

**Chapitre IV:**  
**Calcul des pièces**  
**sollicitées en traction**  
**simple**

## Chapitre IV: Calcul des pièces sollicitées en traction simple

---

### IV.1 Introduction

Un composant est dit tendu ou en traction pure lorsque ses extrémités sont soumises à des efforts qui imposent un allongement uniforme à toutes les fibres du composant. La construction métallique est composée d'un ensemble d'éléments structuraux travaillant: à la traction, à la compression, à la flexion, à la torsion ou à ces sollicitations combinées. Les éléments sollicités par la traction pure sont communément appelés élément tendus, ces derniers sont les éléments métalliques structuraux les plus simples et les plus efficaces car ils ne posent aucun problème d'instabilité de forme.

On retrouve les éléments tendus dans presque toutes les ossatures métalliques. Dans les poutres en treillis (une des membrures et certaines diagonales), certaines diagonales des systèmes de contreventement, des haubans ( pour soutenir des mâts), des tirants, des suspentes, des liernes et des câbles.

En général les sections courantes des éléments tendus sont des profilés laminés ( sous forme de plat, cornières, profils en U, en I, en H), des ronds, des carrés.

### IV.2 Vérification des pièces tendues

#### IV.2.1 Résistance de la section transversale

Dans la traction simple, la classification de la section transversale n'a pas de sens puisque l'exploitation du matériau peut se faire jusqu'à la rupture sans la moindre manifestation d'une quelconque instabilité de forme.

La valeur de calcul de l'effort de traction  $N_{Ed}$  dans chaque section transversale doit satisfaire la condition suivante :

$$N_{sd} \leq N_{t,rd} = \text{Min} [N_{pl,Rd} ; N_{u,rd} ]$$

Pour une section qui ne comporte aucun trou, la valeur de calcul de la résistance à la traction  $N_{t,Rd}$  est la valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Où : A représente l'aire brute de la section transversale ;

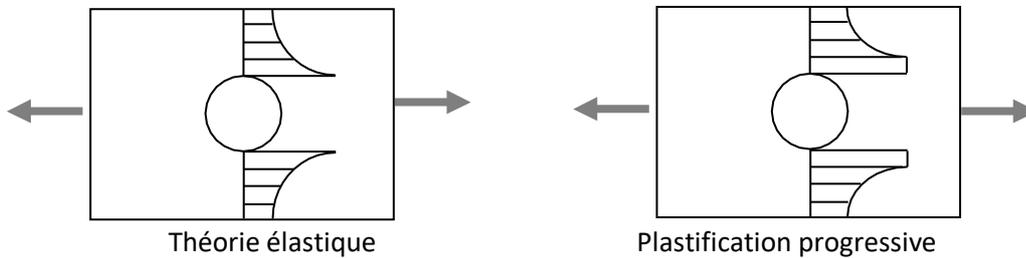
$f_y$  représente la limite élastique de l'acier ;

$\gamma_{M0}$ : représente le coefficient partiel de sécurité pour l'acier

Pour une section qui comporte des trous (assemblages boulonnés), la résistance de la section est affaiblie par la réduction de l'aire de section transversale due à la présence des trous (aire nette) et

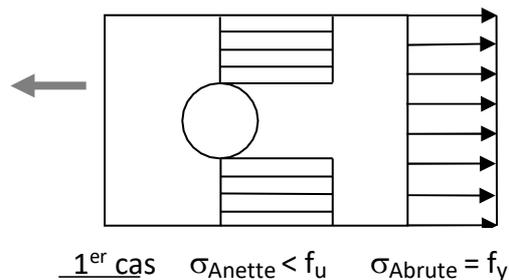
## Chapitre IV: Calcul des pièces sollicitées en traction simple

une vérification supplémentaire est exigée. Bien que les trous induisent des concentrations de contraintes lorsqu'on est dans le domaine élastique, une plastification progressive apparaît dans la section affaiblie dès que l'effort augmente.



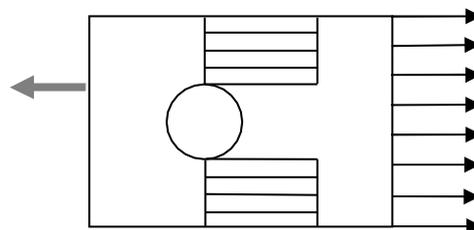
La ductilité de l'acier permet de supposer, qu'à l'état limite ultime, la répartition des contraintes dans les sections nette et brute est représentée par l'un des cas suivants :

si les trous sont peu nombreux ou de dimensions réduites, la limite élastique sera atteinte dans la section brute avant que la:



- limite de rupture ne soit atteinte dans la section réduite (elu par « déformations excessives ») :

- si les trous sont plus nombreux ou de dimensions importantes, la limite de rupture sera atteinte dans la section réduite avant que la limite élastique ne soit atteinte dans la section brute (elu par « rupture à caractère fragile ») :



2<sup>e</sup> cas :  $\sigma_{A_{nette}} = f_u$     $\sigma_{A_{brute}} < f_y$

En conséquence, pour une section qui comporte des trous, la valeur de calcul de la résistance à la traction  $N_{t,Rd}$  doit être prise comme étant la plus petite des deux valeurs suivantes :

La valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute

## Chapitre IV: Calcul des pièces sollicitées en traction simple

---

a) la valeur de calcul de la résistance ultime de la section nette :

$$N_{u,Rd} = 0.9 A_{net} F_u / \gamma_{M2}$$

où :  $A_{net}$ : représente l'**aire nette** de la section transversale ;

$f_u$ : représente la limite de rupture de l'acier ;

$\gamma_{M2}$ : représente le coefficient partiel de sécurité pour l'acier à appliquer dans les sections nettes

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

Le facteur 0,9 est un coefficient de réduction supplémentaire, prenant en compte les excentricités inévitables, les concentrations de contraintes ... etc.

Les contraintes résiduelles (auto-équilibrées) n'affectent pas la résistance ultime de la section. Elles peuvent, par contre, avoir une influence sur le comportement et accroître la déformabilité de l'élément tendu.

Il va sans dire que ce qui précède n'est valable que pour une mise en charge statique. Si ce n'est pas le cas (sollicitations variables répétitives), la ruine peut survenir par fatigue et non par plastification sous un chargement statique excessif.

### IV.2.2 Détermination de l'aire nette

L'aire nette d'une section transversale est l'aire brute diminuée des trous de fixation et autres ouvertures. Pour chaque trou de fixation, la déduction est l'aire de section transversale brute du trou ( $d \cdot t$ ).

Lorsque les trous sont alignés transversalement, l'aire totale à déduire de toute section transversale perpendiculaire à l'axe de l'élément (1-1) est la somme maximale des aires de section des trous.

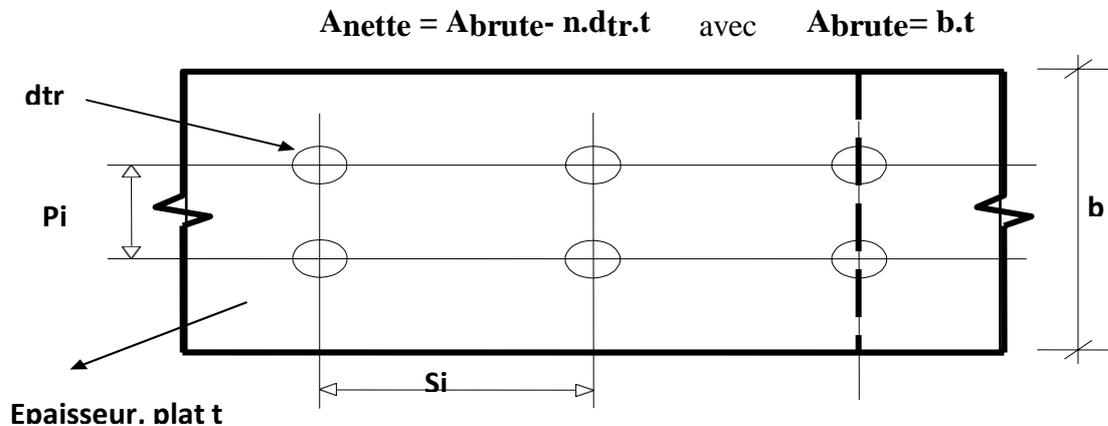
Exemple pour deux files de trous alignés :

➤ La section nette «  $A_{nette}$  » est la section qui présente la plus courte ligne de rupture, elle est inférieure à la section brute «  $A_{brute}$  » et dépend du nombre de trous qu'elle traverse et de leur disposition.

## Chapitre IV: Calcul des pièces sollicitées en traction simple

### IV.2.2.1 Cas des trous régulièrement distribués

Dans le cas général où les trous sont disposés en parallèles, par rangées perpendiculaires à la direction de l'effort de traction, l'aire nette est égale à l'aire brute déminée des aires des trous:



### IV.2.2.2 Cas où les trous ne sont pas régulièrement distribués

Dans le cas où les trous sont disposés en quinconce, le calcul de la section nette passe par la détermination de la ligne de rupture la plus dangereuse (la plus petite). En envisageant différentes lignes de rupture, pour chaque ligne de rupture, il faut calculer la section nette correspondante et retenir la plus petite.

Pour une ligne de rupture brisée quelconque, la section nette est évaluée par la relation suivante:

$$A_{net} = (A_b - n \cdot d_{tr} \cdot t + t \sum S_i^2 / 4P_i)$$

$S_i$ : Le pas en quinconce, l'entraxe de deux trous consécutifs dans la ligne mesuré parallèlement à l'axe de la barre.

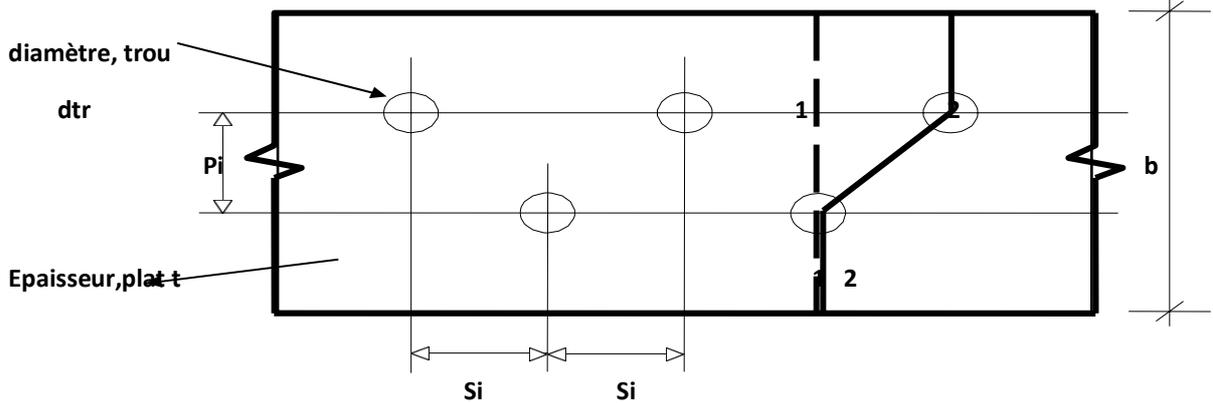
$P_i$ : L'entraxe de deux trous mesuré perpendiculairement à l'axe de la barre.

$t$ : L'épaisseur de la pièce tendue.

$n$ : Le nombre de trous situés sur toute la ligne diagonale ou en zigzag s'étendant sur la largeur de la barre ou partie de la barre,

## Chapitre IV: Calcul des pièces sollicitées en traction simple

dtr: le diamètre du trou.



Le diamètre des trous  $d_{tr}$  est calculé en fonction du diamètre des boulons  $d_0$  :

$$d_{tr} = d_0 + 1 \text{ mm} \quad \text{pour } d \leq 14 \text{ mm}$$

$$d_{tr} = d_0 + 2 \text{ mm} \quad \text{pour } d \leq 24 \text{ mm}$$

$$d_{tr} = d_0 + 3 \text{ mm} \quad \text{pour } d \geq 27 \text{ mm}$$

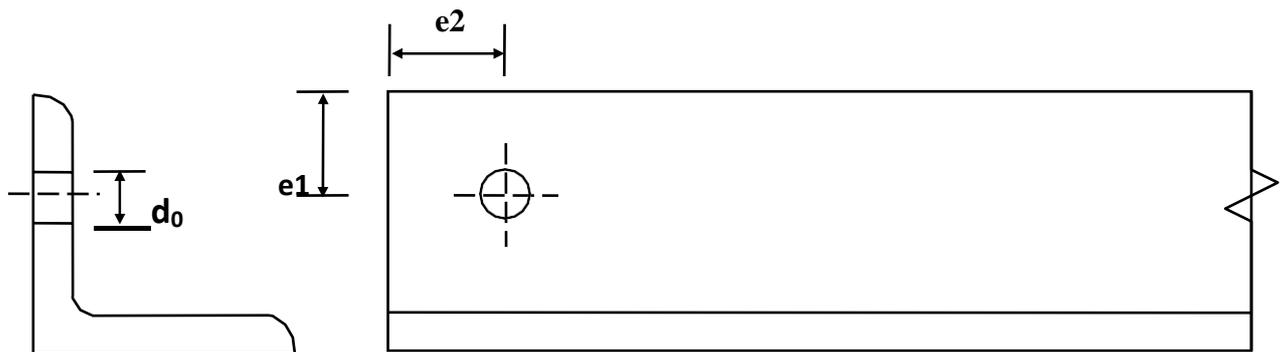
### IV.2.2.3 Eléments assemblés par une seule aile

Si éléments non symétriques ou assemblages non symétrique de section en U ou en cornières L assemblés par une seule aile, il faut tenir compte de l'excentricité de l'assemblage.

#### IV.2.2.3.1 Cornières assemblées par une aile

##### IV.2.2.3..1.1 Cornières assemblées par une file de boulons

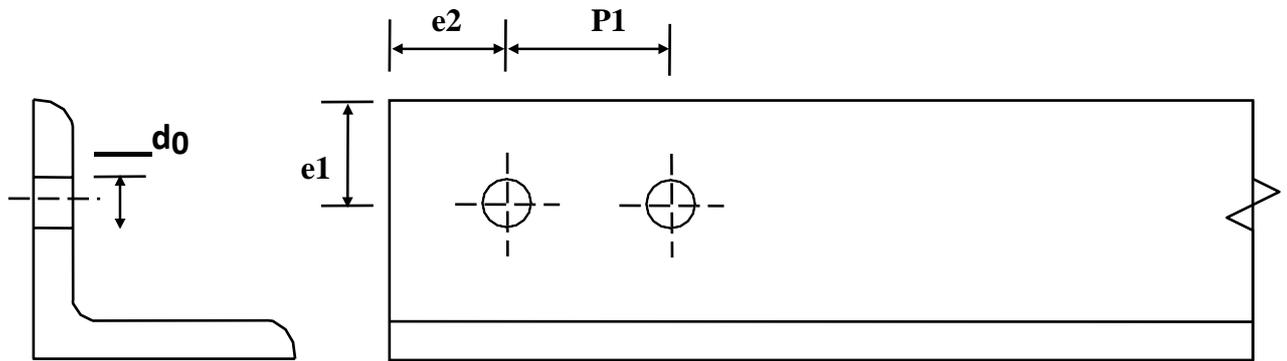
- Pour une attache avec un seul boulon:



## Chapitre IV: Calcul des pièces sollicitées en traction simple

$$N_{u,Rd} = 2(e_2 - 0.5d_0) \times F_u \times t / \gamma_{M2}$$

- Pour une attache avec deux boulons

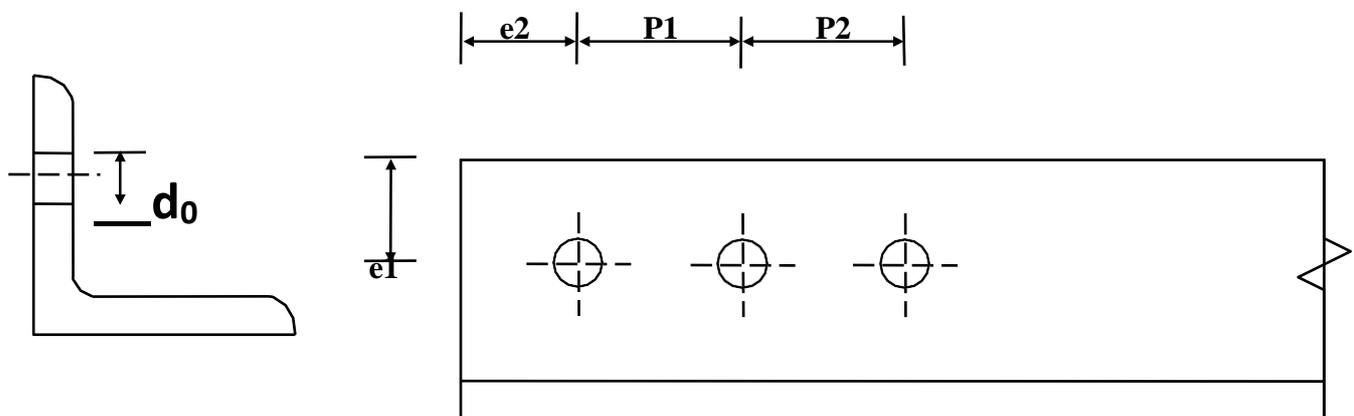


$$N_{u,Rd} = \beta_2 \times A_{net} \times F_u / \gamma_{M2}$$

$$\beta_2 = 0,4 \quad \text{si} \quad p_1 \leq 2,5 d_0$$

$$\beta_2 = 0,7 \quad \text{si} \quad p_1 \geq 5,0 d_0$$

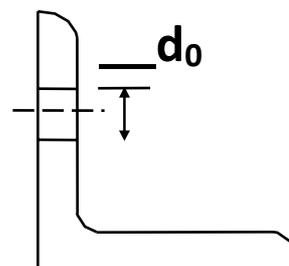
- Pour une attache avec trois boulons ou plus



$$N_{u,Rd} = \beta_3 \times A_{net} \times F_u / \gamma_{M2}$$

$$\beta_3 = 0,5 \quad \text{si} \quad p_1 \leq 2,5d_0$$

$$\beta_3 = 0,7 \quad \text{si} \quad p_1 \geq 5,0d_0$$



## Chapitre IV: Calcul des pièces sollicitées en traction simple

---

### IV.3 Exercices d'application

#### Exercice 1:

Un élément constitué d'un profilé en U en acier S235, travail à la traction simple,

Sachant que :  $d_0 = 24\text{mm}$ ,  $t = 6\text{mm}$

1/ Calculer la section nette ( $A_{\text{net}}$ ) de l'élément.

#### Solution exercice 1:

Cas où les trous ne sont pas régulièrement distribués

$$A_{\text{net}} = (A_b - n \cdot d_{\text{tr}} \cdot t + t \sum s_i^2 / 4p_i)$$

- La ligne de rupture droite (A'ADD')

$$A_{\text{net}1} = 300 \times 6 - 2 \times 24 \times 6 + 0 = 1512 \text{ mm}^2$$

- La ligne de rupture inclinée (A'ABCC')

$$A_{\text{net}2} = 300 \times 6 - 3 \times 24 \times 6 + (55^2 / 4 \times 60 + 50^2 / 4 \times 100) \times 6 = 1481.12 \text{ mm}^2$$

- La ligne de rupture brisée (A'ABDD')

$$A_{\text{net}3} = 300 \times 6 - 3 \times 24 \times 6 + (55^2 / 4 \times 60 + 55^2 / 4 \times 100) \times 6 = 1489 \text{ mm}^2$$

Donc  $A_{\text{net}} = \text{Min} (A_{\text{net}1}, A_{\text{net}2}, A_{\text{net}3})$

$$A_{\text{net}} = 1481.12 \text{ mm}^2$$

#### Exercice 2:

Déterminer l'effort normal de traction  $N_{\text{sd}}$  que peut supporter l'élément de contreventement, constitué d'un profilé en U en acier E24 et assemblé sur un gousset d'épaisseur  $t = 10\text{mm}$ .

#### Solution exercice 2:

La condition de résistance en traction est la suivante:

$$N_{\text{sd}} \leq N_{\text{t,rd}} = \text{Min} [N_{\text{pl,Rd}} ; N_{\text{u,rd}}]$$

$$\text{La section nette est : } A_{\text{net}} = (A_b - n \cdot d_{\text{tr}} \cdot t + t \sum s_i^2 / 4p_i)$$

#### Exercice 3:

Soit une diagonale d'un élément en treillis de deux cornières L 70×70×70, soumise à deux efforts:  $N_G = 9000 \text{ daN}$ ,  $N_Q = 1200 \text{ daN}$ .

L'assemblage est réalisé par trois boulons espacés de  $L = 50\text{mm}$ , S235,  $\varnothing_b = 20\text{mm}$ ,  $F_u = 360 \text{ MPa}$ .

## Chapitre IV: Calcul des pièces sollicitées en traction simple

---

1/ Vérifier la résistance des deux cornières selon EC3 et ELU.

### Solution exercice3:

La condition de résistance en traction est la suivante:

$$N_{sd} \leq N_{t,rd} = \text{Min} [N_{pl,Rd} ; N_{u,rd}]$$

$$ELU = 1.35G + 1.5Q = N_{sd}$$

$$N_{sd} = 1.35 \cdot 9000 + 1.5 \cdot 1200 = 13950 \text{ daN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 2 \times 9.4 \times 10^2 \times 235 / 1.1 = 401.63 \times 10^3 \text{ N}$$

- Pour une cornière avec trois boulons ou plus

$$\text{Donc } N_{u,Rd} = \beta_3 \times A_{net} \times f_u / \gamma_{M2}$$

$$A_{net} = A_b - n \cdot d_0 \cdot t = 2 \times 9.4 \times 10^2 - 1.22 \cdot 7 = 1726 \text{ mm}^2$$

$$\beta_3 = 0.5$$

$$N_{u,Rd} = 0.5 \times 1726 \times 360 / 1.25 = 248.54 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\text{On a } N_{t,rd} = \text{Min} [N_{pl,Rd} ; N_{u,rd}]$$

$$\text{Donc } N_{t,rd} = 248.54 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_{sd} = 13950 \text{ N} < N_{t,rd} = 248.54 \times 10^3 \text{ N (CV)}$$