



Construction Métallique ISA3

02- Assemblages boulonnés



ISA BTP
ÉCOLE D'INGÉNIEURS

- **A l'issue de ce chapitre, l'étudiant doit être capable pour un assemblage boulonnés de deux éléments de la structure :**
 - de déterminer les efforts qui doivent être transmis par la liaison.
 - d'énumérer les différentes vérifications nécessaires pour vérifier la tenue de l'assemblage selon l'EUROCODE 3.
 - d'appliquer les formules correspondantes afin de vérifier la tenue de l'assemblage boulonnés.

- **Classification des assemblages boulonnés :**

- 5 classes définies par l'EN-1993-1-8
- Assemblage travaillant au cisaillement
 - ♦ **Catégorie A : Assemblage travaillant en pression diamétrale**
 - ♦ **Catégorie B : Assemblage résistant au glissement à l'ELS**
 - ♦ **Catégorie C: Assemblage résistant au glissement à l'ELU**
- Assemblages travaillant à la traction
 - ♦ **Catégorie D : Assemblage par boulons ordinaires**
 - ♦ **Catégorie D : Assemblage par boulons précontraints**
 - ✓ *Travail en pression diamétrale => Transmission de l'effort par le corps du boulon*
 - ✓ *Travail au glissement => les boulons empêchent les pièces de glisser l'une sur l'autre => serrage contrôlé => Boulons haute résistance*
 - ✓ *En catégorie B, au-delà de l'ELS, le travail se fait en pression diamétrale et vérification à l'ELU.*

• Résistance en section des pièces assemblées : Pièces tendues

• Partie courante : $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1$ avec $N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

• Zone d'assemblage : $\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$ avec $N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

- A_{net} = aire nette
(hors trous)

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

▪ Cas particulier : assemblage boulonné de catégorie C

• Zone d'assemblage : $\frac{N_{Ed}}{N_{net,Rd}} \leq 1$ avec $N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

▪ Cas particulier : cornière simple attachée par une rangée de boulons

• 1 boulon : $\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$ avec $N_{u,Rd} = \frac{2 \cdot (e_2 - 0,5 \cdot d_0) \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

• 2 boulons : $\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$ avec $N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

• 3 boulons ou plus : $\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$ avec $N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

- e_2 : distance entre le bord de la cornière et le trou le plus proche perpendiculairement à l'effort

- d_0 diamètre du trou

- t : épaisseur de la pièce assemblée la plus mince

- β_2 et β_3 cf. tableaux

- **Résistance en section des pièces assemblées : Pièces comprimées**

- Classe 1, 2 et 3 : $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$ avec $N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

- Classe 4 : $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$ avec $N_{u,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

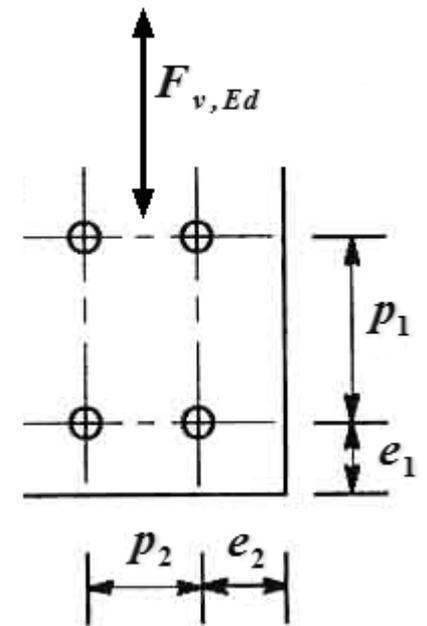
- A_{eff} = aire efficace

- **Résistance en section des pièces assemblées : Pièces en cisaillement**

- $\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1$ avec $V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$

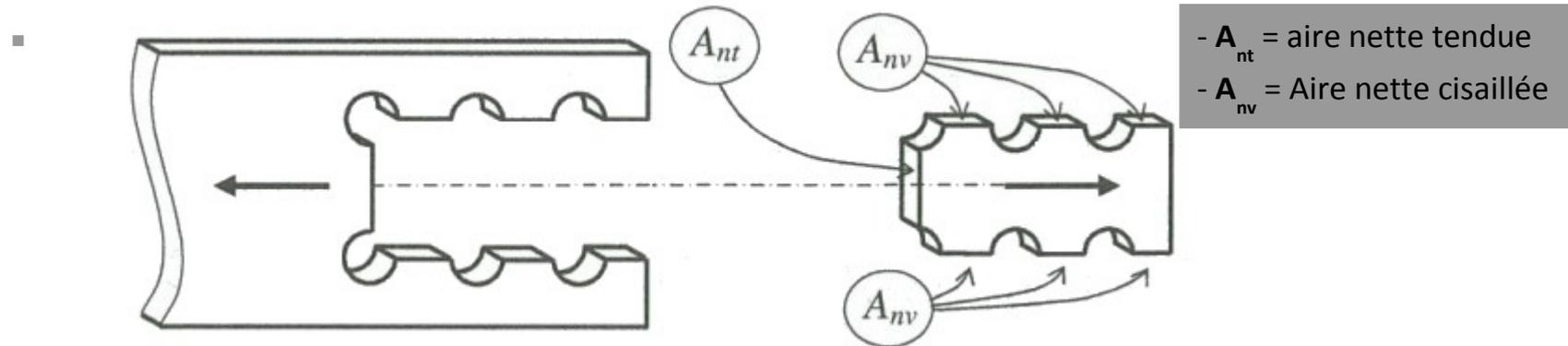
- Valeurs des coefficients β_2 et β_3

Rapport $R = p_1/d_0$	0	2,5	5,0	∞
Valeur de β_2	0,4	$0,4 + 0,3 \cdot \frac{R - 2,5}{2,5}$	0,7	
Valeur de β_3	0,5	$0,5 + 0,2 \cdot \frac{R - 2,5}{2,5}$	0,7	



• Résistance des pièces à la rupture par cisaillement de bloc

- Rupture simultanée des aires de cisailement et de traction d'un bloc de pièce. Le contour raccorde les trous de passage des connecteurs



- Chargement centré

$$\bullet \frac{N_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} \leq 1$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

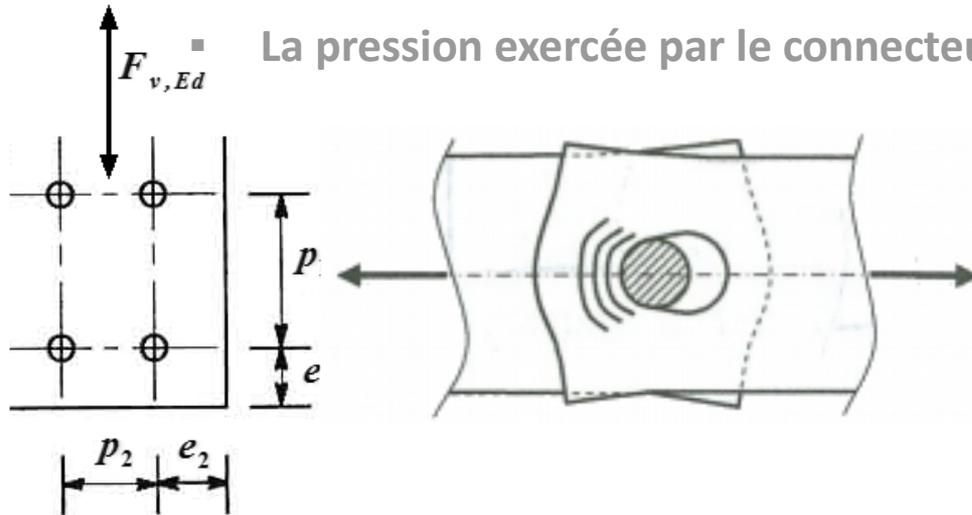
$$- \gamma_{M2} = 1,25$$

- Chargement excentré

$$\bullet \frac{N_{Ed}}{V_{eff,2,Rd}} \leq 1$$

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 \cdot \frac{A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

• Résistance des pièces à la rupture par pression diamétrale



- La pression exercée par le connecteur déforme la pièce

$$k_1 = \min \left[\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right); \left(1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} \right); 2,5 \right]$$

$$\alpha_b = \min \left[\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0} \right); \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 \right); \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

- d : diamètre du connecteur
- d_0 : diamètre du trou

- Assemblage courant

$$\bullet \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

- Assemblage à simple recouvrement et une seule rangée de connecteurs

$$\bullet \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

- t : somme des épaisseurs des pièces qui composent l'ensemble examiné
- f_u : résistance ultime des pièces à assembler
- f_{ub} : résistance ultime de l'acier qui compose le boulon

- **Résistance des boulons :**

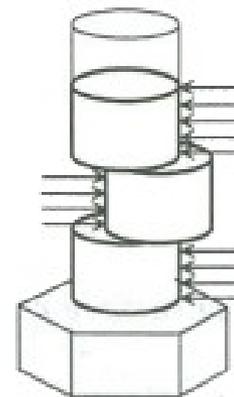
- L'EC3 définit plusieurs classes de boulons :
 - ♦ Boulons ordinaires : 4.6, 4.8, 5.6, 5.8 et 6.8
 - ♦ Boulons à haute résistance : 8.8 et 10.9
- Caractéristiques mécaniques de la classe $x.y$:
 - ♦ Limite d'élasticité f_{yb} en N/mm^2 : $f_{yb} = 10 \cdot x \cdot y$
 - ♦ Résistance ultime à la traction f_{ub} en N/mm^2 : $f_{ub} = 100 \cdot x$
- Seuls les boulons haute résistance peuvent être utilisés pour les assemblages précontraints (catégories B et C)

- **Résistance des boulons : Résistance au cisaillement par plan de cisaillement (Pression diamétrale)**

- Il faut : $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$ avec $F_{v,Rd} = \frac{\beta_{Lf} \cdot m \cdot \alpha_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$

- β_{Lf} : terme dépendant de la longueur de l'assemblage

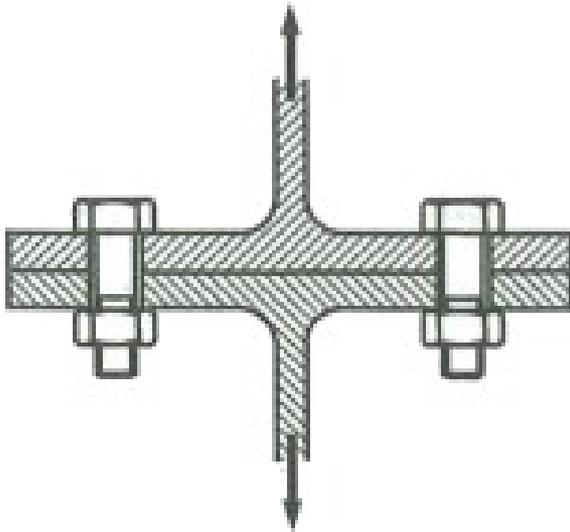
Rapport L_j/d	0	15	65	∞
β_{Lf}	1	$1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d}$	0,75	0,75



- L_j : distance entre le premier et dernier boulon, mesurée dans le sens de l'effort

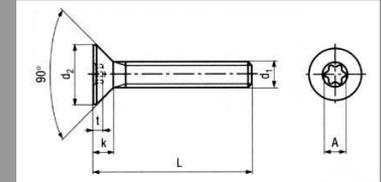
- **m** : nombre de plans de cisaillement
- Lorsque le plan de cisaillement passe par la partie filetée du boulon (A est l'aire de la section résistante en traction notée A_s) et :
 - pour les classes 4.6, 5.6 et 8.8 : $\alpha_v = 0,6$
 - pour les classes 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 : $\alpha_v = 0,5$
- Lorsque le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon (A est l'aire de la section brute du boulon) et :
 - $\alpha_v = 0,6$

- Résistance des boulons : Résistance à la traction

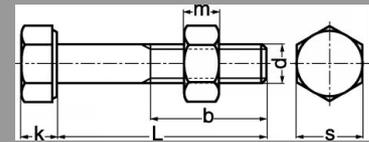


- Il faut : $\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$ avec $F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$

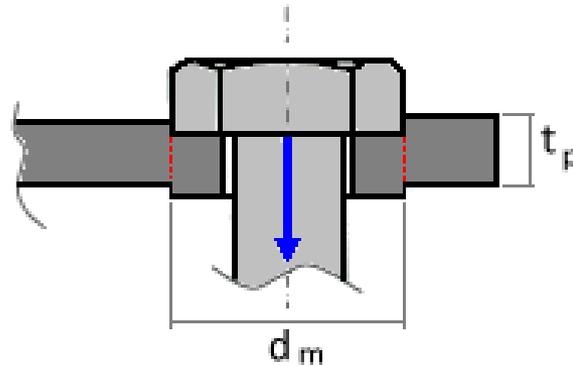
- $k_2 = 0,63$: pour les boulons à tête fraisée



- $k_2 = 0,9$: pour les autres boulons



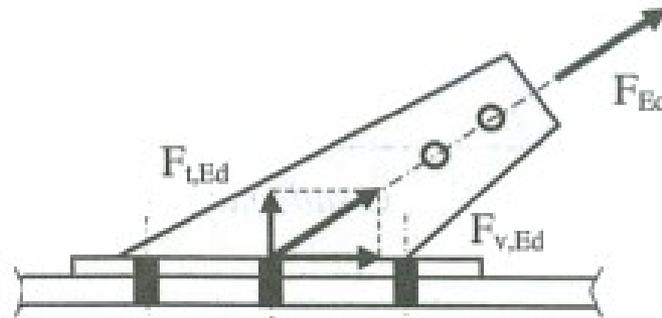
- Résistance des boulons : Résistance au poinçonnement (boulons HR uniquement)



▪ Il faut : $\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} \leq 1$ avec $B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{ub}}{\gamma_{M_2}}$

- t_p : épaisseur de la plaque située sous la tête et sous l'écrou
 - d_m : moyenne entre diamètres de tête mesurés sur angle et sur plat (voir caractéristiques des boulons)

- Résistance des boulons : Résistance en cisaillement et tractions combinés



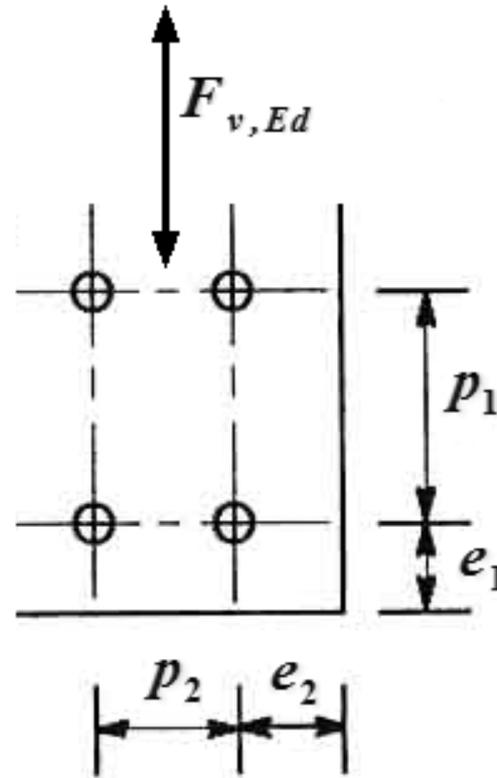
- Il faut : $\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$, $\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} \leq 1$ et $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$

- Caractéristiques des boulons

Désignations	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
d_0 trou normal	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A	78,5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A_s	58	84,3	115	157	192	245	303	353	459	561
Φ rondelle	20	24	27	30	34	37	40	44	50	52
d_m	17,24	19,39	22,63	25,86	29,09	32,32	36,63	38,79	44,17	49,56
d diamètre nominal du boulon (partie non filetée) (mm) d_0 diamètre du trou nominal (mm) A aire de la section de la tige lisse du boulon (mm^2) A_s section résistante de la partie filetée (mm^2)										

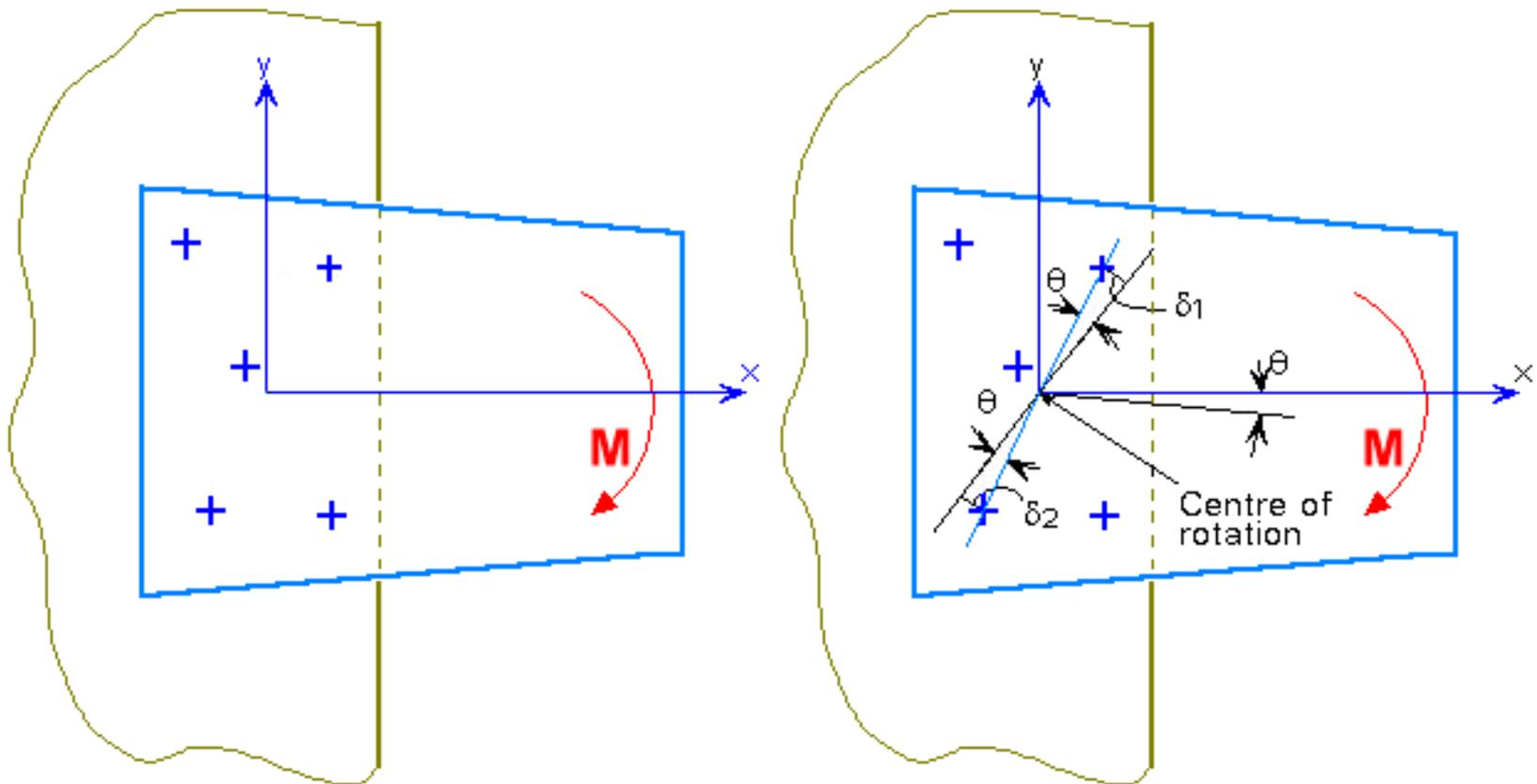
- Positionnement des boulons : pas et pinces préconisés

- $e_{1,min} = 1,2 \cdot d_0$
- $e_{2,min} = 1,2 \cdot d_0$
- $p_{1,min} = 2,2 \cdot d_0$
- $p_{2,min} = 2,4 \cdot d_0$



- **Distribution des efforts dans des séries de boulons**

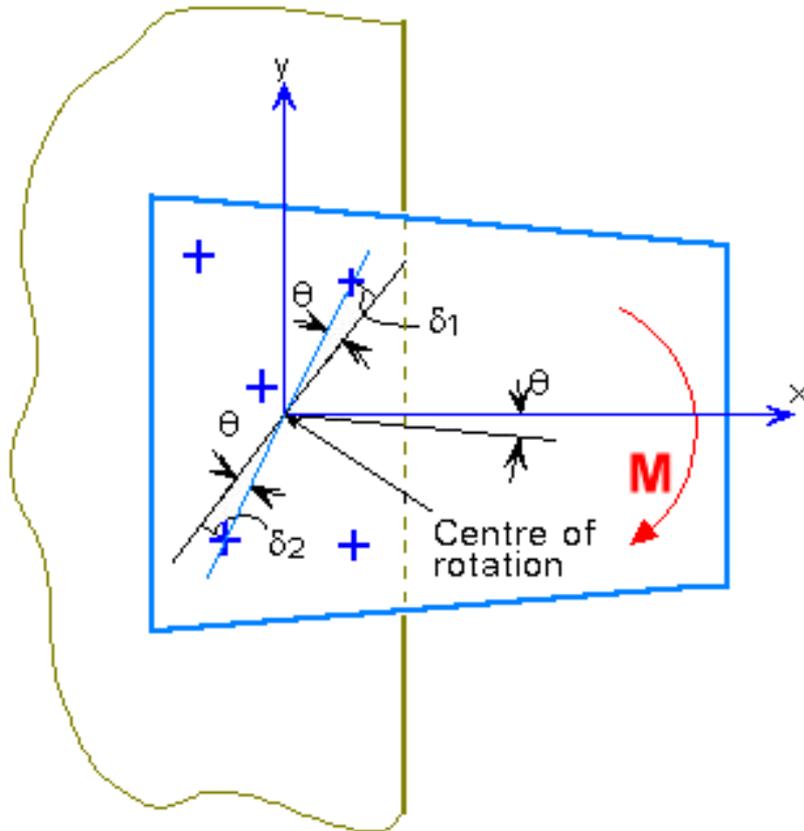
- Cas d'un centre de rotation libre :
 - **Liaison de deux éléments par une platine soumise à un moment seul**



• Distribution des efforts dans des séries de boulons

▪ Cas d'un centre de rotation libre:

• Hypothèses :



- ✓ *La rotation n'est due qu'à la déformation des boulons*
- ✓ *On reste en petites déformations*
=> *Il y a proportionnalité entre effort F_i appliqué au boulon i et son déplacement δ_i*
- ✓ *Le déplacement δ_i au niveau du boulon i est proportionnel à la distance r_i par rapport au centre de rotation.*

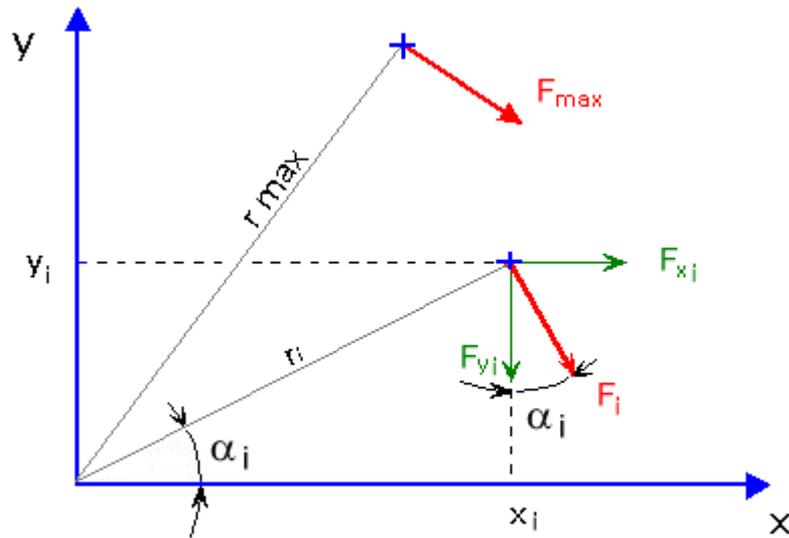
$$\delta_i = r_i \cdot \theta_i$$

=> *Il y a proportionnalité entre effort F_i appliqué au boulon i et sa distance r_i par rapport au centre de rotation*

$$\frac{\vec{F}_i}{r_i} = \frac{\vec{F}_{max}}{r_{max}}$$

• Distribution des efforts dans des séries de boulons

- Cas d'un centre de rotation libre:



$$\frac{\vec{F}_i}{r_i} = \frac{\vec{F}_{max}}{r_{max}} \quad \text{soit} \quad \vec{F}_i = \vec{F}_{max} \cdot \frac{r_i}{r_{max}}$$

En projection sur x_i

$$F_{xi} = F_i \cdot \sin \alpha_i = \frac{r_i \cdot \sin \alpha_i}{r_{max}} \cdot F_{max} = y_i \cdot \frac{F_{max}}{r_{max}}$$

En projection sur y_i

$$F_{yi} = F_i \cdot \cos \alpha_i = \frac{r_i \cdot \cos \alpha_i}{r_{max}} \cdot F_{max} = x_i \cdot \frac{F_{max}}{r_{max}}$$

Équilibre de la platine (flexion uniquement):

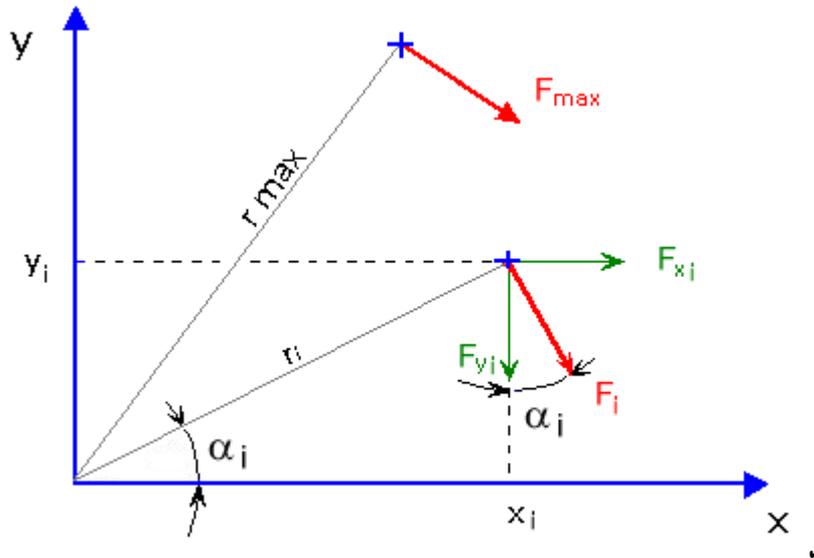
$$\sum F_{xi} = 0 \quad \text{soit} : \sum y_i \cdot \frac{F_{max}}{r_{max}} \quad \text{ou} : \sum y_i = 0$$

$$\sum F_{yi} = 0 \quad \text{soit} : \sum x_i \cdot \frac{F_{max}}{r_{max}} \quad \text{ou} : \sum x_i = 0$$

=> **Le centre de rotation est au centre de gravité des boulons.**

• Distribution des efforts dans des séries de boulons

- Cas d'un centre de rotation libre:



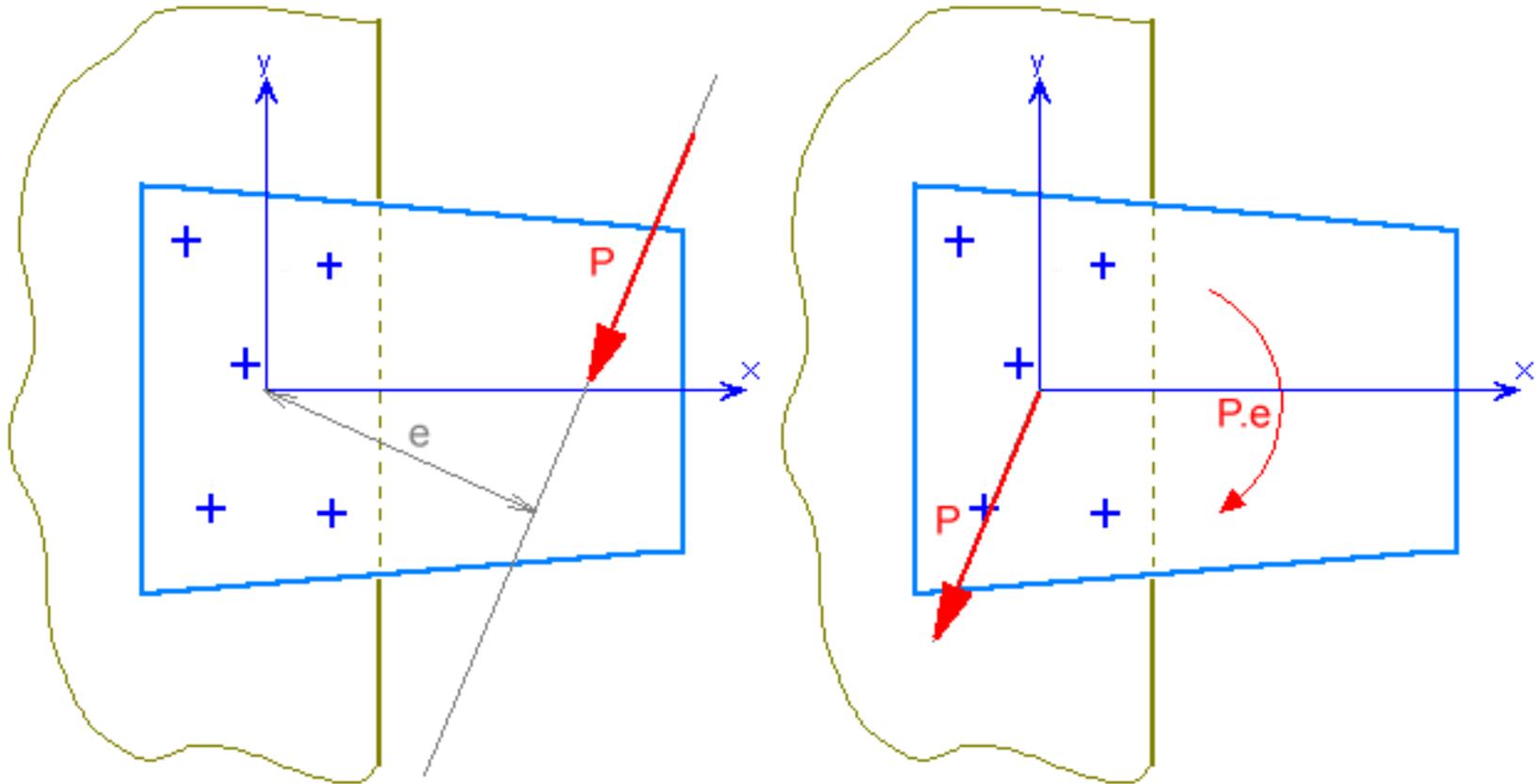
Equilibre de la platine (flexion uniquement):

$$M = \sum r_i \cdot F_i \quad \text{soit :} \quad M = \frac{\sum r_i^2}{r_{max}} \cdot F_{max} = \frac{F_{max}}{r_{max}} \cdot \sum r_i^2$$

$$\text{d'ou : } F_{max} = \frac{M \cdot r_{max}}{\sum r_i^2} = \frac{M \cdot r_{max}}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

$$\Rightarrow \boxed{F_{max} = \frac{M \cdot r_{max}}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}}$$

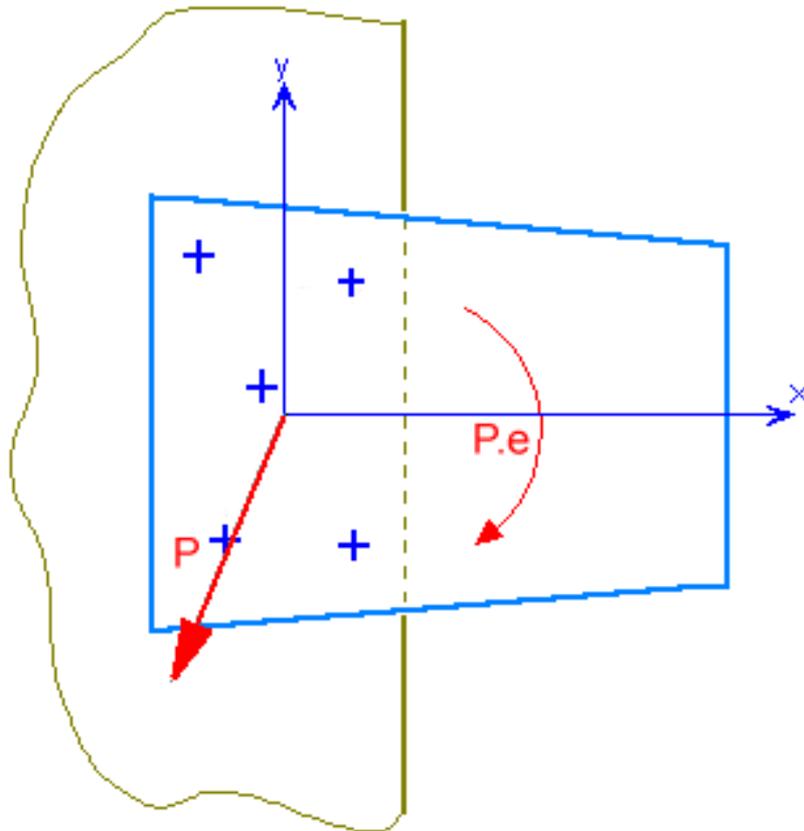
- **Distribution des efforts dans des séries de boulons**
 - Cas d'un centre de rotation libre :
 - Liaison de deux éléments par une platine soumise à un effort excentré



• Distribution des efforts dans des séries de boulons

▪ Cas d'un centre de rotation libre:

- On somme les efforts dus à la force P et les efforts dus au moment M=P.e



- Pour les efforts dus à la force P, on suppose que chacun des n boulons reprend la même force, d'où :

$$F_{xiP} = \frac{P \cdot x}{n} \quad \text{et} \quad F_{yiP} = \frac{P \cdot y}{n}$$

- Pour les efforts dus au moment, on a comme précédemment

$$F_{xiM} = y_i \cdot \frac{F_{max}}{r_{max}} \quad \text{et} \quad F_{yiM} = x_i \cdot \frac{F_{max}}{r_{max}}$$

$$\text{avec} \quad F_{max} = \frac{M \cdot r_{max}}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

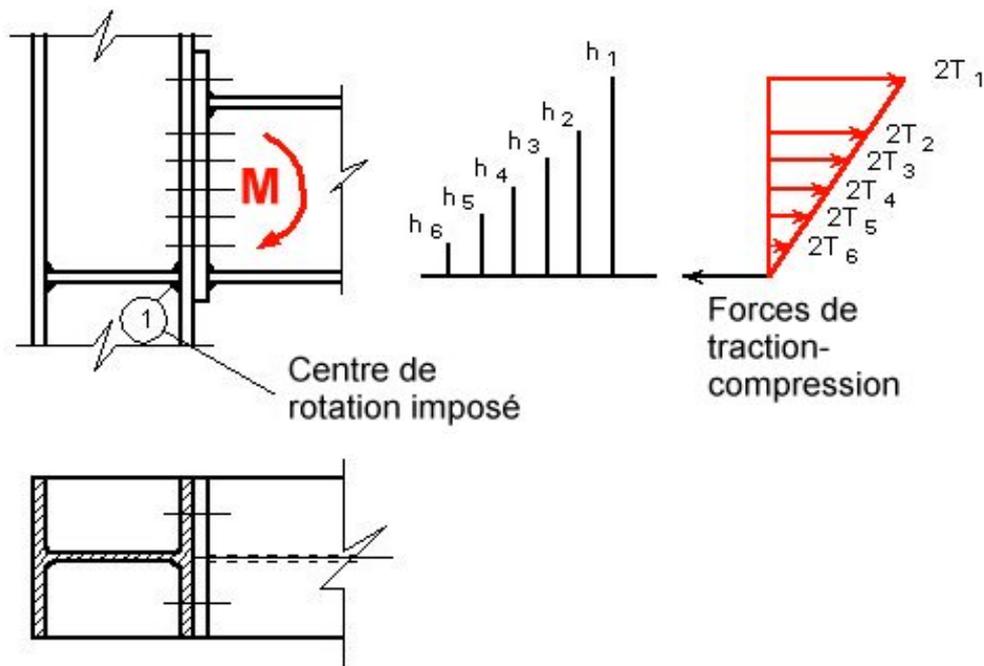
- Au final l'effort sur chaque boulon est :

$$R_i = \sqrt{(F_{xiP} + F_{xiM})^2 + (F_{yiP} + F_{yiM})^2}$$

• Distribution des efforts dans des séries de boulons

▪ Cas d'un centre de rotation imposé:

• Cas d'un assemblage par platine d'extrémité épaisse



- Les déformations en zone comprimée sont plus faibles qu'en zone tendue
- Le centre de rotation situé au point 1 de la figure ou (en sécurité) au niveau des derniers boulons. Avec une platine raide, on peut le considérer à l'extrémité de celle-ci.

- L'équilibre conduit à

$$M = 2 \cdot T_1 \cdot h_1 + 2 \cdot T_2 \cdot h_2 + \dots + 2 \cdot T_6 \cdot h_6$$

- Sous l'hypothèse que chaque rangée à la même rigidité :

$$\frac{2 \cdot T_i}{2 \cdot T_1} = \frac{h_i}{h_1} \text{ pour } i \text{ de } 2 \text{ à } 6$$

- d'où , en rangée 1 : $\frac{2 \cdot T_1}{h_1} \cdot \sum h_i^2 = M$

$$T_1 = \frac{M \cdot h_1}{2 \cdot \sum h_i^2}$$

- **Méthodologie de vérification d'un assemblage boulonné:**
 - Détermination de l'effort de cisaillement dans le boulon le plus chargé
 - Vérification de la résistance des barres et des pièces au niveau de l'assemblage
 - ♦ **Vérification de la résistance en section**
 - ♦ **Vérification de la résistance à la rupture par cisaillement de blocs**
 - ♦ **Vérification de la résistance à la rupture par pression diamétrale**
 - **Résistance des boulons**
 - ♦ **Vérification de la résistance au cisaillement par plan de cisaillement (pression diamétrale)**
 - ♦ **Vérification de la résistance à la traction**
 - ♦ **Vérification de la résistance au poinçonnement (boulons HR uniquement)**
 - ♦ **Vérification de la résistance en cisaillement et traction combinés**

CONTACT

Philippe MARON

ISABTP - UPPA

philippe.maron @univ-pau.fr

www.univ-pau.fr/~maron/const_metal/



ISA BTP

ÉCOLE D'INGÉNIEURS

