURS APPLICATIONS	2
2.1 Généralités	2
2.2 Poteaux composés en treillis	5
2.3 Poteaux composés à barrettes de liaison	7
3 CALCULS DÉTAILLÉS	9
3.1 Généralités	9
3.2 Méthodologie de calcul des poteaux composés en treillis	9
3.3 Méthodologie de calcul des poteaux composés à barrettes de liaison	14
3.4 Longueurs de flambement	18
RÉFÉRENCES	20
ANNEXE A Exemple d'application : Calcul d'un poteau composé en treillis	21

RÉSUMÉ

Ce document couvre les dispositions structurales et le calcul des poteaux composés fabriqués à partir de sections laminées à chaud.

Les calculs sont menés selon la norme européenne EN 1993-1-1 avec des informations complémentaires lorsqu'elles sont nécessaires.

Les procédures de calcul de l'EN 1993-1-1 présentées ici sont fondées sur des expressions et des équations simplifiées. Elles permettent de vérifier un poteau composé en treillis ou à barrettes de liaison.

Un exemple d'application est fourni à l'Annexe A.

1 INTRODUCTION

Des poteaux composés sont utilisés en construction métallique lorsque les longueurs de flambement sont importantes et que les forces de compression sont relativement faibles. Ce guide couvre deux types de poteaux composés :

- les poteaux composés en treillis,
- les poteaux composés à barrettes de liaison.

Le présent document contient une vue d'ensemble des détails courants pour de tels éléments structuraux. Il décrit les méthodes de calcul selon l'EN 1993-1-1^[1] pour la détermination des sollicitations et la résistance au flambement de chaque composant (membrures, diagonales, etc.) des poteaux composés réalisés à partir de profilés laminés à chaud.

Il faut noter qu'en raison des déformations de cisaillement, les poteaux composés à barrettes de liaison sont plus flexibles que les poteaux pleins de même inertie ; ceci doit être pris en compte dans le calcul.

Afin de déterminer la résistance axiale d'un poteau composé en acier, il convient d'examiner les points suivants :

- Analyse du poteau composé pour la détermination des sollicitations en prenant en compte l'influence d'une imperfection initiale en arc et les effets du second ordre ;
- Vérification des membrures et des treillis (diagonales et barrettes) ;
- Vérification des attaches.

Un exemple de calcul complet d'un poteau en treillis en N est donné à l'Annexe A afin d'illustrer les principes des calculs.

2 TYPES DE POTEAUX COMPOSÉS ET LEURS APPLICATIONS

2.1 Généralités

En général, les poteaux composés sont utilisés dans les bâtiments industriels, soit comme montants pour supporter le bardage quand leur longueur de flambement est très grande, soit comme poteaux pour supporter une poutre de roulement de pont roulant.

Quand il est utilisé comme un montant bi-articulé pour supporter le bardage, le poteau est calculé pour reprendre les efforts horizontaux, principalement dus au vent. Dans ce cas, le moment fléchissant sollicitant est prédominant comparé à l'effort de compression.

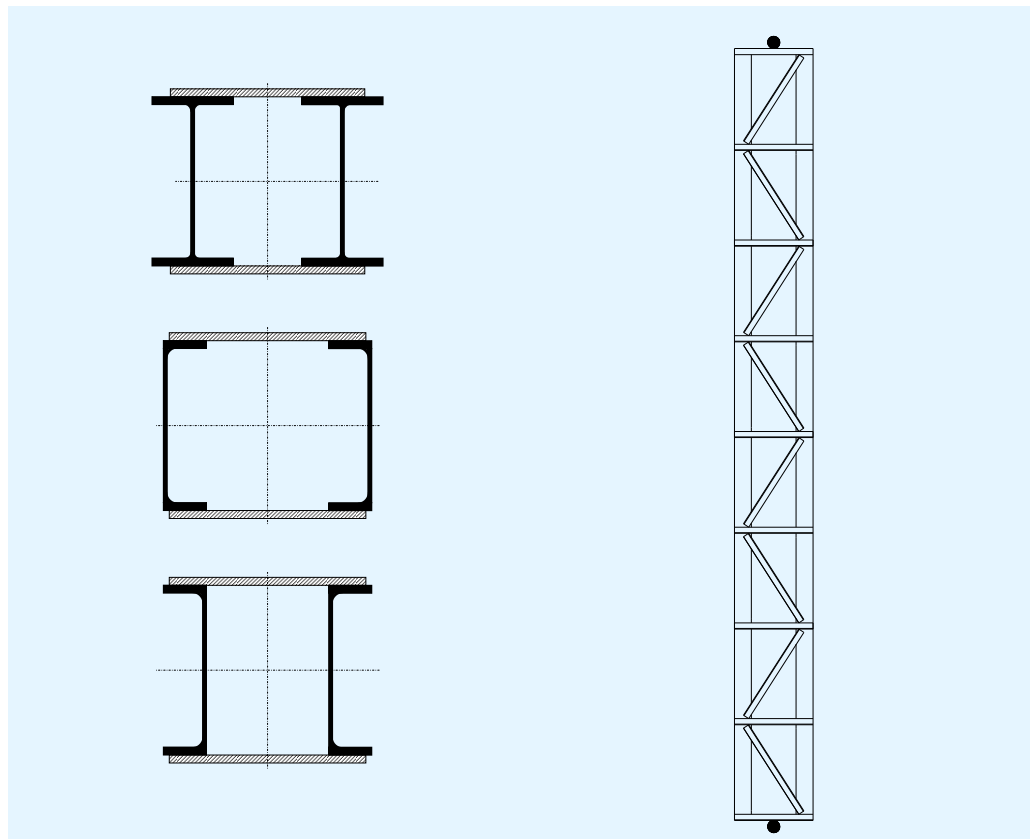


Figure 2.1 Montant support de bardage bi-articulé aux extrémités

Un poteau composé typique destiné à supporter une poutre de roulement de pont roulant est montré à la Figure 2.2. Ce type de barre est généralement encasté en pied et articulé en tête, et il est calculé pour résister :

- aux forces de compression qui proviennent, soit du portique, soit de la poutre de roulement,
- aux forces horizontales résultant des actions du pont roulant appliquées sur la membrure intérieure du poteau et aux actions du vent appliquées sur sa membrure extérieure.

Dans ce cas, les efforts de compression sont prédominants comparativement au moment de flexion.

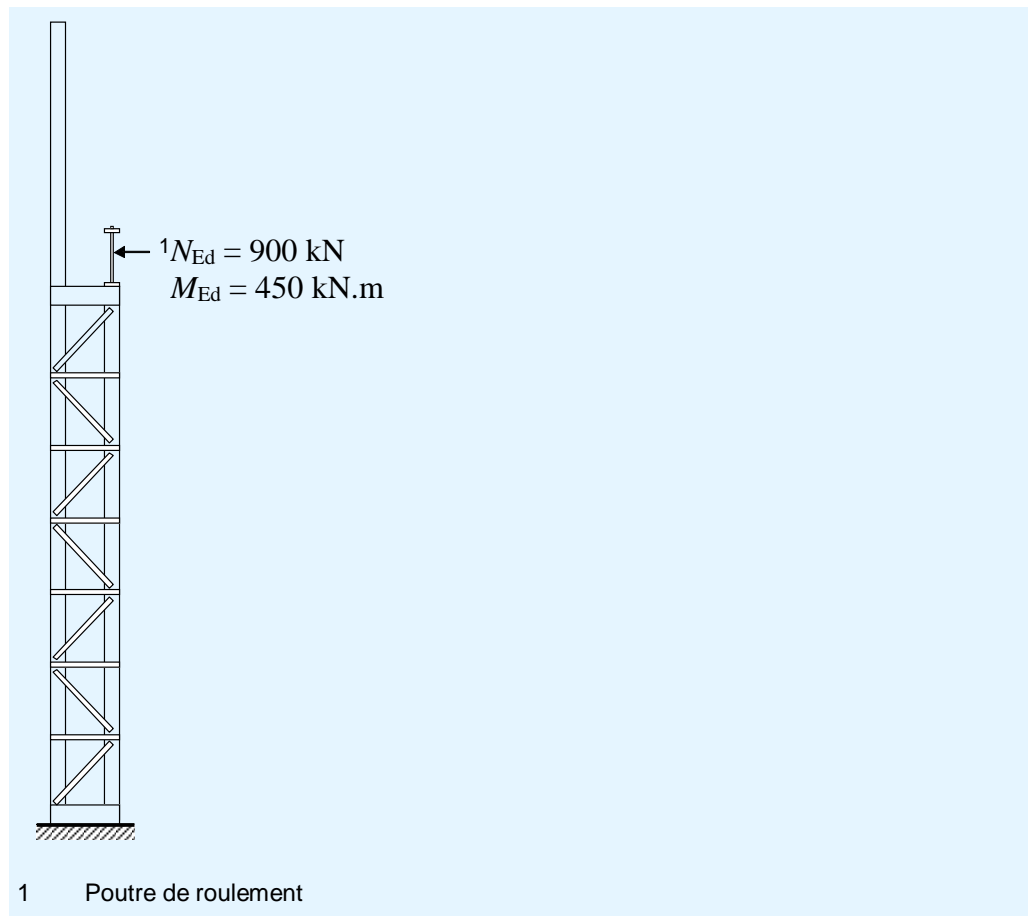


Figure 2.2 Poteau composé supportant une poutre de roulement de pont roulant

Les poteaux composés sont formés de deux membrures parallèles interconnectées à l'aide de treillis ou de barrettes de liaison – voir Figure 2.1. En général, le système treillis est conçu de telle manière que la matière soit localisée aux endroits structuraux les plus efficaces pour assurer le transfert des efforts.

Dans un bâtiment industriel et pour une hauteur donnée, les poteaux composés conduisent théoriquement à un poids d'acier plus faible que n'importe quel autre système structurel.

N'importe quelle section laminée à chaud peut être utilisée pour réaliser les membrures et les âmes des poteaux composés. Cependant, pour les membrures, les sections en U ou en I sont les plus couramment utilisées. Combinées avec des cornières, elles représentent une solution technique pratique pour les poteaux composés en treillis ou à barrettes de liaison. Des plats sont également utilisés pour réaliser les barrettes.

Ce guide couvre deux types of poteaux composés articulés aux extrémités et supposés maintenus latéralement :

- les poteaux en treillis,

- les poteaux à barrettes de liaison.

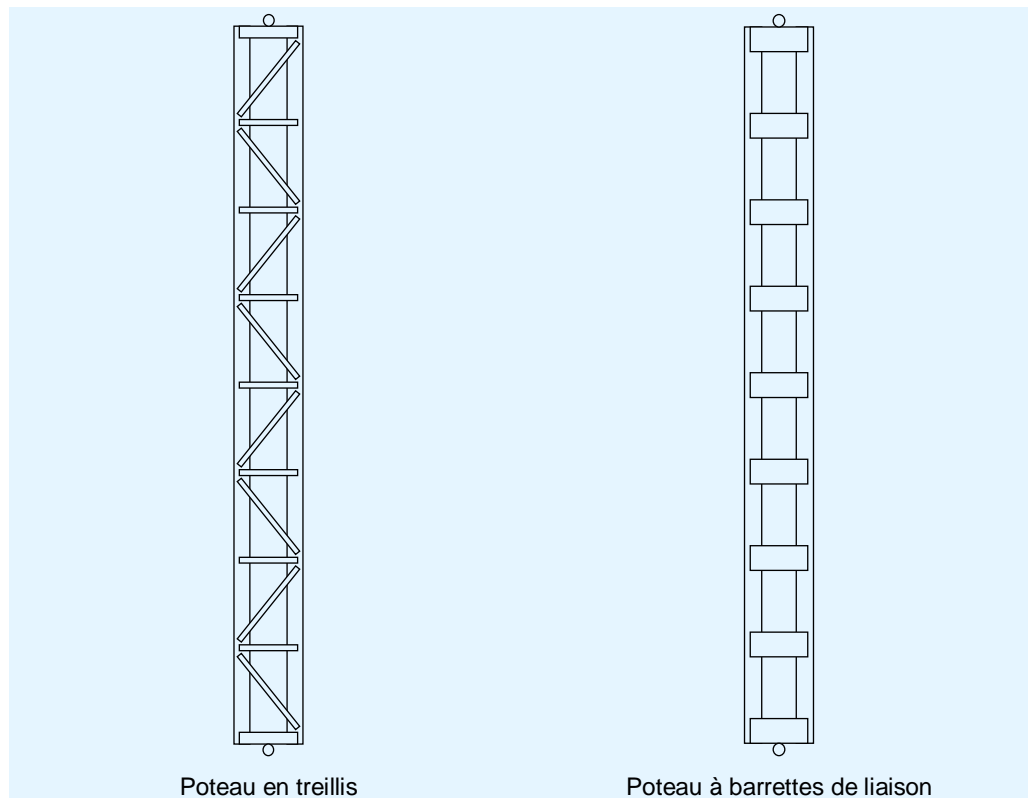


Figure 2.3 Poteaux composés

La différence entre ces deux types de poteaux composés vient du mode d'assemblage des éléments d'âmes (treillis ou barrettes) sur les membrures. Le premier type contient des diagonales (et éventuellement des montants) calculés comme articulés à leurs extrémités. Le second type nécessite des barrettes dont les extrémités sont encastées sur les membrures et qui fonctionnent comme un panneau rectangulaire.

L'inertie des poteaux composés augmente avec la distance entre les axes des membrures. L'augmentation de la rigidité est contrebalancée par l'augmentation du poids et du coût de l'assemblage entre les éléments.

Les poteaux composés constituent des structures de poids relativement faible avec une grande inertie. Bien sûr, la position des membrures, éloignées du centre de gravité de la section composée, est très bénéfique pour produire une grande inertie. Ces barres sont généralement destinées aux structures de grande hauteur pour lesquelles les déplacements horizontaux sont limités à de faibles valeurs (par exemple les poteaux supportant des poutres de roulement de pont roulant).

La résistance axiale des poteaux composés est fortement affectée par les déformations d'effort tranchant car celles-ci amplifient l'imperfection initiale en arc de manière significative.

Il est possible d'étudier le comportement des poteaux composés en utilisant une modélisation élastique simple.

2.2 Poteaux composés en treillis

2.2.1 Généralités

Il existe un grand nombre de configurations de poteaux en treillis. Cependant, les dispositions des treillis en forme de N et de V sont les plus couramment utilisées.



Figure 2.4 Poteau composé en treillis dans un bâtiment industriel

Pour les membrures, le choix de sections en U ou en I présente différents avantages. Les sections en I sont les plus efficaces structurellement et sont potentiellement moins profondes que les sections en U. Pour les poteaux composés soumis à une force axiale de compression importante (par exemple les poteaux supportant un pont roulant), les sections en I ou en H seront mieux adaptées que des sections en U. Les sections en U peuvent être intéressantes pour offrir deux faces entièrement planes.

Les sections en T obtenues par découpage à partir de sections en H sont également utilisables en tant que membrures. L'âme des sections en T doit être suffisamment profonde pour permettre un soudage facile des barres de treillis.

Pour réaliser les âmes des poteaux en treillis, le recours à des cornières permet de minimiser le soudage de goussets réduisant ainsi les coûts de fabrication. D'autres types de sections exigent des goussets ou des opérations de soudage plus complexes.

Les axes des centres de gravité des barres tendues et comprimées des âmes ne doivent pas nécessairement se rencontrer au même point sur les axes des membrures. En fait, les poteaux en treillis avec une excentricité des attaches peuvent être aussi efficaces que ceux sans excentricité. Les attaches âme-membrure peuvent être décalées sans conduire à une augmentation du poids

d'acier. Bien que des attaches excentrées demandent que le calcul prenne en compte les moments locaux, il existe plusieurs avantages à procéder ainsi. Les attaches excentrées fournissent un espace additionnel pour le soudage, réduisant ainsi la difficulté de fabrication. De plus, la réduction de la longueur des membrures comprimées amène une augmentation de la résistance au flambement et à la flexion qui compense partiellement les moments additionnels créés par l'excentricité. Pour des cornières simples, il est recommandé que l'excentricité des attaches soit réduite.

2.2.2 Différentes géométries des treillis

La disposition des treillis en N, comme montré à la Figure 2.5(a), peut être considérée comme la configuration la plus efficace pour les portiques de bâtiments industriels. La disposition en N comprend des diagonales et des montants qui se rencontrent au même point sur l'axe des membrures.

Cette disposition réduit la longueur des membrures comprimées et des diagonales. Elle est fréquemment utilisée dans les portiques soumis à un effort de compression uniforme significatif.

La disposition des treillis en V augmente la longueur de la membrure comprimée et des diagonales ce qui conduit à une réduction de la résistance au flambement des barres. Cette disposition est utilisée dans les portiques soumis à une petite force de compression.

Les dispositions en X des treillis ne sont généralement pas utilisées dans les bâtiments en raison de leur coût et de leur complexité de fabrication.

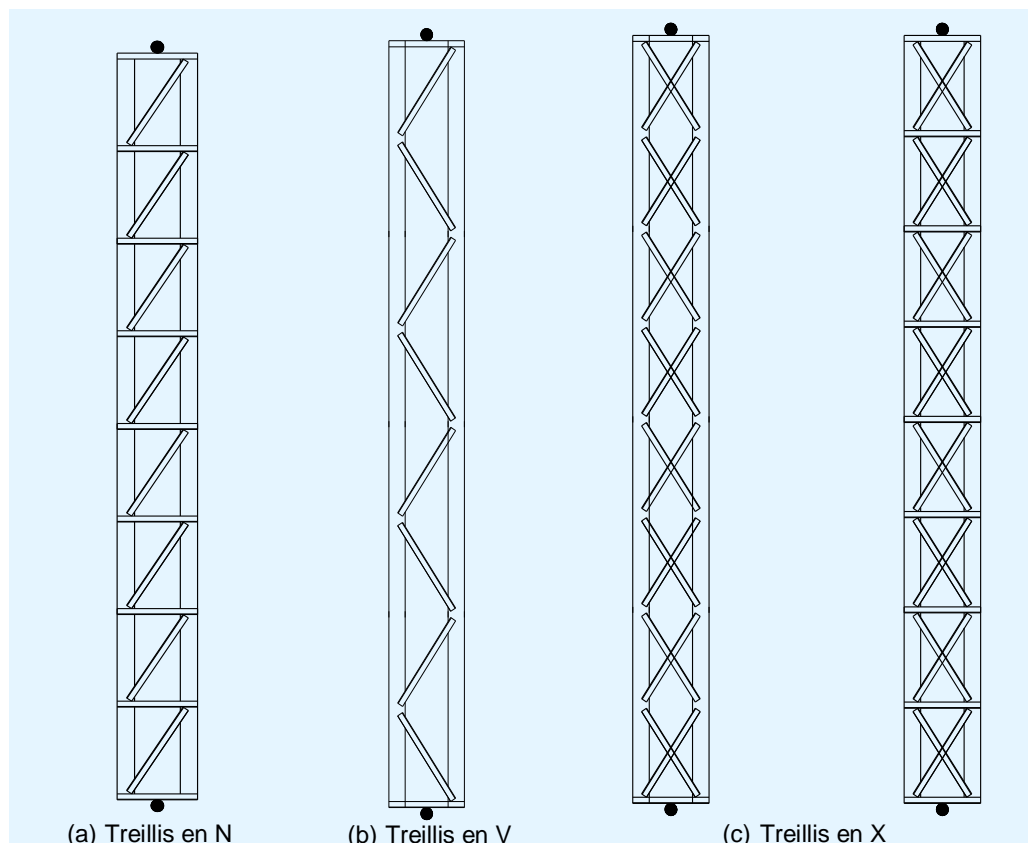


Figure 2.5 Différentes dispositions de treillis

2.2.3 Dispositions constructives

Les treillis en V situés sur deux faces opposées d'une barre composée à deux plans de treillis parallèles doivent être disposés en correspondance comme montré à la Figure 2.6(a) (EN 1993-1-1 § 6.4.2.2(1)).

Dans le cas où les treillis en V situés sur deux faces opposées d'une barre composée à deux plans de treillis parallèles sont disposés en opposition, comme montré à la Figure 2.6(b), les effets de torsion qui en résultent doivent être pris en compte. Le calcul des membrures doit prendre en compte l'excentricité additionnelle provoquée par l'effet de flexion transversale qui peut avoir une influence significative sur le dimensionnement de l'élément.

Des panneaux de jonction doivent être disposés aux extrémités des systèmes de treillis, aux points où le treillis est interrompu et au niveau des assemblages avec d'autres barres.

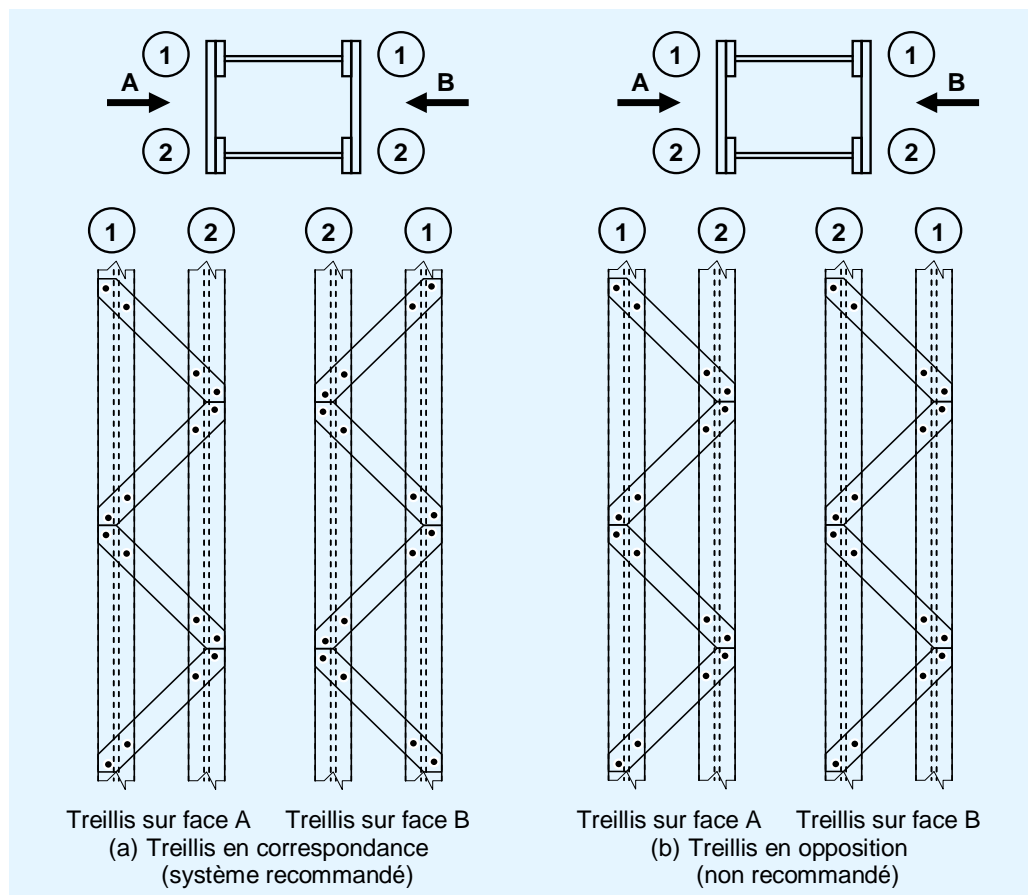


Figure 2.6 Treillis en V disposés sur les faces opposées de barres composées à deux plans de treillis parallèles

2.3 Poteaux composés à barrettes de liaison

Les poteaux composés à barrettes de liaison ne sont pas appropriés pour les portiques de bâtiments industriels. Ils sont quelquefois utilisés comme éléments de portiques isolés dans des conditions spécifiques où les forces horizontales ne sont pas significatives.

Les sections en U ou en I sont les plus utilisées pour les membrures alors que les barrettes sont réalisées avec des plats. Les extrémités des barrettes doivent être encastrées sur les membrures.

Les poteaux composés à barrettes de liaison sont composés de deux plans parallèles de barrettes qui sont assemblées aux semelles des membrures. La position des barrettes doit être la même dans les deux plans. Des barrettes doivent être disposées à chaque extrémité du poteau.

Des barrettes doivent également être disposées aux points intermédiaires où les charges sont appliquées et aux points de maintien latéral.

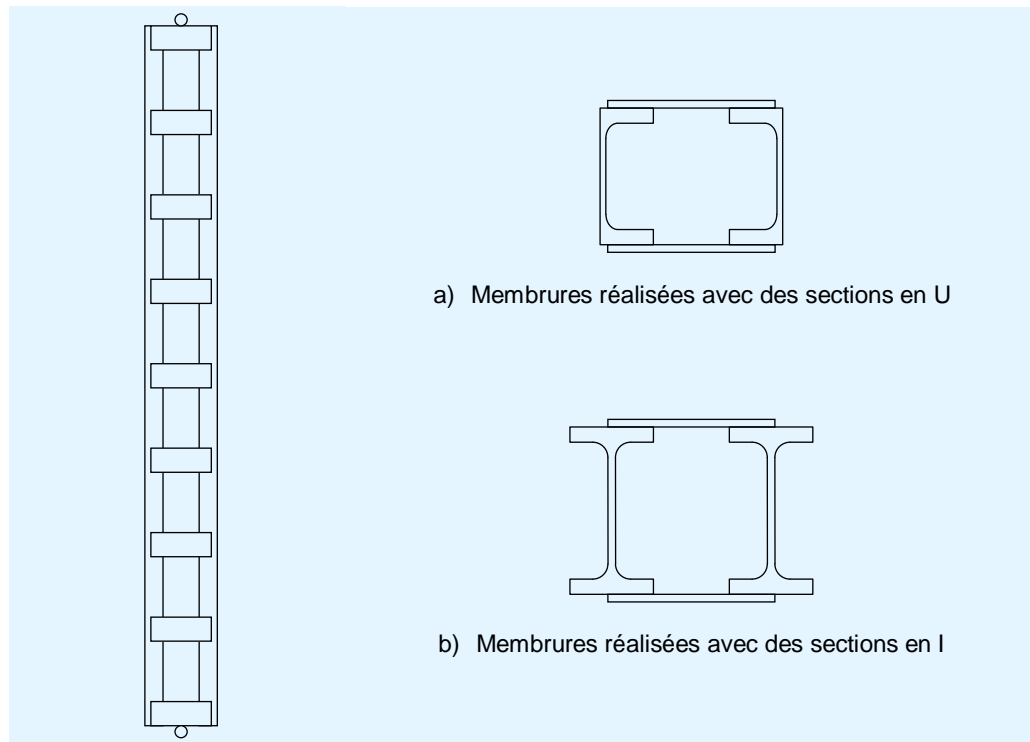


Figure 2.7 Barre comprimée à barrettes avec deux types de membrures

3 CALCULS DÉTAILLÉS

3.1 Généralités

La méthodologie de calcul décrite ci-après peut être appliquée pour vérifier la résistance des différents composants d'un poteau composé articulé à ses deux extrémités, pour la combinaison ELU la plus critique. La valeur de calcul de l'effort axial, N_{Ed} , et la valeur de calcul du moment fléchissant, M_{Ed} , par rapport à l'axe fort de la barre composée, sont supposées avoir été déterminées à partir d'une analyse en accord avec l'EN 1993-1-1^[1].

Cette méthodologie est applicable aux poteaux composés où les treillis ou les barrettes de liaison consistent en des modules identiques avec membrures parallèles. Le nombre minimum de modules dans une barre est de trois.

La méthodologie est résumée dans le logigramme de la Figure 3.2 pour les poteaux composés en treillis, et à la Figure 3.4 pour les poteaux composés à barrettes de liaison. Elle est illustrée par un exemple donné à l'Annexe A.

3.2 Méthodologie de calcul des poteaux composés en treillis

3.2.1 Étape 1 : Effort de compression maximum dans les membrures

Moment d'inertie de flexion efficace

Le moment d'inertie de flexion efficace est calculé en utilisant l'expression suivante (EN 1993-1-1 § 6.4.2.1(4)) :

$$I_{\text{eff}} = 0,5 h_0^2 A_{\text{ch}}$$

où :

h_0 est la distance entre les centres de gravité des membrures,

A_{ch} est l'aire de la section transversale d'une membrure.

Rigidité de cisaillement

Pour la vérification de la stabilité d'un poteau composé en treillis, il convient de considérer les allongements élastiques des diagonales et des membrures afin d'en déduire la rigidité de cisaillement S_v . Les formules de calcul de la rigidité de cisaillement S_v sont données dans le Tableau 3.1 pour différents types de treillis.

Imperfection initiale en arc

Le poteau composé est considéré comme un poteau avec une imperfection initiale en arc égale à e_0 , comme montré à la Figure 3.1 :

$$e_0 = L/500$$

où :

L est la longueur de flambement de la barre composée.

Tableau 3.1 Rigidité de cisaillement S_v de poteaux composés

Forme en N	Forme en V	Forme en K	Forme en X
$S_v = \frac{nEA_d a h_0^3}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_d d^3} \right]}$	$S_v = \frac{nEA_d a h_0^2}{2d^3}$	$S_v = \frac{nEA_d a h_0^2}{d^3}$	$S_v = \frac{2nEA_d a h_0^2}{d^3}$
<p>n est le nombre de plans du treillis A_d est l'aire de la section transversale d'une diagonale A_v est l'aire de la section transversale d'un montant d est la longueur de la diagonale</p>			

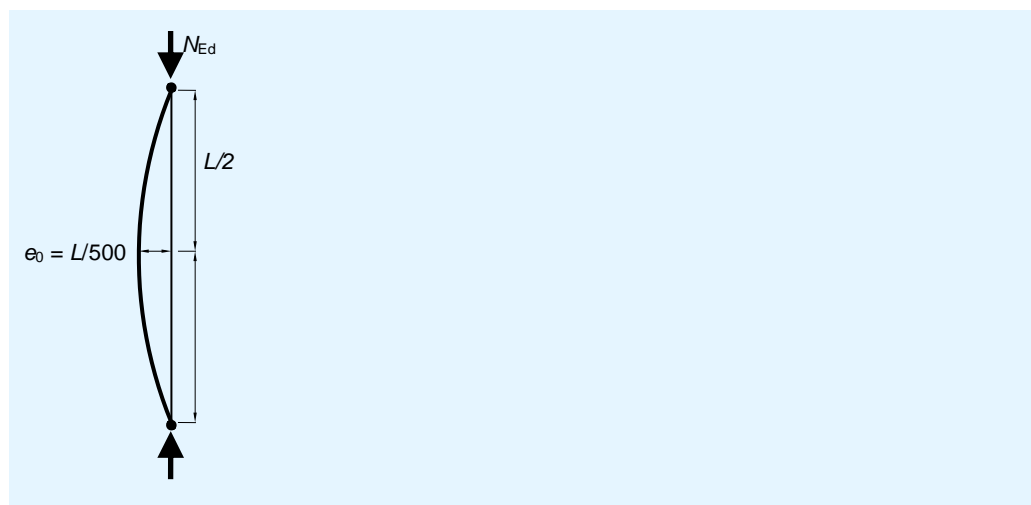


Figure 3.1 Imperfection initiale en arc

Effort de compression maximum dans les membrures

Les vérifications des membrures doivent être menées pour les efforts axiaux de calcul $N_{ch,Ed}$ résultant de l'effort de compression N_{Ed} et du moment M_{Ed} agissant à mi-hauteur du poteau composé.

Pour une barre avec deux membrures identiques, l'effort de calcul $N_{ch,Ed}$ est déterminé au moyen de l'expression suivante (EN 1993-1-1 § 6.4) :

$$N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2I_{eff}}$$

où :

M_{Ed} est la valeur de calcul du moment maximum de flexion agissant à mi-hauteur de la barre composée incluant l'imperfection équivalente e_0 et les effets du second ordre :

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$$

N_{cr} est l'effort critique efficace de la barre composée :

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2}$$

N_{Ed} est la valeur de calcul de l'effort de compression agissant dans la barre composée,

M_{Ed}^I est la valeur de calcul du moment maximum de flexion agissant à mi-hauteur de la barre composée sans considérer les effets du second ordre.

3.2.2 Étape 2 : Résistance au flambement dans le plan de la membrure Classification de la section transversale de la membrure

La section transversale de la membrure doit être classifiée selon le Tableau 5.2 de l'EN 1993-1-1.

Résistance au flambement d'une membrure selon l'axe z-z

La résistance de la membrure doit être vérifiée au flambement par flexion dans le plan de la barre composée, c'est-à-dire selon l'axe faible de la section transversale de la membrure (axe z-z). La vérification au flambement est donnée par (EN 1993-1-1 § 6.4.2) :

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,z,Rd}} \leq 1$$

où :

$N_{b,z,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance de la membrure au flambement selon l'axe faible de la section transversale, calculée d'après l'EN 1993-1-1 § 6.3.1.

Des informations sur la longueur de flambement L_{ch} de la membrure sont fournies au Paragraphe 3.4 de ce guide.

3.2.3 Étape 3 : Résistance au flambement hors du plan des membrures

Le flambement hors du plan de la barre, c'est-à-dire le flambement selon l'axe fort de la section transversale de la membrure (axe y-y), doit être considéré. La vérification au flambement est donnée par :

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1$$

où :

$N_{b,y,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance de la membrure au flambement selon l'axe fort de la section transversale, calculée d'après l'EN 1993-1-1 § 6.3.1.

La longueur de flambement dépend des conditions d'appui de la barre composée pour le flambement hors du plan. Aux extrémités de la barre, les appuis sont généralement considérés comme articulés. Il est possible cependant que des maintiens latéraux intermédiaires soient assurés.

3.2.4 Étape 4 : Effort tranchant maximum

La vérification des treillis d'un poteau composé articulé aux extrémités est menée pour les panneaux d'extrémité en prenant en compte l'effort tranchant comme décrit ci-après.

Pour une barre composée soumise seulement à un effort axial de compression, l'expression de l'effort tranchant est :

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L}$$

où :

M_{Ed} est le moment fléchissant comme calculé à l'Étape 2, avec : $M_{Ed}^I = 0$

Pour une barre composée soumise à une charge uniformément distribuée, l'expression de calcul de l'effort tranchant est :

$$V_{Ed} = 4 \frac{M_{Ed}}{L}$$

où :

M_{Ed} est le moment fléchissant maximum dû à la charge répartie.

Les poteaux composés sont souvent soumis à la combinaison d'un effort de compression N_{Ed} et d'une charge uniformément distribuée. Par conséquent, le coefficient varie entre π/L et $4/L$. Par simplification, l'effort tranchant peut être calculé par interpolation linéaire :

$$V_{Ed} = \frac{1}{L} \left(4 - (4 - \pi) \frac{e_o N_{Ed}}{e_o N_{Ed} + M_{Ed}^I} \right) M_{Ed}$$

où :

M_{Ed} est le moment fléchissant maximum comme calculé à l'Étape 2. Le moment M_{Ed}^I est le moment maximum dû à la charge répartie.

3.2.5 Étape 5 : Résistance au flambement du treillis en compression Effort de compression maximum

L'effort axial maximum N_{Ed} dans les treillis adjacents aux extrémités provient de l'effort tranchant V_{Ed} .

Classification des barres de treillis en compression

La section transversale des barres de treillis est classifiée selon le Tableau 5.2 de l'EN 1993-1-1.

Résistance au flambement

La vérification de la résistance au flambement des barres de treillis doit être effectuée pour le flambement selon l'axe faible de la section transversale, en utilisant le critère suivant :

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

où $N_{b,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance au flambement des barres de treillis selon l'axe faible de la section transversale, calculée selon l'EN 1993-1-1 § 6.3.1.

Des informations sur la longueur de flambement du treillis sont données au Paragraphe 3.4.

3.2.6 Étape 6 : Résistance du treillis en traction

La résistance de la section transversale du treillis doit être vérifiée selon l'EN 1993-1-1 § 6.2.3 pour l'effort axial de traction issu de l'effort tranchant maximum V_{Ed} comme décrit à l'Étape 3.

3.2.7 Étape 7 : Résistance des attaches diagonales-membrures

La résistance des attaches entre le treillis et les membrures doit être vérifiée selon l'EN 1993-1-8^[2]. Cette vérification dépend du mode d'assemblage : boulonné ou soudé. Elle doit être menée en utilisant les sollicitations calculées dans les étapes précédentes.

L'exemple de l'Annexe A comprend les vérifications détaillées d'un assemblage soudé.

3.2.8 Logigramme

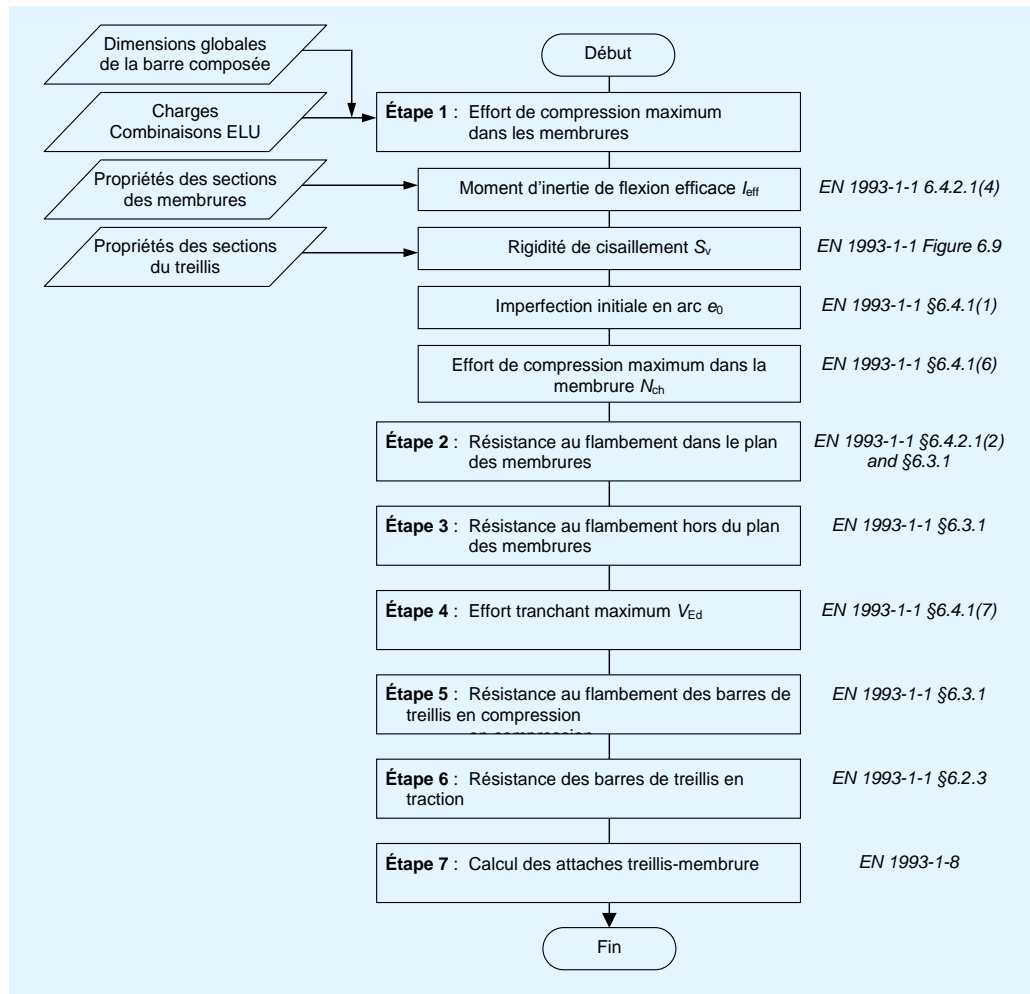


Figure 3.2 Logigramme de la méthodologie de calcul des poteaux composés en treillis

3.3 Méthodologie de calcul des poteaux composés à barrettes de liaison

3.3.1 Étape 1 : Effort de compression maximum dans les membrures

Moment d'inertie de flexion efficace

Le moment d'inertie de flexion efficace est calculé en utilisant l'expression suivante (EN 1993-1-1 § 6.4.3.1(3)) :

$$I_{\text{eff}} = 0,5 h_0^2 A_{\text{ch}} + 2\mu I_{\text{ch}}$$

où :

h_0 est la distance entre les centres de gravité des membrures,

A_{ch} est l'aire de la section transversale d'une membrure,

I_{ch} est le moment d'inertie de flexion dans le plan pour une membrure,

μ est le facteur d'efficacité d'après le Tableau 3.2.

Table 3.2 Facteur d'efficacité (EN 1993-1-1, Tableau 6.8)

Critère	Facteur d'efficacité μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$2 - \lambda/75$
$\lambda \leq 75$	1,0
où : $\lambda = \frac{L}{i_0}$ $i_0 = \sqrt{\frac{I_t}{2A_{ch}}}$ $I_t = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$	

Rigidité de cisaillement

Pour la vérification de la stabilité d'un poteau composé à barrettes de liaison, il convient de considérer les déformations élastiques des barrettes et des membrures afin d'en déduire la rigidité de cisaillement S_v à l'aide de l'expression suivante (EN 1993-1-1 § 6.4.3.1(2)) :

$$S_v = \frac{24EI_{ch}}{a^2 \left[1 + \frac{2I_{ch}}{nI_b} \frac{h_0}{a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2}$$

mais S_v ne doit pas être pris plus grand que $\frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2}$

où :

- a est la distance entre les barrettes,
- n est le nombre de plans de barrettes,
- I_b est le moment d'inertie de flexion dans le plan pour une barrette.

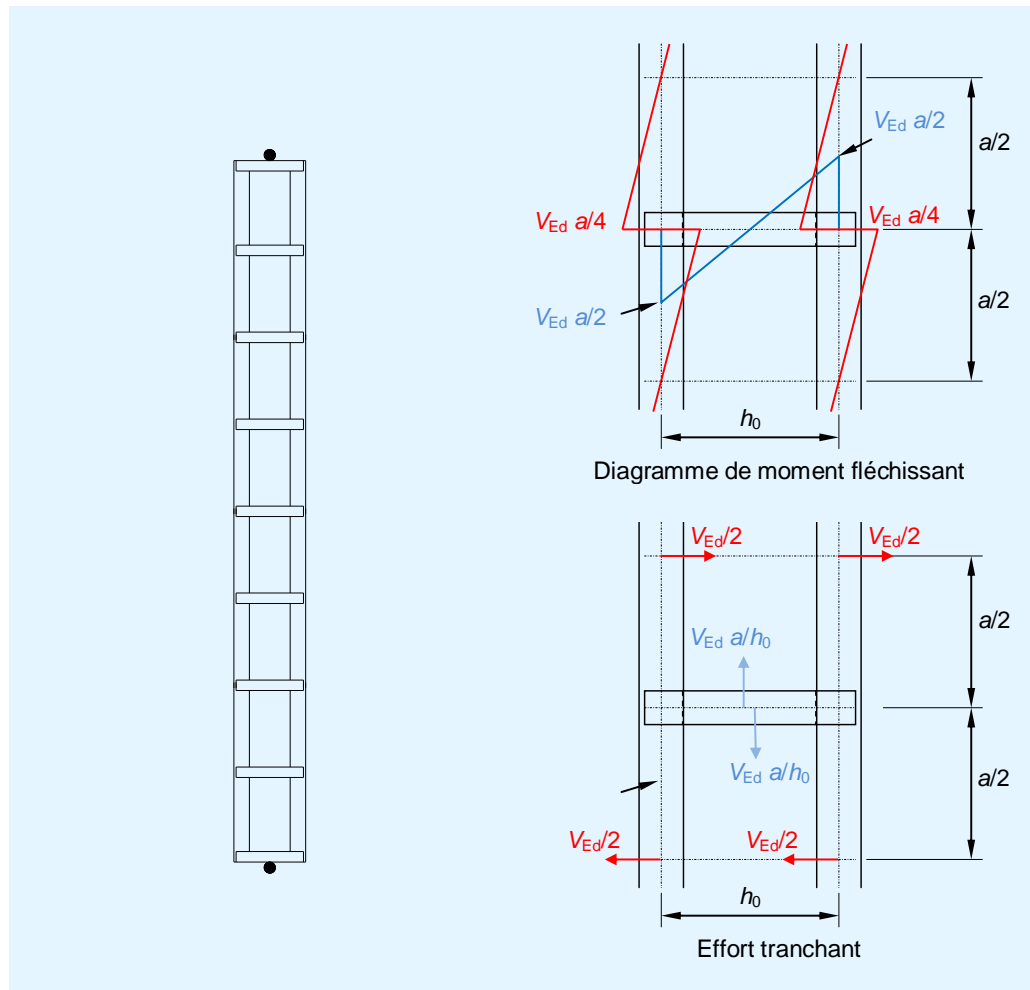


Figure 3.3 Moment fléchissant et effort tranchant dans un panneau d'un poteau composé à barrettes de liaison

Imperfection initiale en arc

L'imperfection initiale en arc e_0 est :

$$e_0 = L/500$$

où :

L est la longueur du poteau composé.

Effort de compression maximum dans les membrures

La valeur de calcul de l'effort de compression maximum $N_{ch,Ed}$ dans les membrures est obtenue à partir de l'expression donnée en 3.2.1.

3.3.2 Étape 2 : Résistance au flambement dans le plan de la membrure

Classification de la section transversale de la membrure

La section transversale de la membrure doit être classifiée selon le Tableau 5.2 de l'EN 1993-1-1.

Résistance au flambement d'une membrure selon l'axe z-z

La résistance de la membrure doit être vérifiée pour la flexion et la compression et pour le flambement dans le plan de la barre composée, c'est-à-dire selon l'axe faible de la section transversale de la membrure (axe z-z) et

calculé d'après l'EN 1993-1-1 § 6.3.3. En fonction de la géométrie du poteau composé à barrettes de liaison, les vérifications doivent être menées pour différents tronçons de la membrure :

- Pour un panneau d'extrémité avec l'effort tranchant maximum et donc le moment fléchissant local maximum ;
- Pour un panneau situé à mi-hauteur où l'effort de compression peut être maximum dans la membrure.

3.3.3 Étape 3 : Résistance au flambement hors du plan des membrures

La résistance au flambement hors du plan est vérifiée en utilisant le critère suivant :

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1$$

où :

$N_{b,y,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance de la membrure au flambement selon l'axe fort de la section transversale, calculée d'après l'EN 1993-1-1 § 6.3.1.

La longueur de flambement dépend des conditions d'appui du poteau composé pour le flambement hors du plan. Aux extrémités de la barre, les appuis sont généralement considérés comme articulés. Il est possible, cependant, que des maintiens latéraux intermédiaires soient assurés.

3.3.4 Étape 4 : Effort tranchant

L'effort tranchant V_{Ed} est calculé à partir du moment fléchissant maximum comme pour un poteau composé en treillis, selon le §3.2.4 de ce guide.

3.3.5 Étape 5 : Résistance des barrettes

Comme montré à la Figure 3.3, les barrettes doivent être calculées pour résister à l'effort tranchant :

$$V_{Ed} \frac{a}{h_0}$$

et au moment fléchissant :

$$M_{Ed} = \frac{V_{Ed} a}{2}$$

La classe de la section transversale doit être déterminée selon le Tableau 5.2 de l'EN 1993-1-1, pour la flexion pure. La résistance de la section doit être vérifiée en utilisant les critères appropriés donnés dans l'EN 1993-1-1 § 6.2.

3.3.6 Étape 5 : Résistance des attaches barrette-membrure

La résistance des attaches entre les barrettes et les membrures doit être vérifiée selon l'EN 1993-1-8. Cette vérification dépend du mode d'assemblage : boulonné ou soudé. Elle doit être menée en utilisant les sollicitations calculées dans les étapes précédentes.

3.3.7 Logigramme

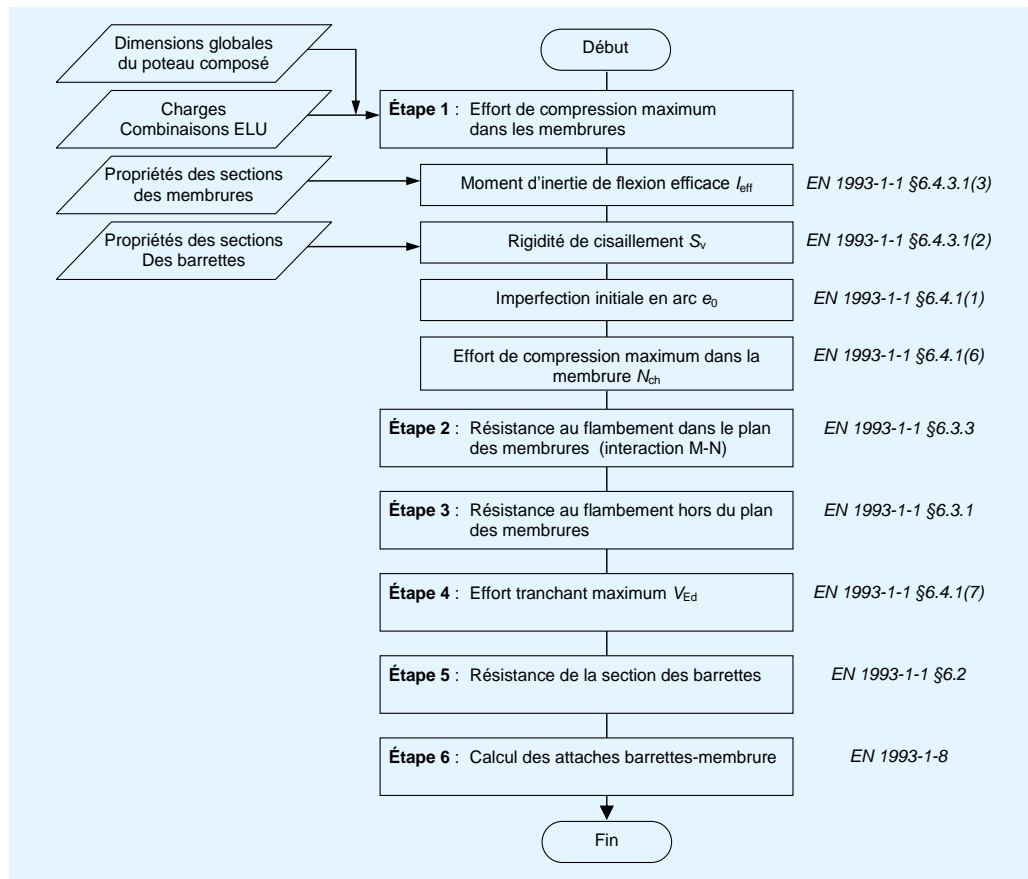


Figure 3.4 Logigramme de la méthodologie de calcul des poteaux composés à barrettes de liaison

3.4 Longueurs de flambement

3.4.1 Poteaux à treillis

Membrures

Selon l'Annexe BB de l'EN 1993-1-1, la longueur de flambement L_{cr} d'une membrure à section laminée en I ou en H d'un poteau composé est prise égale à $0,9L$ pour le flambement dans le plan et $1,0L$ pour le flambement hors du plan. Ces valeurs peuvent être réduites si cela est justifié grâce à une analyse détaillée.

L est la distance, dans un plan donné, entre deux points adjacents au niveau desquels une barre est tenue vis-à-vis du déplacement latéral dans ce plan, ou entre un tel point et l'extrémité de l'élément.

Treillis

Des cornières sont principalement utilisées comme barres de treillis.

A condition que les membrures procurent un encastrement d'extrémité adéquat aux barres de treillis en compression constituées de cornières et que les attaches d'extrémité assurent un degré de fixité approprié (au moins deux boulons en cas d'attache boulonnée), la longueur de flambement L_{cr} pour le

flambement dans le plan est prise égale à $0,9L$, si L est la longueur d'épure entre attaches.

Lorsqu'un seul boulon est utilisé pour les attaches d'extrémité des cornières de treillis, l'excentricité doit être prise en compte et la longueur de flambement L_{cr} est prise égale à la longueur d'épure L .

L'élançement réduit $\bar{\lambda}_{eff}$ des cornières de treillis est donné dans l'EN 1993-1-1 § BB.1.2 comme suit :

$$\bar{\lambda}_{eff} = 0,35 + 0,7\bar{\lambda}$$

où :

$\bar{\lambda}$ est l'élançement réduit défini dans l'EN 1993-1-1 § 6.3.

Pour des sections autres que les cornières, les treillis peuvent être calculés pour le flambement dans le plan en utilisant une longueur de flambement plus petite que la longueur d'épure et en utilisant l'élançement réduit comme défini dans l'EN 1993-1-1 § 6.3, à condition que les membrures réalisent un encastrement adéquat aux extrémités et que les attaches assurent un degré de fixité approprié (au moins deux boulons en cas d'attache boulonnée). En pratique, la longueur de flambement L_{cr} d'un profilé laminé est égale à la distance entre attaches pour le flambement dans le plan et pour le flambement hors plan.

3.4.2 Poteaux à barrettes

Par simplicité, tout maintien potentiel aux extrémités des poteaux est négligé et la longueur de flambement des membrures peut être prise égale à la longueur d'épure.

RÉFÉRENCES

- 1 EN 1993-1-1:2005 - Eurocode 3. Calcul des structures en acier. Règles générales et règles pour les bâtiments.
- 2 EN 1993-1-8:2005 - Eurocode 3. Calcul des structures en acier. Calcul des assemblages.

ANNEXE A

Exemple d'application : calcul d'un poteau composé en treillis

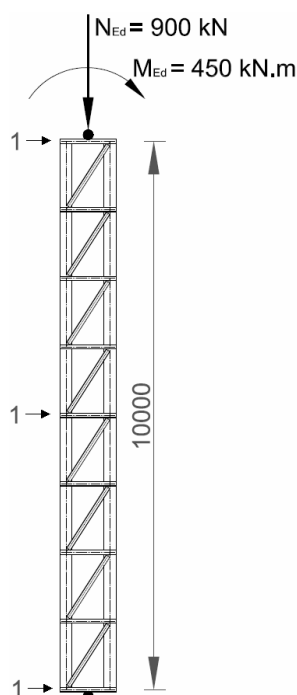
1. Introduction

Cet exemple concerne la vérification d'un poteau composé typique soumis à une force axiale de compression et un moment fléchissant. Les calculs sont menés selon l'EN 1993-1-1. Aucune annexe nationale n'est considérée et les valeurs utilisées dans les calculs sont celles qui sont recommandées dans l'EN 1993-1-1.

Les calculs sont réalisés avec la méthodologie donnée au Paragraphe 3.2 de ce guide.

2. Description

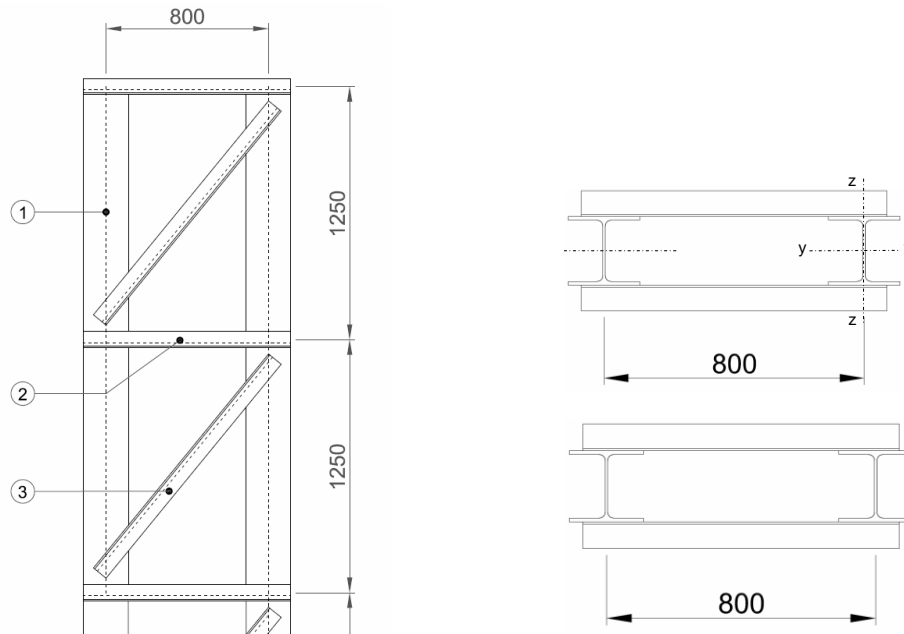
La géométrie du poteau est décrite à la Figure A.1 et la Figure A.2. Pour la combinaison d'actions la plus défavorable à l'ELU, un effort axial et un moment de flexion selon l'axe fort de la section composée sont appliqués au sommet du poteau.



1 Maintiens latéraux

Figure A.1 Modèle de calcul

Le poteau composé est maintenu contre le flambement hors du plan à ses deux extrémités et à mi-hauteur.



- 1 Membrures HEA 200
 2 Montants Cornières L 90 × 90 × 9
 3 Diagonales Cornières L 80 × 80 × 8

Figure A.2 Géométrie du poteau composé

Propriétés des sections

Notons que l'axe y-y et l'axe z-z se réfèrent respectivement à l'axe fort et à l'axe faible de chaque composant.

Membrures : HEA 220 – S355

$$A_{ch} = 64,3 \text{ cm}^2$$

$$i_y = 9,17 \text{ cm} \quad i_z = 5,51 \text{ cm}$$

Diagonales : Cornières à ailes égales L 90 × 90 × 9 – S355

$$A_d = 15,52 \text{ cm}^2$$

$$i_y = i_z = 2,73 \text{ cm} \quad i_u = 3,44 \text{ cm} \quad i_v = 1,75 \text{ cm}$$

Montants : Cornières à ailes égales L 80 × 80 × 8 – S355

$$A_v = 12,27 \text{ cm}^2$$

$$i_y = i_z = 2,43 \text{ cm} \quad i_u = 3,06 \text{ cm} \quad i_v = 1,56 \text{ cm}$$

Titre	ANNEXE A Exemple d'application - Calcul d'un poteau composé en treillis	3 sur 12
<p>3. Étape 1 : Effort de compression maximum dans les membrures</p> <p>3.1. Moment d'inertie de flexion efficace</p> <p>Le moment d'inertie de flexion efficace de la section composée selon l'axe fort est calculé en utilisant l'expression suivante :</p> $I_{\text{eff}} = 0,5 h_0^2 A_{\text{ch}}$ <p>où :</p> <p>A_{ch} est l'aire de la section d'une membrure, h_0 est la distance entre les centres de gravité des montants.</p> <p>La valeur du moment d'inertie de flexion efficace est :</p> $I_{\text{eff}} = 0,5 \times 80^2 \times 64,3 = 205800 \text{ cm}^4$ <p>3.2. Rigidité de cisaillement</p> <p>Pour des treillis en N, l'expression de la rigidité de cisaillement est :</p> $S_v = \frac{nEA_d a h_0^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$ <p>où :</p> $d = \sqrt{h_0^2 + a^2} = \sqrt{0,8^2 + 1,25^2} = 1,48 \text{ m}$ <p>n est le nombre de plan de treillis ($n = 2$), A_d est l'aire de la section des diagonales, A_v est l'aire de la section des montants.</p> <p>Par conséquent :</p> $S_v = \frac{2 \times 210000 \times 1552 \times 1250 \times 800^2}{1480^3 \left[1 + \frac{1552 \times 800^3}{1227 \times 1480^3} \right]} \times 10^{-3}$ $S_v = 134100 \text{ kN}$ <p>3.3. Imperfection initiale en arc</p> <p>L'imperfection initiale en arc est prise égale à :</p> $e_0 = L/500 = 10000/500 = 20 \text{ mm}$		<p>EN 1993-1-1 § 6.4.2.1</p> <p>EN 1993-1-1 Figure 6.9</p> <p>EN 1993-1-1 § 6.4.1(1)</p>

Titre	ANNEXE A Exemple d'application - Calcul d'un poteau composé en treillis	4 sur 12
<p>3.4. Effort de compression maximum dans les membrures</p> <p>L'effort de compression maximum dans les membrures, $N_{ch,Ed}$, est déterminé à mi-hauteur du poteau composé comme suit :</p> $N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2I_{eff}}$ <p>où :</p> $M_{Ed} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$ <p>N_{cr} est la force critique efficace de la barre composée :</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 205800 \times 10^4}{10000^2} \times 10^{-3} = 42650 \text{ kN}$ <p>Le moment fléchissant maximum incluant l'imperfection initiale en arc et les effets du second ordre est :</p> $M_{Ed} = \frac{900 \times 0,02 + 450}{1 - \frac{900}{42650} - \frac{900}{134100}} = 481,4 \text{ kNm}$ <p>Dans la membrure la plus comprimée, l'effort axial est alors :</p> $N_{ch,Ed} = \frac{900}{2} + \frac{481,4 \times 0,8 \times 64,34 \times 10^{-4}}{2 \times 205800 \times 10^{-8}} = 1052 \text{ kN}$ <p>4. Étape 2 : Résistance au flambement dans le plan de la membrure</p> <p>4.1. Classification de la section transversale de la membrure</p> <p>Nous avons $\varepsilon = 0,81$ pour un acier de nuance S355</p> <p>Élancement de la semelle : $c/t_f = 88,5 / 11 = 8,05 < 10 \varepsilon = 8,10$ Classe 2</p> <p>Élancement de l'âme : $c/t_w = 152 / 7 = 21,7 < 33 \varepsilon = 26,73$ Classe 1</p> <p>La section transversale est donc de Classe 2 en compression pure.</p> <p>4.2. Résistance au flambement d'une membrure</p> <p>La résistance au flambement de la membrure la plus comprimée est vérifiée selon l'EN 1993-1-1 § 6.3.1 pour le flambement selon l'axe faible de la section transversale, c'est-à-dire l'axe z-z.</p>		EN 1993-1-1 § 6.4.1(6)

Titre	ANNEXE A Exemple d'application - Calcul d'un poteau composé en treillis	5 sur 12
<p>La longueur de flambement d'une section en H laminée à chaud peut être prise égale à $0,9 a$ pour le flambement dans le plan si a est la longueur d'épure entre deux nœuds du poteau composé.</p> <p>Longueur de flambement des membrures :</p> $L_{cr,z} = 0,9 a = 0,9 \times 1,25 = 1,125 \text{ m}$ <p>L'élancement est :</p> $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$ <p>où :</p> <p>i_z est le rayon de giration de la section brute selon l'axe faible.</p> <p>Par conséquent : $\lambda_z = \frac{1125}{55,1} = 20,42$</p> $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \varepsilon \quad \text{avec : } \varepsilon = 0,81 \text{ pour un acier de nuance S355}$ $\lambda_1 = 93,9 \times 0,81 = 76,06$ <p>L'élancement réduit est alors :</p> $\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{20,42}{76,06} = 0,268$ <p>Pour le flambement selon l'axe faible, la courbe de flambement à considérer est la courbe c, puisque :</p> <p>L'acier est de nuance S355</p> $h/b < 1,2$ $t_f < 100 \text{ mm}$ <p>Le facteur d'imperfection est donc : $\alpha_z = 0,49$</p> <p>Le facteur de réduction χ_z peut être calculé à partir des expressions suivantes :</p> $\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,49 \times (0,268 - 0,2) + 0,268^2 \right] = 0,553$ $\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,553 + \sqrt{0,553^2 - 0,268^2}} = 0,965$ <p>La valeur de calcul de la résistance au flambement est ainsi égale à :</p> $N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A_{ch} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,965 \times 6430 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 2203 \text{ kN}$		

EN 1993-1-1
BB.1.1(2)B

EN 1993-1-1
Tableau 6.2

EN 1993-1-1
§ 6.3.1.2(1)

Titre	ANNEXE A Exemple d'application - Calcul d'un poteau composé en treillis	6 sur 12
<p>Le critère de résistance est alors :</p> $\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,z,Rd}} = \frac{1052}{2203} = 0,477 < 1 \quad \text{Le critère est donc vérifié.}$ <p>5. Étape 3 : Résistance au flambement hors du plan des membrures</p> <p>Le poteau composé est articulé à ses deux extrémités et il est maintenu latéralement à mi-hauteur. En conséquence, la longueur de flambement selon l'axe fort des membrures est égal à :</p> $L_{cr,y} = L/2 = 10000/2 = 5000 \text{ mm}$ <p>L'élancement est :</p> $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$ <p>où :</p> <p>i_y est le rayon de giration de la section brute selon l'axe fort.</p> <p>Par conséquent :</p> $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5000}{91,7} = 54,53$ $\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 76,06$ <p>L'élancement réduit est alors :</p> $\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{54,53}{76,06} = 0,717$ <p>Pour le flambement selon l'axe fort, la courbe de flambement à considérer est la courbe b puisque :</p> <p>L'acier est de nuance S355</p> $h/b < 1,2$ $t_f < 100 \text{ mm}$ <p>Le facteur d'imperfection est donc : $\alpha_y = 0,34$</p> <p>Le facteur de réduction χ_z peut être calculé à partir des expressions suivantes :</p> $\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,34 \times (0,717 - 0,2) + 0,717^2 \right] = 0,845$ $\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,845 + \sqrt{0,845^2 - 0,717^2}} = 0,774$		

EN 1993-1-1
§ 6.3.1.2(1)

La valeur de calcul de la résistance au flambement est égale à :

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y A_{ch} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,774 \times 6430 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 1767 \text{ kN}$$

Le critère de résistance est :

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{1052}{1767} = 0,595 < 1 \quad \text{Le critère est donc vérifié.}$$

6. Étape 4 : Effort tranchant maximum

L'effort de compression maximum est obtenu dans les diagonales des panneaux d'extrémité du poteau composé. Il dépend de l'effort tranchant dans ces panneaux. L'effort tranchant peut être déterminé par l'expression suivante :

$$V_{Ed} = \frac{1}{L} \left(4 - (4 - \pi) \frac{e_0 N_{Ed}}{e_0 N_{Ed} + M_{Ed}^I} \right) M_{Ed}^{II}$$

où :

$$L = 10 \text{ m}$$

$$e_0 = 0,02 \text{ m}$$

$$N_{Ed} = 900 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^I = 450 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed}^{II} = 482 \text{ kN.m}$$

En conséquence :

$$V_{Ed} = \frac{1}{10} \left(4 - (4 - \pi) \frac{0,02 \times 900}{0,02 \times 900 + 450} \right) \times 482 = 191,2 \text{ kN}$$

7. Étape 5 : Résistance au flambement des barres de treillis en compression

7.1. Diagonales

7.1.1. Effort de compression maximum

L'expression de la force de compression $N_{d,Ed}$ dans une diagonale est déduite de l'effort tranchant comme suit :

$$N_{d,Ed} = \frac{V_{Ed} \cos \varphi}{n} = \frac{V_{Ed} d}{n h_0}$$

où :

$$h_0 = 800 \text{ mm}$$

$$d = 1480 \text{ mm}$$

$$n \text{ est le nombre de plans de treillis : } n = 2$$

Titre	ANNEXE A Exemple d'application - Calcul d'un poteau composé en treillis	8 sur 12
<p>soit :</p> $N_{d,Ed} = \frac{191,2 \times 1480}{2 \times 800} = 176,86 \text{ kN}$ <p>7.1.2. Classification d'une diagonale en compression</p> $h/t = 90 / 9 = 10 < 15 \quad \varepsilon = 12,15$ $(b+h) / (2t) = (90+90) / (2 \times 9) = 10 > 11,5 \quad \varepsilon = 9,31 \quad \text{Classe 4}$ <p>Bien que la section transversale soit de Classe 4, selon la Feuille 3 du Tableau 5.2 de l'EN 1993-1-1, le calcul de l'aire de la section efficace n'entraîne pas de réduction. Par conséquent, l'aire de la section est pleinement efficace et le calcul est le même que pour une section de Classe 3.</p> <p>7.1.3. Résistance au flambement d'une diagonale</p> <p>L'élancement réduit peut être calculé selon l'EN 1993-1-1 § BB.1.2 du fait que les diagonales sont soudées aux deux extrémités et que les membrures sont assez rigides pour garantir que les extrémités sont fixes.</p> <p>L'élancement selon l'axe faible est :</p> $\lambda_v = \frac{d}{i_v} = \frac{1480}{17,5} = 84,57$ <p>L'élancement réduit est alors :</p> $\bar{\lambda}_v = \frac{\lambda}{93,9\varepsilon} = \frac{84,57}{93,9 \times 0,81} = 1,112$ <p>et l'élancement réduit efficace :</p> $\bar{\lambda}_{\text{eff},v} = 0,35 + 0,7\bar{\lambda}_v = 0,35 + 0,7 \times 1,112 = 1,128$ <p>La courbe de flambement b est utilisée pour déterminer le facteur de réduction :</p> $\alpha_v = 0,34$ <p>Par conséquent :</p> $\phi_v = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{\text{eff},v} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\text{eff},v}^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,34 \times (1,128 - 0,2) + 1,128^2 \right] = 1,294$ $\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 + \bar{\lambda}_{\text{eff},v}^2}} = \frac{1}{1,294 + \sqrt{1,294^2 - 1,128^2}} = 0,519$ <p>La valeur de calcul de la résistance au flambement d'une diagonale comprimée est alors égale à :</p> $N_{b-d,Rd} = \frac{\chi_v A_d f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,519 \times 1552 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 285,9 \text{ kN}$		<p>EN 1993-1-1 Tableau 5.2 Feuille 3</p> <p>EN 1993-1-1 § BB.1.2</p> <p>EN 1993-1-1 § 6.3.1</p>

Titre	ANNEXE A Exemple d'application - Calcul d'un poteau composé en treillis	9 sur 12
<p>Le critère de résistance est :</p> $\frac{N_{d,Ed}}{N_{b-d,Rd}} \leq 1 \Leftrightarrow \frac{176,8}{285,9} = 0,62 < 1 \quad \text{Ce critère est donc vérifié.}$ <p>7.2. Montants</p> <p>7.2.1. Effort de compression maximum</p> <p>L'effort de compression maximum est :</p> $N_{h,Ed} = V_{Ed} = 191,2 \text{ kN}$ <p>7.2.2. Classification de la section transversale</p> $h/t = 80 / 8 = 10 < 15 \quad \varepsilon = 12,15$ $(b+h) / (2t) = (80+80) / (2 \times 8) = 10 > 11,5 \quad \varepsilon = 9,31 \quad \text{Classe 4}$ <p>Bien que la section transversale soit de Classe 4, selon la Feuille 3 du Tableau 5.2 de l'EN 1993-1-1, le calcul de l'aire de la section efficace n'entraîne pas de réduction. Par conséquent, l'aire de la section est pleinement efficace et le calcul est le même que pour une section de Classe 3.</p> <p>7.2.3. Résistance au flambement</p> <p>La longueur de flambement est égale à :</p> $L_{cr} = h_0 = 800 \text{ mm}$ <p>L'élancement selon l'axe le plus faible est donc :</p> $\lambda_v = \frac{L_{h,y}}{i_v} = \frac{800}{15,6} = 51,28$ <p>L'élancement réduit est égal à :</p> $\bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{93,9\varepsilon} = \frac{51,28}{93,9 \times 0,81} = 0,674$ <p>et l'élancement réduit efficace à :</p> $\bar{\lambda}_{\text{eff},v} = 0,35 + 0,7\bar{\lambda}_v = 0,35 + 0,7 \times 0,674 = 0,822$ <p>La courbe de flambement b est utilisée pour déterminer le facteur de réduction :</p> <p>avec : $\alpha_v = 0,34$</p> <p>Par conséquent :</p> $\phi_v = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{\text{eff},v} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\text{eff},v}^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,34 \times (0,822 - 0,2) + 0,822^2 \right] = 0,943$		<p>EN 1993-1-1 Tableau 5.2 Feuille 3</p> <p>EN 1993-1-1 § BB.1.2</p>

Titre	ANNEXE A Exemple d'application - Calcul d'un poteau composé en treillis	10 sur 12
<p> $\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 + \lambda_{\text{eff},v}^2}} = \frac{1}{0,943 + \sqrt{0,943^2 - 0,822^2}} = 0,712$ </p> <p>La valeur de calcul de la résistance au flambement d'un montant comprimé est ainsi égale à :</p> $N_{b,Rd} = \frac{\chi_v A_h f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,712 \times 1227 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 310 \text{ kN}$ <p>Le critère de résistance est :</p> $\frac{N_{h,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{191,2}{310} = 0,62 < 1 \quad \text{Le critère est donc vérifié.}$ <p>8. Étape 6 : Résistance d'une barre de treillis en traction</p> <p>Il est nécessaire de vérifier la résistance des diagonales en traction, même si cette situation est généralement moins critique que lorsqu'elles sont comprimées.</p> <p>La vérification de ces barres inclut la vérification de la résistance de la section transversale et la vérification de la section nette pour les assemblages boulonnés.</p> <p>La valeur de calcul maximale de l'effort de traction est :</p> $N_{t,Ed} = 176,8 \text{ kN}$ <p>Le critère de résistance est :</p> $\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$ <p>La valeur de calcul de la résistance à la traction $N_{t,Rd}$ est prise égale à la valeur de calcul de la résistance plastique de la section brute :</p> $N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A_d f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1552 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 551 \text{ kN}$ <p>Le critère de résistance est :</p> $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{176,8}{551,0} = 0,32 < 1,0 \quad \text{Le critère est donc vérifié.}$		<p>EN 1993-1-1 §6.2.3</p>

9. Étape 7 : Résistance de l'attache soudée diagonale-membrure

Les diagonales (L 90 × 90 × 9) sont soudées sur les membrures (HEA 220) par des soudures d'angle, voir Figure A.3.

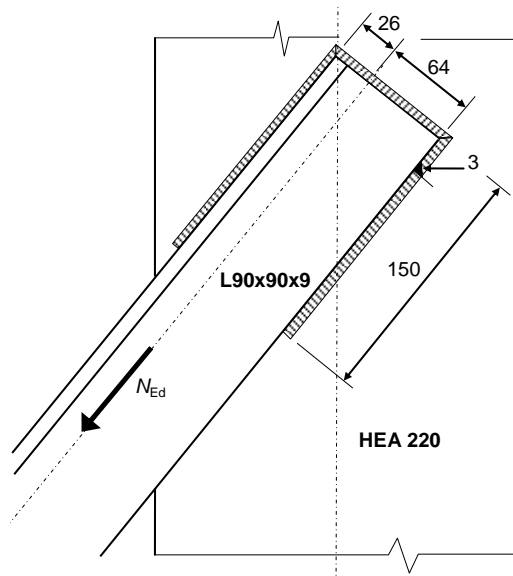


Figure A.3 Attache soudée d'une diagonale sur une membrure

Gorge utile :	a	= 3 mm
Dimension longitudinale efficace de la soudure d'angle :	$l_{\text{eff-L}}$	= 150 mm
Dimension transversale efficace de la soudure d'angle :	$l_{\text{eff-T}}$	= 90 mm
Effort axial dans la diagonale :	$N_{\text{d,Ed}}$	= 176,8 kN

La résistance de calcul d'une soudure d'angle est déterminée en utilisant la méthode simplifiée donnée dans l'EN 1993-1-8 § 4.5.3.3.

En chaque point de la longueur de la soudure d'angle, la résultante de tous les efforts par unité de longueur transmis par la soudure doit satisfaire le critère suivant :

$$F_{\text{w,Ed}} \leq F_{\text{w,Rd}}$$

où :

$F_{\text{w,Ed}}$ est la valeur de calcul de l'effort exercé dans la soudure par unité de longueur,

$F_{\text{w,Rd}}$ est la résistance de calcul de la soudure par unité de longueur.

La résistance de calcul est indépendante de l'orientation du plan de gorge de la soudure et elle est déterminée à partir de la relation suivante :

$$F_{\text{w,Rd}} = f_{\text{vw,d}} a$$

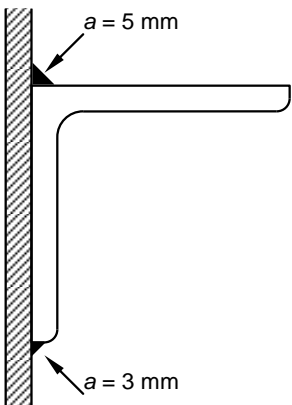
Titre	ANNEXE A Exemple d'application - Calcul d'un poteau composé en treillis	12 sur 12
<p>où :</p> <p>$f_{vw,d}$ est la résistance de calcul au cisaillement de la soudure :</p> $f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$ <p>f_u est la résistance nominale ultime à la traction de la pièce assemblée la plus faible :</p> $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$ <p>β_w est le facteur de corrélation approprié :</p> $\beta_w = 0,9 \text{ pour un acier de nuance S355}$ $\gamma_{M2} = 1,25$ <p>Par conséquent :</p> $f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0,9 \times 1,25} = 261,7 \text{ N/mm}^2$ $F_{w,Rd} = f_{vw,d} a = 261,7 \times 5 = 785,2 \text{ N/mm}$ $F_{w,Ed} = \frac{N_{d,Ed}}{\sum l_{eff}} = \frac{176800}{(2 \times 150 + 90)} = 453,3 \text{ N/mm}$ <p>Nous avons ainsi :</p> $F_{w,Ed} = 453,3 \text{ N/mm}^2 < F_{w,Rd} = 785,2 \text{ N/mm}^2. \quad \text{La soudure convient et la gorge utile minimale } a_{min} = 3 \text{ mm est acceptable.}$ <p>Pour prévenir la corrosion, la diagonale peut être soudée sur tout son contour en une passe ($a = 3 \text{ mm}$).</p> <p>Pour prendre en compte l'excentricité, une soudure d'angle de 5 mm (réalisée en 2 passes) est recommandée du côté de l'aile libre, comme montré à la Figure A.4.</p> 		<p>EN1993-1-8 § 4.5.3.3</p> <p>EN 1993-1-1 Tableau 3.1</p> <p>EN1993-1-8 Tableau 4.1</p>

Figure A.4 Gorges utiles des soudures d'angle