



جامعة أبو بكر بلقايد

كلية التكنولوجيا

UNIVERSITÉ DE TLEMCEEN

Faculté de Technologie



## **L3 ARCHITECTURE**

### **MATIÈRE : STRUCTURE 2**

# **APPLICATIONS DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE**

**DR. TABET-DERRAZ MOULAY IDRIS**

**Email:** [moulayidriss.tabetderraz@univ-tlemcen.dz](mailto:moulayidriss.tabetderraz@univ-tlemcen.dz)

# INTRODUCTION

Dans le domaine de la construction métallique on peut considérer deux types de structures :



**Hangar métallique**



**Bâtiment à étages métallique**

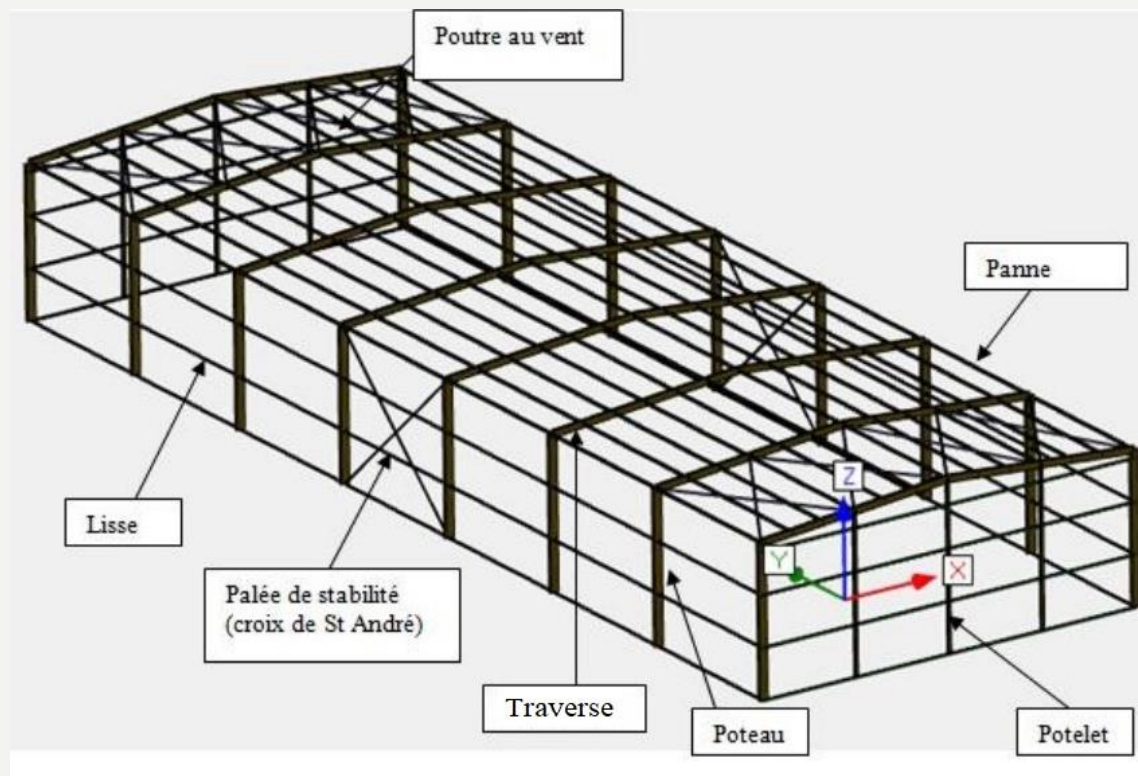
# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Un hangar métallique est une structure de stockage ou de protection. Ces structures permettent de grandes portées et sont résistantes aux intempéries, et elles sont couramment utilisées dans l'agriculture, l'industrie et d'autres domaines.



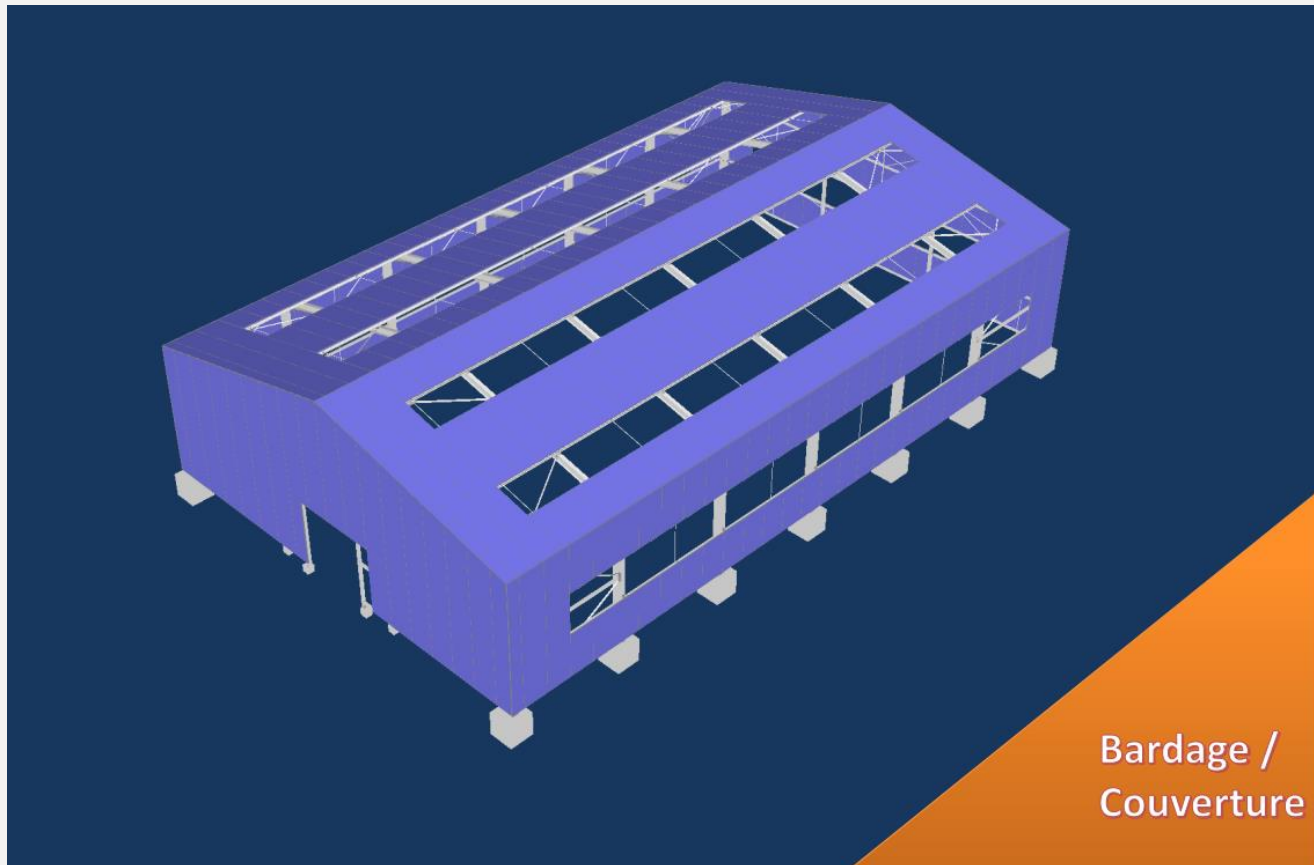
# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Il est important de comprendre la terminologie associée à ces éléments pour une communication claire et précise. Voici quelques termes couramment utilisés pour décrire ces éléments :



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

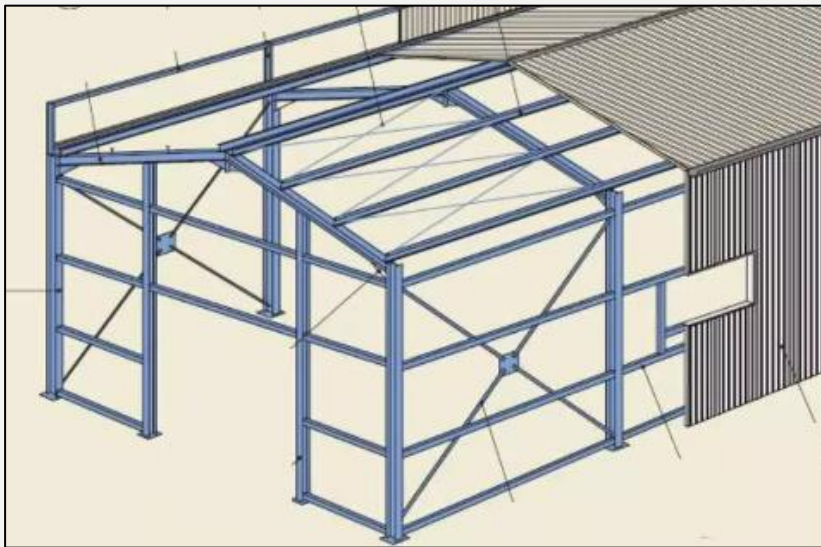
Terminologie des éléments d'un hall métallique



Bardage /  
Couverture

# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

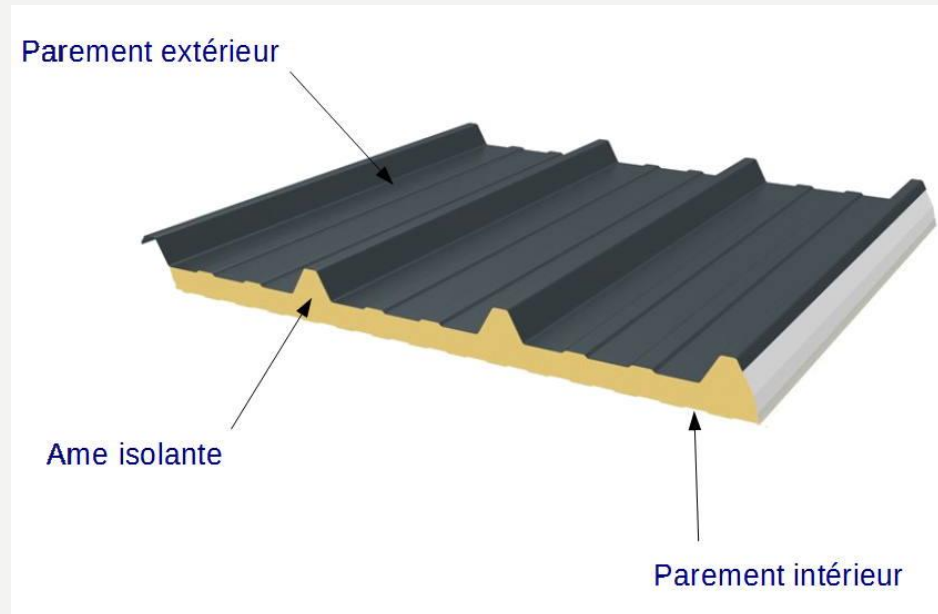
La toiture du hangar métallique se compose de bardage posé sur les pannes, ce bardage est soit en tôle nervurée ou en panneaux sandwich



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

## Terminologie des éléments d'un hall métallique

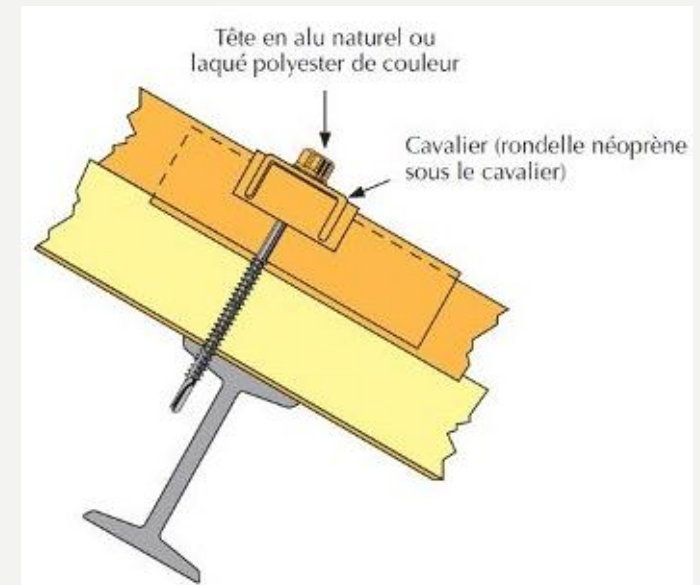
- Les tôles se composent d'éléments à nervures ou à ondes. Les plaques peuvent être en tôle d'acier galvanisé, ou en inox.
- Les panneaux sandwich (Sandwich panel) sont les plus utilisés grâce à leur capacité d'isolation thermique et acoustique (voir la figure).



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

## Terminologie des éléments d'un hall métallique

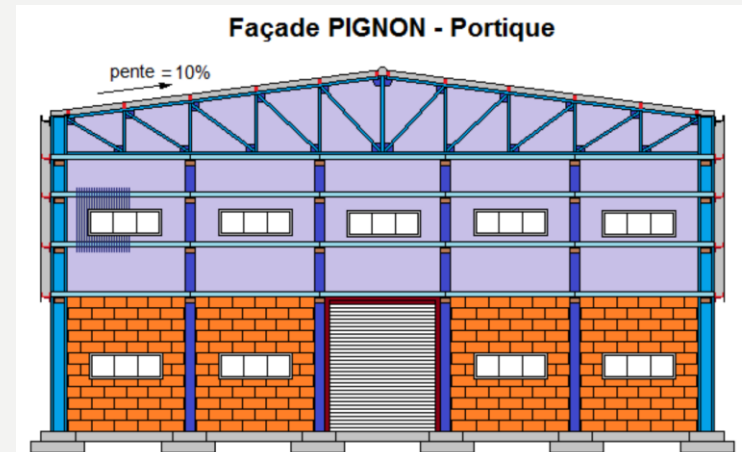
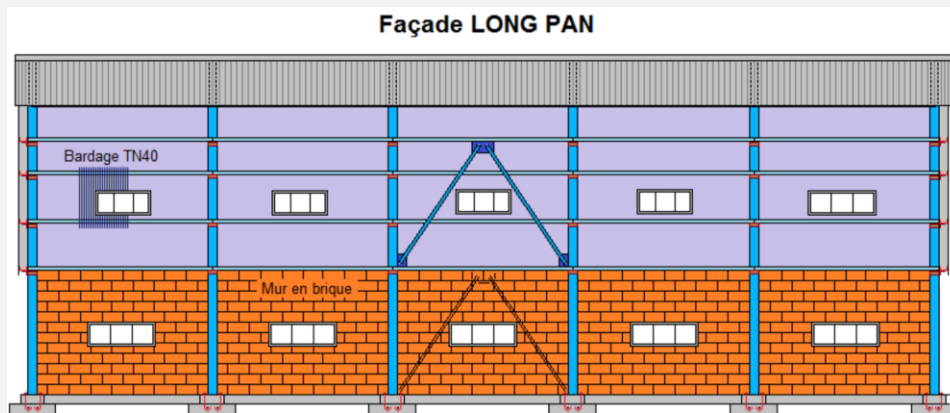
- Fixation du panneau sandwich (bardage/Cladding) sur la toiture



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

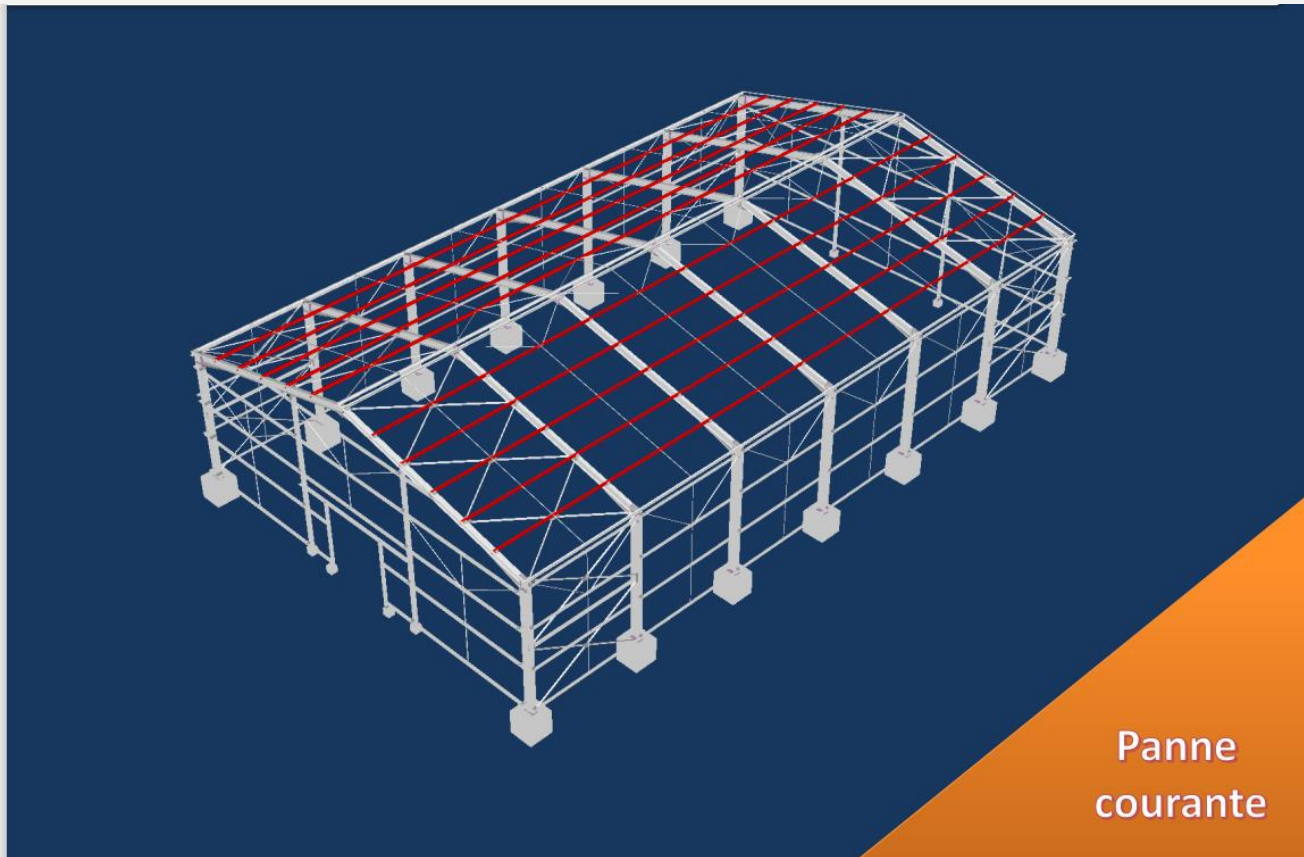
## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Bardage en acier + maçonnerie sur la paroi verticale



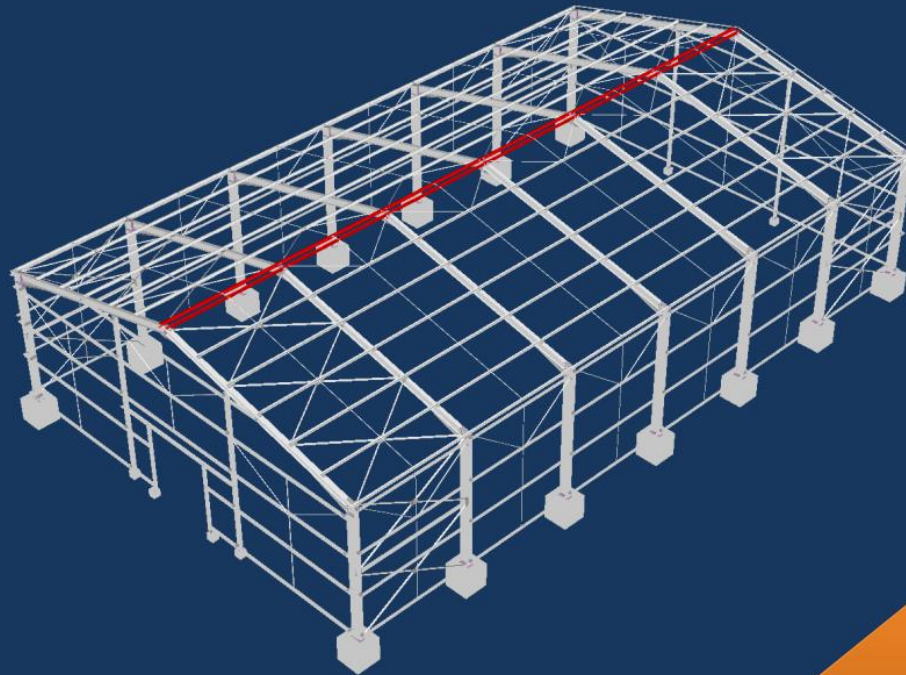
# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Terminologie des éléments d'un hall métallique



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

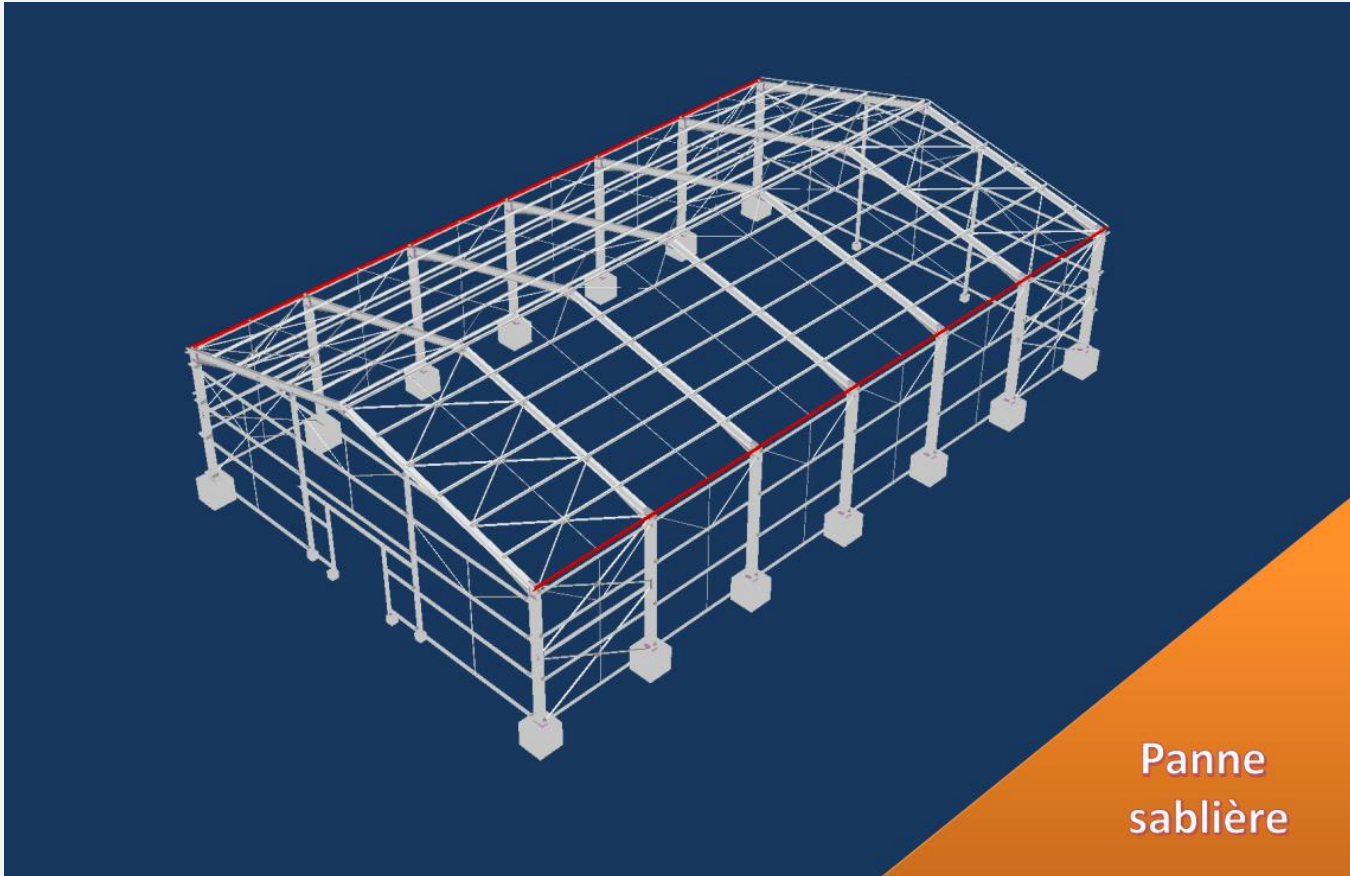
Terminologie des éléments d'un hall métallique



Panne  
faîtière

# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Terminologie des éléments d'un hall métallique



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

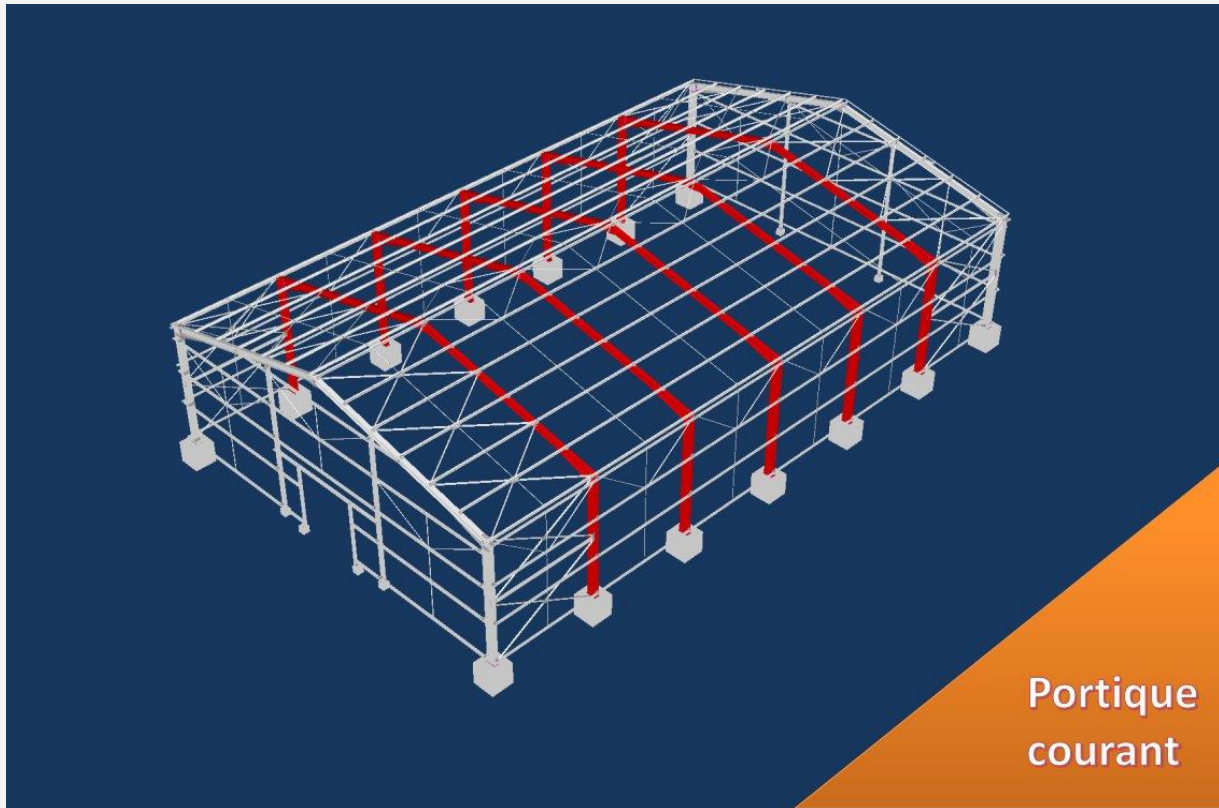
## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Les pannes (Purlins) sont installées dans la toiture pour supporter la couverture en panneau sandwich



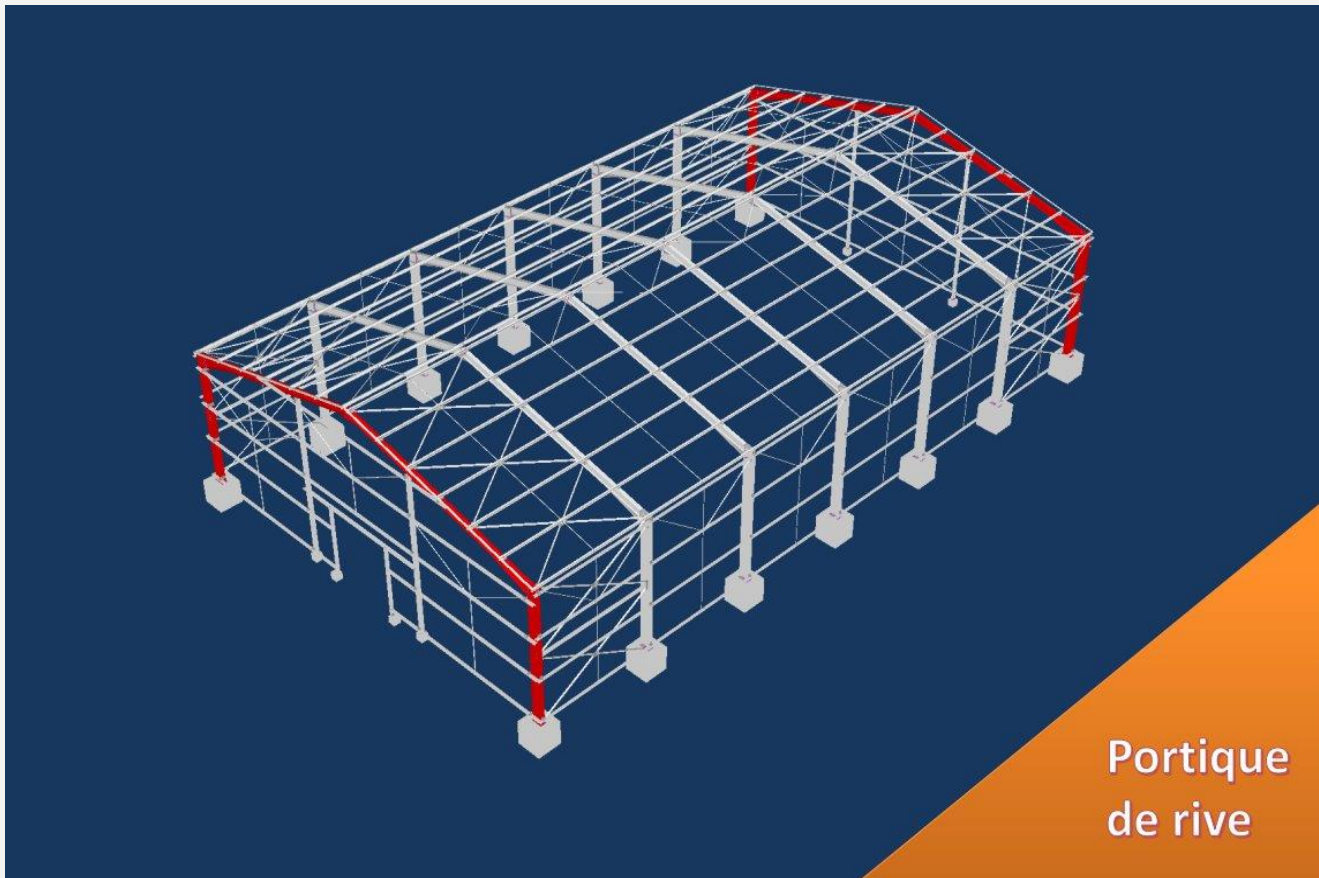
# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Terminologie des éléments d'un hall métallique



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

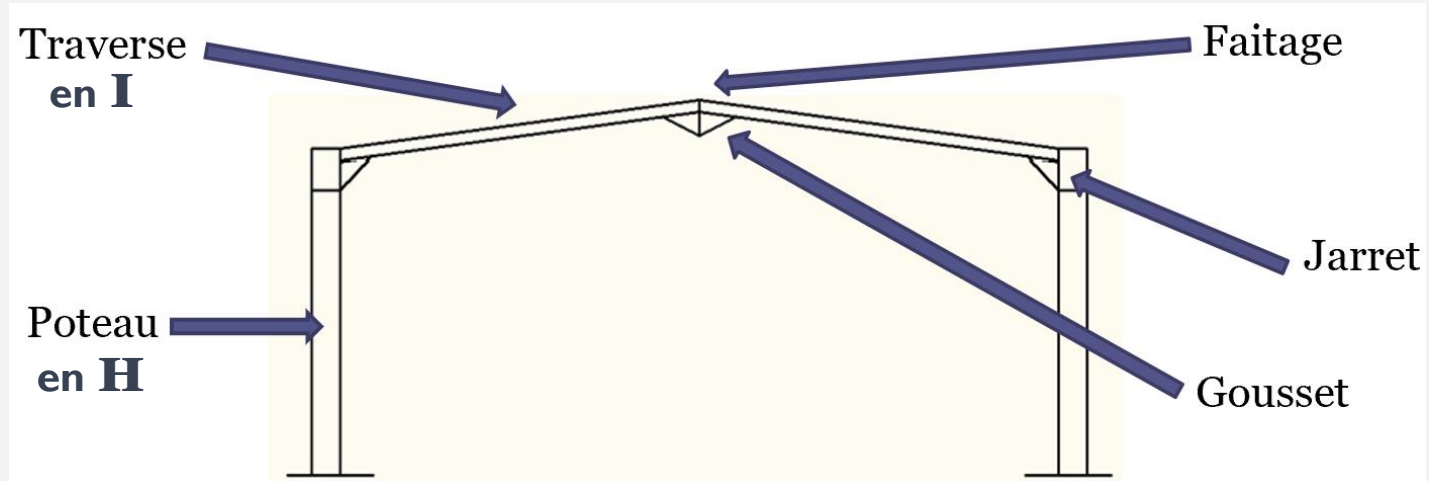
Terminologie des éléments d'un hall métallique



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Les portiques (Frames) sont des polygones métalliques rigide utilisés pour l'ossature de certain bâtiment.
  - Ils peuvent être constitués de profilés en **I** ou de **H**, permettent d'assembler de manière continue les poutres ou les arbalétriers et les poteaux.



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Les poutres supportent les pannes et la couverture sont généralement de profilé en **I** (Traverses/Beams) ou en treillis (Fermes/Truss)



Poutre en **I**  
(Traverses/Beams)

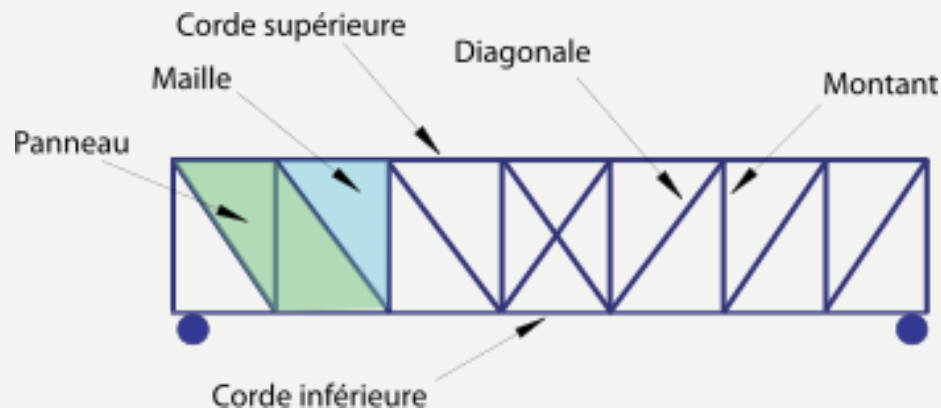
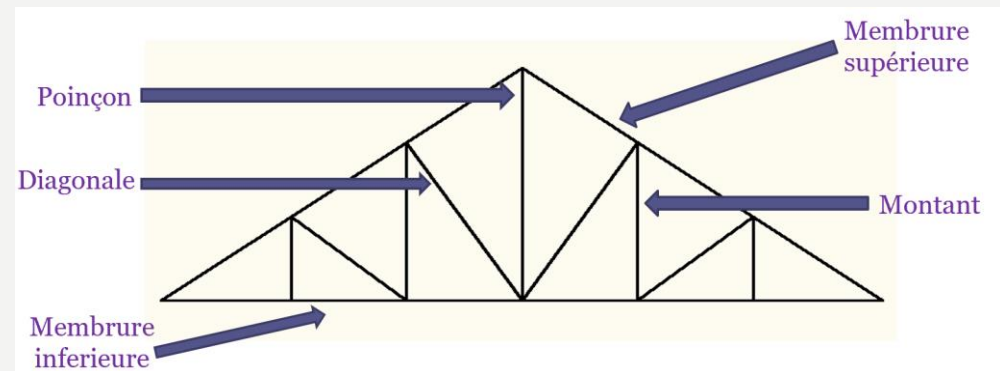


Poutre en treillis  
(Ferme/Truss)

# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

## Terminologie des éléments d'un hall métallique

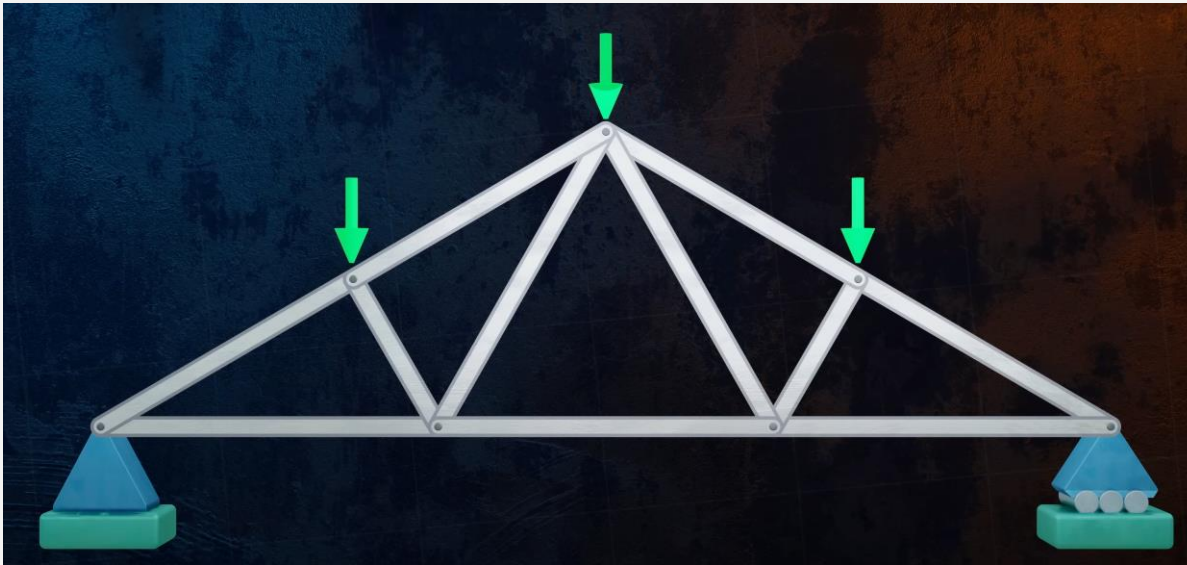
- Composition des poutres en treillis (fermes/Truss)



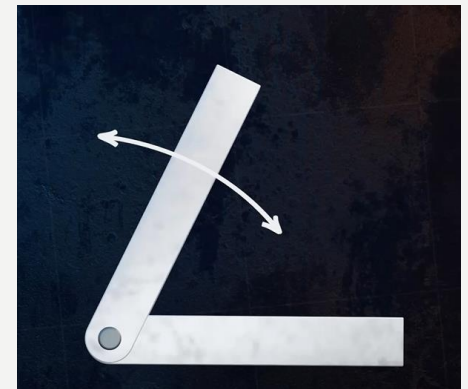
# OSSATURES EN ACIER

## (CALCUL DES TREILLES)

- L'assemblage des poutres en treillis (fermes/Truss) est considéré flexible.



La ferme est isostatique

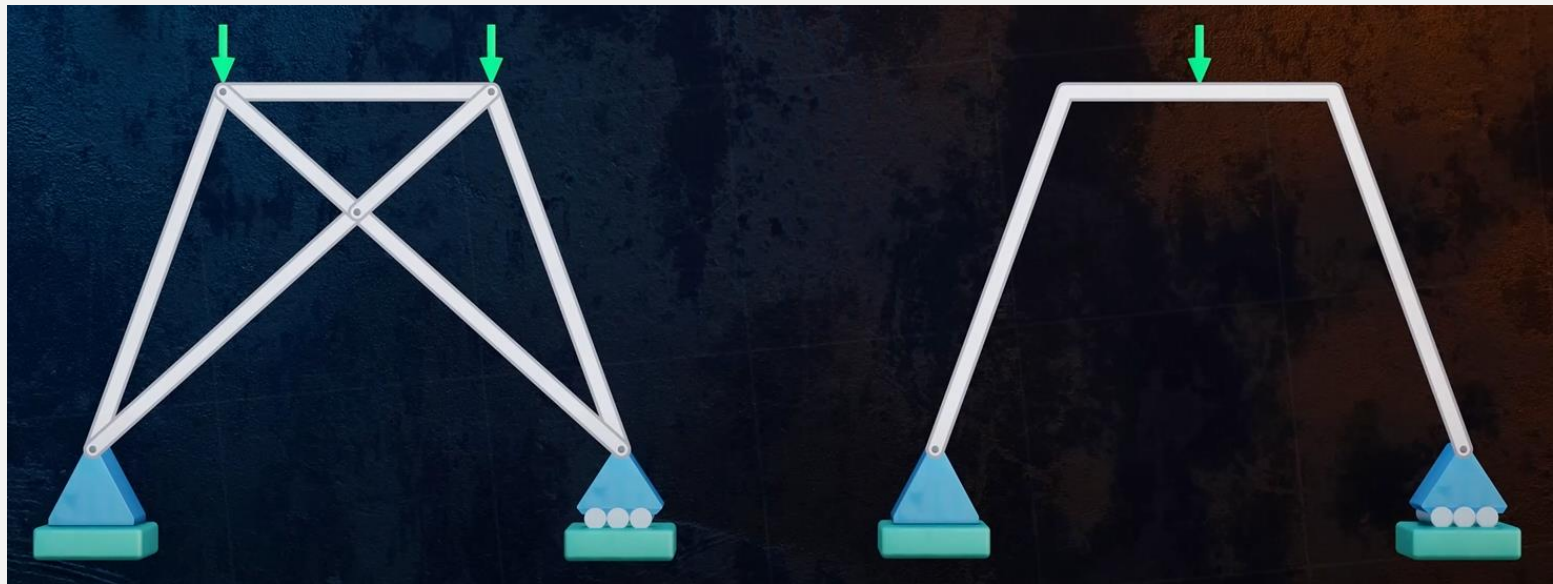


Flexibilité  
(rotation possible)

# OSSATURES EN ACIER

## (CALCUL DES TREILLES)

- L'assemblage des poutres en treillis (fermes/Truss) est considéré flexible, la charge se transmet par les noeuds



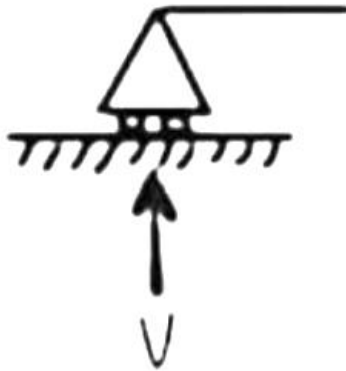
Treillis articulé  
(traction ou compression)

Treillis non articulé  
(possibilité de flexion)

# OSSATURES EN ACIER (CALCUL DES TREILLES)

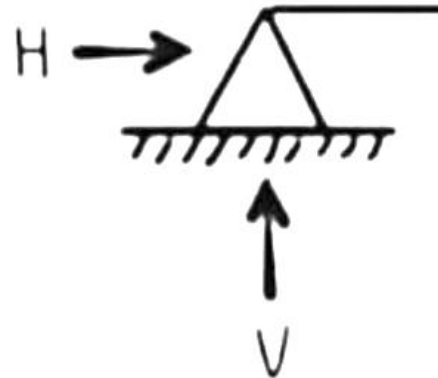
- On utilise généralement les appuis simples et doubles.

APPUIS SIMPLE



Réaction verticale

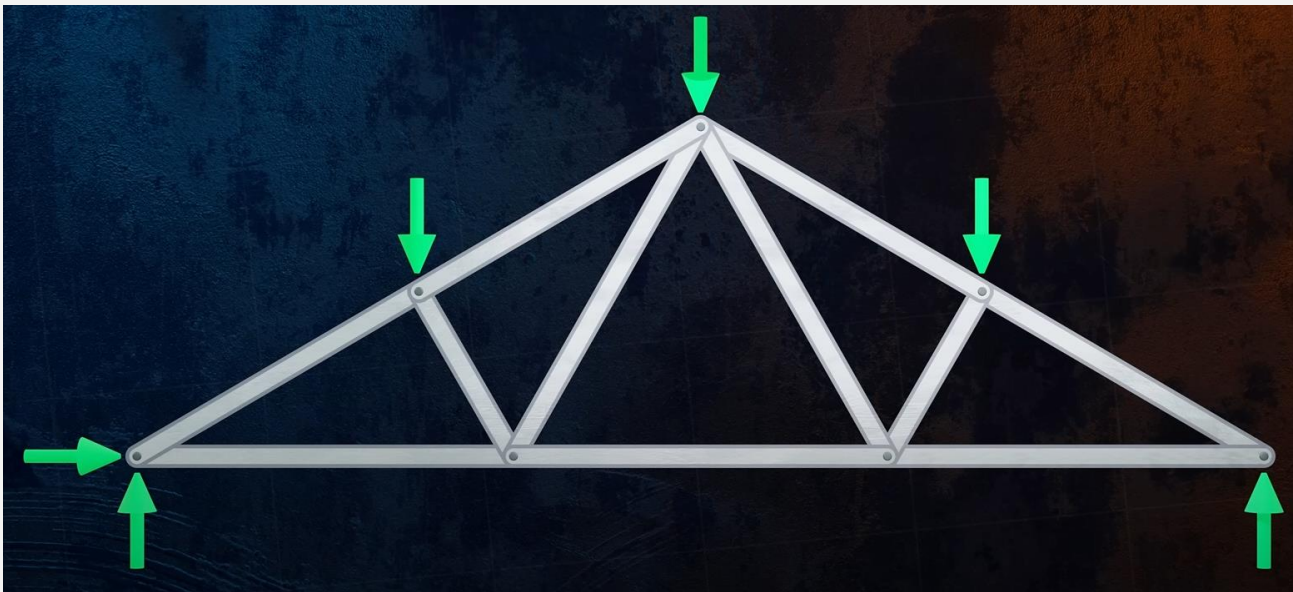
APPUIS DOUBLE



Réaction verticale et  
horizontale

# OSSATURES EN ACIER (CALCUL DES TREILLES)

- On utilise généralement les appuis simples et doubles.



- Les forces des réactions d'appuis sont déterminées par le principe fondamental de la statique « PFS »

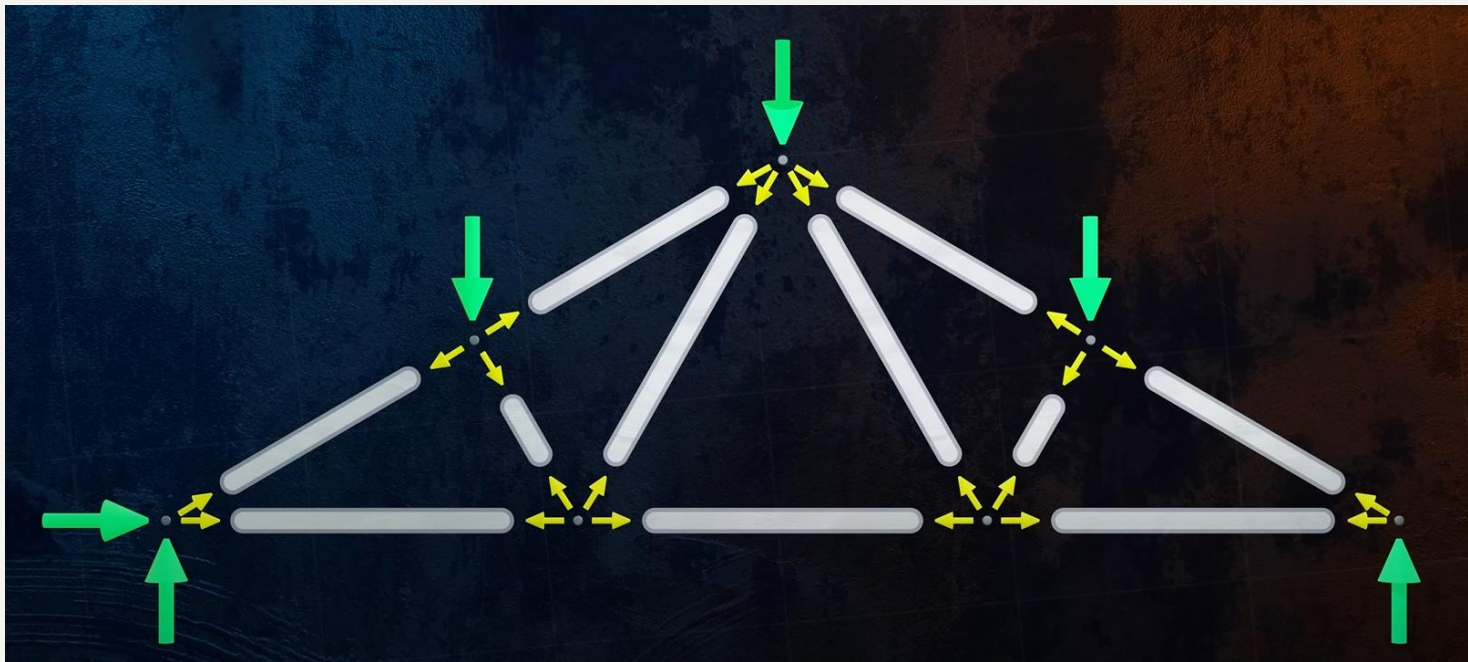
$$\sum F_{\uparrow} = 0$$

$$\sum F_{\leftarrow} = 0$$

$$\sum M = 0$$

# OSSATURES EN ACIER (CALCUL DES TREILLES)

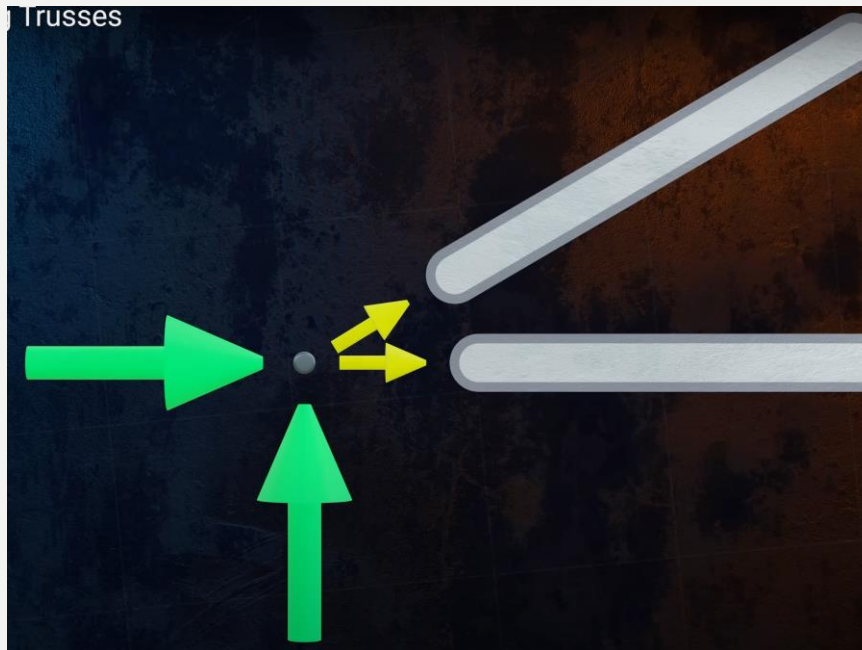
- Calcul des efforts sur les barres



La méthode des nœuds

# OSSATURES EN ACIER (CALCUL DES TREILLES)

- Calcul des efforts sur les barres



$$\sum F_{\leftrightarrow} = 0$$
$$\sum F_{\updownarrow} = 0$$

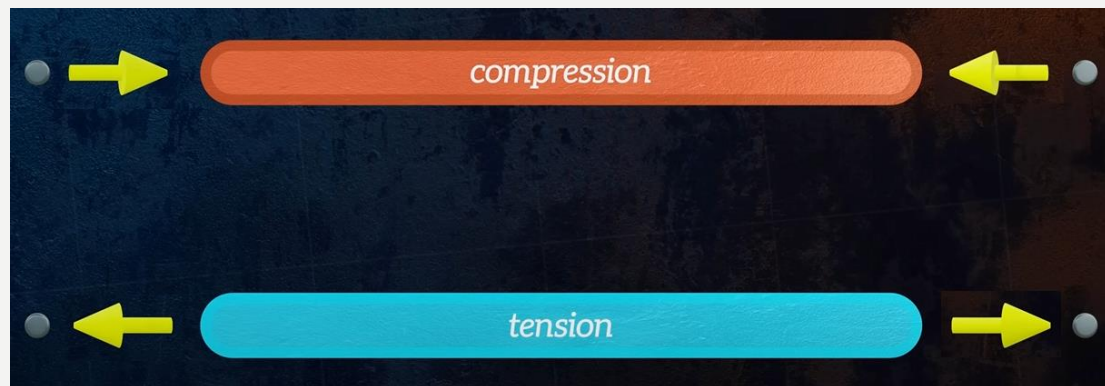
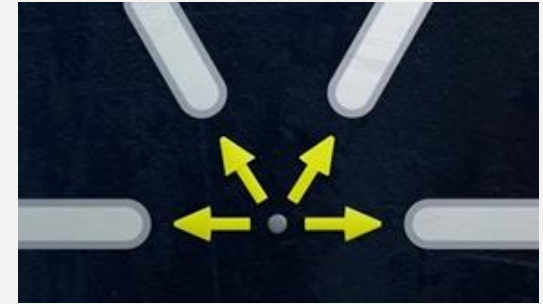
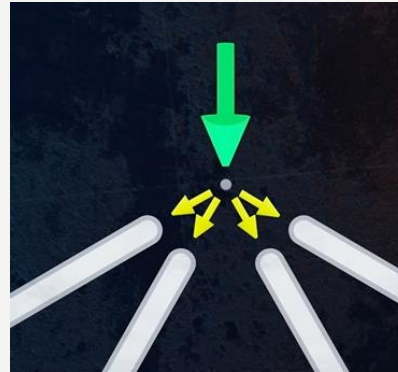
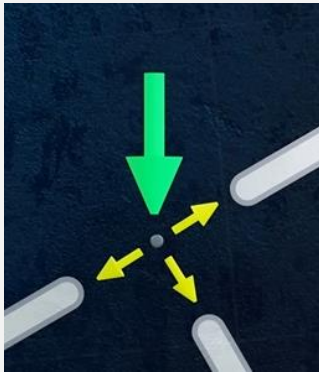
La méthode des nœuds

**Vidéo :**

[https://www.youtube.com/watch?v=Hn\\_iozUo9m4&t=531s](https://www.youtube.com/watch?v=Hn_iozUo9m4&t=531s)

# OSSATURES EN ACIER (CALCUL DES TREILLES)

- On utilise généralement les appuis simples et doubles.



La traction est la compression selon le sens des efforts

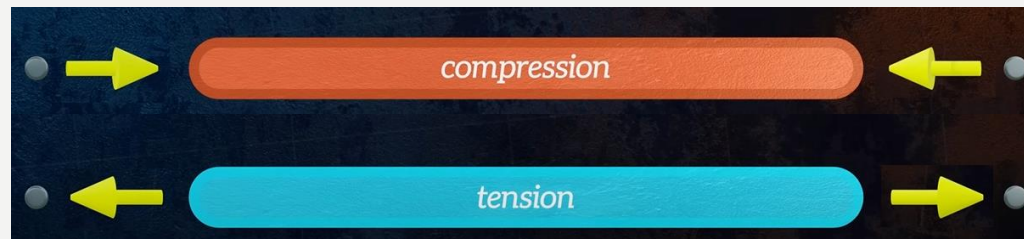
# OSSATURES EN ACIER (CALCUL DES TREILLES)

- La vérification de la résistance des barres en traction ou en compression s'effectue par la relation suivante :

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Avec :

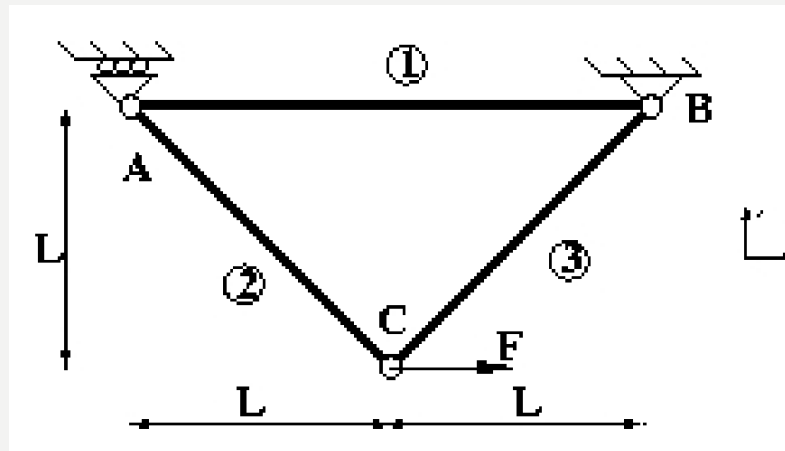
- $A$  : Aire de la section brute,
- $f_y$  : Limite élastique du matériau,
- $\gamma_{M0} = 1.1$  : Coefficient partiel de sécurité du matériau.



# OSSATURES EN ACIER

## (EXERCICE SUR LE TREILLIS)

On considère un treillis constitué de trois barres identiques, de module  $E$  et de section  $S$  identique. Les longueurs sont données sur la figure. Le nœud  $A$  est sur appui mobile, le nœud  $B$  sur appui fixe, et le nœud  $C$  soumis à un effort  $F$ . Déterminer les efforts de traction et de compression sur les barres.



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Les poteaux (columns) supportent la toiture (Traverse + pannes + couverture) sont généralement de profilé en H et rarement en treillis



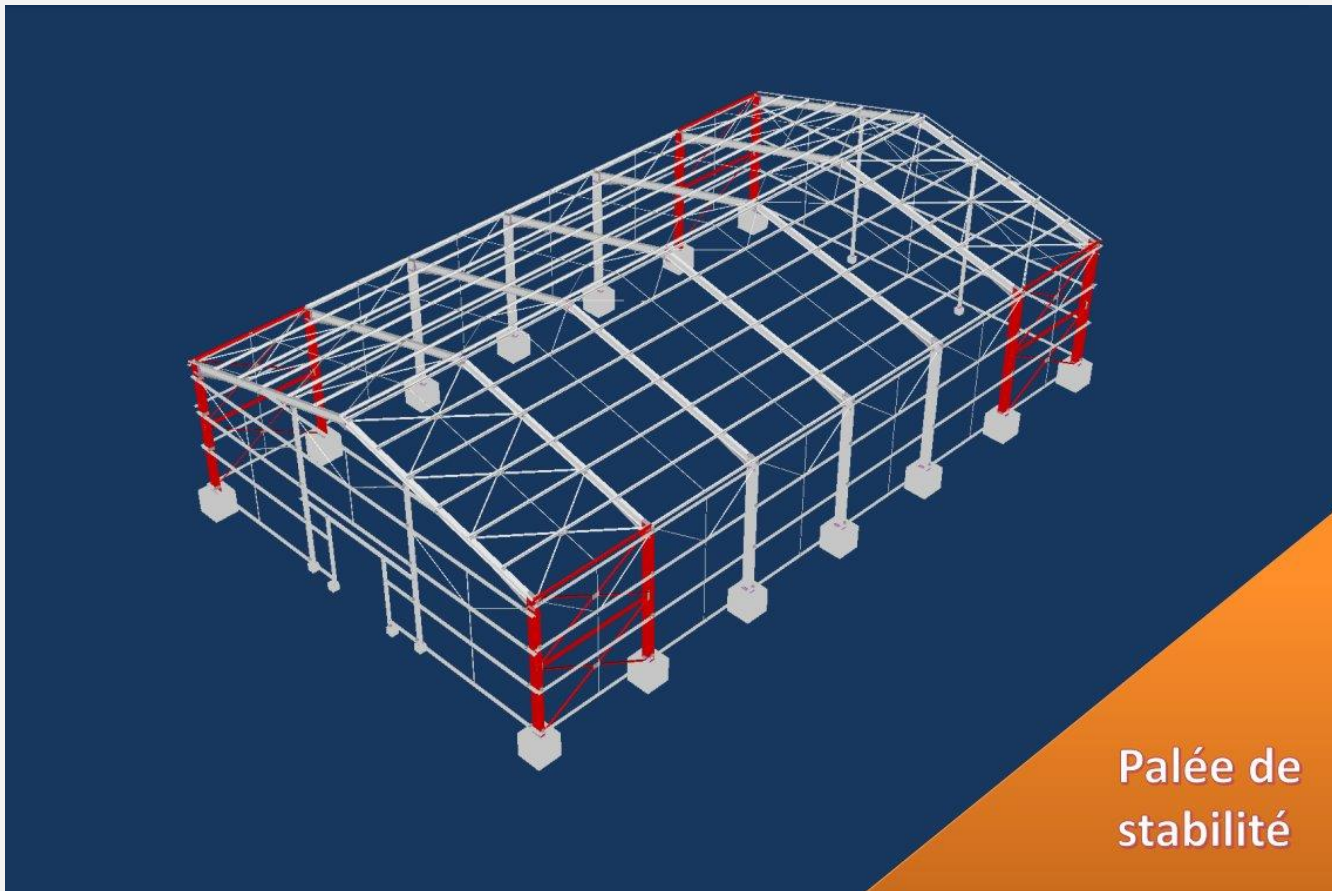
Poteau en **H**



Poteau en treillis

# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

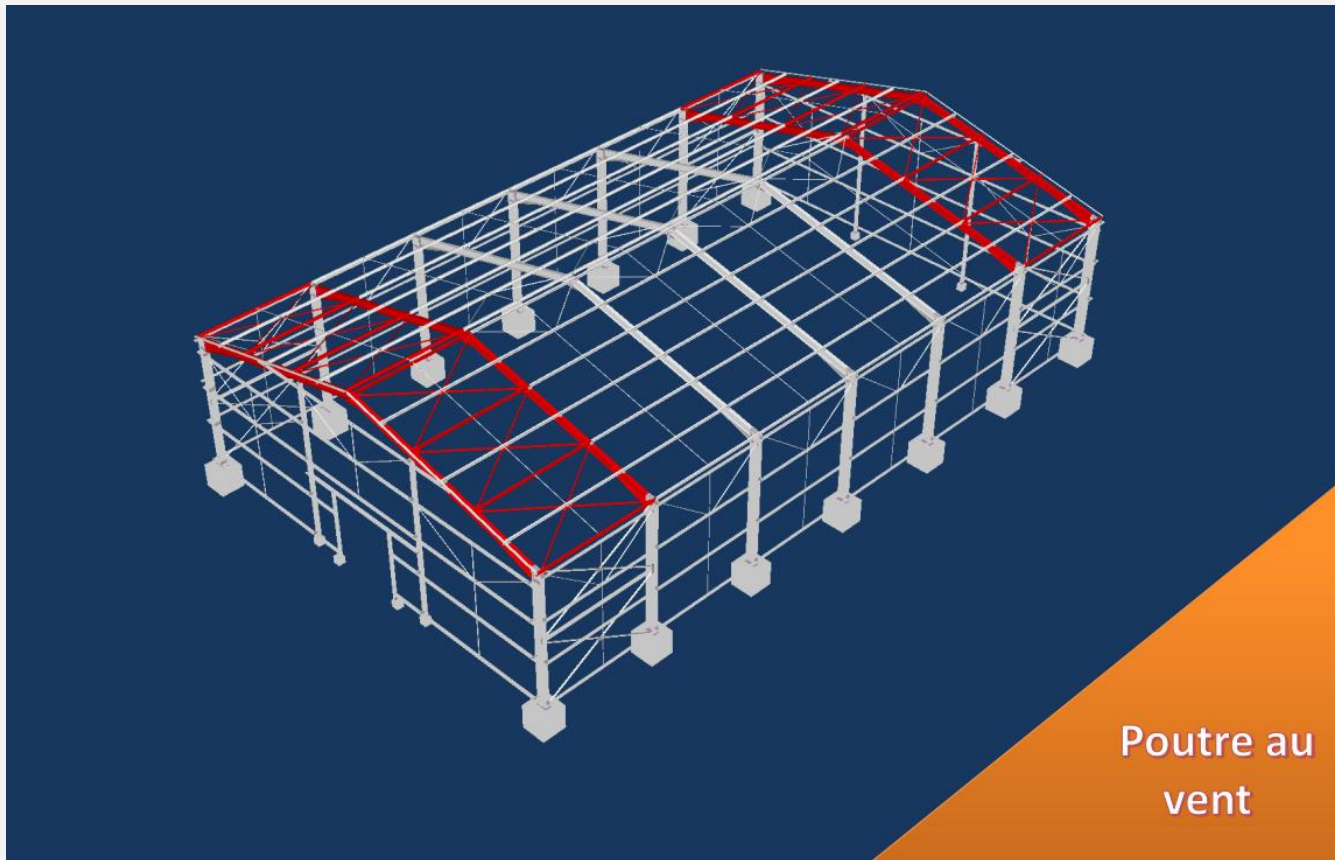
Terminologie des éléments d'un hall métallique



Palée de  
stabilité

# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Terminologie des éléments d'un hall métallique



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Contreventement (bracings) vertical et horizontal

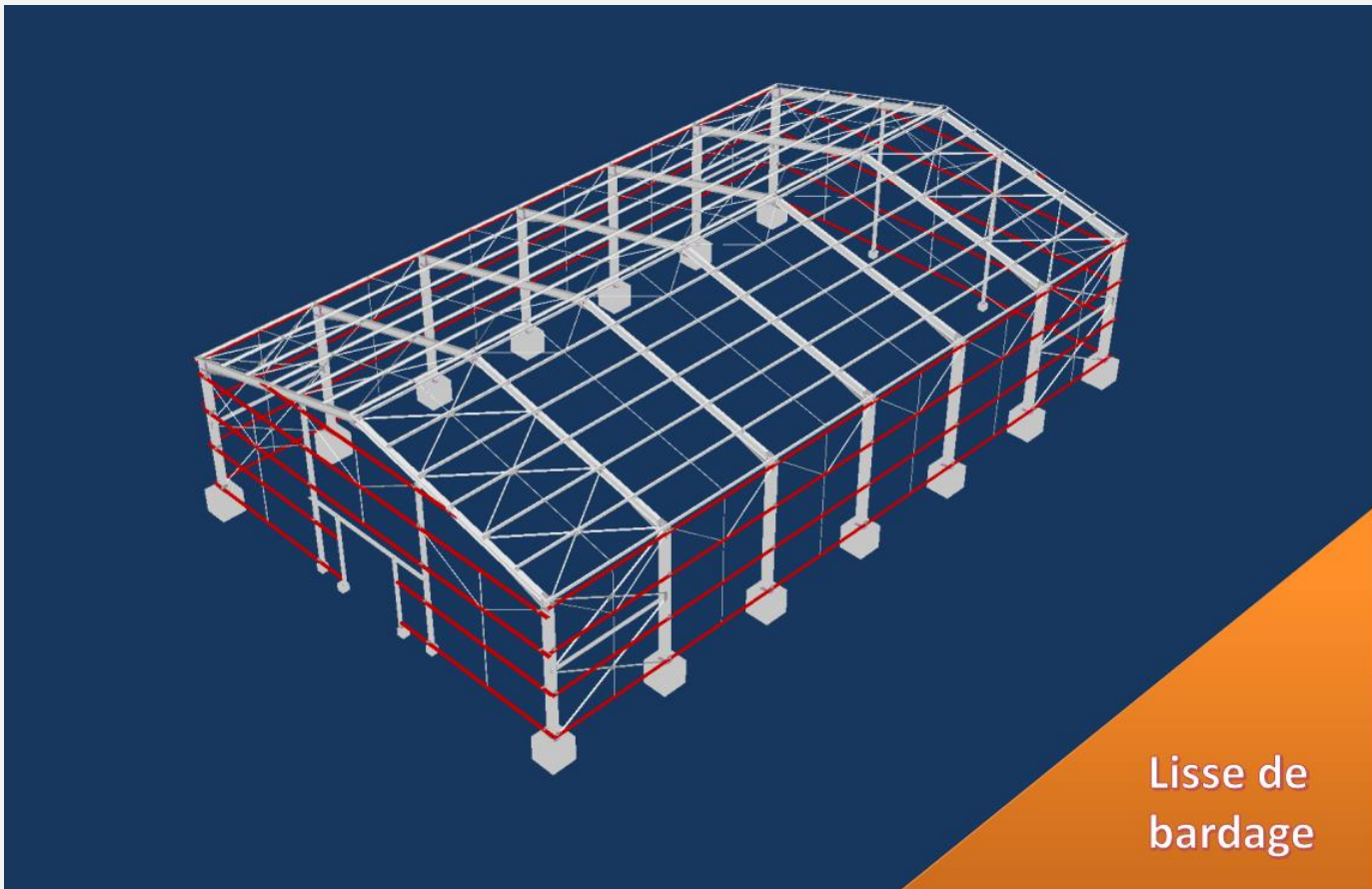


### Vidéo :

[https://www.youtube.com/watch?v=9L\\_jYCpKtUE](https://www.youtube.com/watch?v=9L_jYCpKtUE)

# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Terminologie des éléments d'un hall métallique



# OSSATURE EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

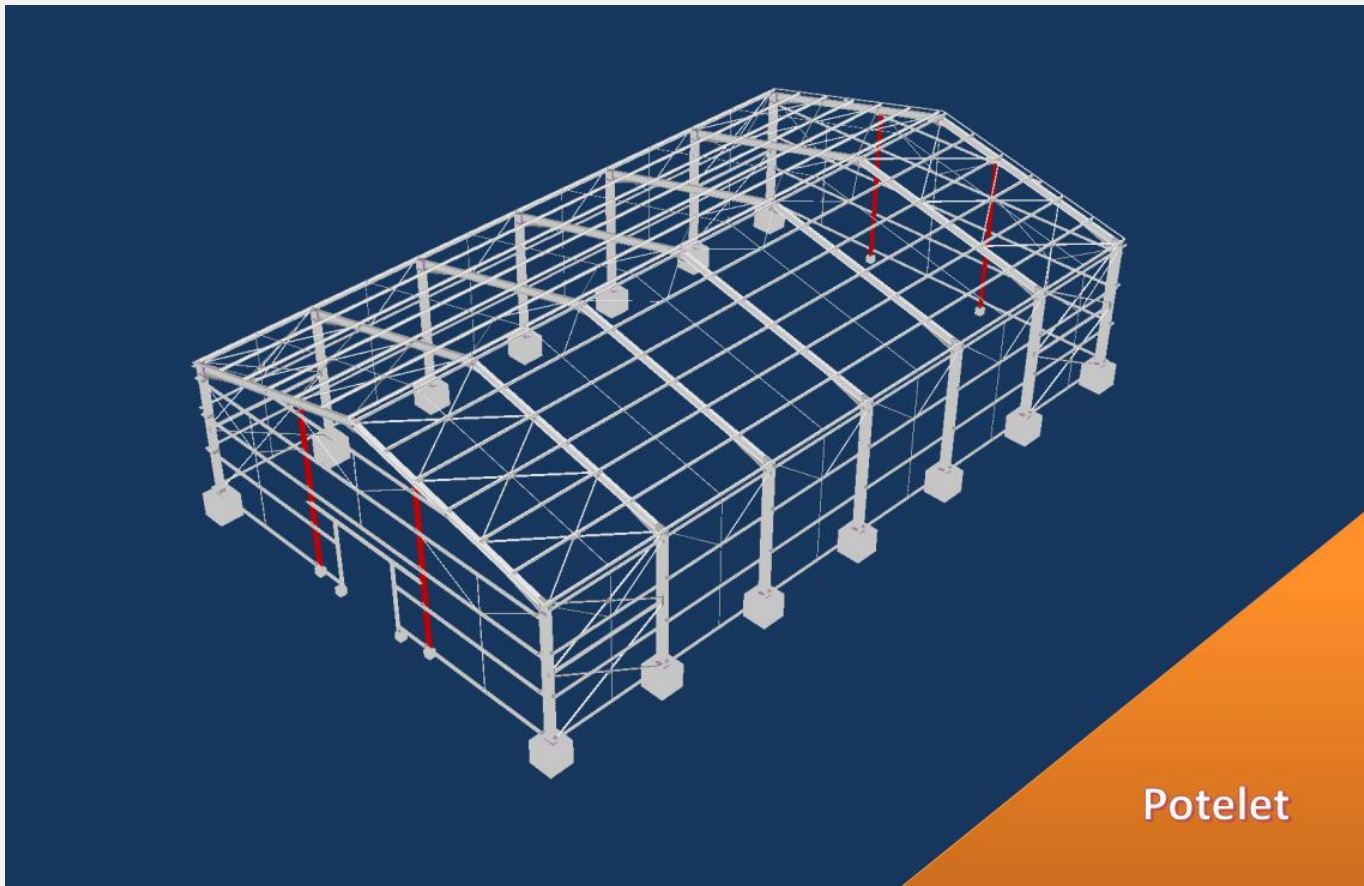
## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Les lisses de bardage (Cladding rails) servent à fixer le bardage vertical entre les poteaux



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Terminologie des éléments d'un hall métallique



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

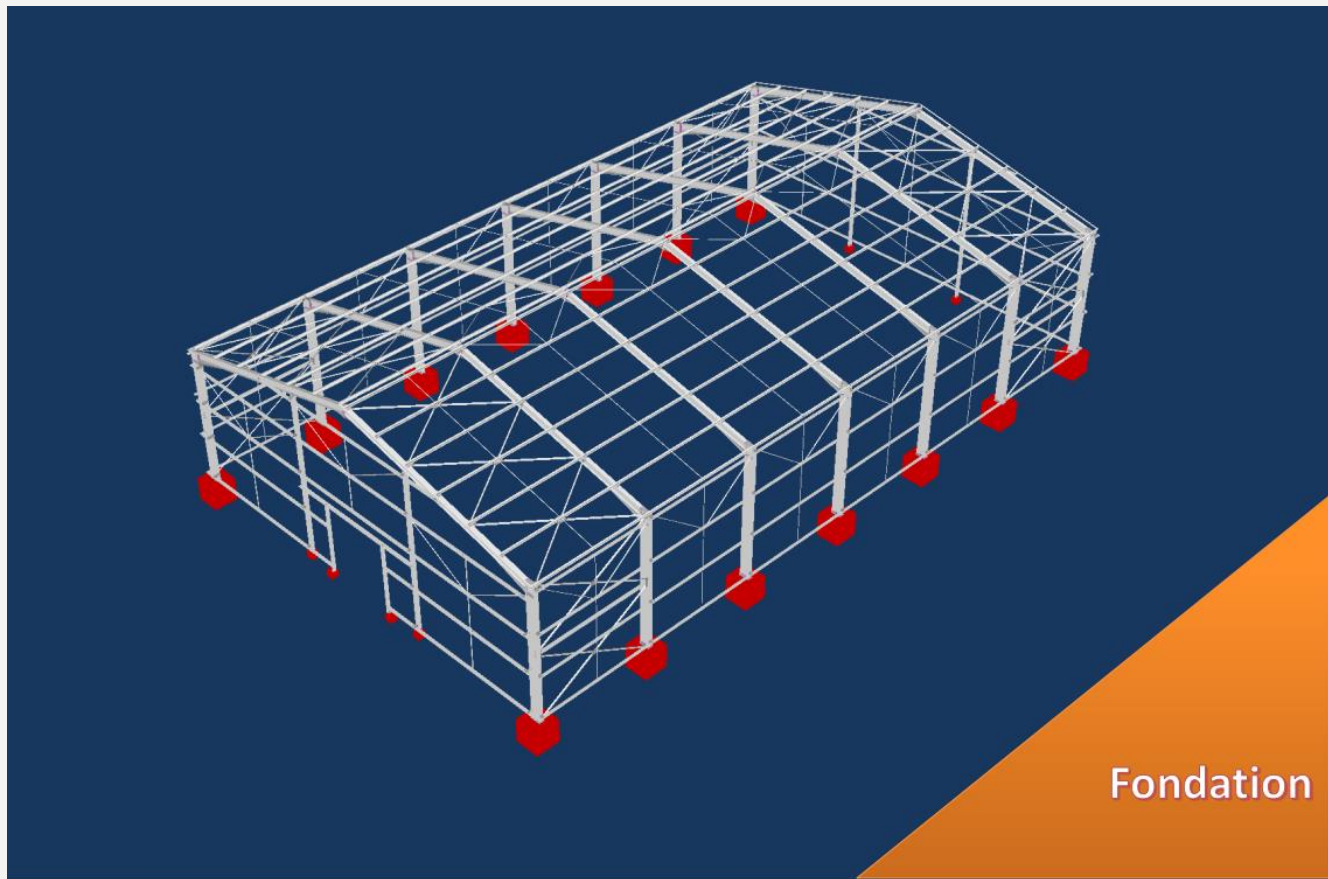
## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Les potelets (Stub columns) supportent les lisses de bardage pour fixer le bardage vertical entre les poteaux



# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Terminologie des éléments d'un hall métallique

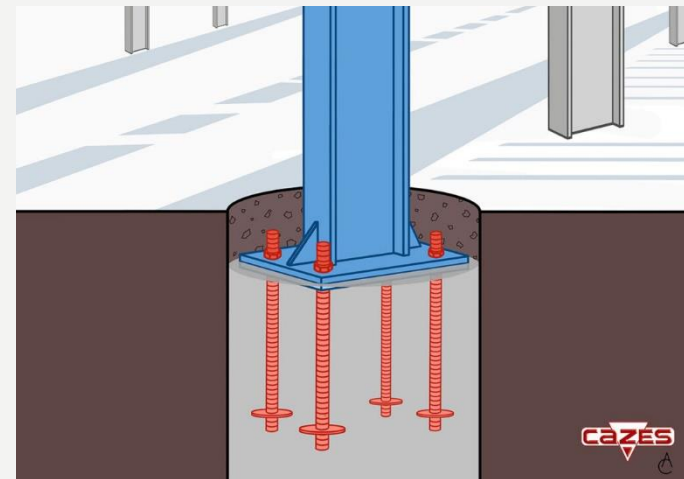


Fondation

# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

## Terminologie des éléments d'un hall métallique

- Les pieds de poteau (Column bases) relient la superstructure avec l'infrastructure



### Video :

<https://www.youtube.com/watch?v=vnccPat-3b4>

<https://www.youtube.com/watch?v=APelaRq-l4w>

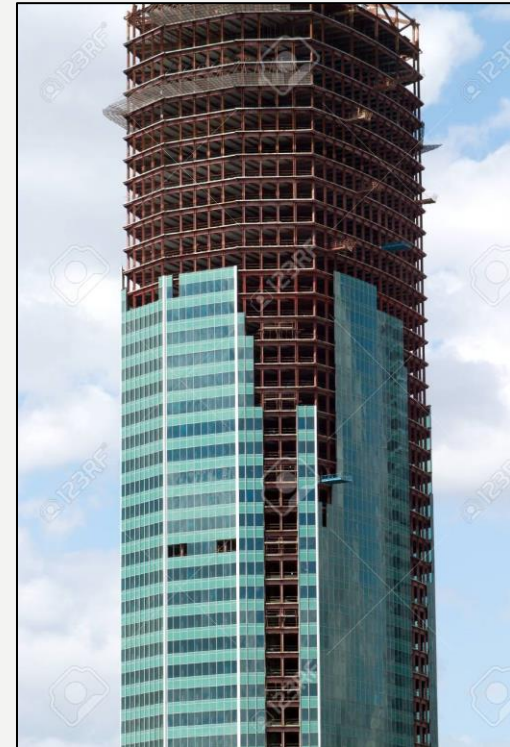
# OSSATURES EN ACIER (HANGAR INDUSTRIEL)

Résumé des éléments structuraux et leur rôle des hangars métallique

Catégorie	Élément	Rôle
Éléments principaux	Poteaux	Support vertical qui transmet les charges au sol.
	Traverses	Élément horizontal reliant la toiture aux poteaux.
	Contreventements	Élément oblique qui renforce la rigidité de la structure contre les efforts horizontaux (vent, séisme).
Éléments secondaires	Pannes	Supports horizontaux qui portent la couverture et transmettent les charges aux traverses.
	Lisses de bardage	Supports horizontaux fixés aux poteaux pour poser le bardage (revêtement extérieur).
	Potelets	Petits poteaux intermédiaires qui supportent les lisses de bardage dans le pignon.

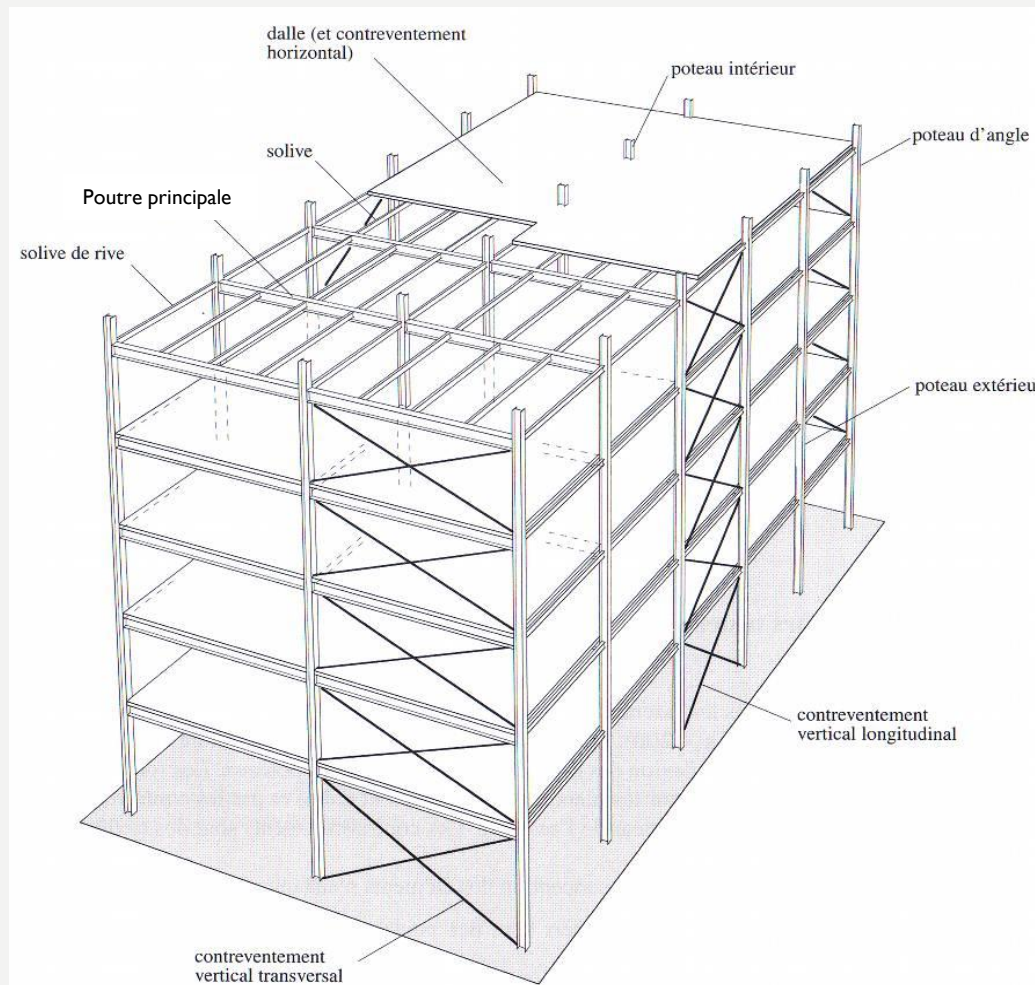
# OSSATURES EN ACIER (BÂTIMENT MÉTALLIQUE À ÉTAGES)

Le bâtiment métallique à étage est couramment utilisé dans la construction commerciale et industrielle, tels que des bureaux, des entrepôts et des usines. La construction métallique offre une grande résistance et flexibilité dans la conception des espaces.



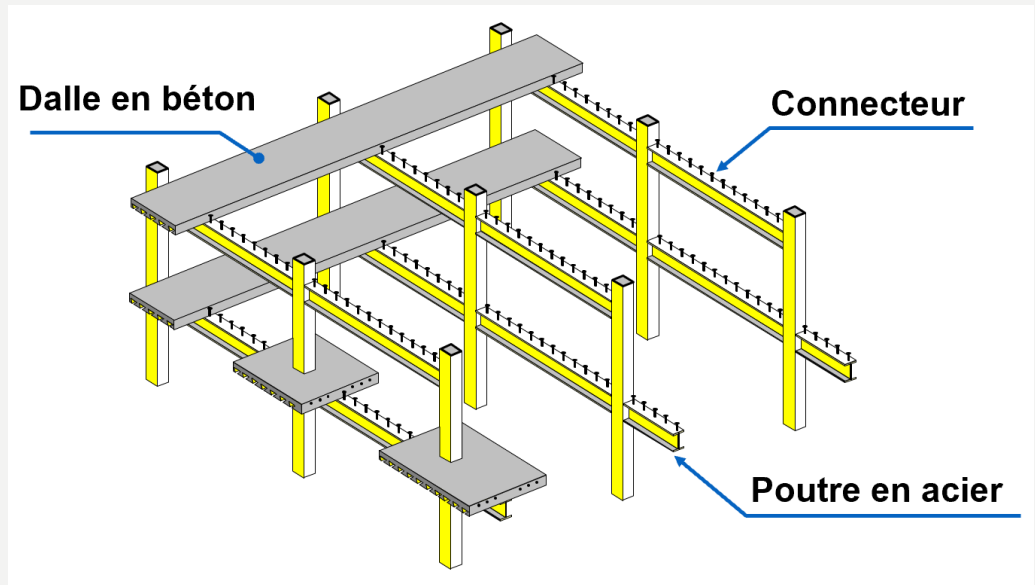
# OSSATURES EN ACIER (BÂTIMENT MÉTALLIQUE À ÉTAGES)

Terminologie des éléments d'un bâtiment métallique à étages



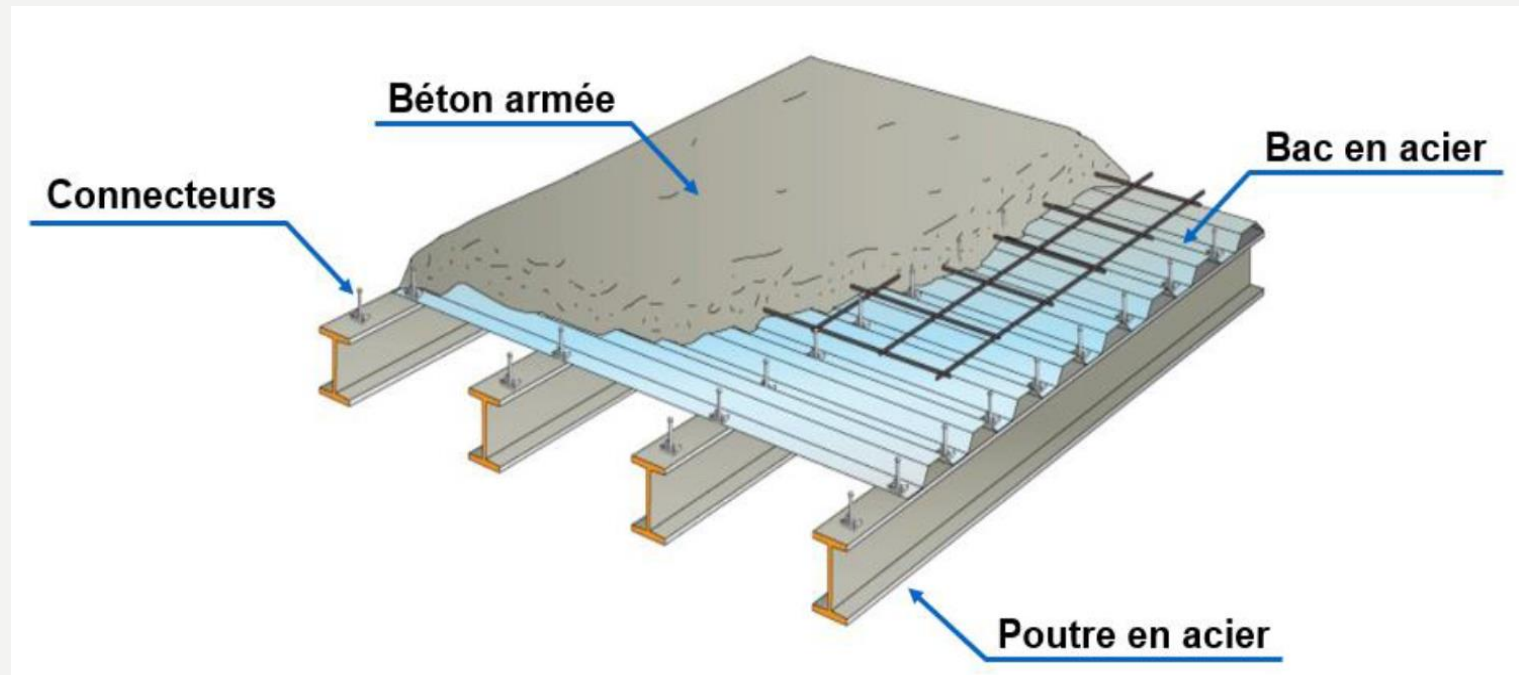
# OSSATURES EN ACIER (BÂTIMENT MÉTALLIQUE À ÉTAGES)

Un bâtiment à étages métallique est de systèmes poteaux-poutres (portiques) avec des dalles mixtes acier-béton



# OSSATURES EN ACIER (BÂTIMENT MÉTALLIQUE À ÉTAGES)

Composition du plancher mixte acier-béton



**Vidéo :**

<https://www.youtube.com/watch?v=EzElptMd2ro>

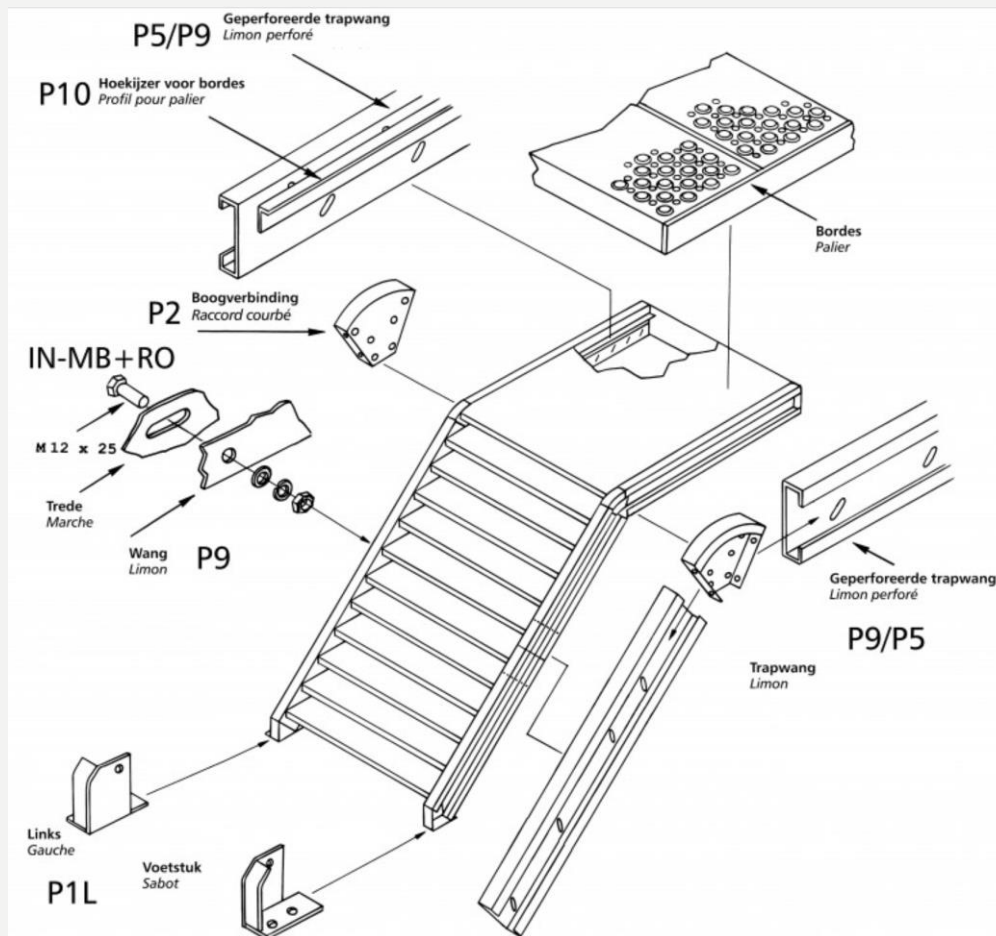
# OSSATURES EN ACIER (BÂTIMENT MÉTALLIQUE À ÉTAGES)

Les escaliers métalliques sont utilisés pour franchir les étages verticalement dans les bâtiments métalliques



# OSSATURE EN ACIER (BÂTIMENT MÉTALLIQUE À ÉTAGES)

## Composition des escaliers métalliques



# OSSATURES EN ACIER (BÂTIMENT MÉTALLIQUE À ÉTAGES)

Résumé des éléments structuraux et leur rôle des bâtiments  
métallique à étages

Catégorie	Élément	Rôle
Éléments principaux	Poteaux	Support vertical qui transmet les charges au sol.
	Poutres principales	Élément horizontal reliant la toiture aux poteaux.
	Contreventements	Élément oblique qui renforce la rigidité de la structure contre les efforts horizontaux (vent, séisme).
	Plancher mixte acier-béton	Composé de solive et de dalle de béton, utilisé pour supporter les charges sur les dalles.
Éléments secondaires	Escalier métallique	Utilisé pour les circulations verticales dans les bâtiments.
	Lisses de bardage	Supports horizontaux fixés aux poteaux pour poser le bardage (revêtement extérieur).

# ASSEMBLAGES (DÉFINITION)

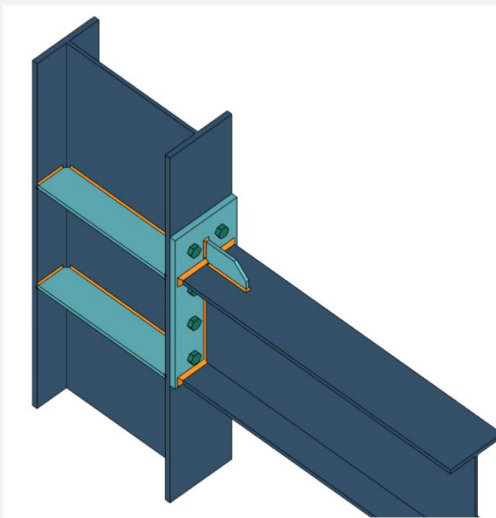
L'assemblage dans la construction métallique est une étape cruciale qui garantit la transmission des efforts entre les éléments structurels (poteaux, poutres, solives, etc.).



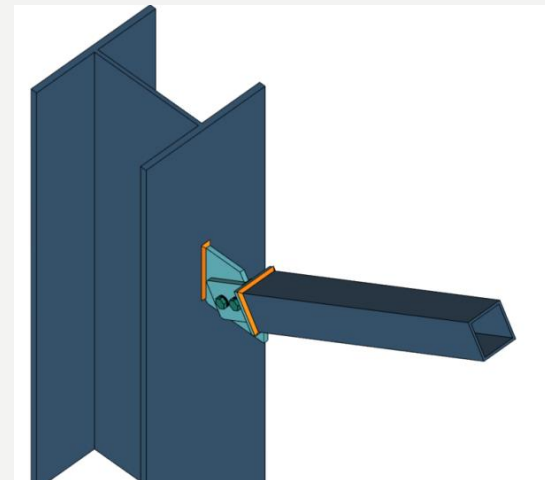
# ASSEMBLAGES (DÉFINITION)

Il existe principalement deux types d'assemblages : **rigides** et **articulés** :

- Un assemblage articulé permet une certaine liberté de mouvement, notamment sous l'effet des charges, ce qui peut entraîner des déplacements angulaires au niveau des connexions.
- En revanche, un assemblage rigide limite ces déformations en maintenant une liaison fixe entre les éléments.



Assemblages **rigides**

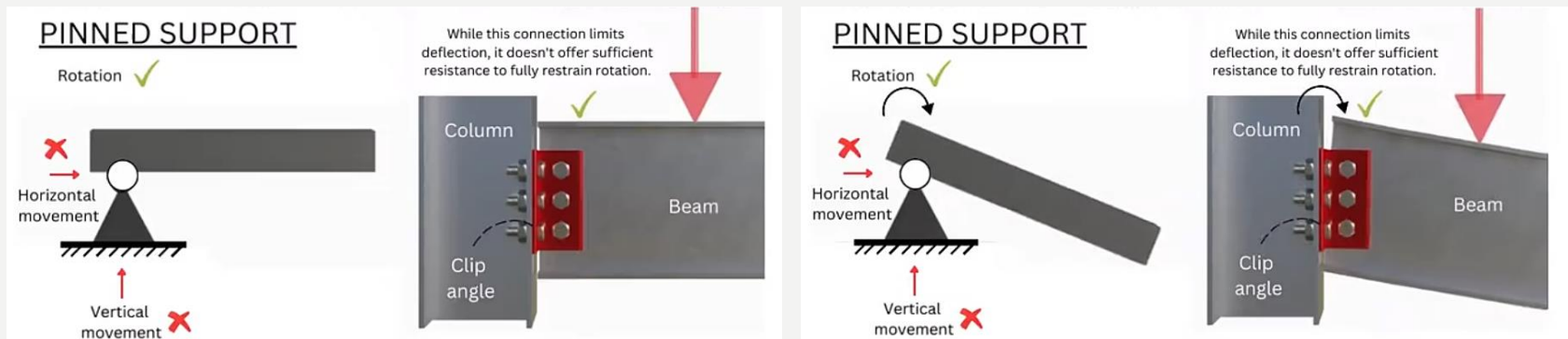


Assemblages **articulés**

# ASSEMBLAGES (ASSEMBLAGE ARTICULÉ)

Un assemblage est dit articulé lorsqu'il permet une rotation relative entre les éléments assemblés. Il transmet principalement les efforts tranchants et les efforts normaux, mais pas les moments de flexion.

- Permet une certaine flexibilité et déformabilité de la structure sous charge.
- Facilite le montage et réduit les coûts de fabrication.
- Peut entraîner des déplacements angulaires au niveau des assemblages sous l'effet des charges appliquées.



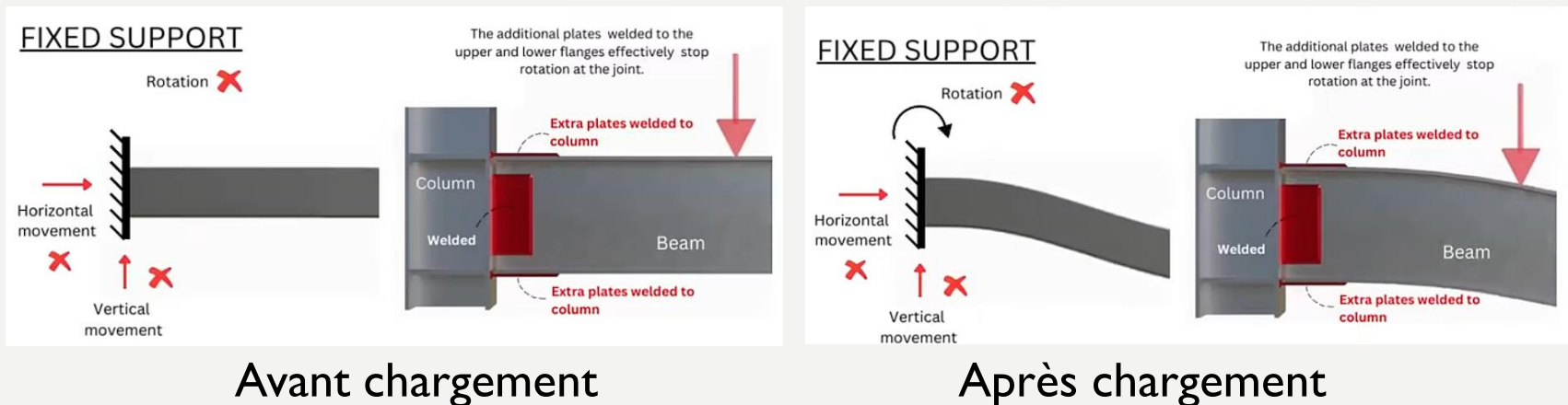
Avant chargement

Après chargement

# ASSEMBLAGES (ASSEMBLAGE RIGIDE)

Un assemblage est dit rigide lorsqu'il assure la transmission des moments de flexion entre les éléments assemblés.

- Il transfère les efforts normaux, les efforts tranchants et les moments de flexion.
- Nécessite des soudures continues ou des boulons de haute résistance (précontraints) avec des platines épaisses.
- Il empêche la rotation relative et offre une continuité structurelle.



# ASSEMBLAGES (ASSEMBLAGE RIGIDE OU ARTICULÉ)

Comparaison entre assemblage rigide et articulé

Critère	Assemblage Rigide	Assemblage Articulé
Transmission des efforts	Efforts tranchants, normaux et moments	Efforts tranchants et normaux uniquement
Stabilité	Assurée par l'assemblage lui-même	Peut générer des déplacements
Montage	Plus complexe et coûteux	Plus rapide et économique
Déformation	Très faible	Permet des rotations et une certaine flexibilité
Exemples d'usage	Assemblage <b>poteau-poutre</b> ou <b>poutre-poutre</b>	Assemblage <b>panne-traverse</b> ou utilisé dans les <b>contreventements</b>

# ASSEMBLAGES (MÉTHODES D'ASSEMBLAGE)

Ces assemblages peuvent être réalisés en fonction des contraintes mécaniques et des conditions de montage. On dénombre principalement trois méthodes :

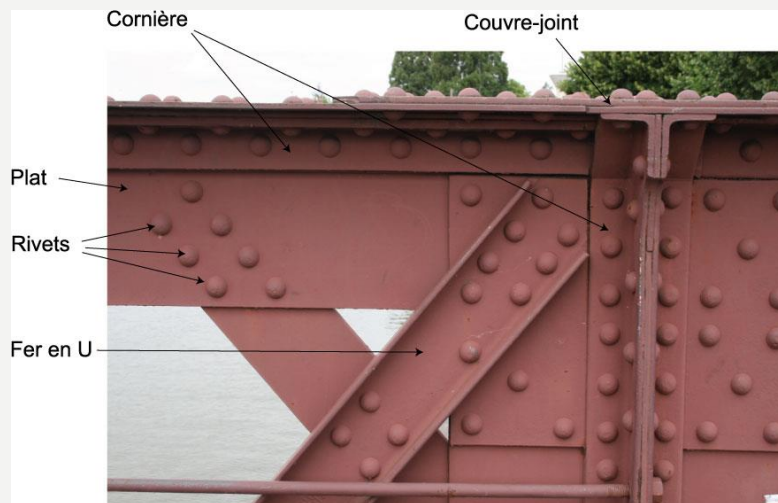


# ASSEMBLAGES (RIVETAGE)

Le rivetage est un procédé d'assemblage mécanique qui utilise des rivets pour fixer des éléments entre eux. Ce système, anciennement très utilisé, est aujourd'hui rare en construction métallique moderne.

## Caractéristiques :

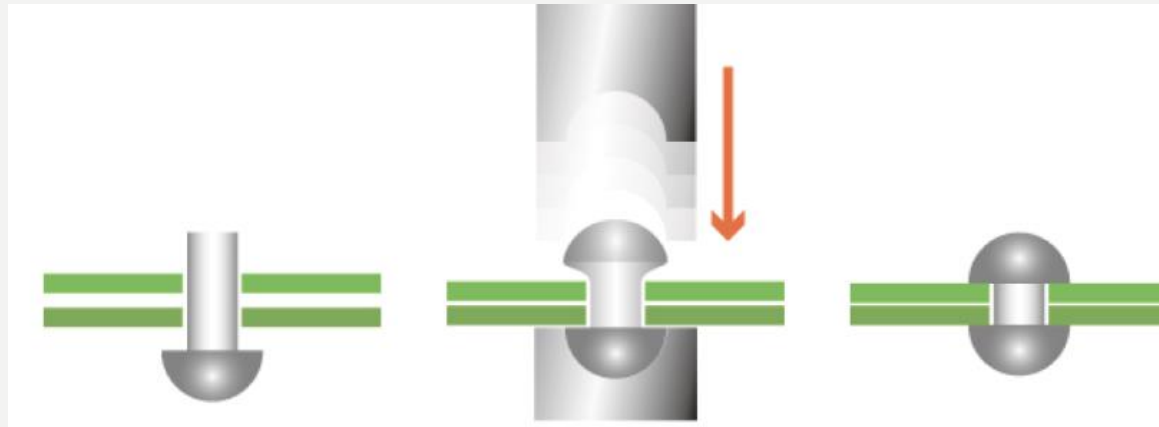
- Assemblage permanent et résistant aux vibrations.
- Plus long et plus complexe à mettre en œuvre que le boulonnage.
- Majoritairement remplacé par le boulonnage haute résistance.



# ASSEMBLAGES (RIVETAGE)

## Le principe de rivetage consiste à :

- Introduire le rivet dans les trous en alésage commun aux pièces à assembler.
- Le rivet est maintenu par une contre-bouterolle au niveau de sa tête
- Ce rivet est ensuite déformé plastiquement à l'aide de l'action d'un outil spécifique (bouterolle) sur son extrémité à déformer jusqu'à ce que l'alésage soit totalement remplie



### **Vidéo :**

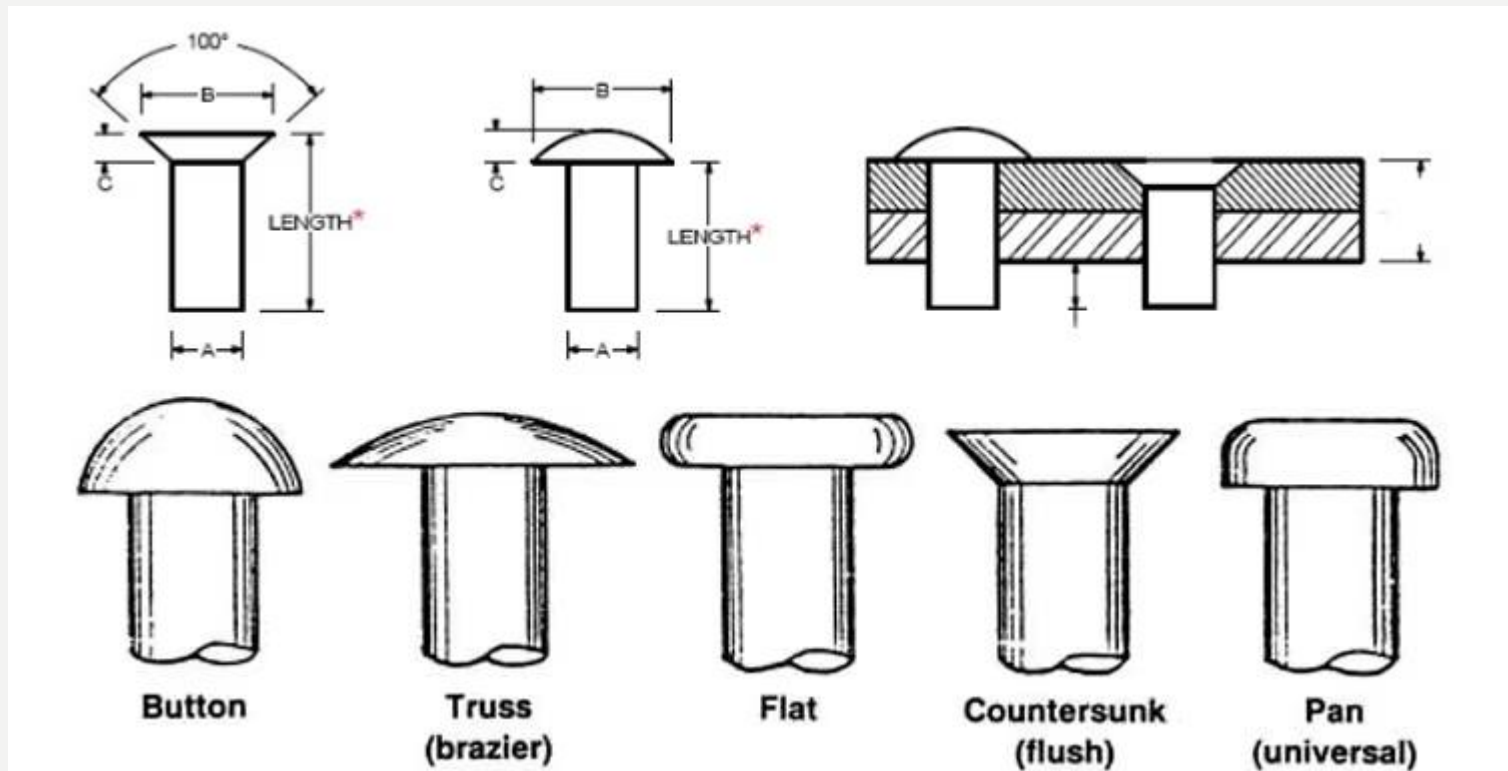
<https://www.youtube.com/watch?v=LL9plc5PpNE>

<https://www.youtube.com/watch?v=oJlM4iPYVZo>

# ASSEMBLAGES (RIVETAGE)

## Les formes de rivets :

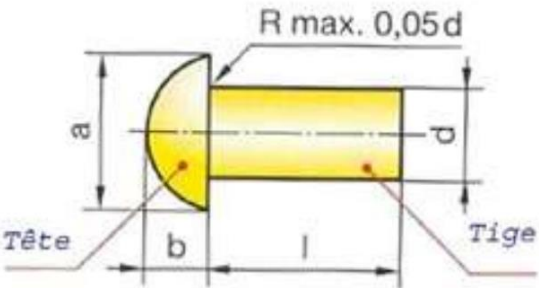
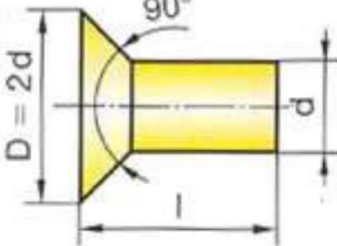
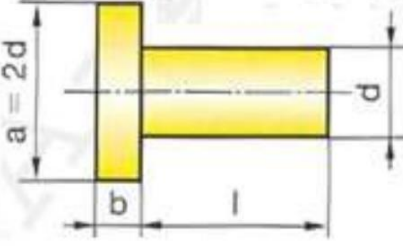
Il existe plusieurs formes de tête de rivets (encastrée ou apparente).



# ASSEMBLAGES (RIVETAGE)

## Les formes de rivets :

La norme française NF E 27-153 donne des indications sur les dimensions des rivets selon leurs formes.

<p><b>Rivets à tête ronde</b> Symbole : R                      NF E 27-153</p> 	<table border="1"> <tr> <td>d</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td></tr> <tr> <td>a</td><td>3,5</td><td>5,5</td><td>7</td><td>9</td><td>11</td><td>14</td><td>17</td><td>21</td><td>24</td><td>28</td></tr> <tr> <td>b</td><td>1,5</td><td>2,5</td><td>3</td><td>4</td><td>4,5</td><td>5,5</td><td>7</td><td>8</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr> <td>c</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>28</td><td>30</td><td>34</td></tr> <tr> <td colspan="11"><b>Longueur de la tige "l"</b></td></tr> <tr> <td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>20</td><td>25</td></tr> <tr> <td>30</td><td>32</td><td>35</td><td>38</td><td>40</td><td>45</td><td>50</td><td>55</td><td>60</td><td>65</td><td>70</td></tr> <tr> <td>75</td><td>80</td><td>85</td><td>90</td><td>100</td><td>110</td><td>120</td><td>130</td><td>140</td><td>-</td><td>-</td></tr> </table>	d	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	a	3,5	5,5	7	9	11	14	17	21	24	28	b	1,5	2,5	3	4	4,5	5,5	7	8	10	11	c	-	-	-	-	-	-	-	28	30	34	<b>Longueur de la tige "l"</b>											3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	25	30	32	35	38	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	110	120	130	140	-	-
d	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16																																																																															
a	3,5	5,5	7	9	11	14	17	21	24	28																																																																															
b	1,5	2,5	3	4	4,5	5,5	7	8	10	11																																																																															
c	-	-	-	-	-	-	-	28	30	34																																																																															
<b>Longueur de la tige "l"</b>																																																																																									
3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	25																																																																															
30	32	35	38	40	45	50	55	60	65	70																																																																															
75	80	85	90	100	110	120	130	140	-	-																																																																															
<p><b>Rivets à tête fraisée</b> Symbole : F/90 NF E 27-154</p> 	<p><b>Rivets à tête cylindrique plate</b> Symbole : C NF E 27-151</p> 																																																																																								

# ASSEMBLAGES (RIVETAGE)

## Les dimensions du rivet :

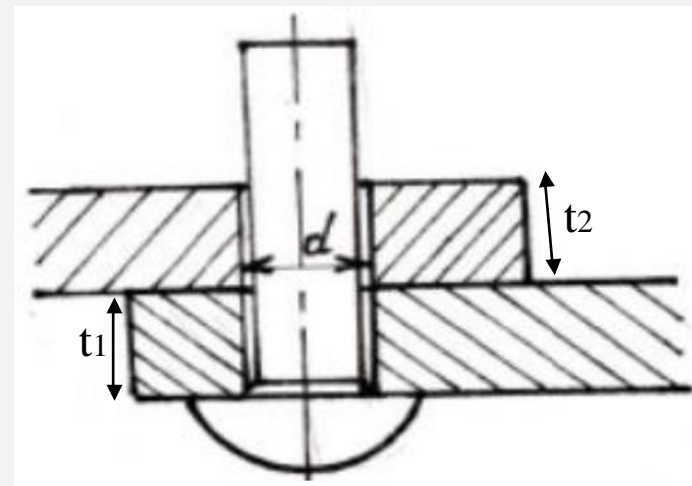
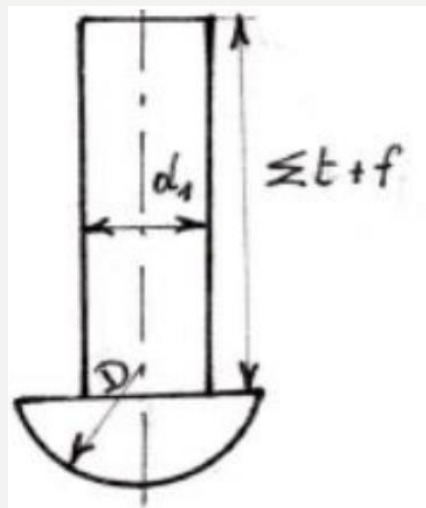
La tige du rivet doit avoir une longueur suffisante pour pouvoir former la deuxième tête. Pour cela la longueur de la tige se calcul comme suite :

$$l = \sum t + f$$

Avec

$$f = (1,5 \text{ à } 1,7)d$$

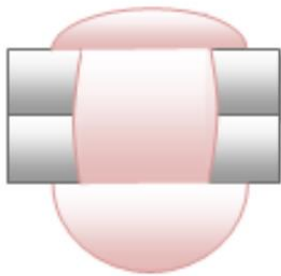
**d** est le diamètre du trou des pièces et est supérieur au diamètre de la tige du rivet **d<sub>1</sub>**



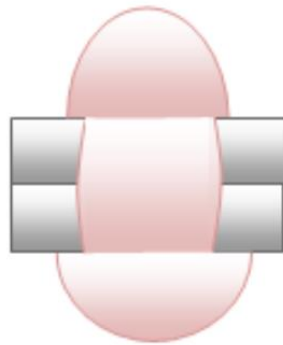
# ASSEMBLAGES (RIVETAGE)

## Les risques d'une mauvaise mise en œuvre du rivet :

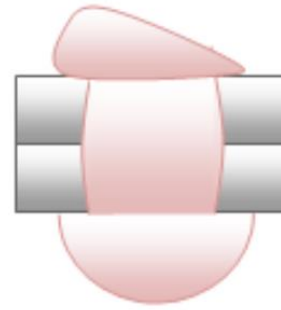
Un mauvais dimensionnement de la tige du rivet ou une mauvaise manipulation du rivetage peut entraîner des malformations et ainsi les deux pièces ne seront pas assemblées correctement.



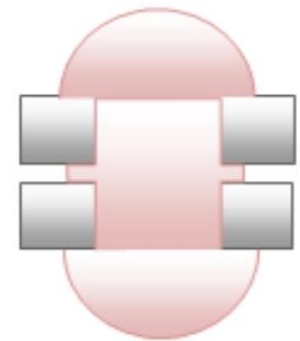
Rivet choisi trop court



Rivet choisi trop long



"Casquette" due à l'inclinaison de l'outil



Manque de maintien des pièces

# ASSEMBLAGES (RIVETAGE)

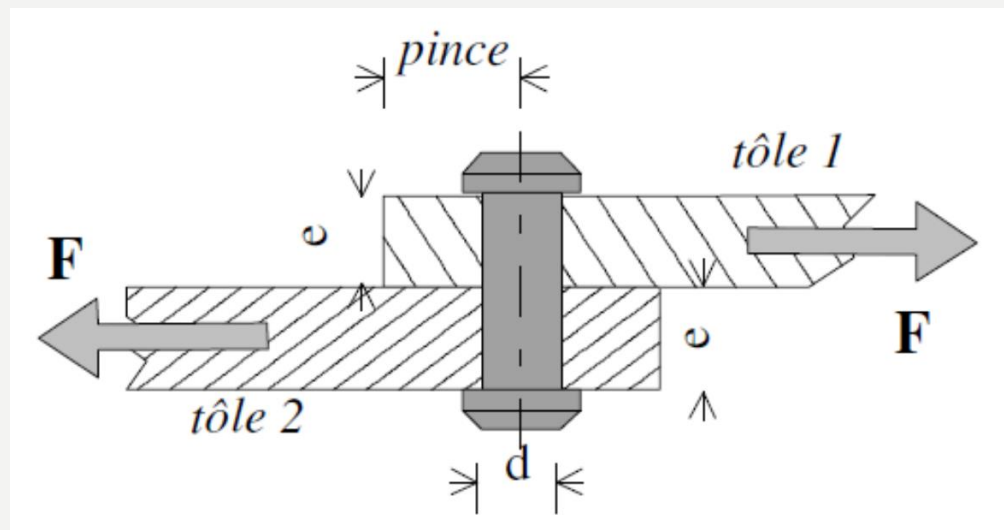
## Résistance du rivet :

Le rivet est principalement sollicité en **cisaillement** de ce fait il doit avoir une résistance suffisante pour assurer la stabilité de l'assemblage.

$$\tau = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} < R_{rg \text{ rivet}} \quad \text{Soit} \quad \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} < 0.6R_r$$

$R_r$ : résistance à la rupture à la traction du rivet

$R_{rg \text{ rivet}}$  : résistance à la rupture au cisaillement du rivet

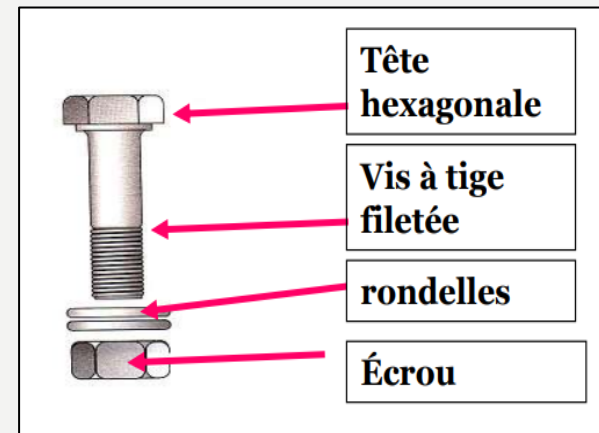


# ASSEMBLAGES (BOULONNAGE)

Le boulonnage est l'un des systèmes d'assemblage les plus courants en charpente métallique. Il consiste à fixer les éléments à l'aide de boulons.

## Caractéristiques :

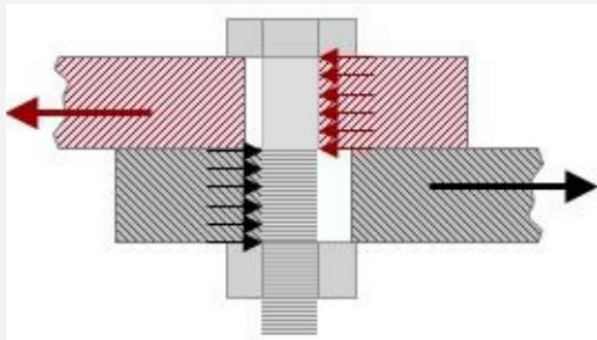
- Montage rapide et réversible.
- Possibilité de démontage et de remplacement des pièces.
- Nécessite une grande précision dans le perçage des éléments.



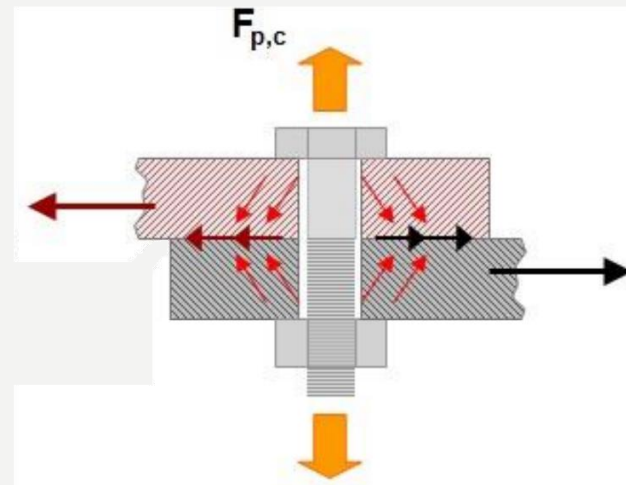
# ASSEMBLAGES (BOULONNAGE)

Il existe deux types de boulons sont couramment utilisés :

- Les **boulons ordinaires** qui permette le glissement entre les pièces assemblées. Ils sont utilisés pour les assemblages simples soumis à des efforts faibles à modérés
- Les **boulons HR (Précontraints)** qui empêche le glissement entre les pièces assemblées. Ils sont utilisés pour les assemblages nécessitant une forte résistance au glissement et à la fatigue.



Boulon Ordinaire

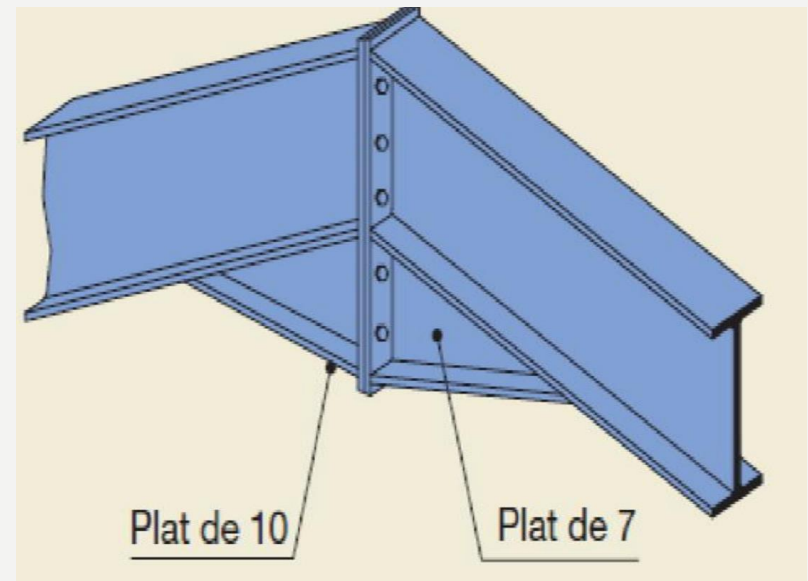
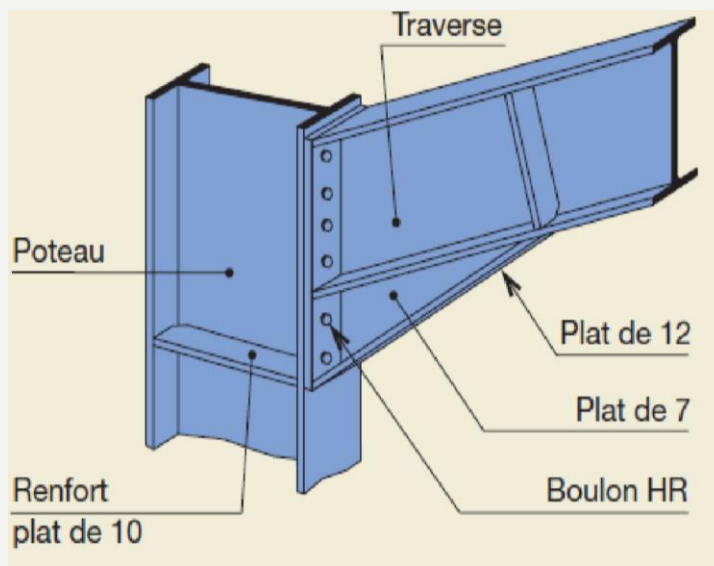


Boulon Précontraint

# ASSEMBLAGES

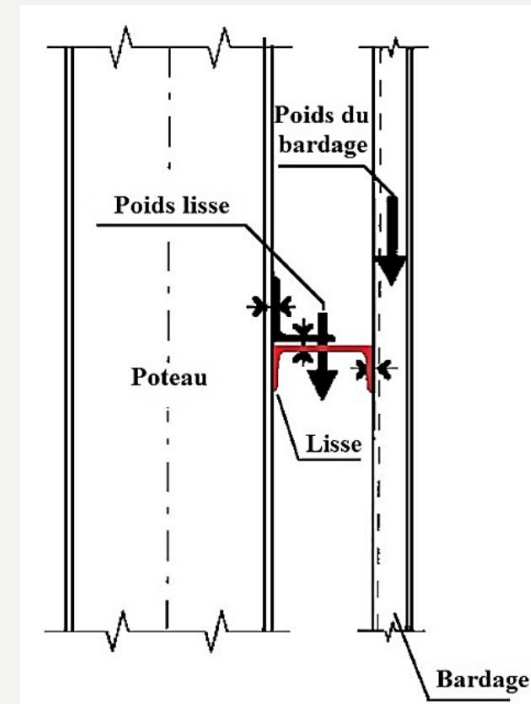
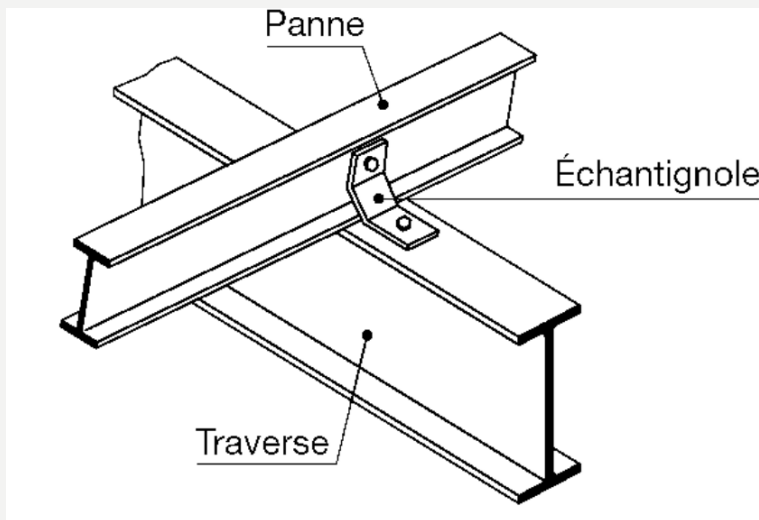
## (EXEMPLES D'ASSEMBLAGES)

Pour le cas des assemblage Poteau-Traverse et Traverse-Traverse on utilise des boulons précontraints HR pour permettre la rigidité, et de la soudure pour les jarrets et goussets.



# ASSEMBLAGES (EXEMPLES D'ASSEMBLAGES)

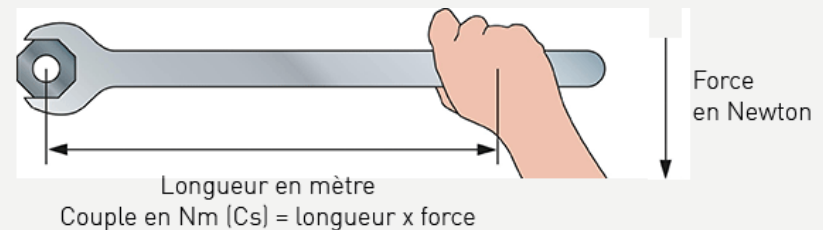
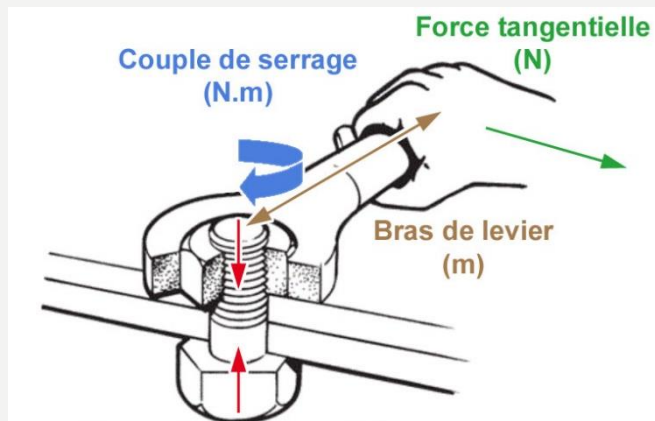
Pour le cas des assemblage Panne-Traverse et Lisse-Poteau on utilise des boulons ordinaires pour permettre la flexibilité.



# ASSEMBLAGES (PROCÉDURE DE BOULONNAGE)

L'assemblage en charpente métallique suit une procédure rigoureuse pour garantir la solidité, la stabilité et la durabilité de la structure.

- Mise en place des boulons dans les trous pré-perçés. Un serrage provisoire pour ajuster l'alignement final.
- Serrage définitif selon le couple de serrage recommandé :
  - ❑ Boulonnage ordinaire : serrage manuel ou clé dynamométrique.
  - ❑ Boulonnage HR précontraint : application d'une précontrainte par clé dynamométrique ou hydraulique.
- Contrôle du serrage pour éviter tout desserrage sous charge.



Clé plate

# ASSEMBLAGES (PROCÉDURE DE BOULONNAGE)

Lors du montage de structures métalliques, plusieurs types de **clés de serrage** sont utilisées pour assurer la fixation correcte des boulons et vis. On compte :

- **Clé plate** : Pour le serrage manuel des écrous et boulons ordinaires.
- **Clé dynamométrique** : Permet d'appliquer un couple de serrage précis, indispensable pour les boulons précontraints (HR).
- **Clé à chocs (pneumatique ou hydraulique)** : Pour le serrage rapide et efficace des boulons de haute résistance (HR).



Clé dynamométrique



Clé pneumatique



Clé hydraulique

**Vidéo :**

[https://www.youtube.com/shorts/HNWFT\\_luOj0](https://www.youtube.com/shorts/HNWFT_luOj0)

[https://www.youtube.com/watch?v=4Yp3vsSln\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=4Yp3vsSln_0)

<https://www.youtube.com/shorts/AkknfdZGlcM>

# ASSEMBLAGES

## (PROPRIÉTÉS GÉOMÉTRIQUES DES BOULONS)

Plusieurs caractéristiques dimensionnelles sont indispensables à la conception et la vérification des assemblages boulonnés. Pour les diamètres les plus utilisés, les caractéristiques principales sont données dans le tableau suivant :

Désignations	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d	12	14	16	18	20	22	24	27	30
d <sub>0</sub> trou normal	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A <sub>s</sub>	84,3	115	157	192	245	303	353	459	561
∅ rondelle	24	27	30	34	37	40	44	50	52
d <sub>m</sub>	19,39	22,63	25,86	29,09	32,32	36,63	38,79	44,17	49,56

d diamètre nominal du boulon (celui de la partie non fileté)

d<sub>0</sub> diamètre du trou normal

A aire de la section de la tige lisse du boulon

A<sub>s</sub> section résistante de la partie fileté

d<sub>m</sub> diamètre moyen entre le cercle circonscrit et le cercle inscrit à la tête du boulon

# ASSEMBLAGES

## (PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES BOULONS)

Les caractéristiques mécaniques de ces boulons, nécessaires aux calculs, sont la limite d'élasticité  $f_{yb}$  et la résistance à la traction  $f_{ub}$ . Sept classes de boulons peuvent être utilisées et sont présentées dans le tableau ci-dessous :

### Boulonnage précontraint (HR)

Classe de boulons	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (MPa)	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ (MPa)	400	400	500	500	600	800	1000

La méthode de calcul des propriétés mécaniques des boulons de **class X.Y** se fait comme suite :

La limite d'élasticité :  $f_{yb} = X \times Y \times 10$

La résistance à la traction :  $f_{ub} = X \times 100$

### Exemple :

Pour une classe de **boulon de 10.9** :

$$f_{yb} = 10 \times 9 \times 10 = 900 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 10 \times 100 = 1000 \text{ MPa}$$



# ASSEMBLAGES

## (CALCUL DES BOULONS ORDINAIRES)

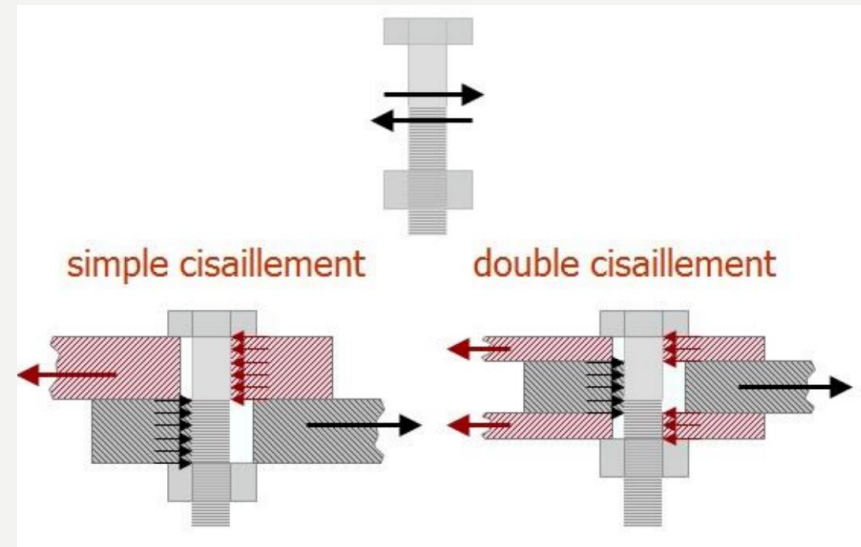
### ➤ Résistance au cisaillement :

Dans le cas des pièces assemblées par des boulons ordinaires, ces dernières sont supposées pouvoir glisser pour venir en contact avec les tiges. L'effort appliqué est perpendiculaire à l'axe des boulons qui supportent une pression latérale dans les zones de contact. Les tiges sont alors cisailées au droit des surfaces de glissement.

➤ La résistance au cisaillement par plan de cisaillement est :

$$F_v \leq F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

- $F_v$  : Effort sollicitant de cisaillement.
- $F_{v,Rd}$  : Effort résistant du boulon au cisaillement.
- $\alpha_v = 0,6$  pour les classes 4.6, 5.6 et 8.8.
- $\alpha_v = 0,5$  pour les classes 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9.
- $\gamma_{M2}$  : Coefficient partiel de sécurité égal à 1.25.



# ASSEMBLAGES

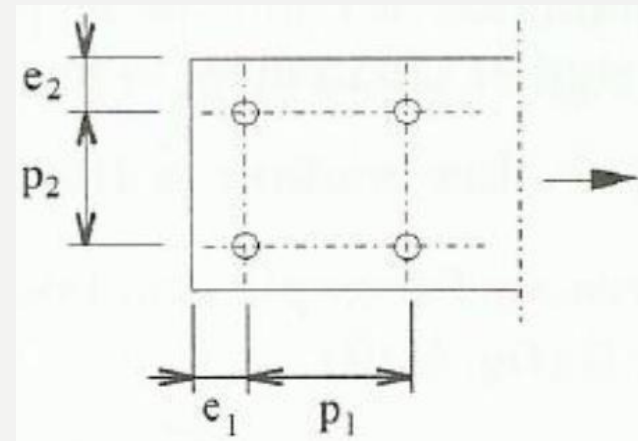
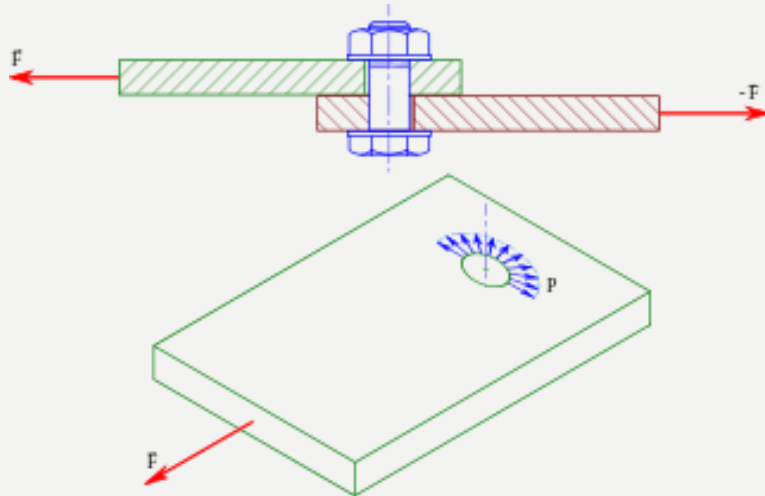
## (CALCUL DES BOULONS ORDINAIRES)

➤ Résistance à la pression diamétrale:

Les pièces impriment une contrainte de cisaillement aux boulons. Le boulon jouant le rôle de butée produit, par réaction, une contrainte normale sur la surface des trous dans les pièces avec lesquelles ils sont en contact. Cette contrainte est appelée pression diamétrale. Les entraxes suivants doivent être respectés :

**La pince :**  $1,2d_0 \leq e < 4t + 40mm$

**Le pas :**  $2,2d_0 \leq p < \min(14 ; 200 mm)$



# ASSEMBLAGES

## (CALCUL DES BOULONS ORDINAIRES)

➤ Résistance à la pression diamétrale :

La résistance à la pression diamétrale se calcul :

$$F_v \leq F_{b,Rd} = \frac{2.5 \cdot \alpha_v \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$F_v$  : effort sollicitant de cisaillement.

$F_{b,Rd}$  : effort résistant à la pression diamétrale.

$$\alpha_v = \min \left( \frac{e_1}{3d_0}, \frac{P_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right)$$

$d$  : diamètre nominal du boulon.

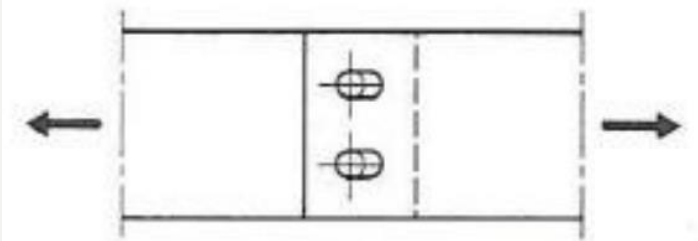
$d_0$  : diamètre du trou.

$e_1$  : pince longitudinale.

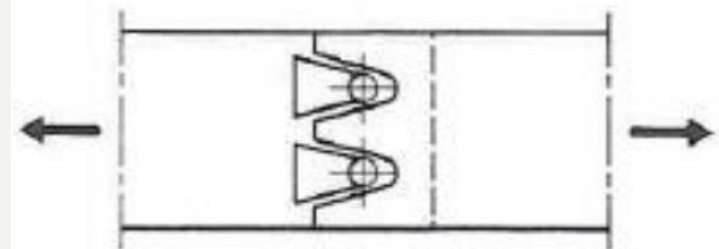
$P_1$  : distance entre 2 boulons successifs dans le sens de l'effort.

$f_u$  : résistance à la traction du plat.

$t$  : épaisseur du plat le plus mince.



ovalisation des trous



arrachement de la pince

# ASSEMBLAGES

## (CALCUL DES BOULONS ORDINAIRES)

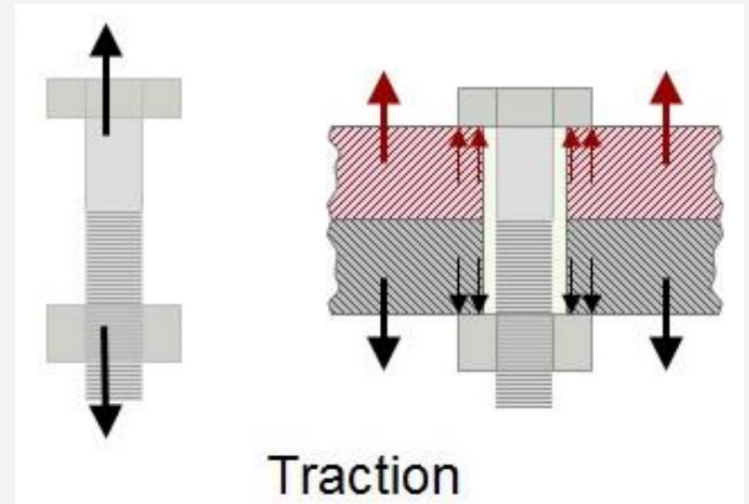
➤ Résistance à la traction :

La résistance à la traction des boulons ordinaires dans les assemblages simples soumis à **des efforts modérés**. Les tiges sont alors tendues dans tout l'assemblage peut importe le nombre de pièces.

➤ La résistance à la traction des boulons ordinaire s'exprime :

$$F_t \leq F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

- $F_t$  : effort sollicitant de traction.
- $F_{t,Rd}$  : effort résistant du boulon à la traction.
- $f_{ub}$  : résistance ultime à la traction du boulon.
- $A_s$  : section filetée du boulon.
- $\gamma_{M2}$  : coefficient de sécurité, égal à 1.25.

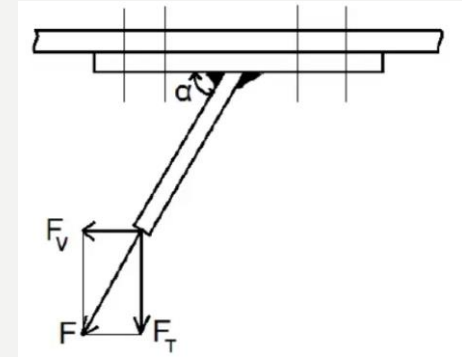


# ASSEMBLAGES

## (CALCUL DES BOULONS ORDINAIRES)

### ➤ Résistance à la Traction + Cisaillement :

Les boulons ordinaires sont dans certain cas soumis à des efforts combinés de cisaillement  $F_v$  et de traction  $F_t$ , lorsque les efforts sont obliques



➤ La condition de résistance suivante doit alors être satisfaite :

$$\frac{F_v}{F_{v,Rd}} + \frac{F_t}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

- $F_v$  : effort sollicitant de cisaillement.

- $F_{v,Rd}$  : effort résistant du boulon au cisaillement.  $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$

- $F_t$  : effort sollicitant de traction.

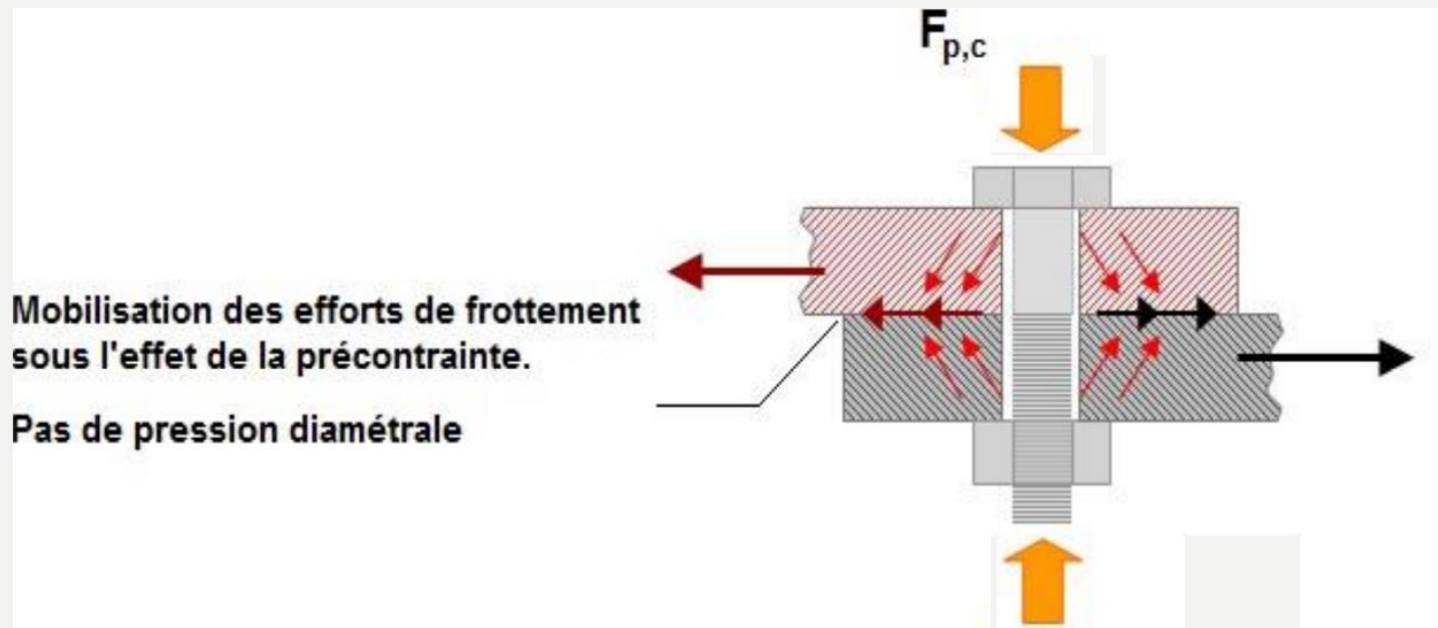
- $F_{t,Rd}$  : effort résistant du boulon à la traction.  $F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$

# ASSEMBLAGES

## [CALCUL DES BOULONS PRÉCONTRAINS]

### ➤ Résistance au glissement :

Contrairement aux boulons ordinaires, les boulons précontraints (HR) permettent un serrage et un frottement important par l'effort de précontrainte et **élimine le glissement** entre les pièces. Ainsi, **la pression diamétrale des pièces est négligée** car il n'y a pas de glissement.



# ASSEMBLAGES

## (CALCUL DES BOULONS PRÉCONTRAINTS)

### ➤ Résistance au glissement :

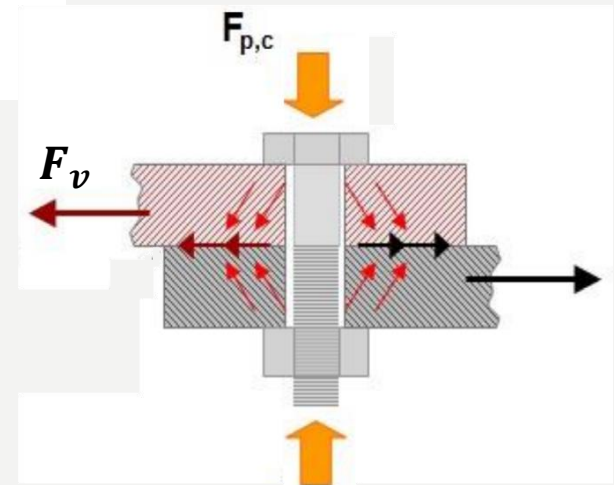
La résistance de calcul au glissement d'un boulon précontraint (HR) vaut :

$$F_v \leq F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{p,c}}{\gamma_{M3}}$$

- $n$  : Nombre de surfaces de frottement.
- $\gamma_{M3}$  : Coefficient de sécurité, égal à 1,25 pour l'ELU et 1,10 pour l'ELS.
- $F_{p,c,d}$  : Force de précontrainte exprimée par la formule :

$$F_{p,c} = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$$

- $k_s = 1.0$  pour les trous à tolérances normales :
  - 1 mm pour les boulons Ø12 et Ø14
  - 2 mm pour les boulons Ø16 à Ø24
  - 3 mm pour les boulons Ø27 et plus
- $\mu$  : Coefficient de frottement :
  - 0,50 : Surfaces grenillées/sablées puis métallisées (aluminium/zinc).
  - 0,40 : Surfaces grenillées/sablées avec peinture au silicate de zinc (50-80 µm).
  - 0,30 : Surfaces nettoyées à la flamme ou par brossage métallique.
  - 0,20 : Surfaces non traitées.



# ASSEMBLAGES (CALCUL DES BOULONS PRÉCONTRAIT)

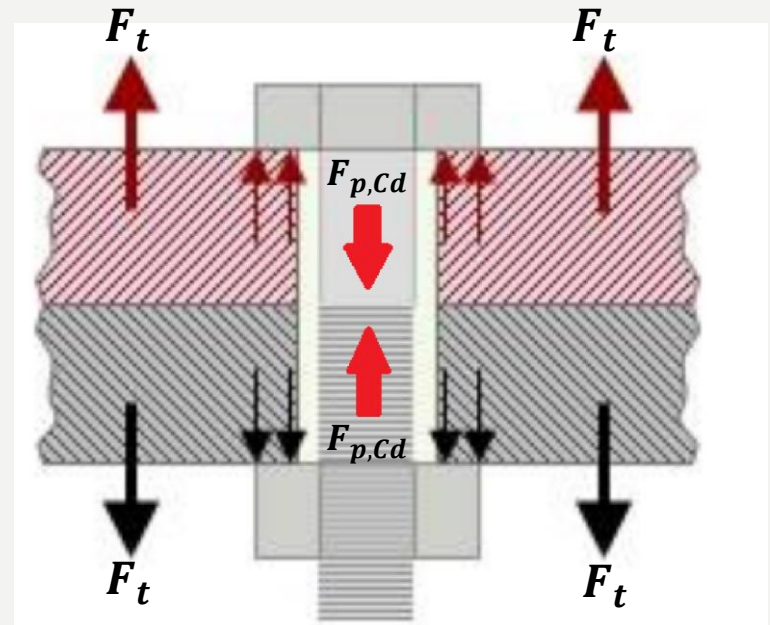
## ➤ Résistance à la traction :

La résistance à la traction des boulons précontraints (HR) dans les assemblages soumis à **des efforts important**. Les tiges sont alors soumises à la traction et cette dernière doit être inférieure à la force de précontrainte qui est considéré comme résistance à la traction des boulons précontraints (HR) :

$$F_t \leq F_{p,Cd} = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$$

$F_t$ : Effort sollicitant de traction

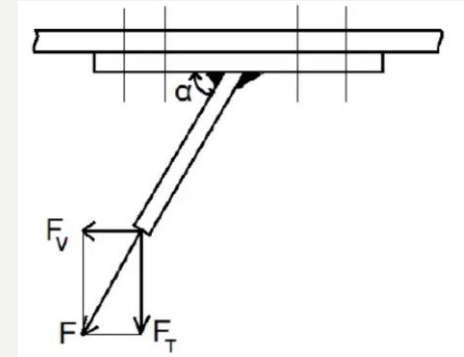
$F_{p,Cd}$ : Effort résistant de précontrainte



# ASSEMBLAGES (CALCUL DES BOULONS PRÉCONTRAIT)

## ➤ Résistance à la Traction + Cisaillement :

Les boulons précontraints sont également soumis à des efforts combinés de cisaillement  $F_v$  et de traction  $F_t$ , lorsque les efforts sont obliques



➤ La condition de résistance suivante doit alors être satisfaite :

$$F_v \leq F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,cd} - 0.8F_t)}{\gamma_{M2}}$$

- $F_{s,Rd}$  : Effort résistant au glissement.
- $F_t$  : Effort sollicitant de traction.
- $F_{p,cd}$  : Force de précontrainte exprimée par la formule :

$$F_{p,c} = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$$

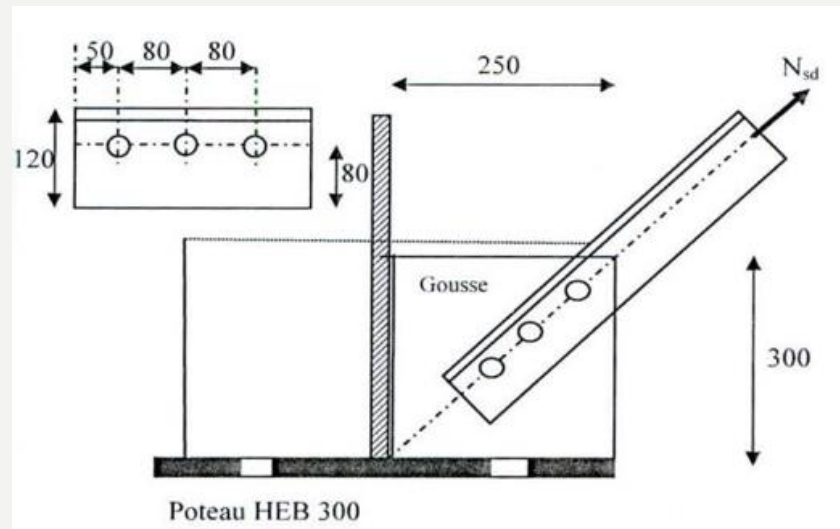
- $n$  : Nombre de surfaces de frottement.
- $\gamma_{M3}$  : Coefficient de sécurité, égal à 1,25 pour l'ELU et 1,10 pour l'ELS.
- $k_s$  : Coefficient dépendant de la dimension du trou de pressage, donné égal à 1.

# ASSEMBLAGES (EXERCICES SUR LES BOULONS)

## ➤ Exercice boulons ordinaires

Soit l'assemblage boulonné en HR d'une cornière L120x120x10 de contreventement (S275), sollicitée par un effort de traction estimé  $N_{sd} = 210$  kN, sur un gousset d'épaisseur  $e = 15$  mm.

- 1- Déterminer le diamètre nécessaire des boulons pour cet assemblage. La classe 10.9 est imposée.
- 2- Vérifier la pression diamétrale de la cornière.



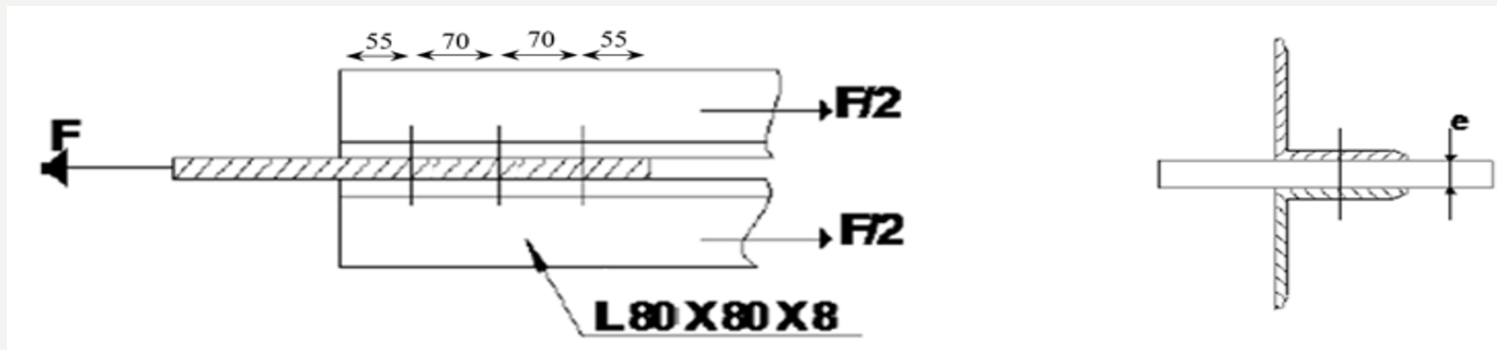
# ASSEMBLAGES (EXERCICES SUR LES BOULONS)

## ➤ Exercice boulons précontraints

Soit un assemblage de deux cornières sur un gousset d'épaisseur  $t = 8\text{mm}$  avec 3 boulons ordinaires de class (10.9). Les surfaces de contact des cornières avec le gousset sont traitées par brossage métallique ( $\mu=?$ ).

$F = 300\text{ KN}$ , acier S.235

- Déterminer le diamètre des boulons nécessaires à l'ELU.

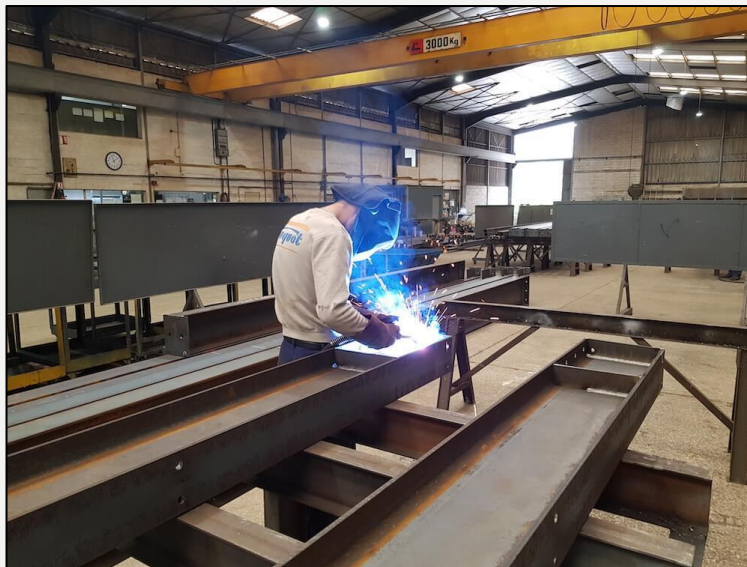


# ASSEMBLAGES (SOUDAGE)

La soudure est un procédé **d'assemblage permanent**. Elle consiste à fusionner deux pièces métalliques à l'aide d'un métal d'apport, afin de garantir la continuité structurelle entre les éléments.

## Caractéristiques :

- Assemblage permanent (non démontable).
- Permet l'assemblage des plaques métalliques comme les raidisseurs.
- Nécessite une main-d'œuvre qualifiée et un contrôle rigoureux.



# ASSEMBLAGES (SOUDURE À L'ARC)

La soudure à l'arc électrique est l'un des procédés les plus répandus en charpente métallique. Elle repose sur la création d'un arc électrique entre une électrode (ou fil fusible) et la pièce à souder. La chaleur intense de l'arc fait fondre le métal de base et le métal d'apport, créant une liaison solide entre les deux éléments.

