



# NCCI : Conception et calcul de pieds de poteaux articulés avec bêtes de cisaillement

*Ce NCCI fournit les règles de conception et de calcul de bêtes de cisaillement pour pieds de poteaux. Ces règles sont données en complément de celles présentées dans les NCCI SN037 et SN043 relativement à la conception et au calcul d'assemblages avec plaques d'assise respectivement articulés et encastrés.*

## Sommaire

1.	Introduction	2
2.	Types de bêtes de cisaillement	3
3.	Paramètres	5
4.	Modèle de conception et de calcul	6
5.	Premier cas de calcul : Dimensionnement d'une plaque d'assise avec bête de cisaillement pour résister à l'effort de cisaillement	9
6.	Deuxième cas de calcul : Détermination de la résistance au cisaillement d'un assemblage de pied de poteau avec bête de cisaillement	12
7.	Références	13

# 1. Introduction

Les types de pieds de poteaux concernés par le présent NCCI sont les pieds de poteaux articulés décrits dans le document [SN037](#), ainsi que les pieds de poteaux encastrés décrits dans le document [SN043](#).

La résistance au cisaillement développée par friction entre la plaque d'assise comprimée du poteau et le matériau sous-jacent à la plaque (mortier de calage), telle que calculée dans le document [SN037](#), est souvent suffisante pour la plupart des assemblages avec plaque d'assise articulés et encastrés.

Dans le cas des assemblages avec plaque d'assise articulés, s'il y a traction axiale, aucune résistance au cisaillement par friction ne peut se développer. Dans le cas des assemblages avec plaque d'assise encastrés, la résistance au cisaillement par friction seule peut ne pas être suffisante si un cisaillement élevé est combiné avec un moment faible et avec soit une compression, soit une traction axiale.

Dans ce cas, d'autres moyens sont requis pour transmettre l'effort de cisaillement.

Outre la friction, les moyens de transmission de l'effort de cisaillement aux fondations sont les suivants :

- Cisaillement/pression diamétrale des boulons d'ancrage (voir le [§6.2.2\(7\) de l'EN 1993-1-8](#)).
- Placement de l'extrémité du poteau avec sa plaque d'assise dans une cavité du massif de fondation. La profondeur de la cavité est habituellement d'au moins 300 mm et elle est remplie de béton sans retrait une fois que le poteau est en place. Ce type d'assemblage est approprié pour les assemblages de poteaux avec plaque d'assise encastrés. L'effort de cisaillement est transmis par appui latéral de la partie encastrée du poteau sur le béton de remplissage de la cavité. Le béton périphérique de la cavité peut devoir être armé selon l'EN 1992-1 pour transmettre les efforts et les moments qui s'appliquent à l'extrémité du poteau.
- Placement de l'extrémité du poteau avec sa plaque d'assise dans une cavité peu profonde (dont la profondeur n'excède généralement pas 100 mm). Le comportement de l'assemblage peut être comparé à celui d'une bêche de cisaillement, tel qu'indiqué ci-après. On ne recommande généralement de recourir à une cavité peu profonde pour les assemblages avec plaque d'assise articulés, car les rotations de l'extrémité du poteau risquent d'endommager localement le béton au-dessus et autour de la plaque d'assise.
- Placement d'un lien entre l'extrémité du poteau et une dalle de rez-de-chaussée adjacente. Il peut s'avérer nécessaire de vérifier que la dalle est adéquatement armée pour ancrer l'effort horizontal du lien.
- Mise en place d'une bêche de cisaillement soudée à la face inférieure de la plaque d'assise et logée dans une cavité de fondation à la profondeur et aux dimensions appropriées. La cavité est remplie de béton sans retrait une fois que le poteau et les boulons d'ancrage ont été positionnés.

L'utilisation de boulons d'ancrage en cisaillement n'est pas une pratique habituelle. Pour ce faire, il est nécessaire de prendre des précautions afin de s'assurer que la transmission de l'effort de cisaillement à la fondation par l'intermédiaire des boulons d'ancrage est possible sans déplacement latéral excessif du pied de poteau (voir le [§6.2.2\(5\) de l'EN 1993-1-8](#)). Si les

boulons d'ancrage sont cimentées dans des manchons, ils risquent de ne pas être fiables en ce qui a trait aux efforts de cisaillement/de pression diamétrale. Des trous surdimensionnés sont souvent utilisés dans les plaques d'assise afin de prendre en compte les tolérances habituelles de positionnement des boulons d'ancrage dans le béton. Dans ce cas, les rondelles plates utilisées en dessous des écrous des boulons d'ancrage doivent être soudés aux plaques d'assise afin de permettre la transmission de l'effort de cisaillement aux boulons d'ancrage. On recommande que le diamètre des trous percés dans ces rondelles plates soit réduit au minimum, par exemple  $d + 1,5$  mm (où  $d$  est le diamètre nominal de la tige d'ancrage). Avec ces précautions, la résistance de calcul des boulons d'ancrage au cisaillement et à la pression diamétrale, qui est donnée au [§6.2.2\(7\) de l'EN 1993-1-8](#), peut être ajoutée, le cas échéant, à la résistance par friction.

Ce NCCI n'étudie ni le calcul des cavités de fondation pour les assemblages avec plaque d'assise encastrés (se reporter néanmoins à la remarque ci-dessous relative au type d'assemblage à « cavité peu profonde »), ni le calcul des liens à la dalle de plancher.

Le présent NCCI traite de la conception et du calcul d'une bête de cisaillement située sous la plaque d'assise pour la transmission des efforts de cisaillement aux fondations.

Une bête de cisaillement consiste typiquement en un tronçon court d'une section d'acier soudée sur le dessous de la plaque d'assise. Une fois le béton coulé dans le trou prévu pour les boulons d'ancrage et le poteau cimenté dans sa position finale, la bête est encastrée dans la fondation. L'effort de cisaillement agissant sur le pied de poteau peut être transmis à la fondation par l'intermédiaire de la bête agissant horizontalement, ce qui comprime la face verticale de la bête contre la fondation en béton.

En pratique, on peut avoir affaire aux deux situations de conception et de calcul suivantes :

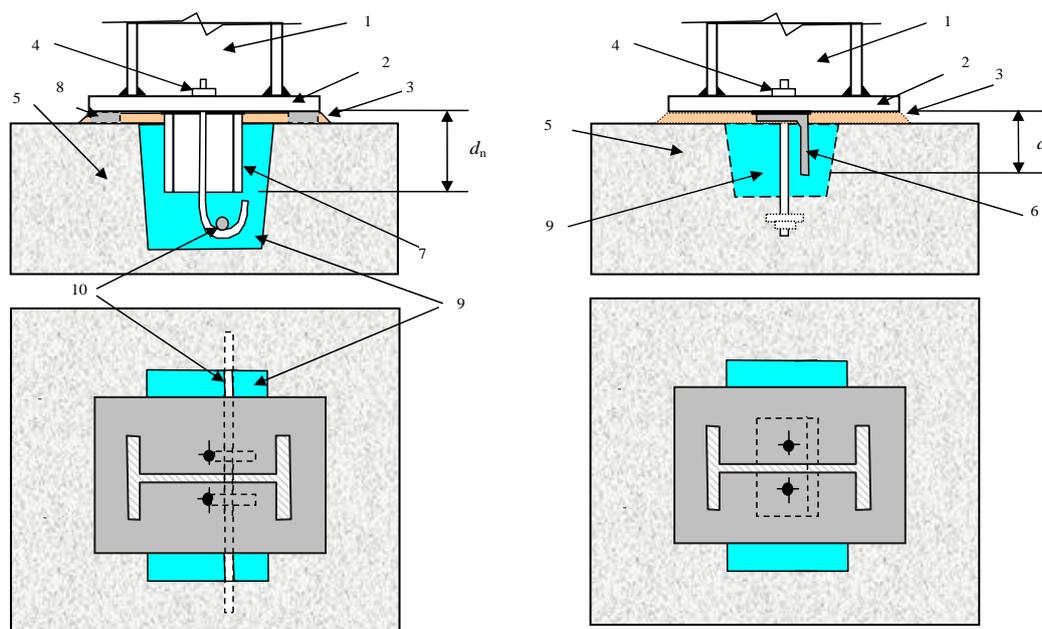
1. La section du poteau et les efforts de calcul sont connus. Il faut déterminer les dimensions de la plaque d'assise et de la bête de cisaillement.
2. La section du poteau et les dimensions de la plaque d'assise, de la bête de cisaillement et de la fondation sont connues. Il faut déterminer la résistance de calcul à la compression du pied de poteau, ainsi que celle de la bête de cisaillement.

La procédure habituelle consiste à commencer par la conception et le calcul de la plaque d'assise à l'aide des procédures pertinentes données aux sections 4 ou 5 du document SN037 ou du document SN043. On procède ensuite à la conception et au calcul de la bête à l'aide des procédures données aux Sections 5 et 6 respectivement du présent NCCI.

## 2. Types de bêtes de cisaillement

La Figure 2.1 illustre deux types de bêtes de cisaillement utilisés couramment, l'un étant un court tronçon de cornière capable de résister à des efforts de cisaillement relativement modestes, et l'autre un court tronçon de profilé en I, lequel est utilisé si les efforts de cisaillement à transmettre sont relativement élevés.

*Remarque : la Figure 2.1 illustre les détails types d'assemblages avec plaque d'assise articulés avec bêtes de cisaillement. Pour les assemblages avec plaque d'assise encastrés (voir la Figure 1.1 du document SN043), les rangées de boulons d'ancrage ne sont pas situées sur l'axe principal du poteau tel qu'illustré ici, mais normalement au-delà des semelles du poteau dans les parties projetées des plaques d'assise.*



Légende :

- |    |   |     |   |
|----|---|-----|---|
| 1. | Poteau en I                             | 6.  | Bêche de cisaillement en cornière   |
| 2. | Plaque d'assise                         | 7.  | Bêche de cisaillement en I  |
| 3. | Scellement, rempli de mortier de calage | 8.  | Plaque de positionnement/nivellement en acier   |
| 4. | Boulon d'ancrage                        | 9.  | Cavité à remplir de béton sans retrait ou de mortier après avoir positionné le poteau |
| 5. | Fondation en béton                      | 10. | Armature de la fondation  |

**Figure 2.1** Pieds de poteaux types avec bèches de cisaillement

Les types de bèches de cisaillement autres que ceux illustrés à la Figure 2.1 sont :

- Une plaque verticale soudée à la plaque d'assise, qui joue le rôle décrit ci-dessous pour l'aile verticale de la bêche en cornière.
- Une plaque horizontale de dimensions suffisantes (épaisseur encastrée dans le béton, pourtour soudé à la plaque d'assise) pour développer les résistances nécessaires du béton en compression et des soudures.

Bien que les règles de conception et de calcul données ci-dessous aient spécifiquement trait aux types de bèches illustrés à la Figure 2.1, elles peuvent être aisément adaptées à la conception et au calcul de ces deux derniers types, ainsi qu'au type « cavité peu profonde » mentionné au Section 1.

Idéalement, les bèches de cisaillement sont soudées à la plaque d'assise dans une position centrale par rapport aux axes du poteau. Dans le cas d'une bêche en cornière sur une plaque d'assise articulée, alors que la longueur de la cornière (largeur de la bêche) peut être centrée par rapport à l'axe faible du poteau, l'aile de la cornière projetée dans la fondation doit être légèrement décalée par rapport à l'axe de forte inertie du poteau afin de ne pas interférer avec les boulons d'ancrage. Si la longueur de la cornière est supérieure à l'entraxe des boulons d'ancrage, l'aile horizontale du tronçon de cornière requiert des trous pour permettre le passage des boulons d'ancrage situés sur l'axe faible. Pour une bêche en cornière aux ailes inégales, c'est habituellement l'aile la plus petite qui est soudée à la plaque d'assise.

### 3. Paramètres

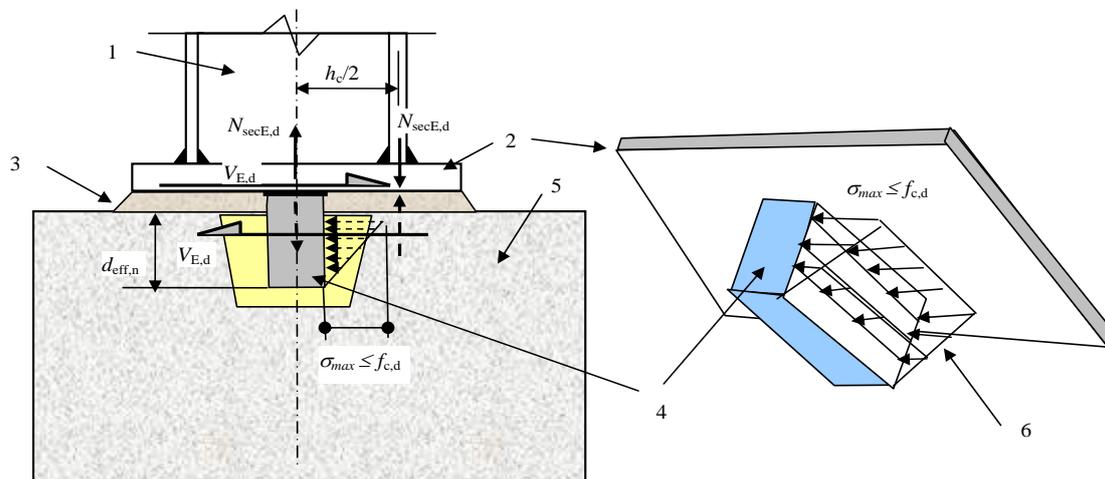
Le tableau suivant fournit les paramètres évoqués dans le présent NCCI :

**Tableau 3.1 Paramètres (y compris ceux du document SN037)**

Paramètre	Définition	Paramètre	Définition
$\alpha$	Rapport de la largeur ou longueur de l'aire de répartition de la plaque d'assise à l'intérieur de la fondation avec la largeur ou longueur de la plaque d'assise.	$h_f$	Longueur de l'aile de la cornière encastrée dans la fondation.
$\alpha_{cc}$	Coefficient tenant compte des effets à long terme et des effets défavorables dus au mode de chargement sur la résistance à la compression du béton (voir EN 1992-1-1).	$h_c$	Hauteur de la section du poteau.
$\beta_j$	Coefficient du matériau de scellement.	$h_n$	Hauteur en plan d'une bêche de cisaillement en profilé en I.
$\gamma_c$	Coefficient partiel de la résistance à la compression du béton (voir EN 1992-1-1).	$h_p$	Longueur de la plaque d'assise.
$\gamma_{M0}$	Coefficient partiel de la résistance à la flexion de la plaque d'assise.	$t_c$	Epaisseur de la semelle du poteau.
$b_a$	Hauteur en plan de l'aile de la cornière (longueur de l'aile de la cornière soudée à la plaque d'assise).	$l_{eff}$	Longueur efficace de la semelle de tronçon en T.
$b_p$	Largeur de la plaque d'assise.	$d_{eff,n}$	Profondeur efficace d'une bêche de cisaillement.
$b_f$	Largeur de la fondation (correspondant à la largeur du poteau).	$d_n$	Profondeur totale d'une bêche de cisaillement.
$b_{fc}$	Largeur de la section du poteau (largeur de la semelle du poteau en I).	$t_{wc}$	Epaisseur de l'âme du poteau.
$b_{eff}$	Largeur efficace de la semelle de tronçon en T.	$t_{an}$	Epaisseur de l'aile d'une bêche de cisaillement en cornière.
$b_n$	Largeur plane d'une bêche de cisaillement.	$t_n$	Epaisseur de la semelle d'une bêche de cisaillement en I.
$c$	Largeur d'appui additionnelle (en dehors du périmètre de la section du poteau).	$t_p$	Epaisseur de la plaque d'assise.
$d_f$	Profondeur de la fondation.	$A_{c0}$	Aire comprimée en dessous de la plaque d'assise de dimensions $b_p$ et $h_p$ .
$f_{yb}$	Limite d'élasticité du boulon d'ancrage.	$F_{t,Rd}$	Résistance de calcul par frottement entre la plaque d'assise et le scellement.
$f_{yp}$	Limite d'élasticité de la plaque d'assise.	$F_{v,Rd}$	Résistance de calcul au cisaillement du scellement de la plaque d'assise du poteau.
$f_{jd}$	Résistance de calcul à l'écrasement du matériau de scellement.	$N_{sec,Ed}$	Effort axial secondaire dans la fondation de la bêche de cisaillement.
$f_{cd}$	Résistance de calcul à la compression du béton selon l'EN 1992-1-1.	$N_{j,Rd}$	Résistance de calcul d'une plaque d'assise de poteau symétrique soumise à un effort normal de compression centré.
$f_{un}$	Résistance à la traction de l'acier de la bêche de cisaillement.	$V_{Ed}$	Effort de calcul de cisaillement au pied de poteau.

## 4. Modèle de conception et de calcul

Le modèle mécanique adopté pour la bêche est illustré schématiquement à la Figure 4.1. L'effort de cisaillement qui s'exerce au niveau du pied de poteau est résisté par la pression développée sur la face (ou les faces) verticale(s) de la bêche encastrée dans du béton de fondation solide. L'excentricité entre la réaction horizontale sur la bêche et le cisaillement appliqué sur le pied de poteau génère un moment secondaire qui crée un couple d'efforts verticaux supplémentaires ( $N_{sec,Ed}$ ) au niveau du scellement, un effort de compression et un effort de traction. L'effort de traction peut être résisté par les boulons d'ancrage ou par la bêche de cisaillement elle-même. Dans le présent NCCI, on supposera, en se plaçant du côté de la sécurité, que l'effort de traction est résisté par la bêche de cisaillement. L'effort de compression supplémentaire entre la plaque d'assise et le scellement (mortier de calage) est souvent négligé dans les calculs, bien qu'il puisse être ajouté à celui du tronçon en T équivalent comprimé de la semelle du poteau lors de la vérification finale du calcul de l'assemblage avec plaque d'assise.



Légende :

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1. Poteau en I                    | 4. Bêche   |
| 2. Plaque d'assise                | 5. Fondation en béton                                    |
| 3. Scellement (mortier de calage) | 6. Distribution triangulaire de la pression sur la bêche |

**Figure 4.1** *Modèle de bêche de cisaillement illustrant les efforts et les contraintes induites : distribution des contraintes de compression sur la bêche de cisaillement et efforts secondaires*

Les hypothèses simplificatrices suivantes sont faites dans le modèle de conception et de calcul [1] :

- ❑ Les deux semelles encastrées d'une bêche en I fournissent une résistance horizontale égale à l'effort de cisaillement appliqué au pied de poteau.
- ❑ Pour la largeur totale de l'aile d'une cornière ou d'une semelle au sein d'une fondation en béton, les contraintes de compression sont distribuées de façon triangulaire sur la profondeur efficace de la bêche (voir les Figures 4.1 et 4.2).
- ❑ La profondeur efficace de la bêche,  $d_{eff,n}$ , est prise comme étant égale à la hauteur totale de la bêche,  $d_n$ , en dessous de la plaque d'assise, moins une épaisseur au niveau de la surface supérieure pour prendre en compte une éventuelle inadéquation du bourrage du matériau

de scellement sous-jacent à la plaque d'assise. On suppose habituellement que cette épaisseur est égale à celle de la couche de mortier de calage, soit typiquement 30 mm et rarement au-delà de 50 mm. Dans ce qui suit, cette épaisseur est supposée égale à 30 mm.

- On considère que le moment secondaire est résisté par un couple d'efforts agissant sur le pied de poteau, l'un étant un effort de traction normal dans la plaque d'assise sur la bête de cisaillement, et l'autre étant un effort de compression entre la plaque d'assise et le mortier de calage, qui est centré sous l'une des semelles du poteau. En supposant que la bête de cisaillement est centrée sur le centre de gravité du poteau et que l'épaisseur de la couche de mortier est de 30 mm, on obtient les efforts de calcul de traction axiale suivants :

- Bête en I : traction axiale dans une semelle de la bête :

$$N_{Ed} = V_{Ed} \left( \frac{d_{eff,n}}{3} + 30 \right) \left( \frac{1}{h_n - t_{fn}} \right) + V_{Ed} \left( \frac{d_{eff,n}}{3} + 30 \right) \left( \frac{2}{h_c} \right) \left( \frac{1}{2} \right) = V_{Ed} \left( \frac{d_{eff,n}}{3} + 30 \right) \left( \frac{1}{h_n - t_{fn}} + \frac{1}{h_c} \right)$$

- Bête en cornière : traction axiale dans l'aile verticale :  $N_{Ed} = V_{Ed} \left( \frac{d_{eff,n}}{3} + 30 \right) \frac{2}{h_c}$

- Afin d'empêcher un arrachement de la bête de la fondation en béton et afin d'avoir une bête de cisaillement efficace, les limites suivantes sont placées sur les dimensions de la bête :

- Hauteur d'une bête en I :  $h_n \leq 0,4 h_c$
- Profondeur efficace dans la fondation d'une bête en I :  $60 \text{ mm} \leq d_{eff,n} \leq 1,5 h_n$
- Profondeur efficace dans la fondation d'une bête en cornière :  $60 \text{ mm} \leq d_{eff,n} \leq 1,5 h_n$

Dans le cas d'un assemblage avec plaque d'assise articulé, le respect de ces limites sur les dimensions de la bête est recommandé afin d'éviter de créer un cas de pied de poteau encasté.

- Etant donné que les ailes des cornières, ou les semelles des profilés en I, sont encastées dans le béton, on considère qu'elles sont soumises à une flexion locale négligeable. Pour appuyer cette hypothèse, les critères d'élancement maximaux suivants sont imposés :

- Bête en I : élancement maximal de la semelle :  $(b_{fn} / t_{fn}) \leq 20$   
(un critère satisfait par toutes les sections IPE et HE à l'exception des HEA 260, 280 et 300)
- Bête en cornière : élancement maximal de l'aile :  $(d_{,n} / t_{an}) \leq 10$   
(les sections standard de cornières laminées à chaud ne satisfont pas toutes à ces critères)

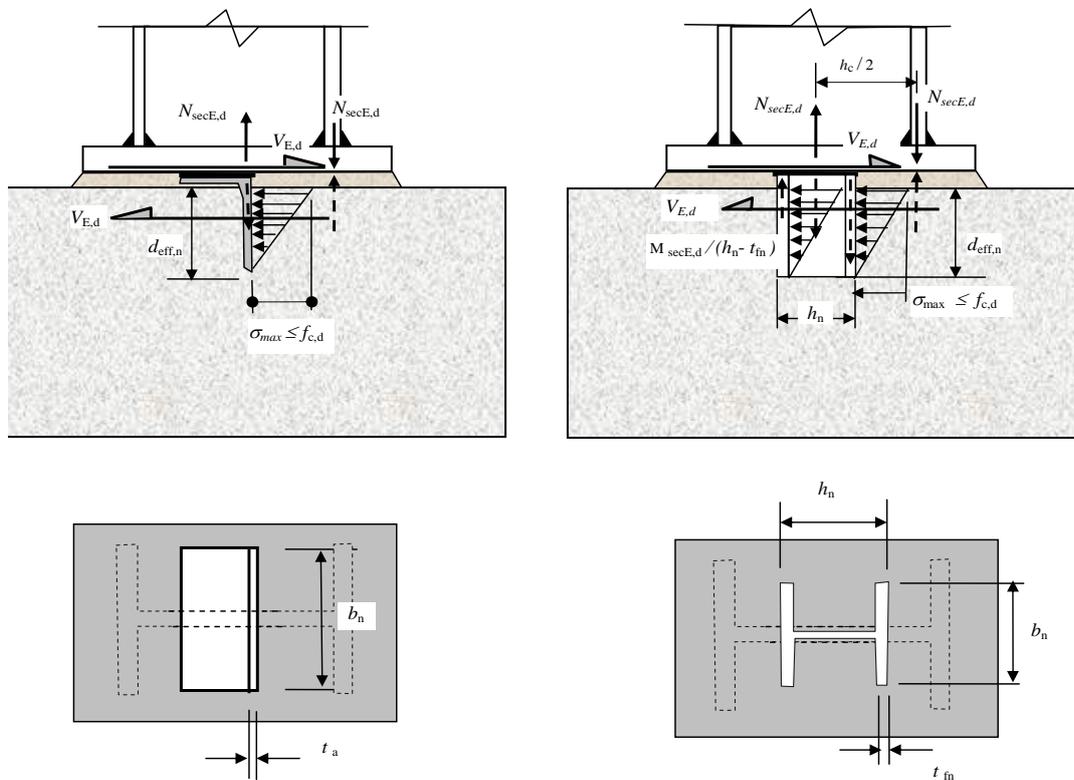
- Pour une bête de cisaillement en I, l'effort de cisaillement est transmis depuis le pied à travers l'âme. Le moment agissant en dessous de la plaque d'assise est résisté par un couple de forces dans les semelles. Plutôt que de supposer que les boulons d'ancrage sont actifs, l'effort normal de traction secondaire est supposé être partagé par les sections des semelles. La semelle tendue est la plus chargée. L'âme du poteau vis-à-vis de la semelle résiste également à l'effort total ainsi obtenu.

- ❑ Pour l'aile d'une bêche de cisaillement en cornière, l'effort de cisaillement et l'effort normal secondaire sont tous les deux repris par l'aile verticale. La flexion en haut de l'aile verticale de la cornière est négligée.

L'essentiel de l'approche de calcul est de s'assurer que les contraintes de compression appliquées à la surface verticale de la bêche en contact avec la fondation ne dépassent pas la résistance de calcul à la compression du béton et n'induisent pas non plus de contraintes excessives dans l'élément de la bêche (aile, semelle ou âme).

Les vérifications de calcul supplémentaires qui suivent sont requises :

- ❑ L'âme du poteau est vérifiée pour l'effort concentré correspondant à l'effort de traction secondaire dans l'aile de la cornière ou dans la semelle de la bêche ;
- ❑ Les résistances des soudures d'angle de la bêche à la plaque d'assise sont vérifiées à la fois pour les efforts de cisaillement horizontal et de traction secondaire.



**Figure 4.2** *Dimensions des bèches de cisaillement, distribution des contraintes de compression et des efforts secondaires*

## 5. Premier cas de calcul : Dimensionnement d'une plaque d'assise avec bêche de cisaillement pour résister à l'effort de cisaillement

Si les sollicitations du poteau sont données, la procédure suivante permet de dimensionner la plaque d'assise et la bêche de cisaillement. En se plaçant du côté de la sécurité, on peut supposer que la bêche de cisaillement fournit toute la résistance au cisaillement requise, c'est-à-dire que la résistance de friction lorsque le poteau est comprimé ainsi que la résistance au cisaillement des boulons d'ancrage sont toutes deux ignorées.

Bien qu'il soit habituel que l'acier de la bêche de cisaillement soit le même ( $f_{yn}$ ) que celui de la plaque d'assise, ils peuvent néanmoins être de nuances différentes.

Les règles fournies traitent le cas d'un effort de cisaillement au niveau du pied de poteau agissant dans le plan de l'âme du poteau, c'est-à-dire un effort de cisaillement parallèle à l'axe faible de la section du poteau. La méthode de calcul peut être adaptée aux cas où l'effort de cisaillement est parallèle à l'axe principal du poteau, ou aux cas où des composants de l'effort de cisaillement agissent le long des deux axes.

### □ Etape 1 : Dimensionnement de la plaque d'assise selon les documents [SN037](#) ou [SN043](#)

Les valeurs des dimensions de la plaque d'assise ( $h_p, b_p, t_p$ ) sont établies pour la charge de la section du poteau ( $h_c, b_c, t_{wc}, t_{fc}$ ), et le béton ( $f_{cd}$ ) à utiliser dans la fondation est identifié.

### □ Etape 2 : Dimensionnement, si nécessaire, de la bêche de cisaillement

*Remarque : il n'est pas habituel de devoir faire un choix entre deux types de bêche de cisaillement.*

Supposer que l'épaisseur de la couche du matériau de scellement (mortier de calage) est de 30 mm

Adopter une largeur pratique de la bêche de cisaillement,  $b_n$ , dans les limites suivantes,  $\min b_n \geq b_n \leq \max b_n$  :

$$\text{Bêche en cornière : } \min b_n \geq \max\left(90 : \frac{V_{Ed}}{30 f_{cd}}\right) \text{ mm et } \max b_n \leq b_p - 2t_{fc}$$

$$\text{Bêche en I : } \min b_n \geq \max\left(90 : \frac{V_{Ed}}{15 f_{cd}}\right) \text{ mm et } \max b_n \leq b_p - 2t_{fc}$$

#### Bêche de cisaillement en cornière :

Les tronçons de cornières disponibles et pertinents sont identifiés ( $h_a, b_a, t_a$ ). On remarquera que s'il est habituel d'utiliser des ailes de cornière inégales, on peut néanmoins également utiliser des ailes égales. La pertinence d'une section de cornière donnée exige que :

$$t_a \geq h_a/10$$

où  $h_a$  est la longueur de l'aile la plus longue, celle qui doit être encastree dans la fondation en béton.



- a) Estimer la profondeur requise minimale de la bêche en cornière :

$$\min d_{\text{eff},n} \geq \max\left(60 : \frac{2V_{\text{Ed}}}{b_n f_{\text{cd}}}\right) \text{ mm}$$

- b) Vérifier les limites pratiques maximales de la profondeur de la bêche :

$$\min d_{\text{eff},n} + 30 \text{ mm} \leq \min(0,8d_f : h_a).$$

Si cette dernière condition n'est pas satisfaite, recommencer en prenant une plus grande largeur de bêche  $b_n$  (longueur du tronçon de cornière).

- c) Choisir une taille de cornière telle que :

$$h_a \geq (\min d_{\text{eff},n}) + 30 \text{ mm} ; h_a \leq 0,8d_f ; h_a \leq 0,6h_c ; b_a \leq 0,6h_c \text{ et } t_a \geq h_a/10$$

Prendre  $d_{\text{eff},n} = h_a - 30 \text{ mm}$

Estimer l'effort de traction secondaire dans l'aile verticale de la cornière :

$$N_{\text{sec Ed}} = V_{\text{Ed}} \left( \frac{d_{\text{eff},n}}{3} + 30 \right) \frac{2}{h_c}$$

Vérifier l'épaisseur de l'aile sous l'action combinée du cisaillement et de la traction à l'aide du critère de von Mises :

$$t_a \geq \sqrt{\left[ \frac{N_{\text{sec Ed}}}{b_n f_{\text{yn}}} \right]^2 + 3 \left[ \frac{V_{\text{Ed}}}{b_n f_{\text{yn}}} \right]^2} = \frac{V_{\text{Ed}}}{f_{\text{yn}} b_n} \sqrt{\left[ \frac{2(d_{\text{eff},n}/3 + 30)}{h_c} \right]^2 + 3}$$

S'il n'est pas possible de compléter les vérifications en modifiant la largeur et/ou la profondeur de la bêche de cisaillement, il faut utiliser à la place une bêche de cisaillement en I.

### Bêche de cisaillement en I :

Exécutez dans l'ordre les étapes suivantes.

- a) Choisir un profilé en I : la largeur de la bêche  $b_n = b_{\text{f, bêche}}$ , dans les limites mini et maxi données ci-dessus.

- b) Vérifier que la hauteur de la section de la bêche  $h_{\text{bêche}} \leq 0,4 h_c$ .

Si satisfait, la hauteur de la bêche devient  $h_n = h_{\text{bêche}}$ .

Si la condition n'est pas satisfaite, recommencer la procédure en choisissant pour la bêche une section en I moins haute.

- c) Vérifier l'élançement de la semelle de la section de la bêche :

$$(h_n / t_f)_{\text{bêche}} \leq 20$$



d) Estimer la profondeur minimale requise de la bêche :

$$\min d_{\text{eff},n} \geq \max\left(60 : \frac{V_{\text{Ed}}}{b_n f_{\text{cd}}}\right) \text{ mm}$$

e) Vérifier les limites maximales recommandées pour la profondeur efficace de la bêche (dans le béton) :

$$\min d_{\text{eff},n} + 30 \text{ mm} \leq \min(0,8d_f : 1,5h_n) .$$

Si ces dernières conditions ne peuvent pas être satisfaites, recommencer avec une section en I de plus grande largeur ( $b_f$ ,  $h_c$ ) bêche

f) Confirmer l'adéquation du choix de la section :  $h_n \leq 0,4 h_c$  ;  $t_{\text{fn}} \geq b_{\text{fn}}/10$  ;

g) Vérifier la résistance au cisaillement de l'âme de la bêche :

$$V_{\text{pl,Rd}} = A_{\text{vn}} f_{\text{yn}} / (\gamma_{\text{M0}} \sqrt{3}) \geq V_{\text{Ed}}$$

Si nécessaire, recommencer le processus avec une autre section dont l'âme satisfait aux conditions de résistance au cisaillement.

h) Adopter la valeur de la profondeur de la bêche :  $d_{\text{eff},n} \geq \max\left(60 : \frac{V_{\text{Ed}}}{b_n f_{\text{cd}}}\right) \text{ mm}$

Pour la profondeur choisie de la bêche de cisaillement, estimer l'effort normal secondaire

$$\text{dans la semelle de la bêche : } N_{\text{secEd}} = V_{\text{Ed}} \left( \frac{d_{\text{eff},n}}{3} + 30 \right) \left( \frac{1}{h_n - t_{\text{fn}}} + \frac{1}{h_c} \right)$$

i) Vérifier la résistance à la traction de la semelle de la bêche :  $A_{\text{fn}} f_{\text{yn}} / \gamma_{\text{M0}} \geq N_{\text{secEd}}$

Si toutes les vérifications précédentes sont satisfaites, la section de bêche choisie est adéquate.

### □ Etape 3 : Dimensionnement de la soudure d'angle entre la bêche et la plaque d'assise

On utilise habituellement des soudures d'angle. La gorge de la soudure doit faire au moins 3 mm.

#### Bêche de cisaillement en cornière :

Une soudure d'angle tout autour du périmètre est adoptée. L'effort de cisaillement est supposé repris par les deux soudures latérales et la soudure de pied, toutes ayant la même gorge  $a_V$ . L'effort normal est supposé repris par la soudure au talon de la cornière de dimension  $a_N$ . La résistance de l'acier soudé est  $f_u = \min(f_{\text{up}} : f_{\text{un}})$ .

Les dimensions de soudure minimales requises sont donc :

$$a_V \geq \frac{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{\text{M2}} V_{\text{Ed}}}{f_u (2h_n + b_n)} \text{ simple cordon le long du périmètre de l'aile de la cornière}$$

$$a_N \geq \frac{\sqrt{2} \beta_w \gamma_{\text{M2}} N_{\text{secEd}}}{f_u b_n} \text{ simple cordon à l'extrémité de l'aile verticale}$$

### Bêche de cisaillement en I :

L'âme de la bêche est supposée reprendre l'effort de cisaillement qui s'exerce au niveau du pied de poteau, et la semelle de la bêche est supposée reprendre l'effort normal secondaire. On utilise habituellement des soudures d'angle exécutées de deux côtés.

$$\text{Soudures de l'âme : } a_v \geq \frac{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}V_{Ed}}{f_u(h_{c,nib} - 2t_{f,nib})}$$

$$\text{Soudures de la semelle : } a_N \geq \frac{\sqrt{2}\beta_w\gamma_{M2}N_{secEd}}{f_u(2b_{fn} - t_{wn})}$$

#### □ Etape 4 : Vérification de la résistance locale de l'âme du poteau

L'âme du poteau est soumise à l'effort de traction secondaire concentré  $N_{secEd}$ . On effectue la vérification suivante de la résistance locale :

$$N_{secEd} \leq (t_{wc} b_{eff})f_{yc}/\gamma_{M0}$$

L'effort est supposé être distribué sur la largeur efficace suivante dans l'âme du poteau :

$$\text{Bêche de cisaillement en cornière : } b_{eff} = t_a + 2t_p + 5(\sqrt{2} a_{wc})$$

$$\text{Bêche de cisaillement en I : } b_{eff} = t_{fn} + 2t_p + 5(\sqrt{2} a_{wc}).$$

où  $a_{wc}$  est la gorge de la soudure d'angle exécutée des deux côtés entre l'âme du poteau et la plaque d'assise.

Si la résistance locale de l'âme du poteau est insuffisante, l'âme doit être renforcée localement, soit par un raidisseur vertical, soit par une plaque de renfort.

## 6. Deuxième cas de calcul : Détermination de la résistance au cisaillement d'un assemblage de pied de poteau avec bêche de cisaillement

#### □ Etape 1 : Détermination de la résistance au cisaillement de la bêche sur la base du béton

$$\text{Bêche de cisaillement en cornière : } V_{Rd} = \frac{b_n d_{eff,n} f_{cd}}{2}$$

$$\text{Bêche de cisaillement en I : } V_{Rd} = b_n d_{eff,n} f_{cd}$$

#### □ Etape 2 : Détermination de la résistance au cisaillement de la bêche sur la base des soudures

La résistance de l'acier soudé est  $f_u = \min(f_{up} : f_{un})$

$$\text{Bêche de cisaillement en cornière : } V_{Rd} = \frac{f_u a_v (2h_n + b_n)}{\sqrt{3}\gamma_{M2}\beta_w}$$

$$V_{Rd} = \frac{3f_u a_N b_n h_c}{2\sqrt{2}\gamma_{M2}\beta_w (d_{eff,n} + 90)}$$



Bêche de cisaillement en I :

$$V_{Rd} = \frac{f_u a_v (2h_{c,nib} - 2t_{f,nib})}{\sqrt{3}\gamma_{M2}\beta_w}$$

$$V_{Rd} = \frac{3f_u a_v}{\sqrt{2}\gamma_{M2}\beta_w} \frac{(2h_n - t_{wn})}{(d_{eff,n} + 90)} \frac{h_c (h_n - t_{fn})}{(h_c + h_n - t_{fn})}$$

- **Etape 3 : Détermination de la résistance au cisaillement de la bêche sur la base des résistances de l'aile de la cornière ou de la semelle et de l'âme**

Bêche de cisaillement en cornière :

Résistance de la section d'aile soumise à un effort de cisaillement et un effort axial :

$$V_{Ed} = \frac{f_{yn}}{\gamma_{M0}} \frac{b_n t_a}{\sqrt{\left[ \frac{2(d_{eff,n} + 90)}{3h_c} \right]^2 + 3}}$$

Bêche de cisaillement en I :

$$V_{Rd} = \frac{A_{fn} f_{yn}}{\gamma_{M0}} \frac{3h_c (h_n - t_{fn})}{(h_c + h_n - t_{fn})(d_{eff,n} + 90)} \quad \text{(semelle de la bêche tendue)}$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{vn} f_{yn}}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} \quad \text{(âme de la bêche en cisaillement)}$$

- **Etape 4 : Détermination de la résistance au cisaillement de la bêche sur la base de la résistance de l'âme du poteau**

Bêche de cisaillement en cornière :

$$V_{Rd} = \frac{3f_{yn}}{2\gamma_{M0}} \frac{t_a h_c (t_a + 2t_p + 5\sqrt{2}a_{wc})}{(d_{eff,n} + 90)}$$

Bêche de cisaillement en I :

$$V_{Rd} = \frac{3A_{fn} f_{yn}}{\gamma_{M0}} \frac{t_{wc} h_c (h_n - t_{fn})(t_a + 2t_p + 5\sqrt{2}a_{wc})}{(h_c + h_n - t_{fn})(d_{eff,n} + 90)}$$

- **Etape 5 : La résistance de calcul est prise comme étant égale à la valeur la plus faible de la résistance au cisaillement  $V_{R,d}$  donnée par les étapes 1 à 4**

## 7. Références

- 1 Lescouarc'h, Y.  
"Les pieds de poteaux articulés en acier", Collection CTICM, 1982.



## Enregistrement de la qualité

<b>TITRE DE LA RESSOURCE</b>	NCCI : Conception et calcul de pieds de poteaux articulés avec bèches de cisaillement		
<b>Référence(s)</b>			
<b>DOCUMENT ORIGINAL</b>			
	<b>Nom</b>	<b>Société</b>	<b>Date</b>
<b>Créé par</b>	Ivor Ryan	CTICM	20/12/2005
<b>Contenu technique vérifié par</b>	Alain BUREAU	CTICM	20/12/2005
<b>Contenu rédactionnel vérifié par</b>			
<b>Contenu technique approuvé par les partenaires :</b>			
<b>1. Royaume-Uni</b>	G W Owens	SCI	07/04/06
<b>2. France</b>	A Bureau	CTICM	07/04/06
<b>3. Suède</b>	B Uppfeldt	SBI	07/04/06
<b>4. Allemagne</b>	C Müller	RWTH	07/04/06
<b>5. Espagne</b>	J Chica	Labein	07/04/06
<b>Ressource approuvée par le Coordonnateur technique</b>	G W Owens	SCI	31/07/06
<b>DOCUMENT TRADUIT</b>			
<b>Traduction réalisée et vérifiée par :</b>		eTeams International Ltd.	13/05/06
<b>Ressource traduite approuvée par :</b>	Alain Bureau	CTICM	19/05/06