

Faculté de technologie
Département de Génie mécanique
Mastère2, S3, option Construction mécanique (2020/2021)
*Le chef de département Mansour rokbi, le chef de filière Said Zerguane
et le chef d'option Ali debih*

Partie 2 (Cours d'Assemblages)

Rôle des assemblages

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces, sans générer de sollicitations parasites notamment de torsions.

Pour réaliser une structure métallique, on dispose de pièces individuelles, qu'il convient d'assembler :

- Soit bout à bout (éclissages, raboutages) ;
- Soit concourantes (attaches poutre/poteau, treillis et systèmes réticulés)

Pour conduire les calculs selon les schémas classiques de la résistance des matériaux, il y a lieu de distinguer, parmi les assemblages :

- les assemblages articulés, qui transmettent uniquement les efforts normaux et tranchants
- les assemblages rigides, qui transmettent en outre les divers moments.

Cette dichotomie est en fait une simplification pour mener les calculs, car en réalité, les assemblages ont un comportement intermédiaire (semi-articulés, semi-encastés, semi-rigides).

Les articulations, réalisées par boulonnage, n'ont pas l'apparence d'articulations classiques. Le critère caractéristique réside en fait dans la flexibilité à proximité du nœud.

Fonctionnement des assemblages

Les principaux modes d'assemblage sont :

- Le rivetage,
- Le boulonnage,
- Le soudage,
- Le collage,

qui correspondent à deux types de fonctionnement distincts : obstacles et /ou adhérence.

Fonctionnement par obstacle

C'est le cas des boulons ordinaires, non précontraints, dont les tiges reprennent les efforts et fonctionnent en cisaillement.

Fonctionnement par adhérence

Dans ce cas, la transmission des efforts s'opèrent par adhérence des surfaces des pièces en contact. Cela concerne le soudage, le collage, le boulonnage par boulons HR.

Fonctionnement mixte

C'est le cas du rivetage (et dans le cas extrême du boulonnage HR), à savoir que les rivets assurent la transmission des efforts par adhérence des pièces jusqu'à une certaine limite, qui lorsqu'elle est dépassée, fait intervenir les rivets par obstacle, au cisaillement.

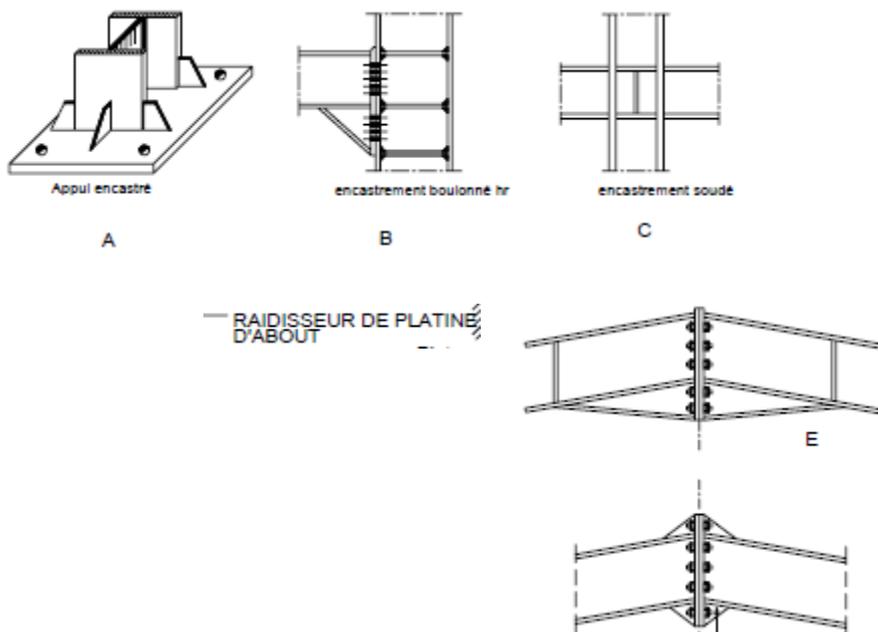
Précautions constructives

Les assemblages constituent des zones particulières plus fragiles que les zones courantes des pièces, car les sections sont réduites de fait de perçages ou la nature de l'acier affaiblie par la chauffe du soudage. En outre, les assemblages sont soumis à des sollicitations qui peuvent s'inverser et les contraintes peuvent changer de sens (une poutre en charpente peut fléchir dans le sens positif sous charge de neige et dans le sens négatif sous soulèvement par le vent).

C'est pourquoi il faut être particulièrement vigilant dans la conception et le calcul des assemblages, afin de se prémunir contre tous risque de rupture brutale.

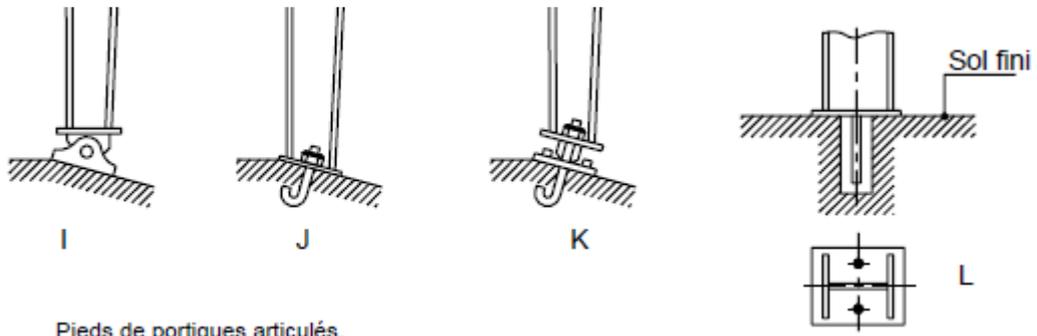
EXEMPLES D'ASSEMBLAGES :

Réalisant un encastrement :

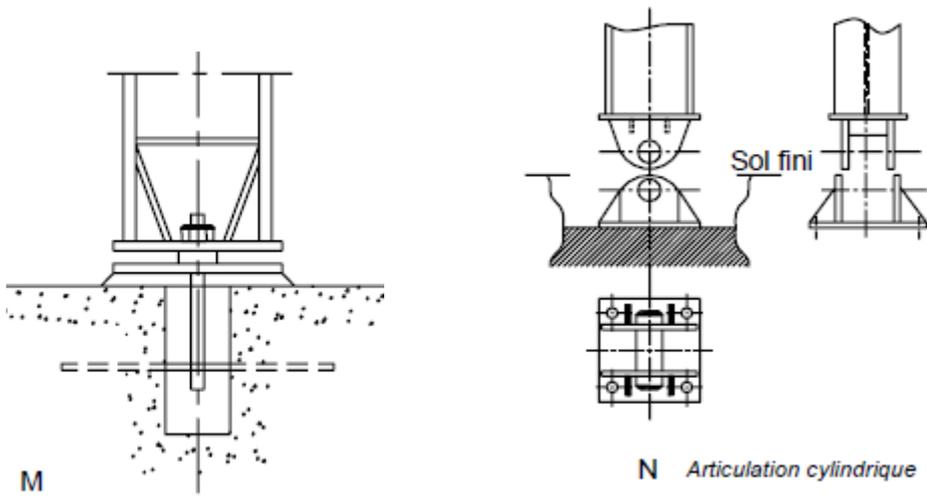


N.B. : Ces goussets ne sont pas nécessaires si les platines sont suffisamment épaisses.

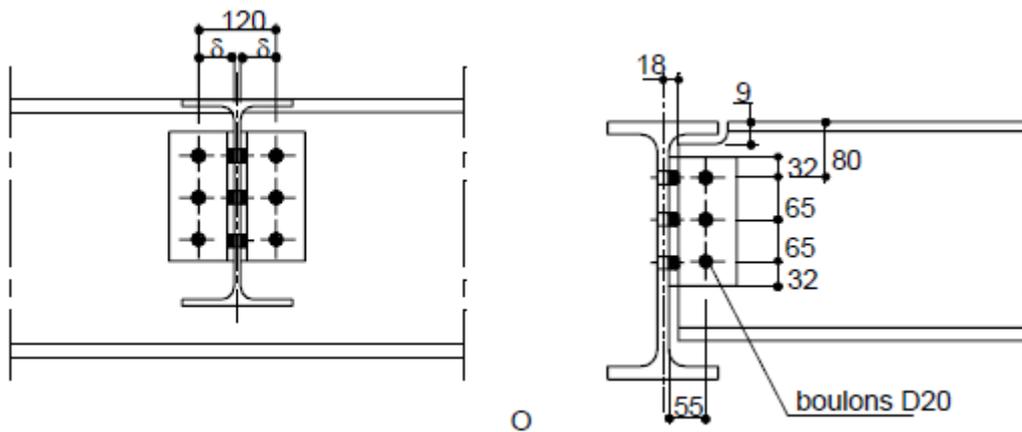
Réalisant une articulation :



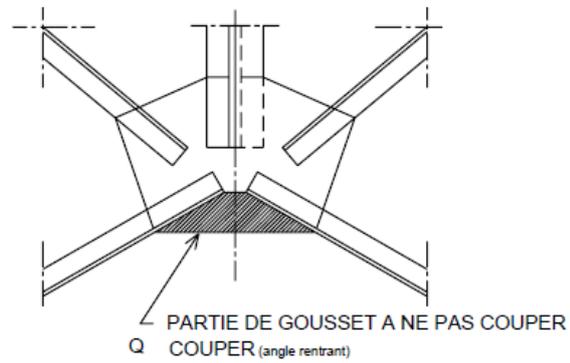
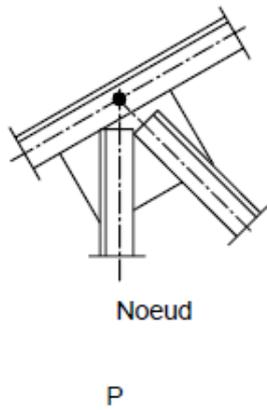
Pieds de portiques articulés.



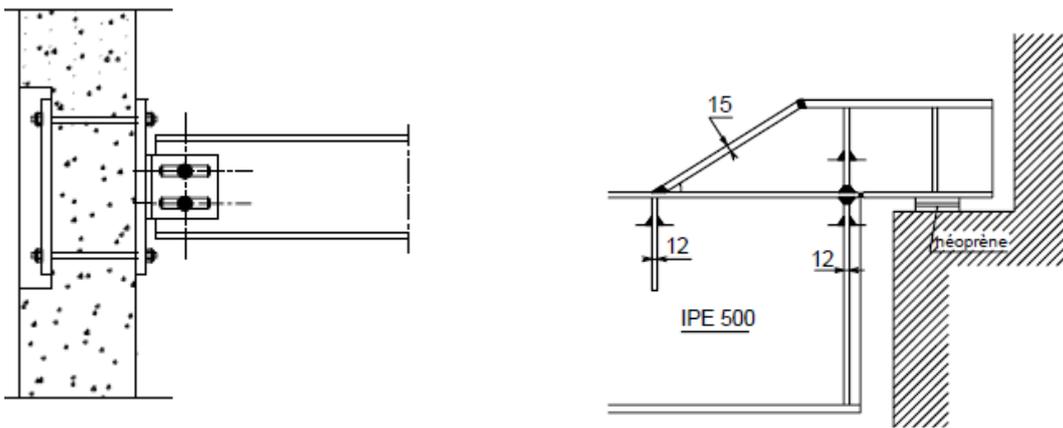
N Articulation cylindrique



O



Réalisant un appui simple



Assemblages par boulons ordinaires et/ou rivets :

Fonctionnement d'un assemblage par boulons ordinaire ou rivet :

Sous faibles sollicitations, la résistance de l'assemblage est due à l'adhérence des faces des pièces sous l'effort de serrage des boulons. Le coefficient d'adhérence acier/acier n'excédant pas 0,35, dès que les sollicitations dépassent le seuil d'adhérence il y a glissement brusque des pièces jusqu'à ce que les boulons bloquent le déplacement par appui dans les trous. Ceux qui sont en contact travaillent alors au cisaillement.

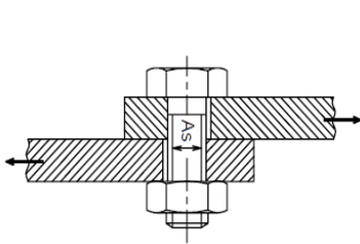
Les déplacements dépendent des jeux (entre trous et boulons) dont la répartition est aléatoire si les pièces n'ont pas été usinées simultanément. Comme on n'est jamais sûr de la valeur du serrage, on considérera toujours que les boulons travaillent uniquement au cisaillement.

Dans la pratique, tous les boulons d'un même plan de joint ne seront pas soumis aux mêmes efforts (ceux des extrémités seront plus chargés que ceux du centre) mais lorsque les assemblages sont courts, on considérera que l'adaptation plastique des matériaux répartit également les charges sur tous les boulons.

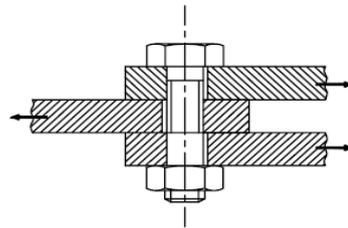
Dispositions constructives et calculs :

Les assemblages par boulons ordinaires, non précontraints, leurs dispositions constructives et leurs modes de calculs sont réglementés par les règles CM66.

En plus du calcul des boulons, il faudra vérifier la résistance de toutes les pièces de l'assemblage (barres, goussets, ...) dans leur zone de faiblesse. Pour les goussets par exemple, il faudra rechercher la ou les lignes de déchirure possible. Même lorsqu'un seul boulon suffirait à transmettre les efforts, les barres sont liées aux assemblages par au moins 2 boulons.



Cisaillement simple



Cisaillement double

Dispositions constructives et calculs :

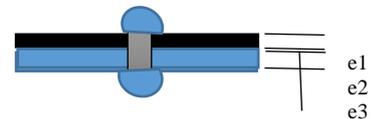
Choix du diamètre : parmi les diamètres normalisés on choisit un diamètre fonction de l'épaisseur des pièces à assembler classées par ordre d'épaisseurs décroissant (e_1, e_2, e_3) en appelant e_2 de la deuxième pièce, le diamètre « d » du rivet doit être :

$$d \geq e_2 + 2\text{mm} \quad \text{si } e_2 \leq 20\text{mm}$$

$$d \geq 22 \text{ mm} \quad \text{si } e_2 > 22\text{mm}$$

Cependant on doit toujours avoir $\sum e_i \leq 4d$
un abattement sur la section du rivet

si $\sum e_i > 4d$ on admet en générale



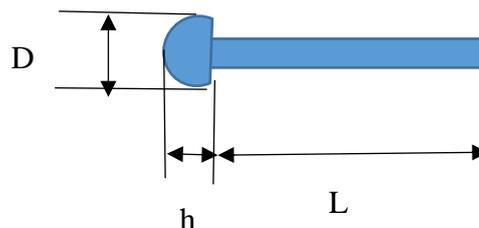
Les diamètres normalisés des rivets couramment utilisés :

14, 16, 18, 20, 22, 24, ..., etc.

Le diamètre de la tête du rivet doit être $D \approx (5/3) \times d$

La hauteur de la tête du rivet doit être $h \approx (2/3) \times d$

La longueur de la tige du rivet doit être $L = 1,1 \sum e_i + 1,5d - 1$; (mm)

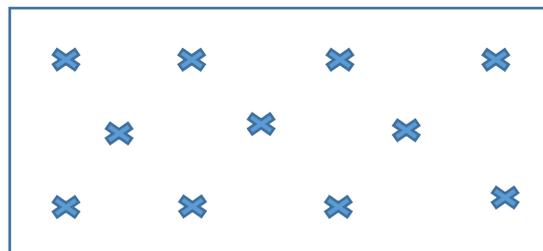


Disposition des rivets (écartements des rivets)

a) Disposition en chaîne



b) Disposition en quinconce



Les rivets doivent être suffisamment serrés pour éviter la corrosion et ils doivent être suffisamment éloignés pour éviter la concentration d'efforts, la distance entre deux rivets appelée pince « γ » doit être comprise entre $3d$ et $7d$

$$3d \leq \gamma \leq 7d$$

La pince longitudinale c'est la distance qui sépare le premier rivet du bord de la pièce (dans le sens longitudinal) γ_l ,

$$\gamma_l \geq \sup \left\{ \begin{array}{l} 1,5d \\ \frac{0,8T}{e \cdot \sigma_{en}} \end{array} \right.$$

T effort pondéré

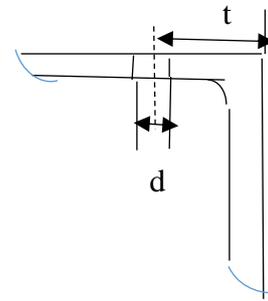
La pince transversale c'est la distance qui sépare le premier rivet du bord de la pièce (dans le sens transversal) γ_t ,

$$1,5d \leq \gamma_t \leq 2,5d$$

Lorsqu'il s'agit de cornière on choisit le diamètre du rivet directement en fonction de l'épaisseur des ailes et en fonction de la ligne de trusquinage (caractéristique géométrique donnée par le constructeur).

Les diamètres des boulons et rivets les plus couramment utilisés pour l'assemblage des différents profilés sont rappelés dans le tableau suivant.

| Rivets et boulons Ø mm | Tôles et ames de profilés d'épaisseur mm | Cornières de largeur d'aile mm | Ailes de fers U de hauteur mm | Ailes de poutrelles H de profil mm |
|------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 8 | 2 | 30 | | |
| 10 | 3 | 35 | | |
| 12 | 4 | 40 – 45 | 80 | |
| 14 | 5 | 50 | 100 à 130 | 10 et 12 |
| 16 | 6 | 60 | 140 à 160 | 14 |
| 18 | 7 | 70 | 175 et 180 | 15 et 16 |
| 20 | 8 | 80 – 90 | 200 et 220 | 18 |
| 22 | 10 à 14 | 100 – 120 | 210 à 300 | 20 à 24 |
| 24 | > 14 | > 120 | | > 24 |



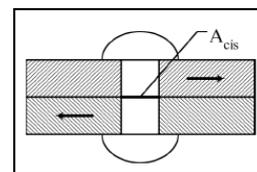
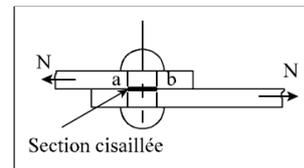
Calcul des rivets

1- Cisaillement simple

Si on appelle T l'effort de cisaillement pondéré

La vérification s'effectue avec la relation suivante :

$$\frac{1,54 T}{A} \leq \sigma_{en}$$

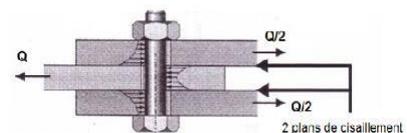


2- Cisaillement double

Si on appelle T l'effort de cisaillement pondéré

La vérification s'effectue avec la relation suivante :

$$\frac{1,54 T}{2 A} \leq \sigma_{en}$$



La section du rivet est prise $A = \frac{\pi d^2}{4}$ si $\sum e_i \leq 4d$

Si $4d \leq \sum e_i \leq 5d$ alors on admet un abattement sur la section de calcul et

$$A = \frac{\pi d^2}{4} - 1,5(\sum e_i - 4d)$$

Si $\sum e_i \geq 5d$

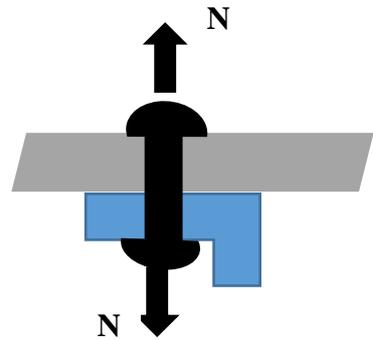
$$A = \frac{\pi d^2}{4} - 1,5d$$

3- Arrachement

Si on appelle N l'effort d'arrachement

La vérification s'effectue avec la relation suivante :

$$\frac{1,25 N}{A} \leq \sigma_{en}$$



Pression diamétrale sur les pièces

Dans le cas où des déformations appréciables apporteraient une gêne à l'exploitation il est indispensable de vérifier la pression diamétrale par la relation suivante :

$$\frac{T}{d \cdot e} \leq 3,5 \sigma_{en} *$$

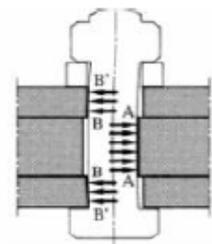
Avec : $d = d+1\text{mm}$ pour les boulons et rivets $d \leq 14$

$d+2\text{mm}$ pour les boulons et rivets $d \leq 24$

$d+3\text{ mm}$ pour les boulons et rivets $d \geq 27$

Dans le cas des déformations importantes gênant l'exploitation la pression diamétrale (la pression moyenne sur les parois du trou) est limitée par la relation suivante :

$$\frac{T}{d \cdot e} \leq 2 \sigma_{en}$$

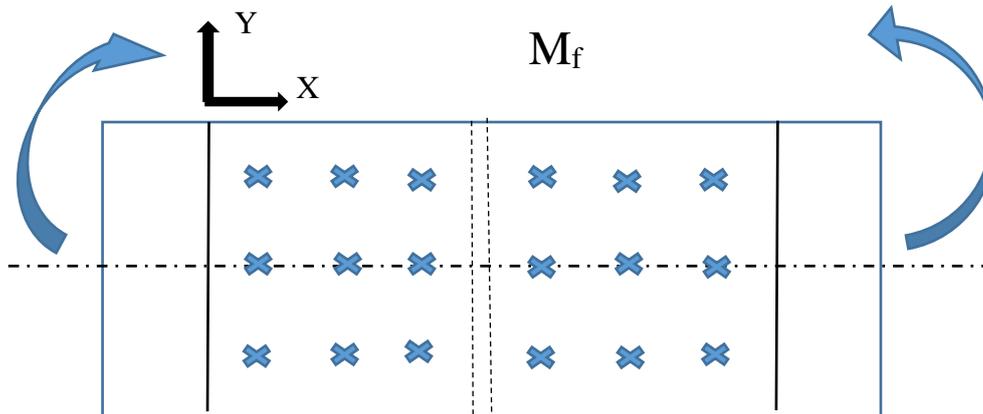


Remarque : la condition * n'intervient qu'en cas d'assemblage de pièces d'épaisseurs relativement faible la résistance des assemblages normaux n'étant limités que par le cisaillement des rivets ou boulons

Calcul des rivets soumis à la flexion

a) *Le moment est dans le plan perpendiculaire aux tiges des rivets (boulons) :*

Dans ce cas les rivets (boulons) sont soumis à un effort de cisaillement T , on admet que l'axe de rotation passe par le centre de gravité (CDG) de la disposition (des rivets ou boulons) donc l'effort de cisaillement max des rivets (boulons) est appliqué sur les rivets (boulons) d'extrémités (les plus éloignés) Chaque rivet (boulons) dans le dispositif développe un couple, l'ensemble des couples développés par les rivets (boulons) équilibre le moment de flexion extérieur.



$$\frac{T_{Max}}{\rho_{Max}} = \frac{T_i}{\rho_i} \quad \text{d'où} \quad T_i = \rho_i \frac{T_{Max}}{\rho_{Max}}$$

D'autre part le moment fléchissant M_f doit être équilibré par l'ensemble des couples interne.

$$M_f = n (T_{Max} \times \rho_{Max} + T_i \times \rho_i)$$

n : nombre de files verticale de rivets (boulons)

$$\rho_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \quad \text{On négligeant les } X_i \text{ devant les } Y_i \text{ alors} \quad \rho_i = Y_i$$

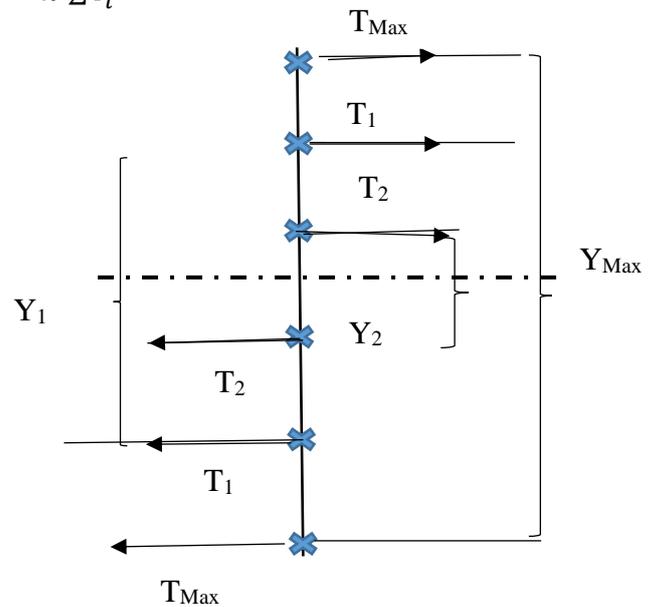
Y_i la distance qui sépare les rivets (boulons) dans une file verticale de rivets (boulons)
La distance verticale (Y_i) est plus grande que la distance horizontale qui sépare les rivets (boulons), alors les X_i sont négligés devant les Y_i .

$$T_{Max} = \frac{M_f \cdot Y_{Max}}{n \sum Y_i^2}$$

$$M_f = n(T_{Max} \cdot Y_{Max} + \frac{T_i}{Y_i} \times Y_i^2) \quad , \quad \text{or} \quad \frac{T_{Max}}{\rho_{Max}} = \frac{T_i}{\rho_i} \quad \text{donc}$$

$$M_f = n(T_{Max} \cdot Y_{Max} + \frac{T_{Max}}{Y_{Max}} \times Y_i^2) \quad \text{alors} \quad M_f = nT_{Max}(Y_{Max} + \frac{Y_i^2}{Y_{Max}})$$

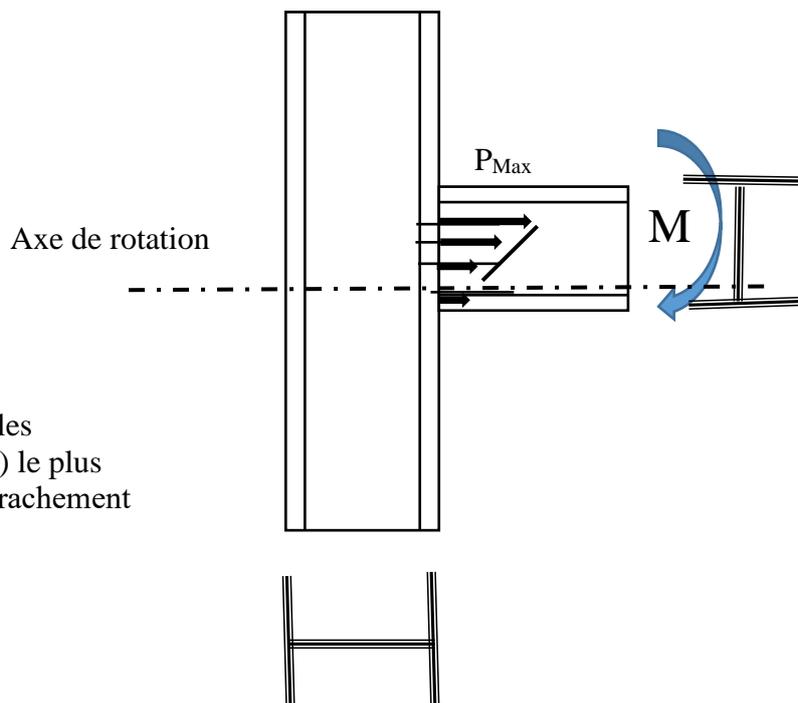
$$M_f = nT_{Max} \left(\frac{Y_{Max}^2}{Y_{Max}} + \frac{Y_i^2}{Y_{Max}} \right) \rightarrow T_{Max} = \frac{M_f \cdot Y_{Max}}{n \sum Y_i^2}$$



b) Moment agissant dans le même plan des tiges de rivets (boulons)

Dans le cas où les rivets (boulons) sont soumis à un effort P qui tend à arracher leurs têtes on admet que l'axe de rotation se situe à l'une des extrémités des files verticales des rivets (boulons) cet effort est d'autant plus grand que le rivet (boulon) est plus éloigné de l'axe de rotation.

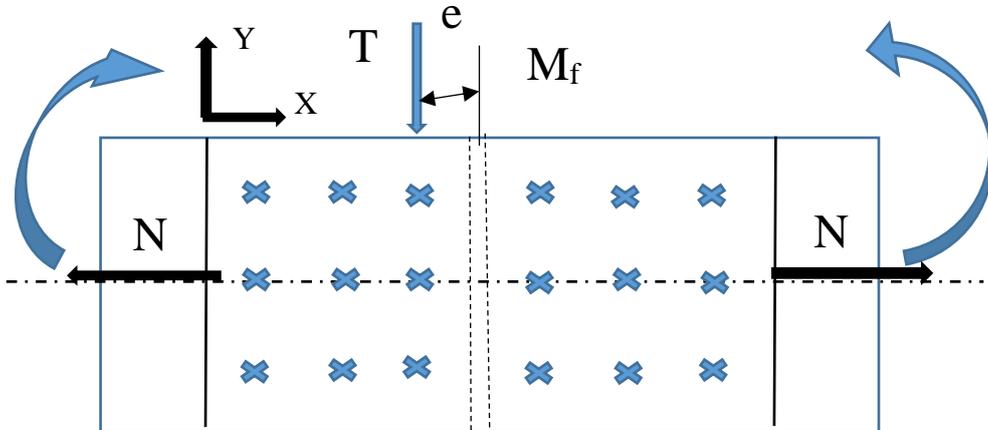
$$P_{Max} = \frac{M \cdot Y_{Max}}{n \sum Y_i^2}$$



n: nombre de files verticales
on vérifie le rivet (boulon) le plus sollicité (sous P_{Max}) à l'arrachement

$$\frac{1,25 P_{Max}}{A} \leq \sigma_{en}$$

c) *Calcul des rivets (boulons) d'assemblage soumis simultanément à la flexion, effort normal et effort tranchant :*



T_t : Composante provenant de l'effort tranchant, on suppose que cet effort est uniformément réparti sur tous les rivets (boulons)

$$T_t = \frac{T}{n \times m} \quad \begin{array}{l} n : \text{nombre de files de rivets} \\ m : \text{nombre de rivets dans chaque file} \end{array}$$

$$T_N = \frac{N}{n \times m} \quad \text{due à l'effort normal}$$

$$T_M = \frac{M \cdot Y_{Max}}{n \sum Y_i^2} \quad \text{due au moment fléchissant}$$

$$M' = T \times e \quad \text{due au moment parasite créé par l'excentricité de l'effort tranchant T}$$

$$T_{M'} = \frac{M' \cdot Y_{Max}}{n \sum Y_i^2} \quad \text{due au moment supplémentaire (parasite)}$$

$$T_{Max}^{totale} = \sqrt{(T_M \pm T_{M'} + T_N)^2 + T_t^2}$$

On effectue la vérification avec
$$\frac{1,54 T_{Max}^{totale}}{A} \leq \sigma_{en}$$