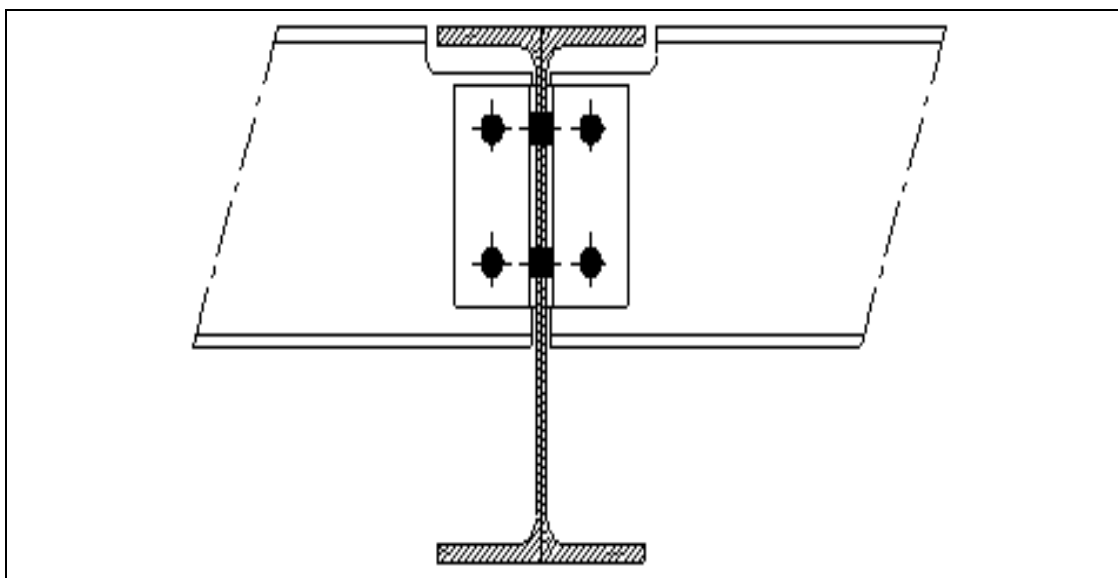
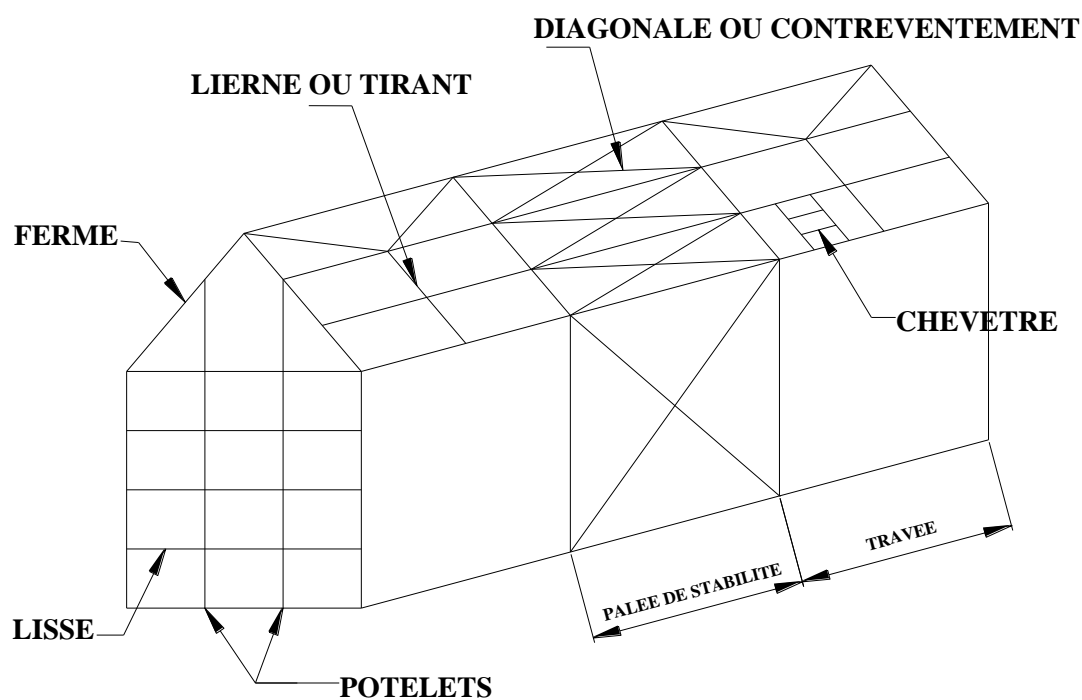
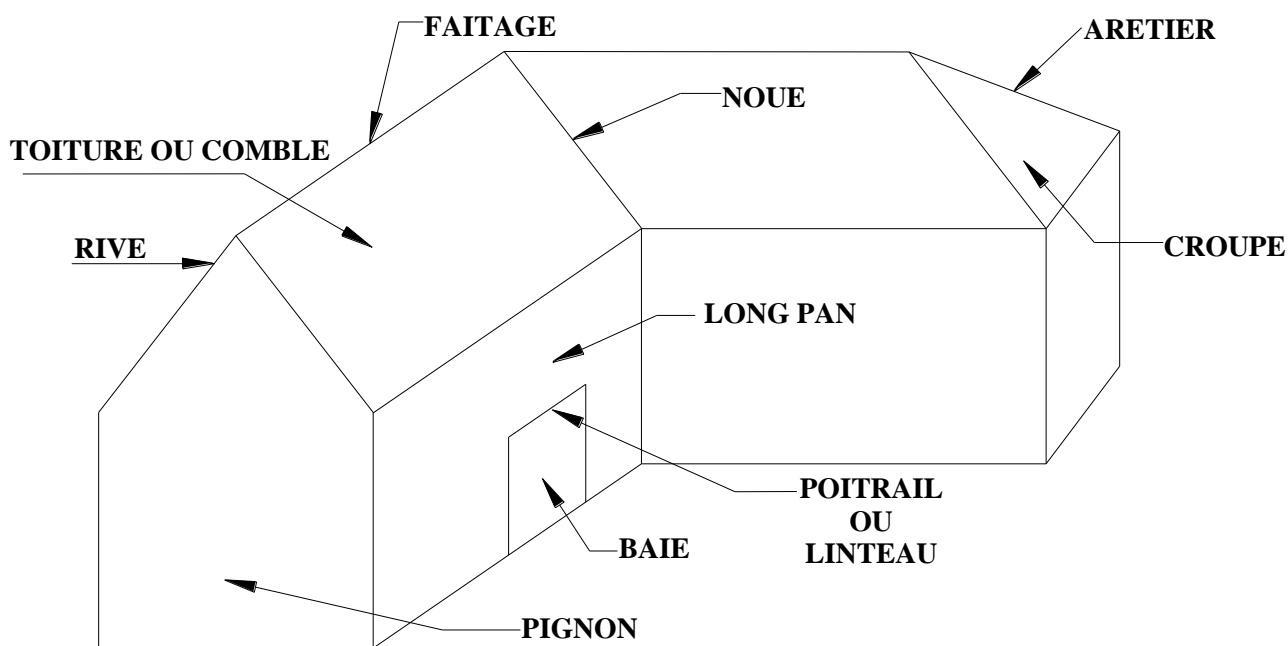


## LA CONSTRUCTION METALLIQUE

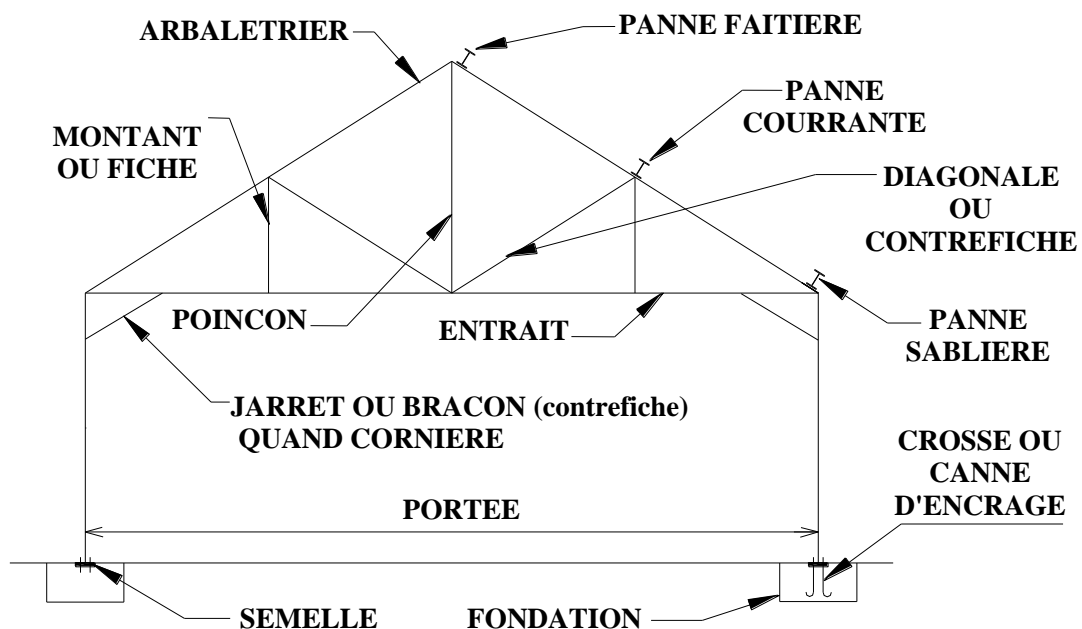


I/ TERMINOLOGIE	3
II/ LES ASSEMBLAGES	
A/ Assemblage poteau sur poteau ou poutre sur poutre	8
B/ Assemblage poutre sur poteau	9
C/ Assemblage diagonale sur poteau	11
D/ Assemblage poutre sur poutre	12
E/ Assemblage diagonale sur diagonale	12
F/ Assemblage de tube	13
G/ Assemblage de pied de poteau	14
III/ LES STABILITES DU BATIMENT	17
IV/ LES PLANCHERS	
A/ Définition	19
B/ Les planchers métalliques	19
C/ Les planchers à coffrage perdu	21
D/ Les planchers collaborants	22
V/ LES DIFFERENTS TYPES DE PLANS EN CM	
A/ Les plans d'implantation	23
B/ Les plans d'ensemble	24
C/ Les plans de sous-ensembles	25
D/ Les plans de détails	25
E/ Les plans de fabrication	26
F/ Les plans de calepinage	26
VI/ LA REGLEMENTATION EN CM	28
VII/ RESISTANCE DES MATERIAUX	
A/ Généralités	29
1°) Quelques définitions	
2°) Force	
3°) Moment	
4°) Appuis	
5°) Différents cas de charge	
B/ Calcul de poutre	33
1°) Mise en équilibre	
2°) Les efforts tranchants et les moments fléchissant	
3°) calcul du moment maximum	
4°) Pondération (coefficient partiel de sécurité Y)	
5°) Dimensionnement d'une barre	
6°) En résumé	
7°) Formulaire	
C/ Calcul d'attache	44
1°) Les assemblages boulonnés	
2°) Les Les assemblages soudés	
VIII/ ANNEXES	46

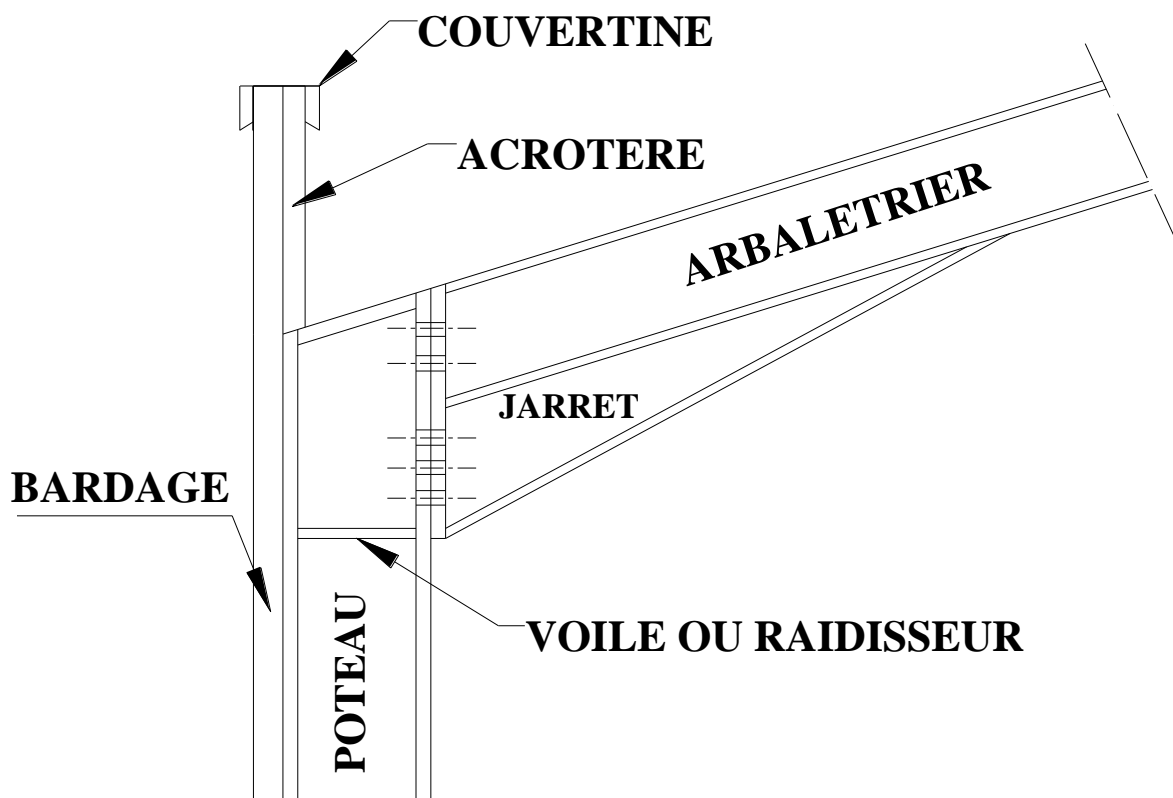
## I/ TERMINOLOGIE

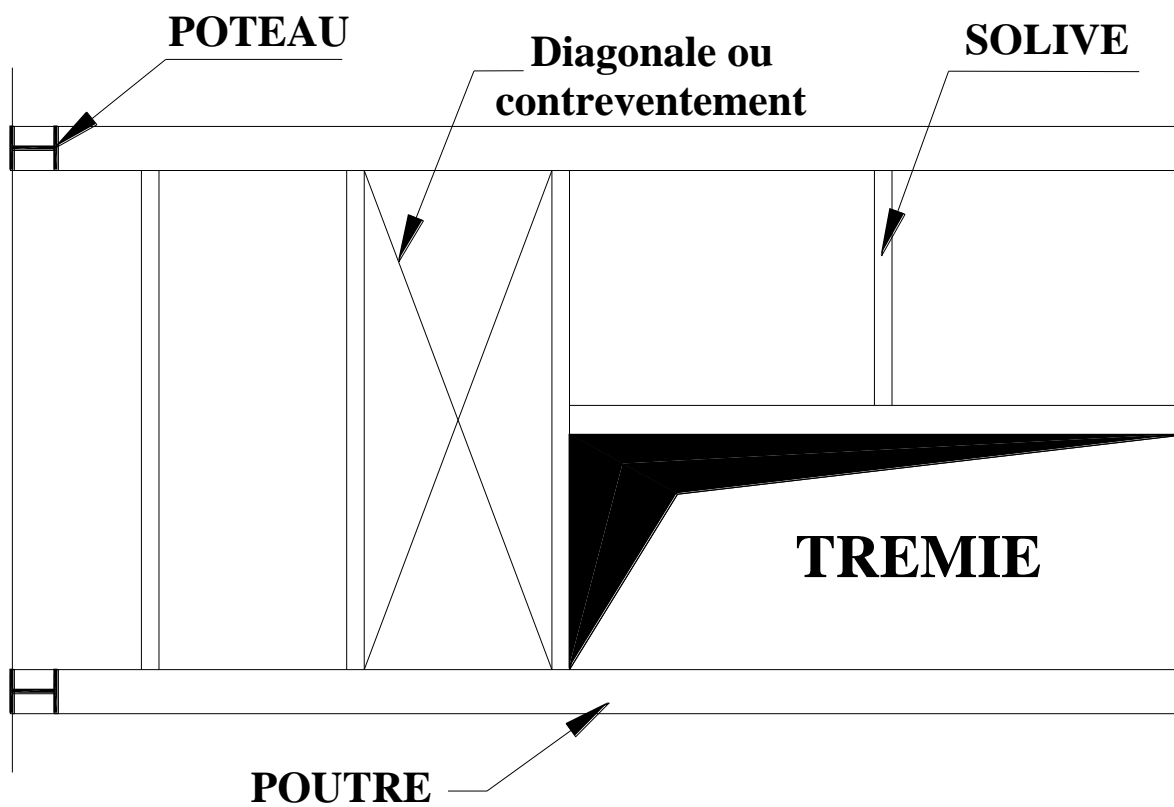
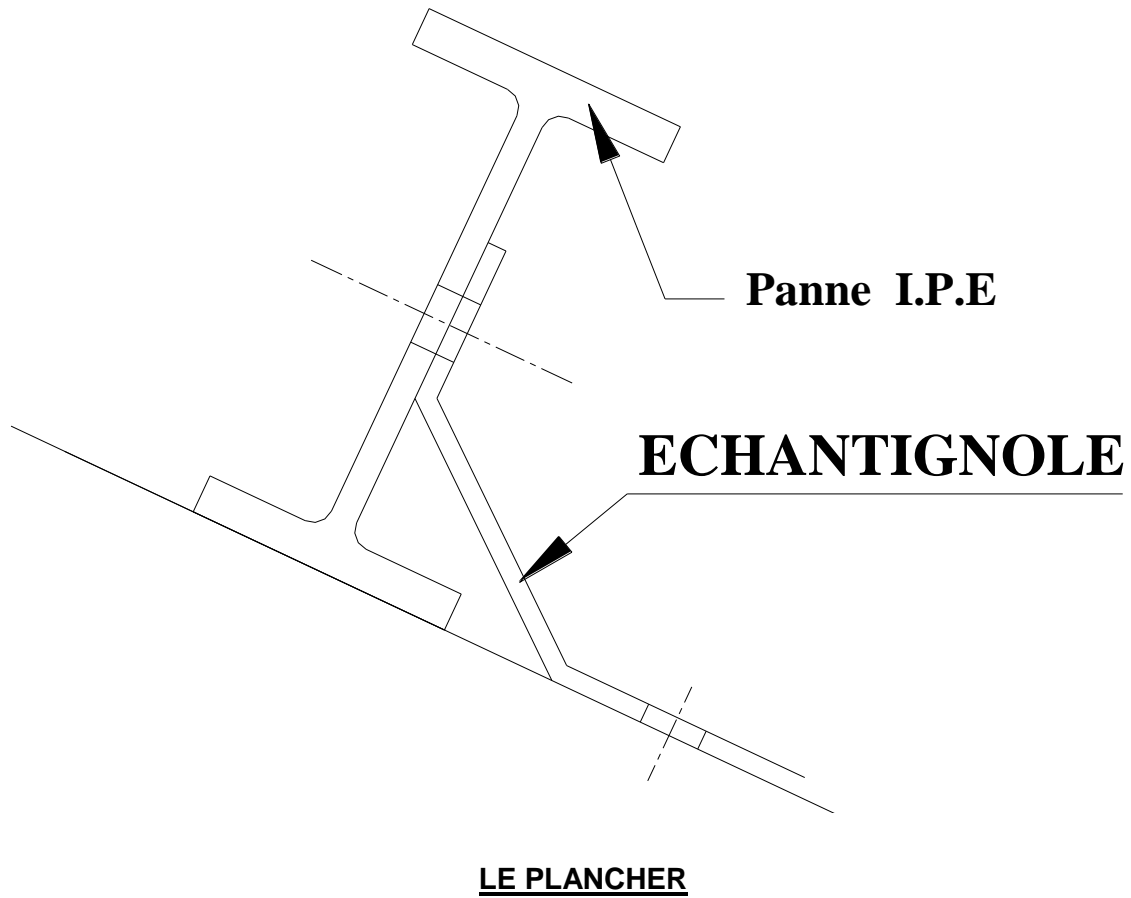


### LA FERME EN TREILLIS

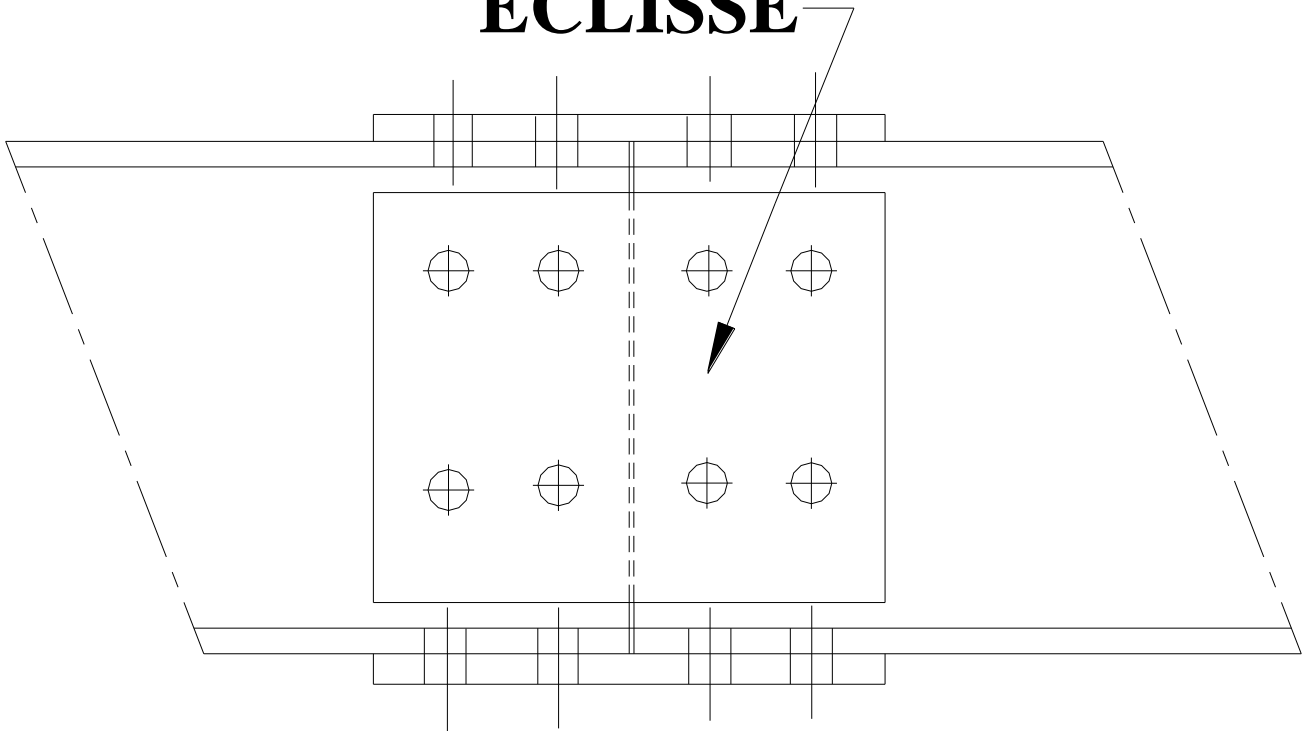


### LA FERME EN PORTIQUE

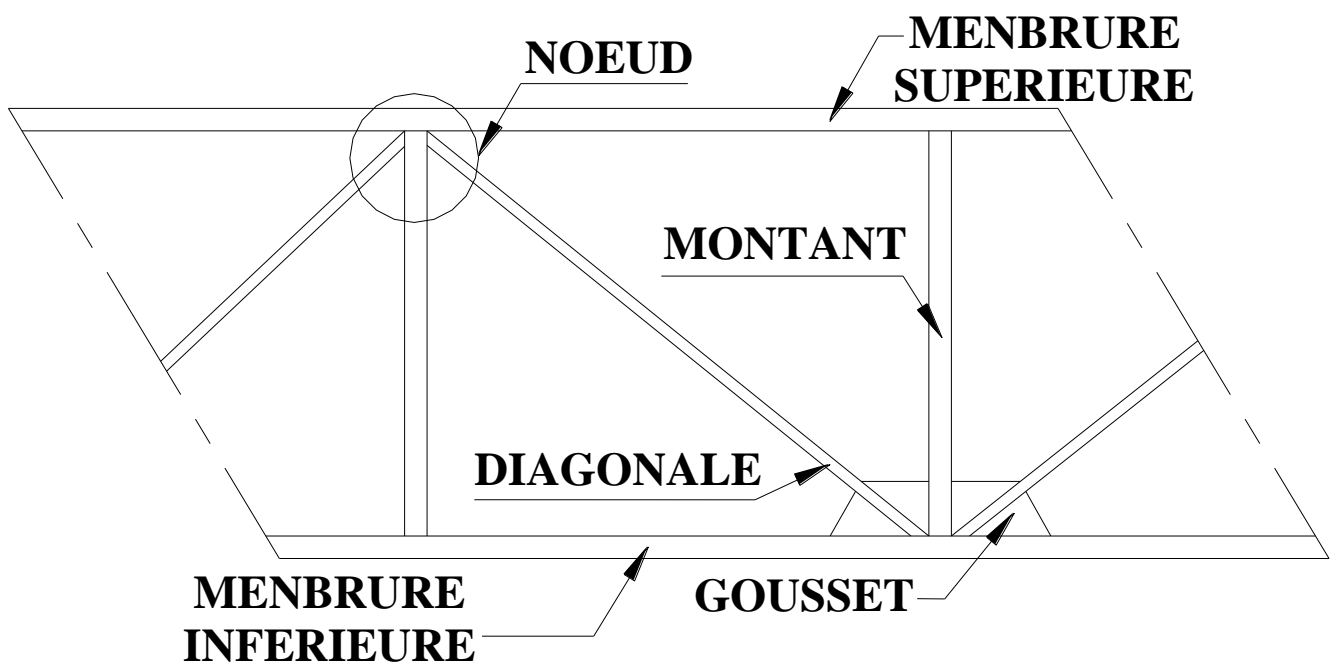


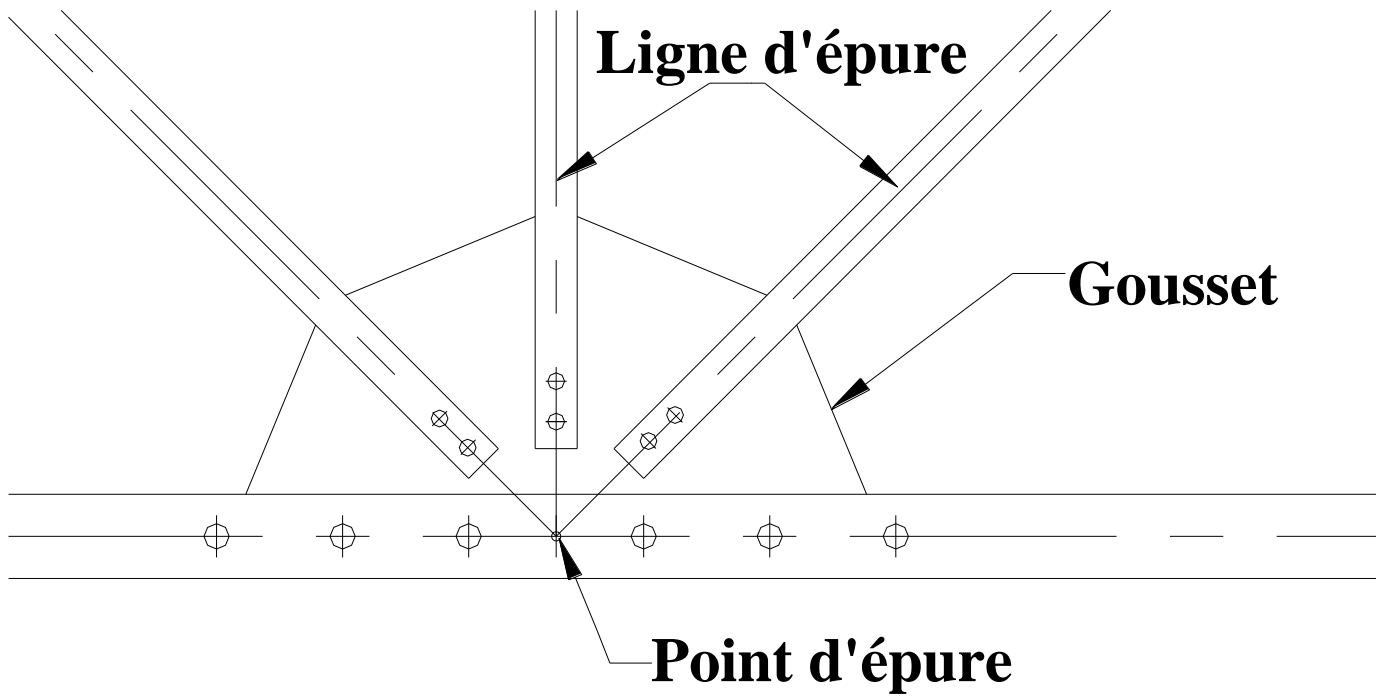


# ECLISSE



## POUTRE EN TREILLIS





### II/ LES ASSEMBLAGES

En construction métallique on rencontre essentiellement des assemblages de 3 types (cf. M1-S6) :

- l'appui simple (**1<sup>er</sup> genre**) ne reprend que la réaction verticale.
- l'articulation (**2<sup>ème</sup> genre**) reprend la réaction verticale et horizontale
- l'encastrement (**3<sup>ème</sup> genre**) reprend les réactions verticale, horizontale et le moment.

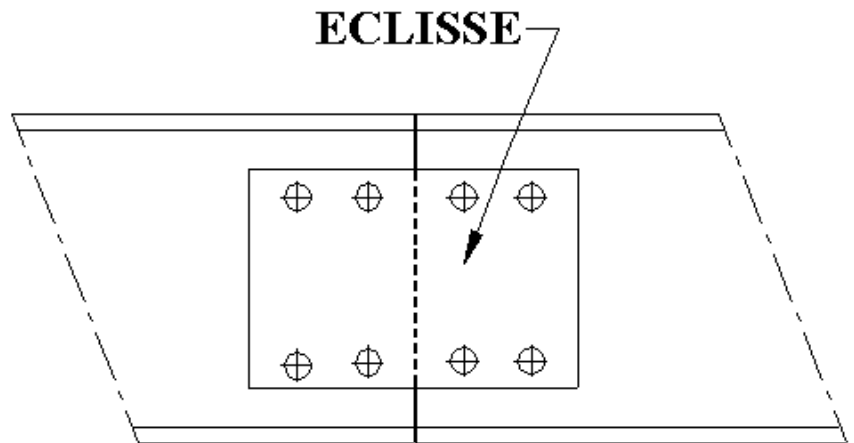
Dans une poutre en I, c'est l'âme qui reprend essentiellement l'effort tranchant, les ailes qui reprennent essentiellement le moment fléchissant et le tout les efforts normaux.

Donc pour réaliser un assemblage articulé, on assemblera les âmes des poutres uniquement, pour réaliser un assemblage encasté on assemblera les ailes et les âmes entre elles.

#### A/ Assemblage poteau sur poteau ou poutre sur poutre

##### **Articulé par éclissage**

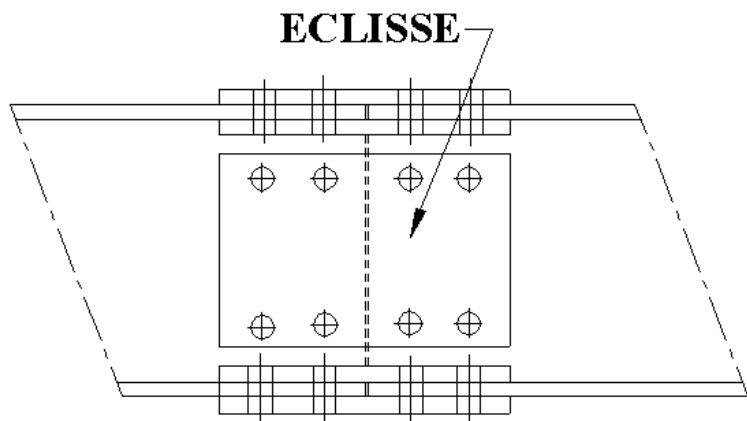
**d'âme** : discontinuité de la poutre ou du poteau, transmission des efforts normaux et tranchants.



##### **Encasté par éclissage**

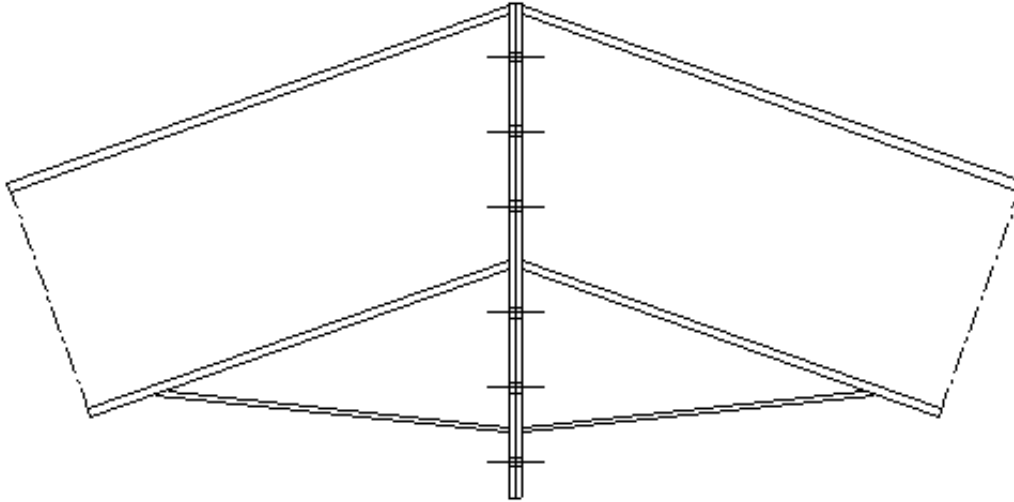
##### **d'âme et couvre-joint**

**d'ailes** : continuité de la poutre ou du poteau, transmission des efforts normaux et tranchants par les éclisses de l'âme et du moment fléchissant par les couvre-joints des ailes.

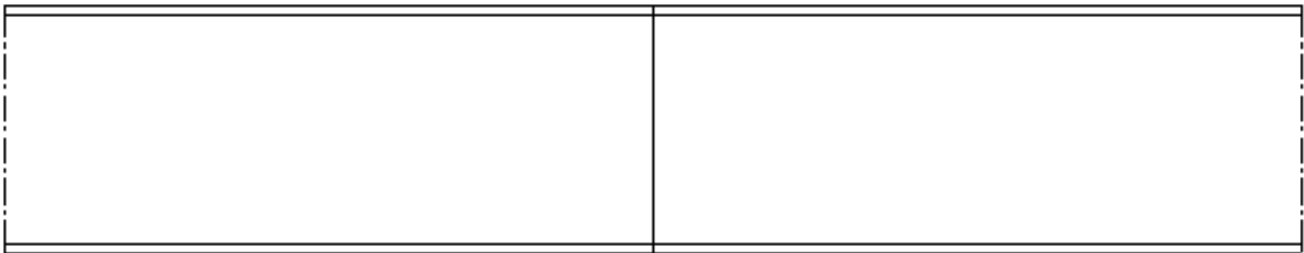




**Encastré par platine d'extrémité** : exemple du faîtage de portique. On soude une platine à l'extrémité de chaque arbalétrier et on les assemble par 2 rangées de boulons HR.



**Encastré par raboutage** : Les deux pièces sont assemblées par soudure qui transmet l'effort normal, tranchant et le moment fléchissant.

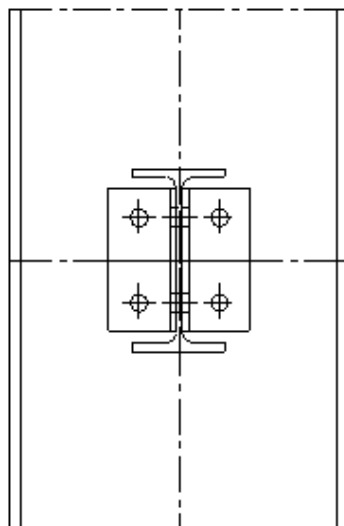


### B/ Assemblage poutre sur poteau

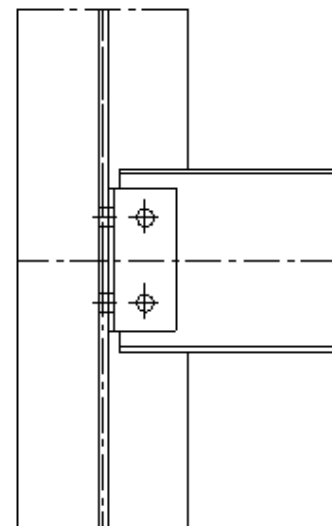
**Articulé par double cornière** :

1°) On relie l'âme de la poutre à l'âme du poteau avec deux cornières fixées par des boulons. Un jeu de 8 à 10 mm est nécessaire entre l'extrémité de la poutre et le poteau

vue de face

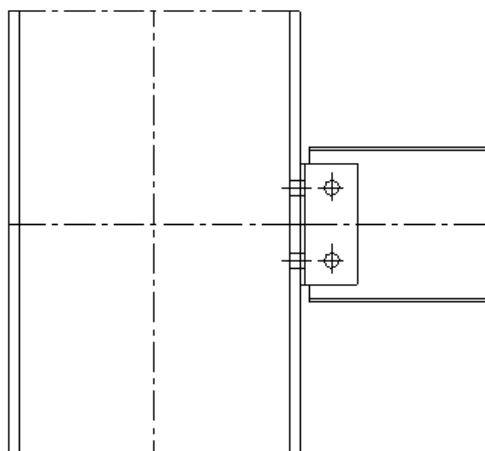


coupe verticale

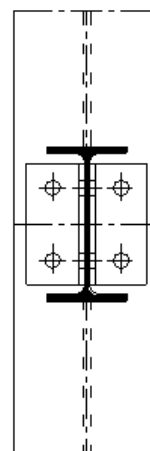


**2°)** On relie l'âme de la poutre à l'âme du poteau par l'intermédiaire de l'aile du poteau avec deux cornières fixées par des boulons.

vue de face



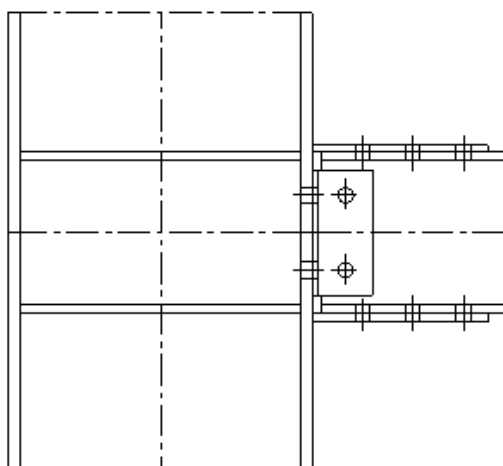
coupe verticale



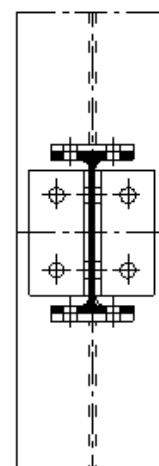
### Encastré par platine et cornière :

même assemblage que précédemment mais on rajoute 2 plats soudés sur les ailes du poteau et boulonnés sur les ailes de la poutre. On rajoute 2 platines sur l'âme du poteau pour relier les ailes de celui-ci

vue de face



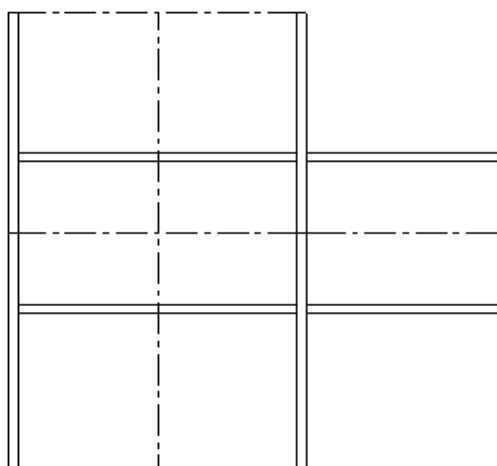
vue de coté



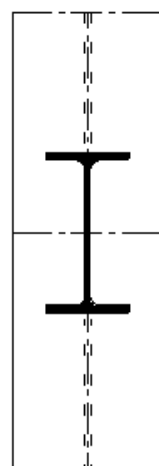
### Encastré par soudure :

même assemblage que précédemment. On rajoute 2 platines sur l'âme du poteau pour relier les ailes de celui-ci.

vue de face

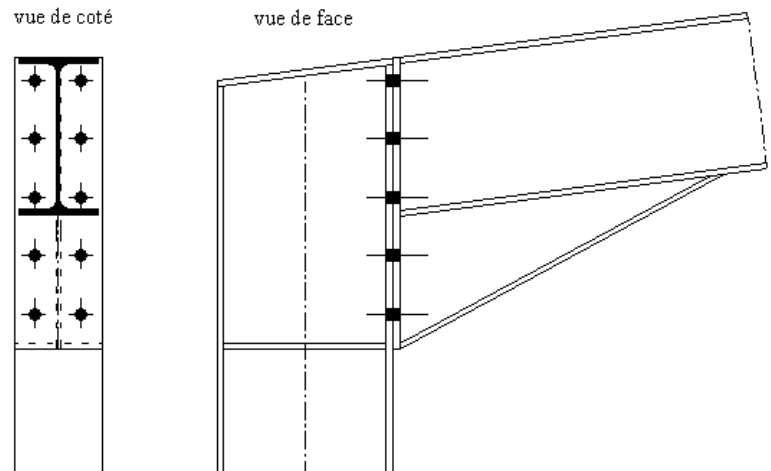


vue de coté



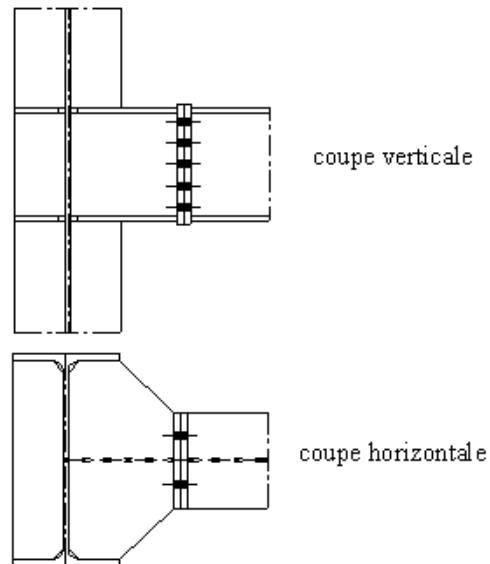
### Encastré par platine d'extrémité :

traverse de portique sur poteau, assemblage par boulons HR. Afin d'augmenter l'inertie on peut mettre un jarret.



### Encastré sur l'âme du poteau :

ex : tête de portique de stabilité sur long-pan.

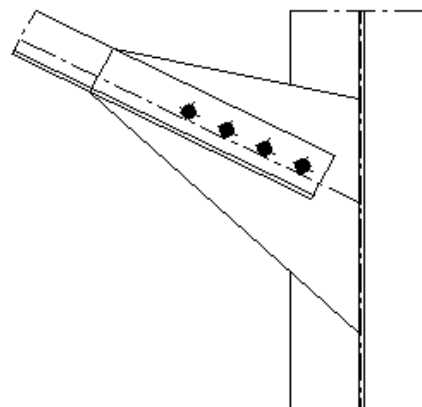


## C/ Assemblage diagonale sur poteau

### Articulé par gousset :

Diagonale d'une palée de stabilité fixée sur le poteau par l'intermédiaire d'un gousset soudé ou boulonné avec des cornières sur l'âme du poteau.

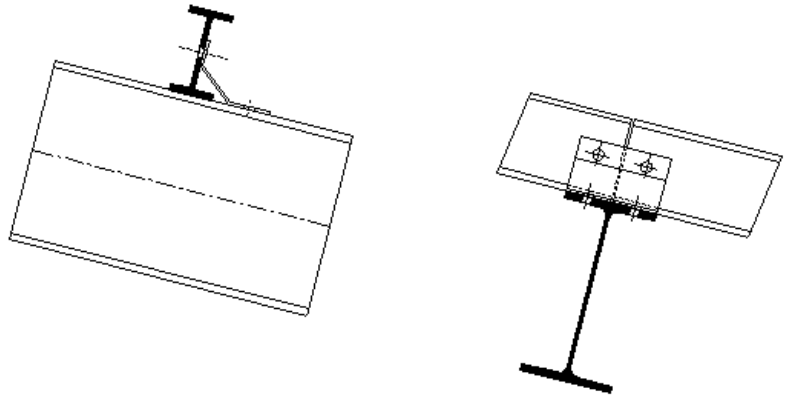
coupe verticale



### D/ Assemblage poutre sur poutre

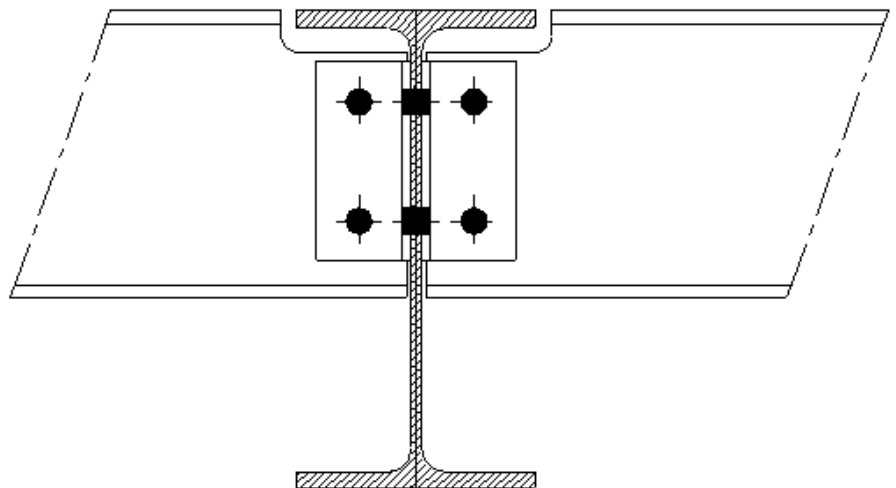
**Articulé par échantignole :**

fixation boulonnée d'une solive sur un arbalétrier.



**Articulé par double cornière :**

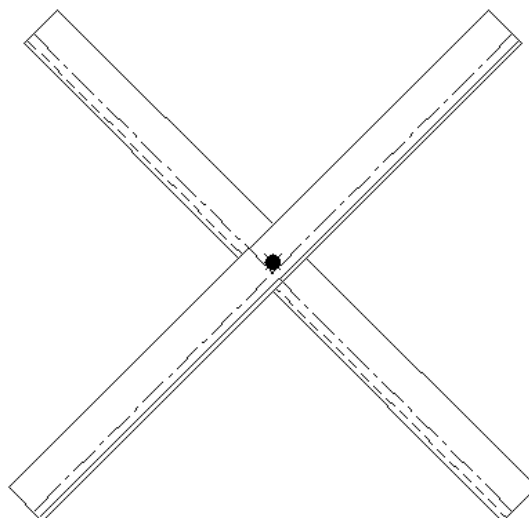
Solive de plancher sur poutre où on réalise un grugeage de l'aile supérieure de la solive pour avoir le même niveau que la poutre.



### E/ Assemblage diagonale sur diagonale

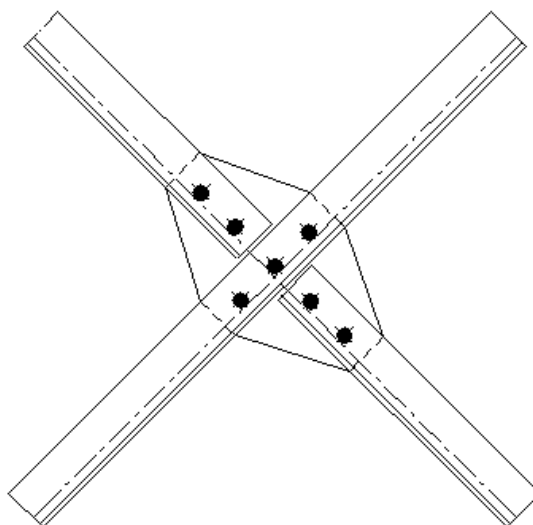
**Sans liaison :**

Ex : croisement de deux diagonales (croix de St André).



### Articulé par gousset :

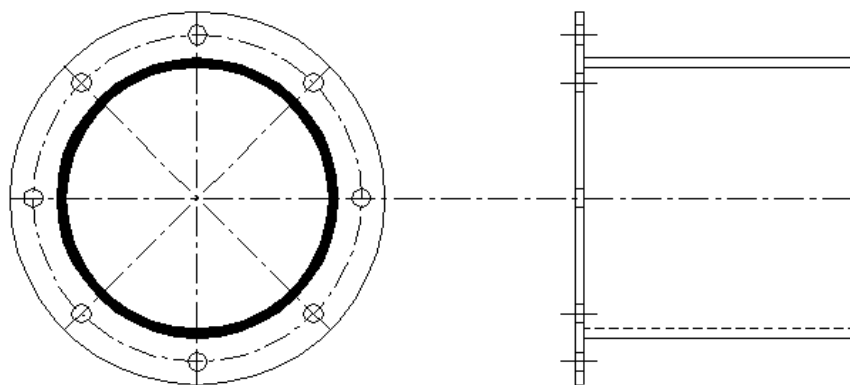
Ex : croisement de deux diagonales (croix de st André) assemblage par boulons. La diagonale interrompue est articulée.



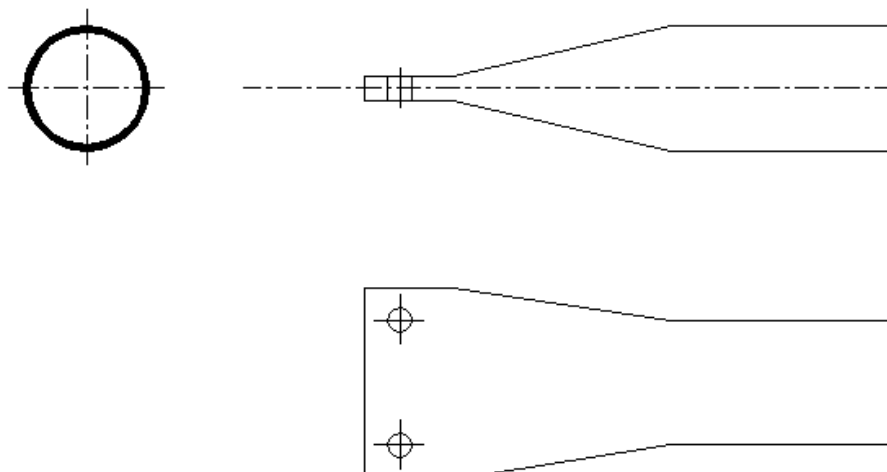
### F/ Assemblage de tube

#### Encastré par bride :

ex : pied de poteau.



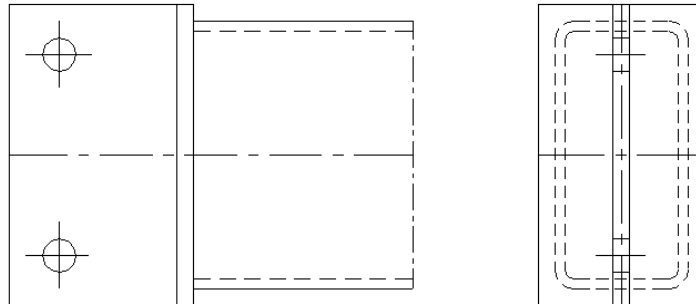
#### Articulé par aplatissement :



Ex : diagonale ou montant de poutre en treillis.

**Articulé par chape :**

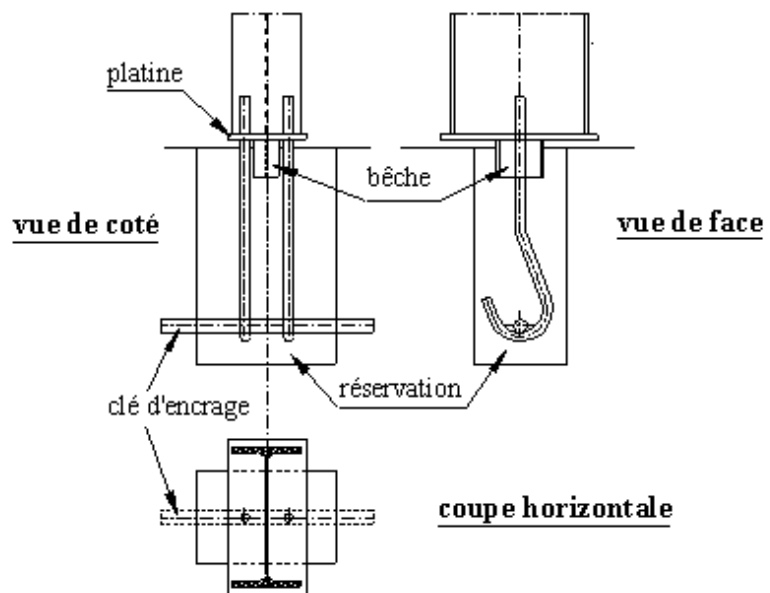
Ex : diagonale sur gousset.



### G/ Assemblage de pied de poteau

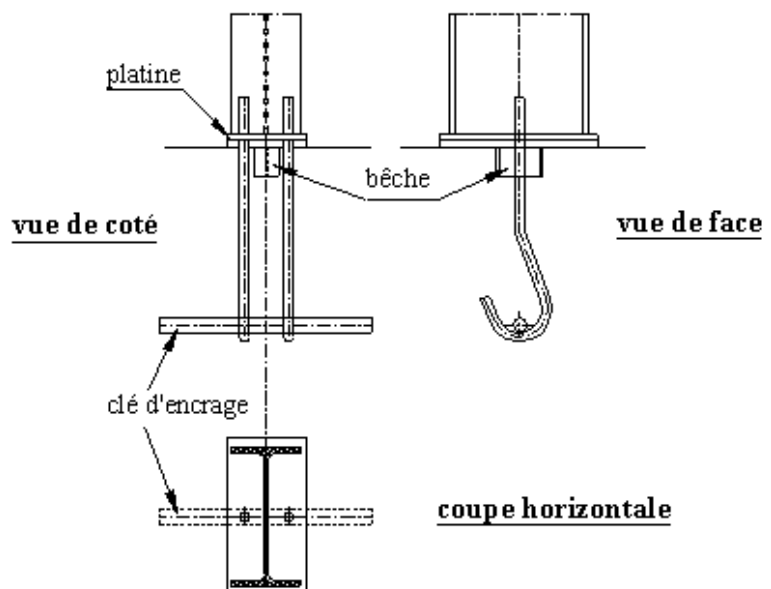
**Articulé (si platine < 300mm) par platine :**

avec ou sans bêche :  
Effort vertical est transmis au béton de haut en bas par la platine et de bas en haut par les cannes (tiges) d'ancrage. L'effort horizontal lui est transmis soit par l'adhérence de la platine, soit par une bêche.



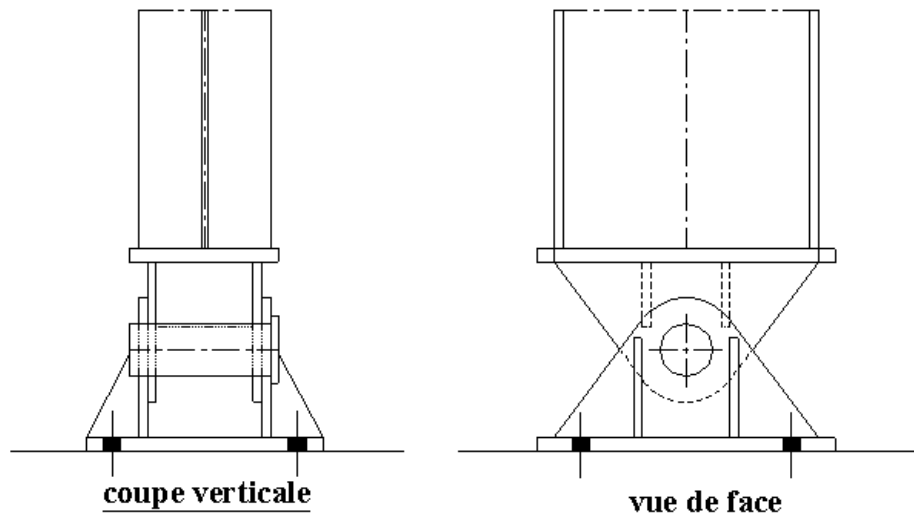
**Articulé (si platine < 300mm) par platine pré-scannée, avec ou sans bêche :**

Plus facile à la mise en œuvre mais pas de réglage possible.



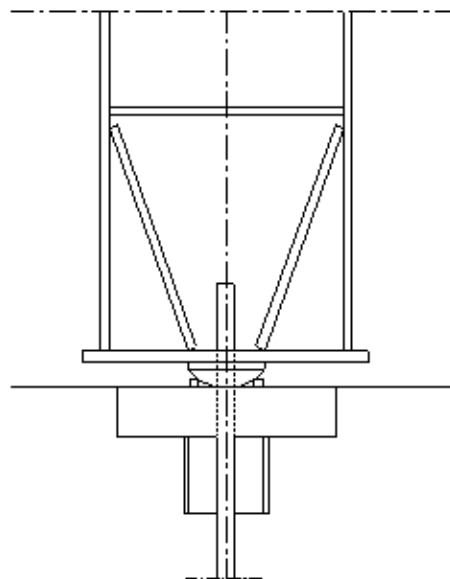
### Articulé avec un axe :

Utilisé pour les charges verticales plus importantes (surface de platine >300 mm pour limiter la contrainte dans le béton).



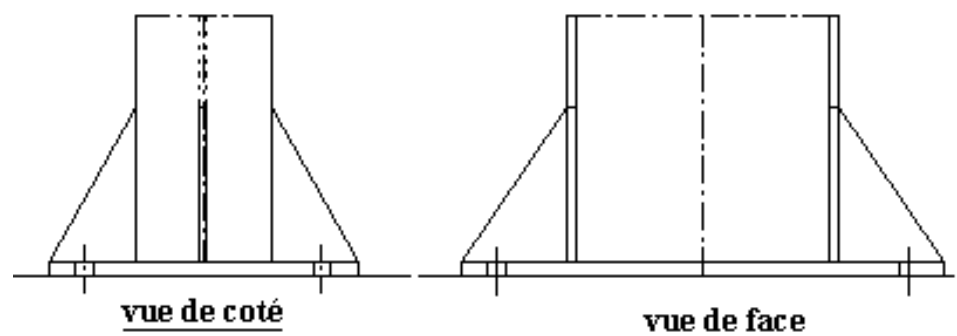
### Articulé avec grain :

Utilisé pour les charges verticales plus importantes (surface de platine >300 mm pour limiter la contrainte dans le béton). Grain = plat épaisseur de 30 à 60 mm avec bords chanfreinés et base cylindrique maintenu horizontalement par des butées appelées « boîte à grain ».



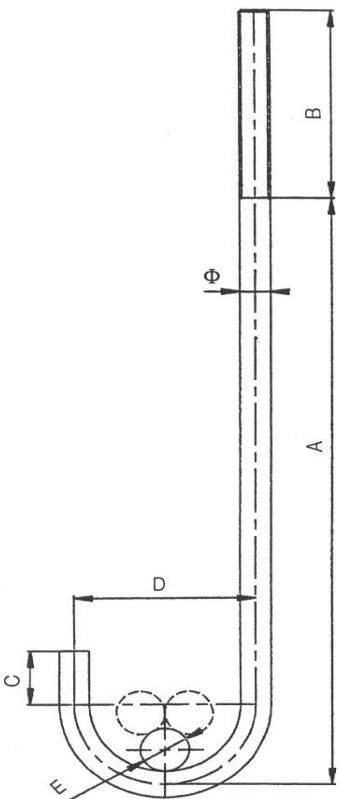
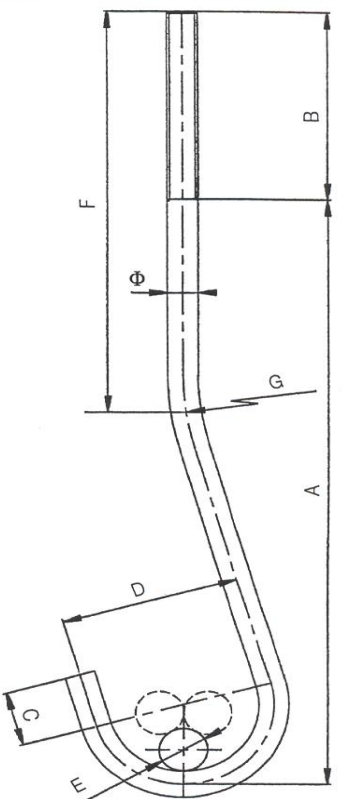
### Encastré par platine d'extrémité :

On peut utiliser une platine pré-scannée. Pour limiter les déformations de la platine il faut une forte épaisseur ou bien il faut mettre des raidisseurs.



### Tige d'ancrage :

Élément employé pour solidariser un poteau avec sa fondation en béton.

Tige courbée		Tige contre courbée							
									
Caractéristiques dimensionnelles		Diamètre Φ de la tige d'ancrage en mm							
		14	16	18	20	22	24	27	30
A en mm	22 × Φ	308	352	396	440	484	528	594	660
B en mm	4 × Φ	84	96	108	120	132	144	162	180
C en mm	2 × Φ	28	32	36	40	44	48	54	60
D en mm	6 × Φ	84	96	108	120	132	150	162	192
E en mm	Clé d'ancrage en acier HA	20	25	25	32	32	40	40	3 × 25
F en mm	15 × Φ	210	240	270	300	330	360	405	450
G en mm	10 × Φ	140	160	180	200	220	240	270	300
longueur développée en mm	Tige courbée	510	583	656	728	801	881	983	1106
	Tige contre courbée	503	575	476	719	581	875	713	1102
Filetage	Pas	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5
section du noyau en mm <sup>2</sup>		115	157	192	245	303	353	459	561

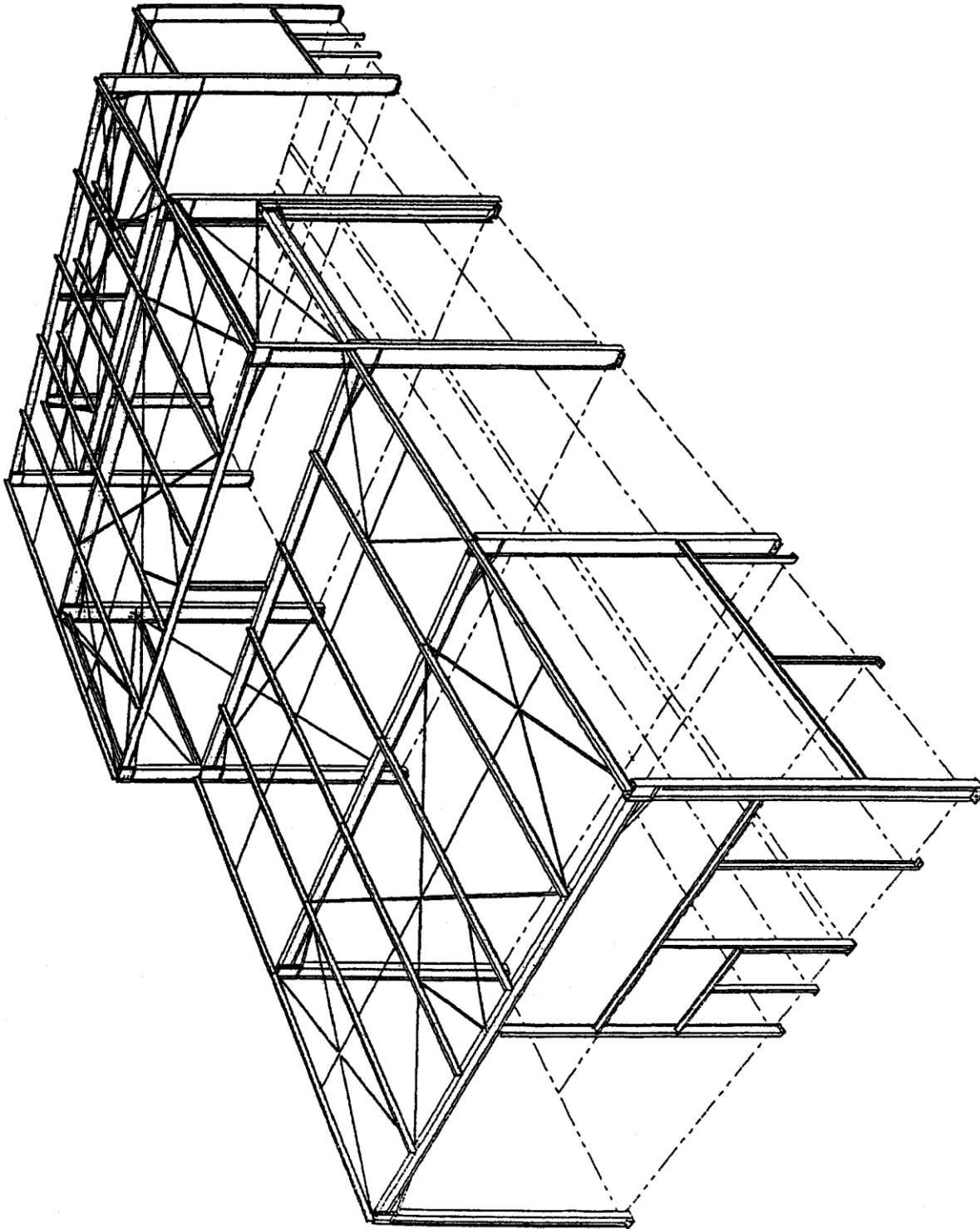


### III/ LES STABILITES DU BATIMENT

**En longitudinal** : Dans la 3<sup>ème</sup> travée : portique de stabilité encastré en tête et articulé en pied + croix de Saint-André dans la partie supérieure.

**En transversal** : Portique encastré en tête et- articulé en pied.

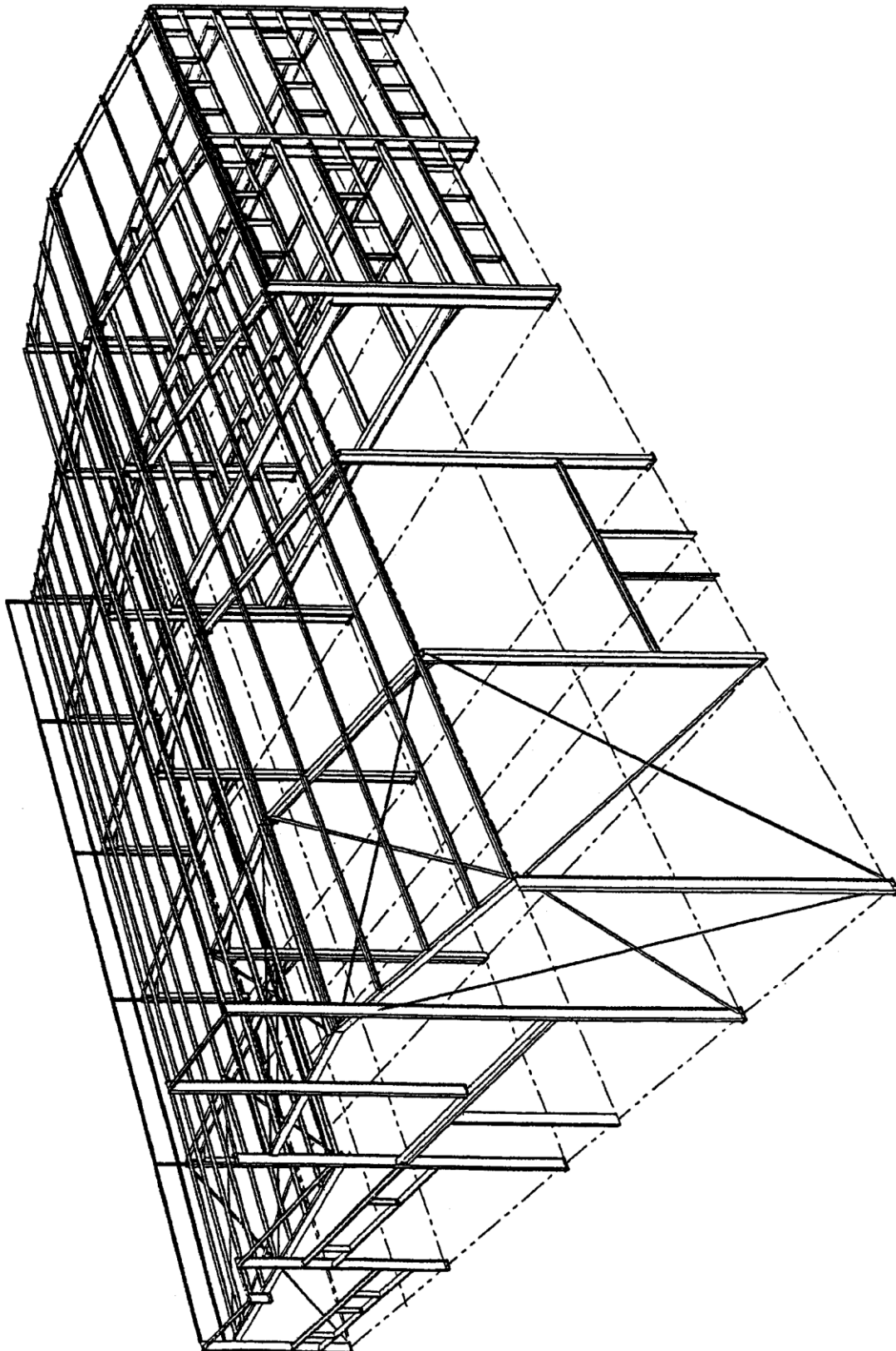
**En toiture** : Diagonales à chaque niveau.



**En longitudinal** : Croix de Saint-André dans la première travée.

**En transversal** : File 1 : pan de fer articulé en pied et en tête avec croix de saint-André. File 2 à 5 : portique encastré en tête et articulé en pied.

**En toiture** : Diagonales dans la première travée.



### IV/ LES PLANCHERS

#### A/ Définition

Aire horizontale séparant deux étages successifs dans une construction. Ils servent à augmenter la surface disponible, permettre la circulation, et à supporter les charges auxquelles ils sont soumis.

Ils se composent d'une partie portante et d'un revêtement constituant le sol fini. Le plafond est réalisé sous la partie portante.

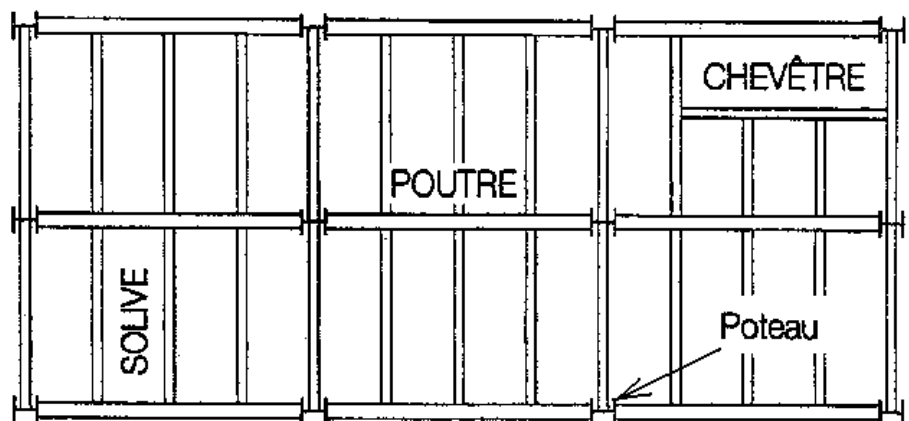
Ils sont de plusieurs types :

- les planchers métalliques,
- les planchers à coffrage perdu,
- les planchers collaborants.

#### B/ Les planchers métalliques

Un revêtement en tôle larmée, striée, ou gauffrée, ou encore un caillebotis est fixé sur une ossature métallique constituée de profilés laminés (essentiellement des I et parfois des U). Ce type de plancher est utilisé à l'intérieur ou à l'extérieur pour des activités industrielles.

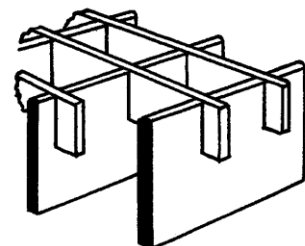
Exemple d'ossature :



*Caillebotis électroforé*

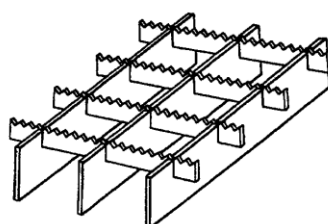


*Caillebotis pressé*

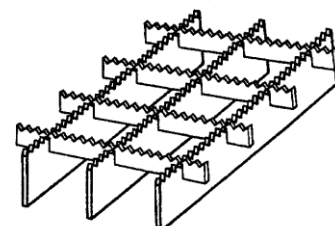


Exemple de revêtement en caillebotis :

*Caillebotis pressé cranté simple*

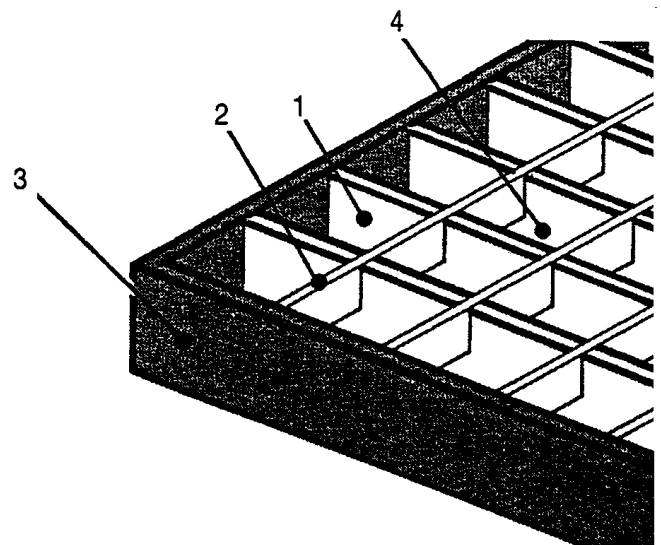


*Caillebotis pressé cranté double*

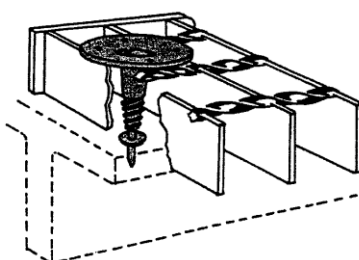
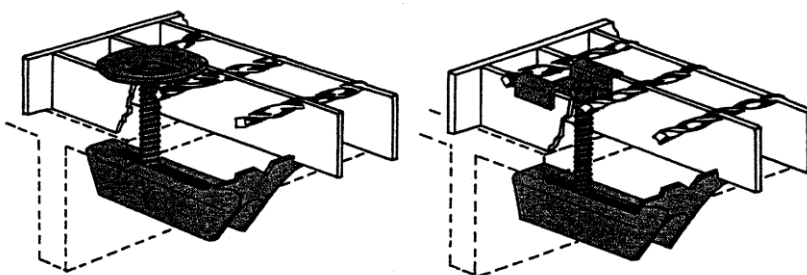
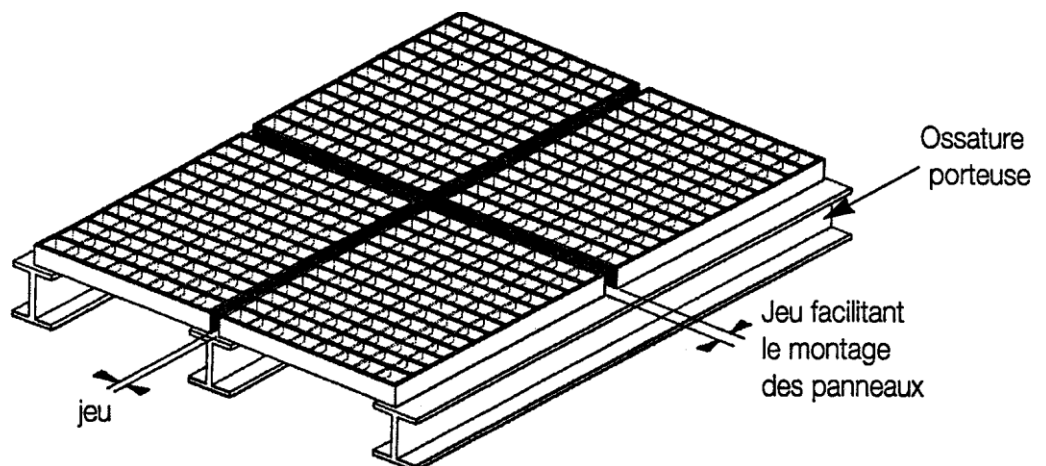


### Désignation des différentes parties d'un caillebotis :

- 1) **Barre porteuse** : en fer plat qui supporte la charge.
- 2) **Barre transversale** : entretoise en fer plat, carré torsadé ou rond qui assure la liaison des barres porteuses.
- 3) **Bordure** : fer plat qui forme le cadre du panneau.
- 4) **Maille** : vide entre les barres porteuses et les barres transversales.



### Montage d'un caillebotis :

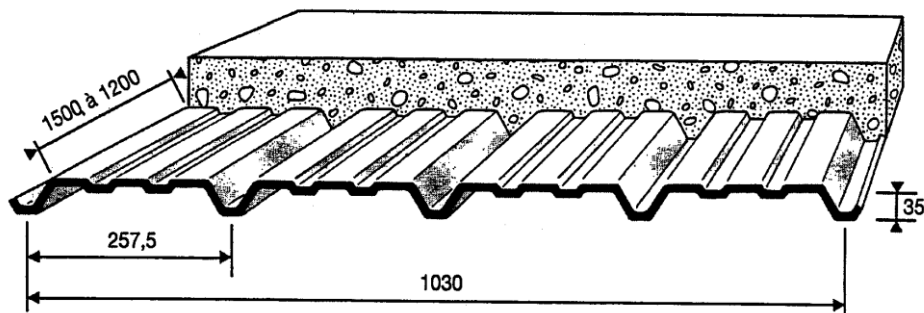
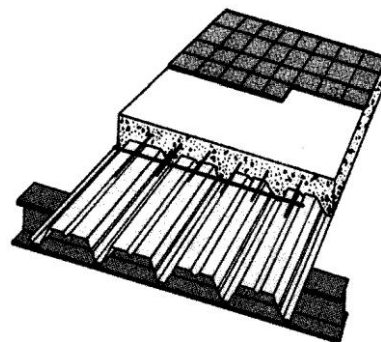


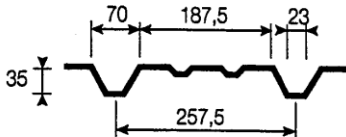
- Prévoir en règle générale 4 attaches par panneau.
- La fixation des panneaux peut également être assurée par des points de soudure sur l'ossature porteuse.



### C/ Les planchers à coffrage perdu

La solution consiste à utiliser un profil métallique (bac acier) dont le rôle est de servir uniquement de coffrage pour le coulage du béton. Ce coffrage est calculé pour supporter le poids du béton avant sa prise (dans sa phase « liquide »). C'est la dalle de béton et ses armatures en acier qui reprennent les charges. L'adhérence entre la tôle d'acier et le béton n'est pas nécessaire, d'où l'utilisation de profil simplement nervuré et non cranté.



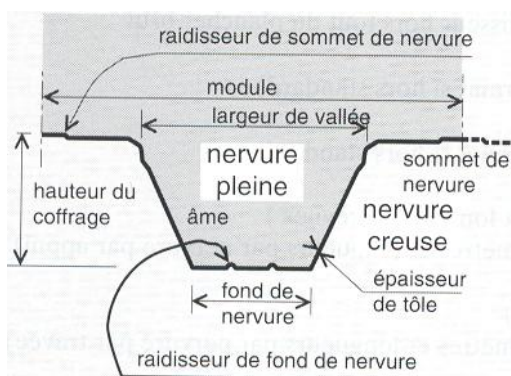
épaisseurs tôle en mm	masse en kg/m <sup>2</sup>								
0,75	5,93								
1,00	7,06								
épaisseur de la dalle en cm	6	8	10	12	14	16	18	20	
masse en kg/m <sup>2</sup> (hors nervures)	150	200	250	300	350	400	450	500	
masse du béton dans les nervures : 16 kg/m <sup>2</sup>			volume du béton dans les nervures : 0,0065 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>						

Portée d'utilisation en mètres									
flèche L/300					flèche L/250				
▲		épaisseur de la dalle en cm	▲ ▲ ▲		▲		épaisseurs de la dalle en cm	▲ ▲ ▲	
épaisseur en mm			épaisseur en mm		épaisseur en mm			épaisseur en mm	
1,00	0,75		0,75	1,00	1,00	0,75		0,75	1,00
1,92	1,76	6	2,28			1,54	6	1,94	2,78
1,78	1,64	8	2,06	2,26	156	1,36	8	1,74	1,90
1,68	1,48	10	1,88	2,12	1,40	1,24	10	1,58	1,78
1,58	1,36	12	1,76	1,98	1,30	1,14	12	1,48	1,66
1,48	1,28	14	1,64	1,86	1,22	1,06	14	1,38	1,56
1,38	1,21	16	1,56	1,76	1,14	1,00	16	1,30	1,48
1,28	1,16	18	1,50	1,68	1,10	0,96	18	1,24	1,40
1,24	1,10	20	1,44	1,62	1,04	0,92	20	1,20	1,36

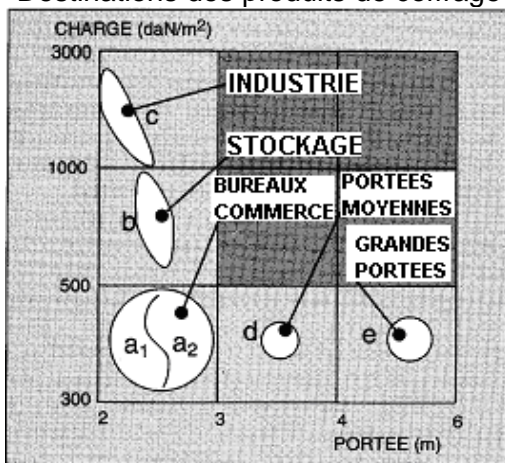
### D/ Les planchers collaborants

Ce type de plancher est constitué de profils nervurés en tôle d'acier galvanisée associés à une dalle de béton. Les profils utilisés sont étudiés pour permettre une parfaite adhérence du béton avec l'acier. Ces profils jouent le rôle de l'armature en zone inférieure tendue. Au niveau des appuis c'est la zone supérieure qui est tendue, d'où la nécessité de placer des armatures (appelées chapeaux).

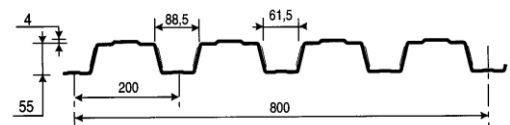
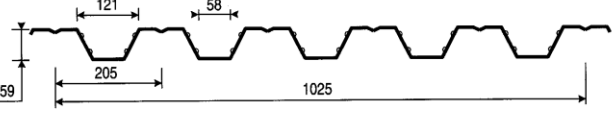
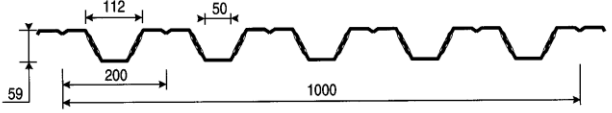
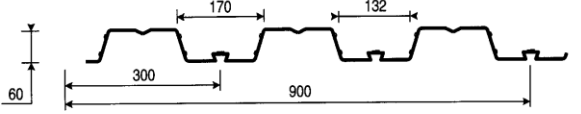
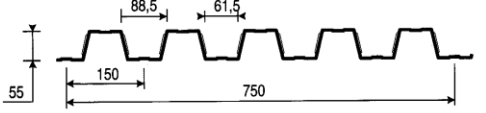
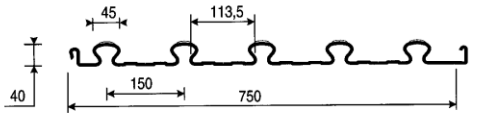
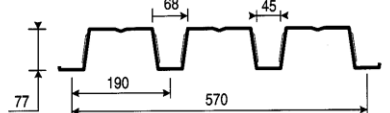

Désignation des différentes parties d'une nervure :



Destinations des produits de coffrage



Les principaux produits du marché :

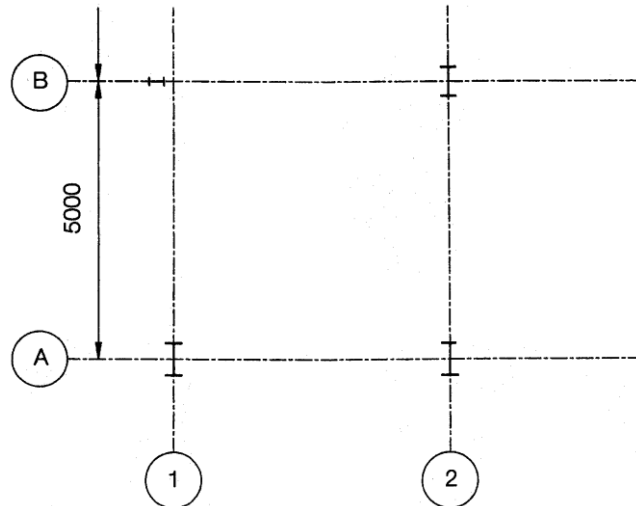
PRODUIT	DESSIN	POIDS 0,75 mm
Les lettres (a), (b), (c), (d) renvoient aux usages les plus notoires des produits (voir Figure 1.6).		
HI BOND 55.800 AT 3/95-260 (a)		8,7
HAIRCOL 59 S AT 3/93-245 (a)		8,6
COFRADAL 60 AT 3/95-264 (a)		8,8
HAIRCOL 60 S AT 3/95-259 (a)		8,5
HI BOND 55.750 AT 3/95-260 (b)		9,5
COFRASTRA 40 AT 3/95-262 (c)		10
HI BOND 77.570 AT 3/95-261 (d)		10
COFRASTRA 70 AT 3/95-263 (d)		10

### V/ LES DIFFERENTS TYPES DE PLAN EN C.M.

#### A/ Les plans d'implantation

Ce plan est aussi destiné au génie civil pour le calcul et la fabrication des massifs de fondation. Le plan se compose pour un bâtiment :

- d'une **vue en plan** à l'échelle 1:50 ou 1:100 : Les distances entre les différents poteaux sont à l'échelle, les poteaux sont représentés en section et ne sont pas à l'échelle (utiliser des valeurs qui respectent les proportions), faire un repérage des files (horizontales A,B,C...et verticales 1,2,3...), coter les entraxes des poteaux.

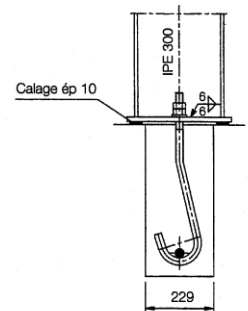
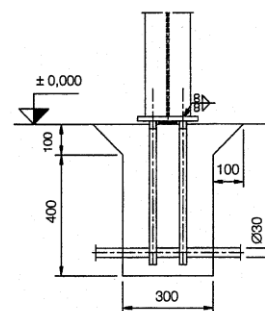


Descente de charges						
Unités daN	File A		File B		File C	
	V	H	V	H	V	H
G	+3614	-305	+970	-232	+4290	+538
Q	+3325	-401	-66	+93	+2991	+308
S	-107	+215	+1686	-751	+1722	+536
W1	+289	+578	-901	-99	-1491	-500
W2	+319	-639	-327	-135	-882	-573
W3	-164	+329	-1244	+869	-696	-20
W4	-240	-481	+952	-589	-60	-87
W5	-37	+74	+457	-364	+470	+290
W6	+65	-131	-1520	+101	-1542	+30
W7	+222	-442	+336	-319	-558	-568
W8	-195	+390	-345	+817	+540	+122

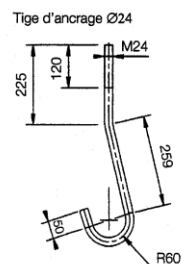
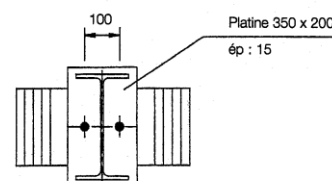
Nota : Charges descendantes positives

- d'une **descente de charges** pour le calcul des massifs de fondation : Donner pour chaque type de pied de poteau les charges non pondérées horizontales, verticales et éventuellement les moments sous les différents chargements.

File A



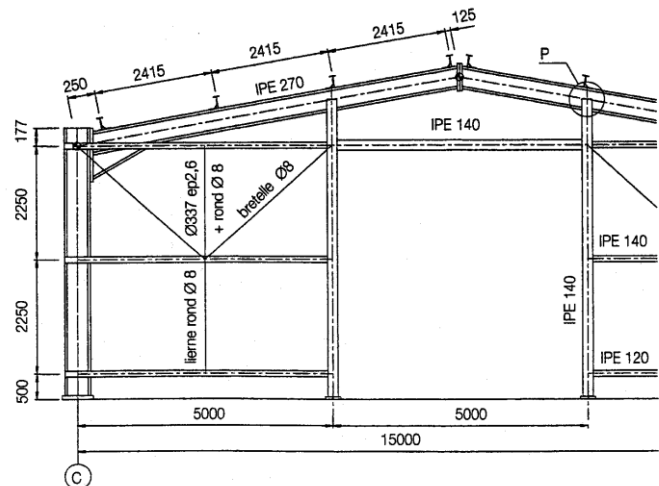
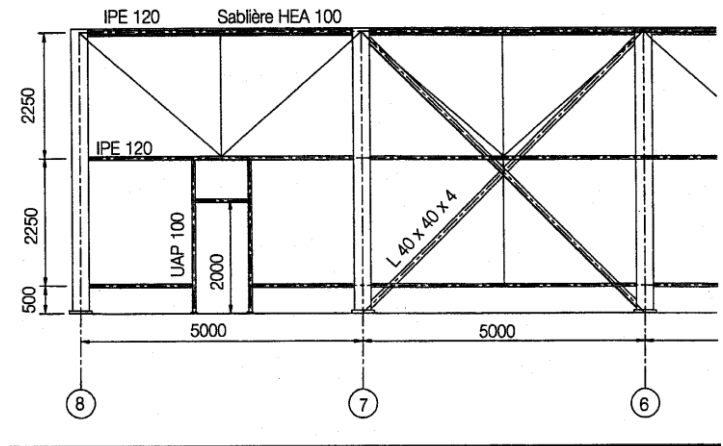
- des **détails des pieds de poteaux avec les réservations** dans les massifs de fondation à l'échelle 1:5 ou 1:10. Donner les dimensions et la forme de la réservation, le diamètre et la position de la clé d'ancrage pour le génie civil.



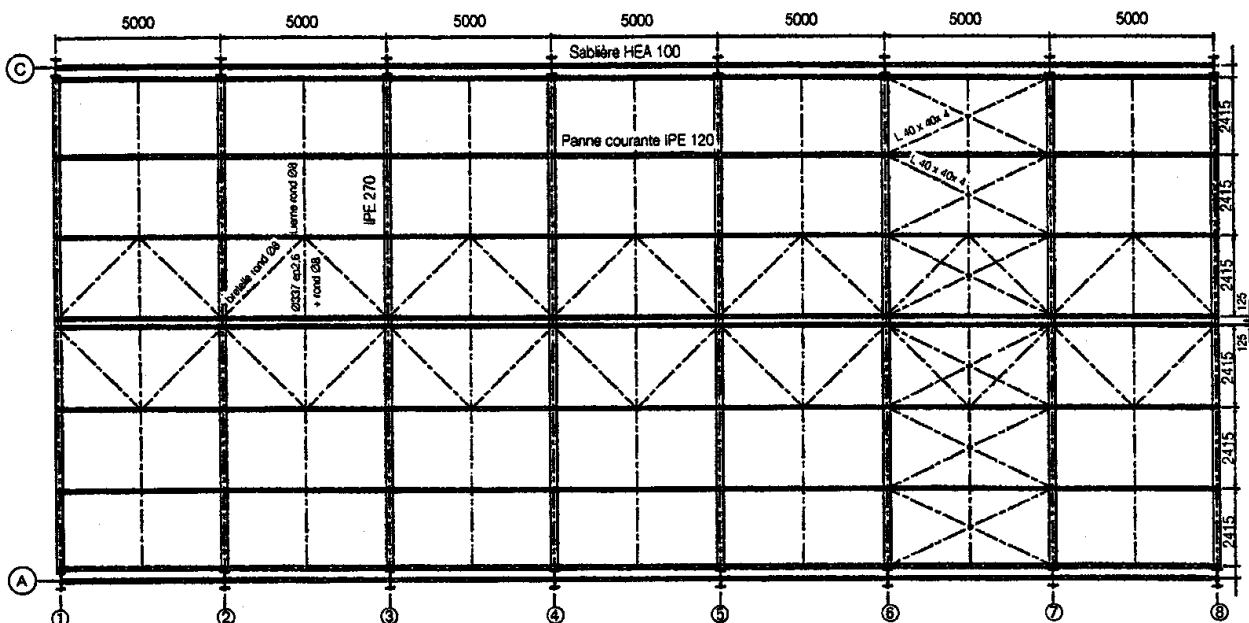
### B/ Les plans d'ensemble

Le plan d'ensemble se compose pour un bâtiment :

- des vues en élévation des files caractéristiques (long-pan, pignon, portique courant).



- de la vue en plan de la toiture.



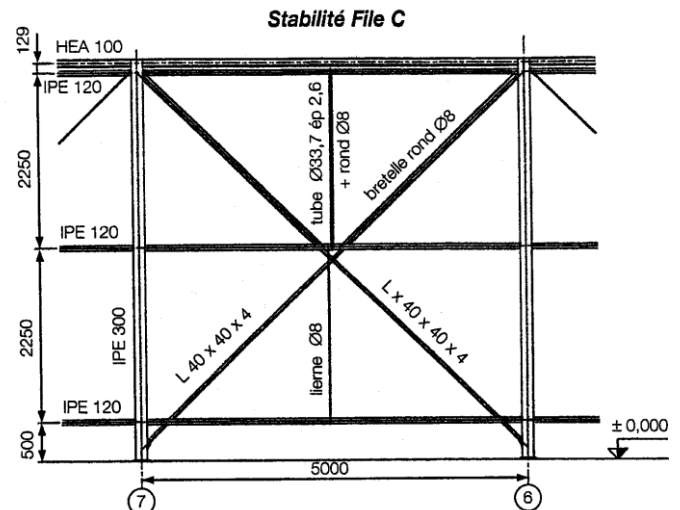
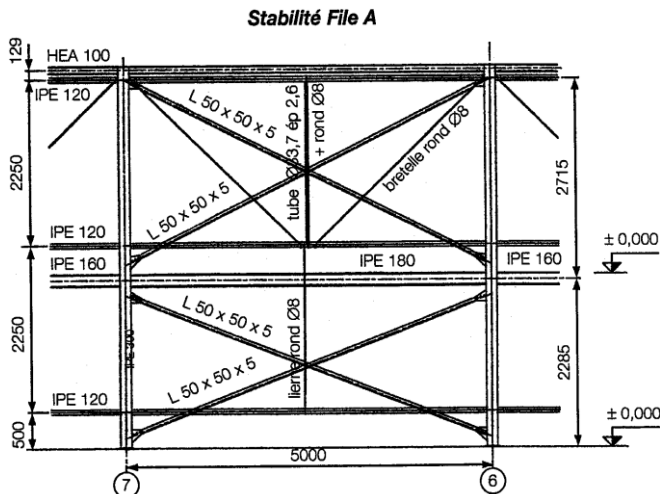
- éventuellement des dessins de détail.



Les conventions de représentation sont :

- les distances entre les axes des différents profils sont à l'échelle.
- Les hauteurs et largeurs des profils en I, H, U, L ne sont pas à l'échelle. Utiliser des valeurs qui respectent les proportions.
- Faire un repérage des files.
- Pour faire les vues en élévation des longs-pans et pignons : regarder de l'extérieur du bâtiment.
- Ne dessiner que les profils qui sont dans la file à représenter.
- La toiture est vue en plan et non en projection.
- Désigner les profils.
- Coter les entraxes et les niveaux.
- Placer un titre au dessus de chaque vue.
- Dans certains cas repérage des différents

éléments. En théorie c'est le rôle du bureau des méthodes. Dans la pratique cela dépend de l'entreprise et de son organisation. En CAO le repérage est nécessaire car le logiciel de dessin est associé à un logiciel de traçage automatique des éléments.

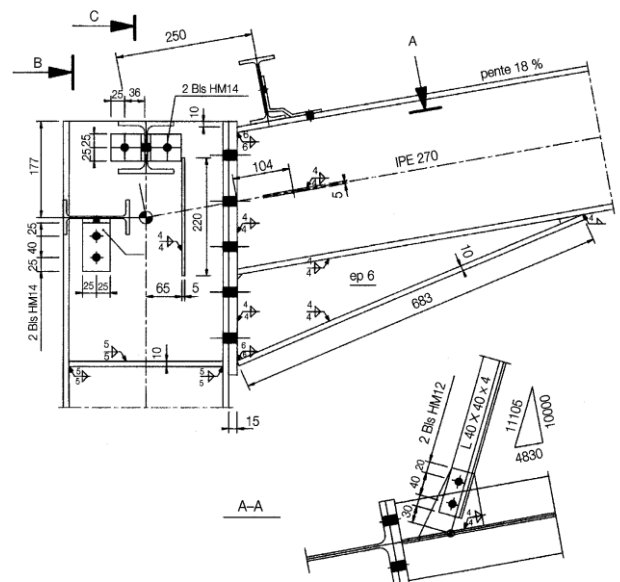


### C/ Les plans de sous-ensembles

Les plans de sous-ensembles se composent pour un bâtiment :

- des vues d'une ou plusieurs zones du plan d'ensemble (par exemple : stabilités).
- éventuellement des dessins de détail. Échelle courante 1:25 ou 1:50.

### D/ Les plans de détails



C'est la représentation de tous les détails d'assemblages repérés sur le plan d'ensemble ou de sous-ensemble avec autant de vues qu'il est nécessaire pour une bonne compréhension. Plusieurs plans peuvent être nécessaires.

remarque : les boulons posés en chantier sont noirci contrairement à ceux posés en atelier que l'on laisse blancs.

Il est possible de représenter les détails sur les plans d'ensemble ou de sous-ensemble.

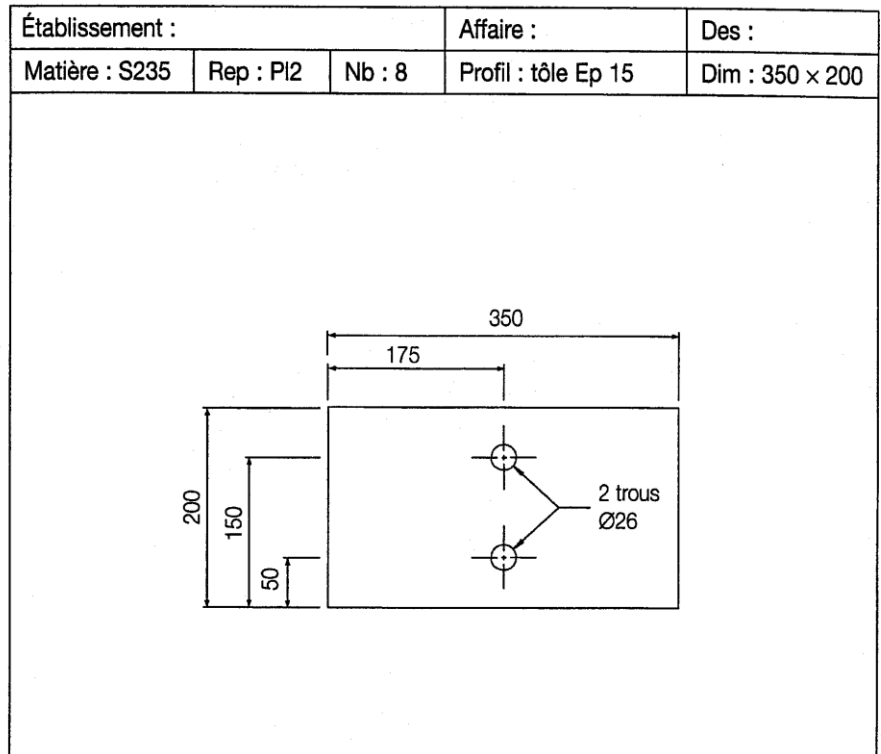
Échelle courante 1:4 ou 1:5.

### E/ Les plans de fabrication (feuille de traçage)

C'est le dessin d'un élément isolé avec sa cotation complète de fabrication (cotation par rapport à un référentiel). Ce dessin est réalisé à partir des dessins de détails.

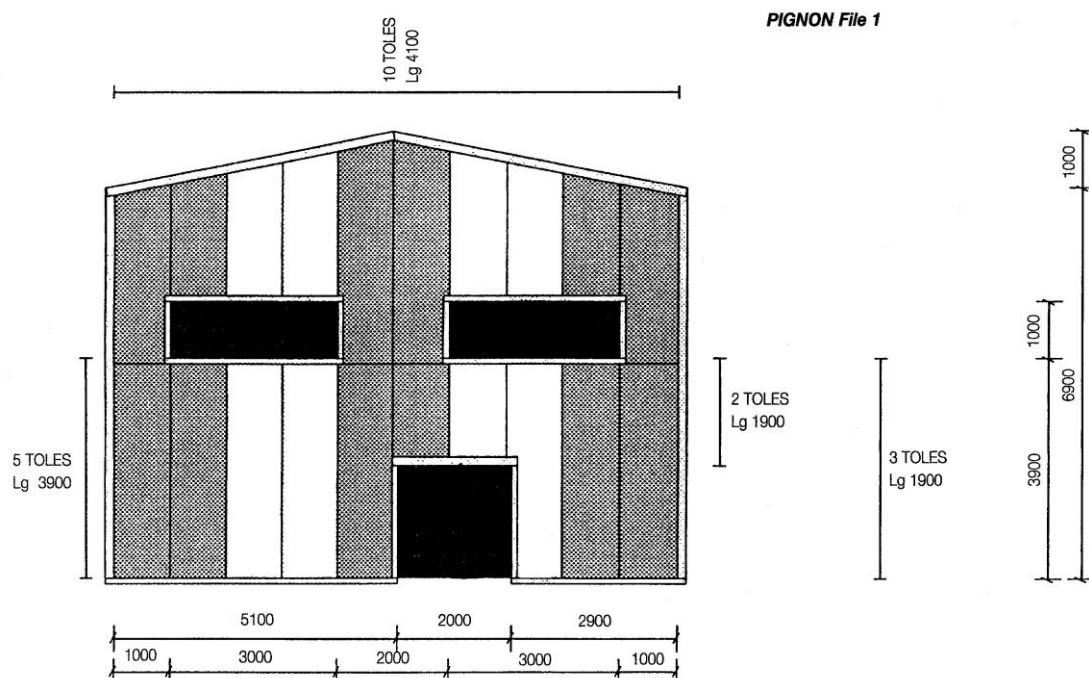
Ce dessin est utilisé pour la réalisation de l'élément à l'atelier.

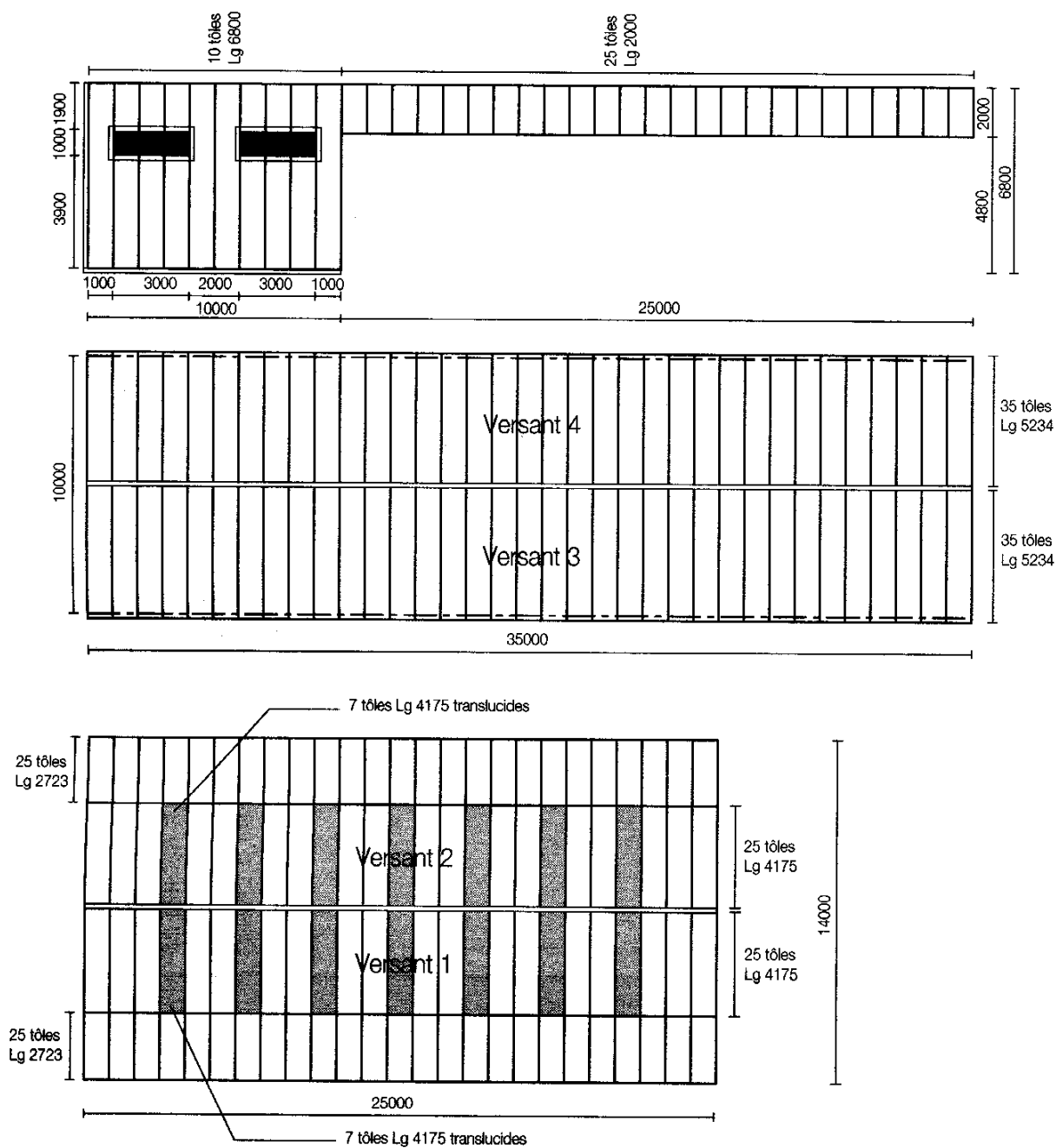
Avec la conception assistée par ordinateur (CAO) ces dessins sont obtenus automatiquement à partir du plan d'ensemble.



### F/ Les plans de calepinage

C'est la représentation de la disposition de surfaces élémentaires (tôles, plaques) avec indication du nombre, des dimensions et du type.





### VI/ LA REGLEMENTATION EN C.M.

Jusqu'en 1993, la conception et le calcul des constructions métalliques étaient régis par différentes réglementations :

- les règles de calcul des constructions en acier, dites règles CM 66, qui réglementaient tous les bâtiments en acier,
- le titre V du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes, intitulé conception et calcul des ponts et constructions métallique en acier, qui réglementait tous les ponts et ouvrages d'art,
- des normes NF, qui régissaient les calculs des assemblages et des éléments à parois minces :
  - les assemblages rivés : normes NF P 22 410 et P 22 411,
  - les assemblages par boulons non précontraints : normes NF P 22 430 et P 22 431
  - les assemblages par boulons à serrage contrôlé : normes NF P 22 460 à P 22 469
  - les assemblages soudés : normes NF P 22 470 à P 22 472,
- l'additif 80, qui introduisait les notions de plasticité de l'acier et d'états-limites, ce qui permettait de tirer parti des propriétés élasto-plastiques de l'acier et d'alléger ainsi les structures.

Depuis 1993, une nouvelle réglementation européenne est entrée en vigueur et impose, un remplacement de ces divers et précédents textes, un code unique : l'*Eurocode 3*.

L'*Eurocode 3*, *Calcul des structures en acier*, a été adopté par le Comité européen de normalisation (CEN) en 1992 et a été classé norme provisoire pour une durée de 3 années (1993 à 1996).

Chaque pays de la Communauté européenne ajuste les modalités d'application de ce nouveau

règlement sur son territoire, au moyen d'un *Document d'application national* (DAN).

Pendant la période probatoire de 3 ans, le statut expérimental de l'*Eurocode EC 3*- DAN existera conjointement avec les règles antérieures (CM 66, Additif 80, Titre V du Fascicule 61 pour les ouvrages d'art), qui disparaîtront à compte de 1996, lorsque l'*Eurocode 3* deviendra une norme européenne homologuée (EN).

Tableau récapitulatif

CM66	DTU P 22-701 (Document Technique Unifié)	Règles de calcul des constructions en acier.	Basé sur le comportement élastique de l'acier.
Additif 80	Revue Construction Métallique n°1 - 1981 du CTICM (Centre Technique Industriel de la Construction Métallique)	Règles de calcul des constructions en acier.	Prend en compte la plastification de l'acier. Introduit la notion d'états limites.
Norme	NF P 22-410 et 411	Assemblages rivés.	Remplace l'article 4,1 du CM66.
Norme	NF P 22-430 et 431	Assemblages par boulons non précontraints.	
Norme	NF P 22-460, 461, 462, 463, 464, 466, 468, 469	Assemblages par boulons à serrage contrôlé.	Pour les boulons à haute résistance (boulons HR).
Norme	NF P 22-470 et 471	Assemblages soudés soumis à un chargement statique.	Remplace l'article 4,3 du CM66.
Norme	NF P 22-250, 251, 252, 255	Assemblages soudés de profils creux.	
NV65	DTU P 06-002	Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et Annexes.	
N84	DTU P 06-006	Action de la neige sur les constructions.	Modification de la partie neige des règles neige et vent NV65.
Normes		Normes diverses spécifiques ou non de la construction métallique. engins de levage, sécurité.	Exemples : Couvertures et bardages, garde-corps, éléments de fixation,
Recommandations		Recommandations relatives à la construction métallique.	Exemple : Calcul et exécution des chemins de roulement de ponts roulants.
Eurocode 3-DAN	NF P 22-311	Calcul des structures en acier et Document d'Application Nationale.	Destiné à remplacer le CM66, l'Additif 80 et les normes sur les assemblages.

## VII/RESISTANCE DES MATERIAUX

### A/ Généralités

#### 1°) Quelques définitions

La R.D.M. : La R.D.M. permet de prédimensionner par le calcul les différentes pièces d'une construction en fonction de :

- la sécurité (contraintes  $24 \text{ kg} \times \text{mm}^2$ )
- l'économie (gain de poids)
- les déformations

Les unités :

- *longueurs* : mm ; cm ; m
- *poids* : kg ; N (newton) daN (décanewton)  $1 \text{ daN} \approx 1 \text{ kg}$
- *contraintes* :  $\text{kg} / \text{mm}^2$  ;  $\text{kg} / \text{cm}^2$  ;  $\text{daN} / \text{mm}^2$  ;  $\text{daN} / \text{cm}^2$   
 $\text{Mpa (mégapascal)} = \text{N} / \text{mm}^2 = 10 \times \text{daN} / \text{mm}^2$   
 $\text{Mpa (mégapascal)} = 100 \times \text{Pa (pascal)}$   
 symbole  $\sigma$  (sigma) ;

élasticité pour l'acier :  $\sigma_e = 24 \text{ daN} / \text{mm}^2$  (pondéré) = 240 Mpa

$\sigma_e = 16 \text{ daN} / \text{mm}^2$  (non pondéré) = 160 Mpa

pour l'aluminium  $\sigma_e = 17 \text{ daN} / \text{mm}^2$  (pondéré) = 170 Mpa

cisaillement pour l'acier :  $\sigma_{cis} = 0.65 \times \sigma_e$  ou  $\sigma_e / \sqrt{3}$

La statique : Partie de la mécanique rationnelle qui étudie les conditions d'équilibre des corps au repos sous l'action des forces qu'ils supportent.

La dynamique : Partie de la mécanique rationnelle qui étudie le comportement des structures sous l'effet de mises en charges brutales (chocs) ou périodiques entretenues (vibrations), pouvant conduire à une majoration des contraintes maximales.

#### 2°) Force

On nomme force toutes actions causant une déformation ou une variation de mouvement. Une force est définie par sa ligne d'action, son sens, son intensité et son point d'application. On peut déplacer une force suivant sa ligne d'action. Une force peut être :

- **normale** c'est à dire perpendiculaire à la section soit en traction soit en compression

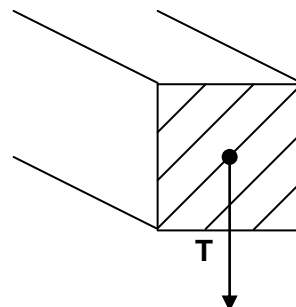
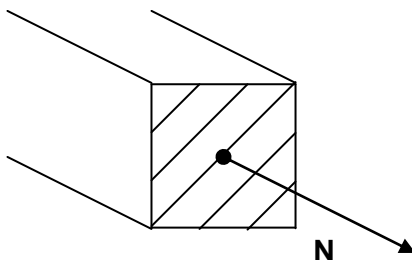
Symbole : N

Contrainte :  $\sigma$  (Sigma)

- **tangentielle** c'est à dire parallèle à la section en cisaillement uniquement

Symbole : T

Contrainte :  $\tau$  (tau)





Par convention :

une force ascendante sera dite positive ↗  
une force descendante sera dite négative ↘

une force de gauche à droite sera dite positive →  
une force de droite à gauche sera dite négative ←

### 3°) Moment

Le moment d'une force par rapport à un point est le produit de cette force par un bras de levier perpendiculaire. L'équilibre actions/réactions est fondamental. C'est pourquoi, avant toute chose il faut, en résistance des matériaux, calculer l'équilibre du cas à calculer.

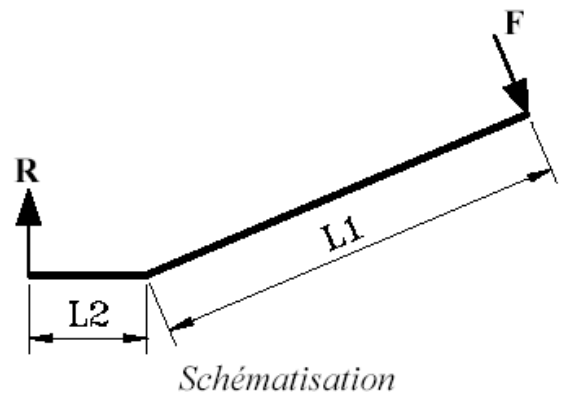
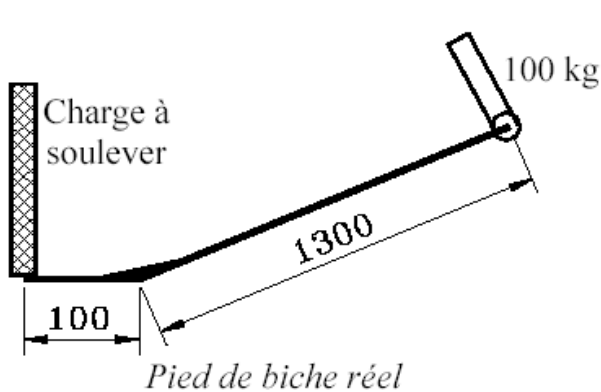
Le symbole représentant le moment est celui-ci :



La flèche indique le sens : ici (sens horaire). Le moment est positif

### Exemples numériques :

Calcul d'effort en bout d'un pied de biche :



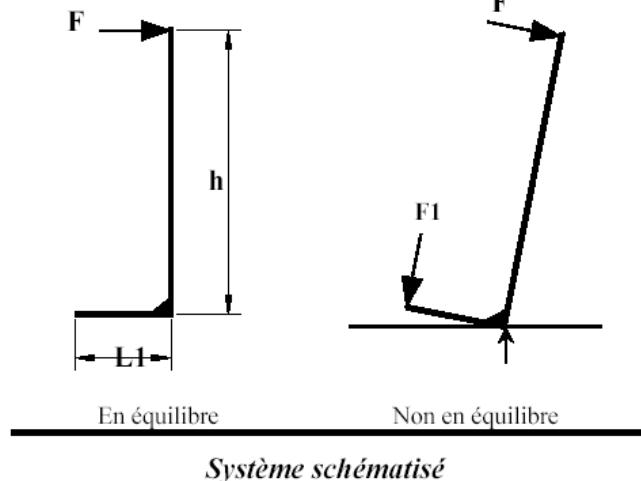
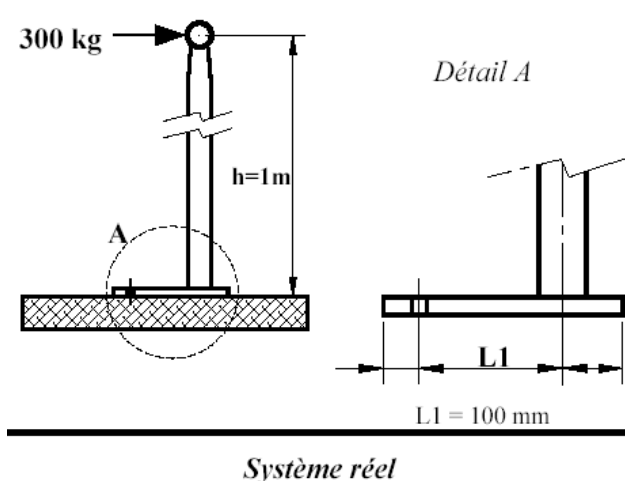
On recherche l'équilibre : action + réaction = 0

avec l'action =  $F \times L1$  et la réaction =  $R \times L2$

Si la réaction est égale à l'action (équilibre des forces) alors :  $F \times L1 = R \times L2$

$$\text{et } R = \frac{F \times L1}{L2} \quad \text{dans notre cas, } R = \frac{100 \times 1300}{100} = 1300 \text{ kg soit 1,3 tonnes}$$

Calcul de l'effort s'exerçant sur les chevilles d'une platine de garde-corps :



Pour qu'il y ait équilibre, il faut que  $F_1$  puisse plaquer la platine au sol.

**Écrivons cela** : s'il y a équilibre, les actions sont égales aux réactions avec :

actions :  $F \times h$       réactions :  $F_1 \times L_1$       ( force  $\times$  distance )

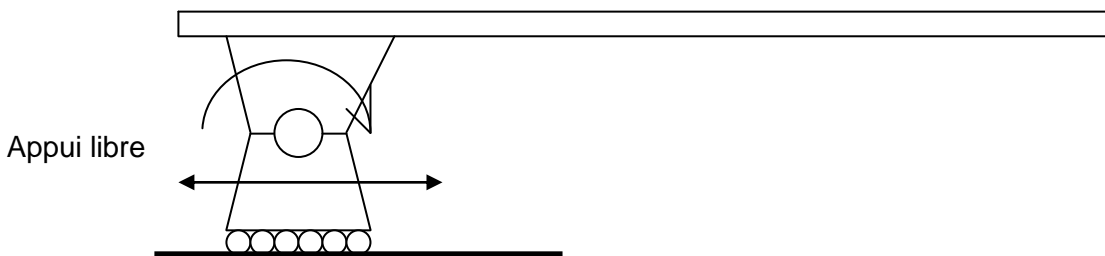
et  $F \times h = F_1 \times L_1$  d'où  $F_1 = \frac{F \times h}{L_1}$  , soit ici  $F_1 = \frac{300 \times 100}{10} = 3000 \text{ kg}$ .

Si la platine comporte un boulon, il devra reprendre 3000 kg, avec 2 boulons 1500 kg, etc.

### 4°) Appuis

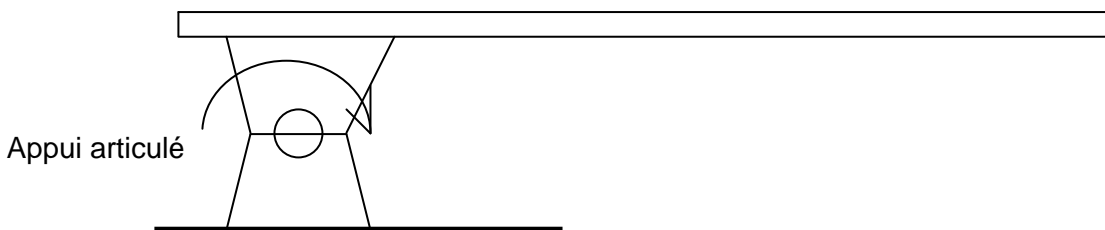
#### Appuis du 1<sup>er</sup> genre

Il s'agit d'une conception d'appui qui assure toute liberté de rotation ainsi qu'une possibilité de translation ces deux phénomènes font que cet appui est dit à deux degrés de liberté par ailleurs cet appui est dit simple parce qu'il ne comporte qu'une inconnue : sa grandeur.



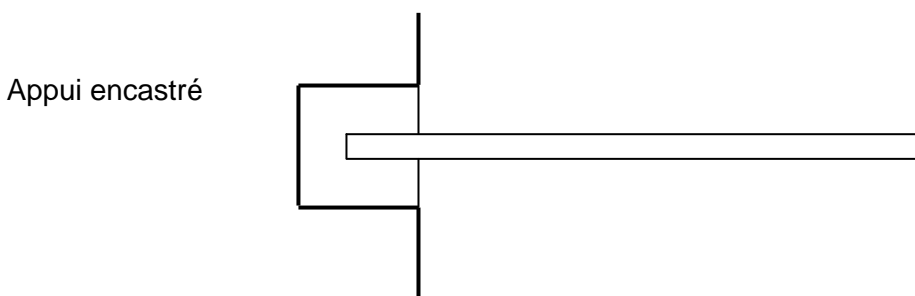
#### Appuis du 2<sup>ème</sup> genre

C'est appui est également appelé appuis à rotules. Sa conception est telle qu'elle ne permet qu'une rotation c'est pourquoi cet appui est dit à un degré de liberté par ailleurs il est dit double parce qu'il comporte deux inconnues : sa grandeur et sa direction.



#### Appuis du 3<sup>ème</sup> genre

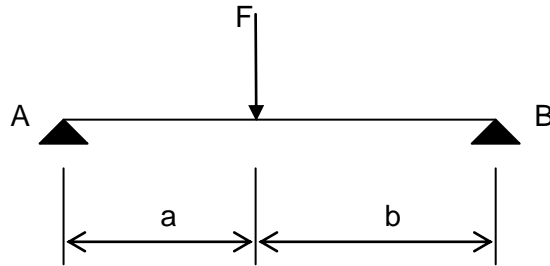
Appui fixe sa conception ne permettant aucun déplacement, nous ne connaissons donc aucun élément caractéristique de la réaction d'appui : direction, grandeur, point d'application = 3 inconnues.



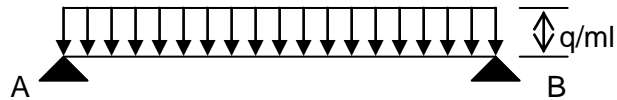


### 4°) Différents cas de charge

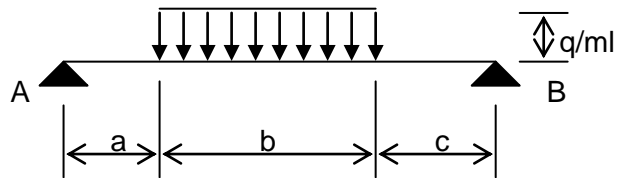
- Charge ponctuelle



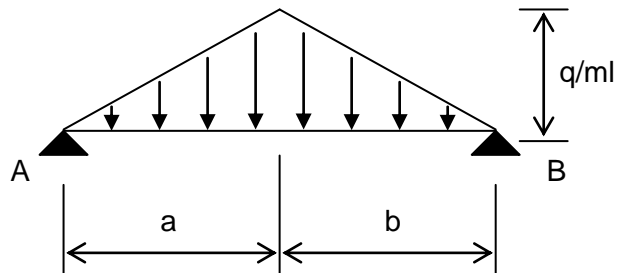
- Charge uniformément répartie



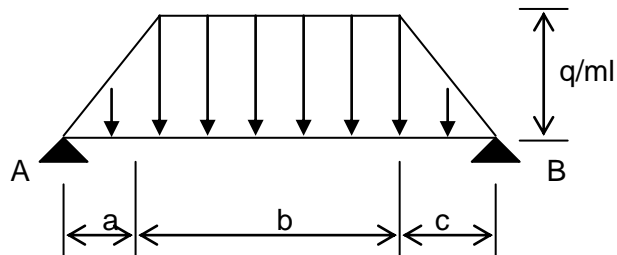
- Charge partiellement répartie



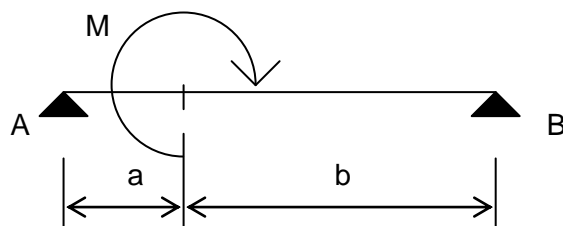
- Charge triangulaire



- Charge trapézoïdale



- Moment



### B/ Calcul de poutre

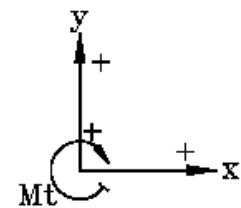
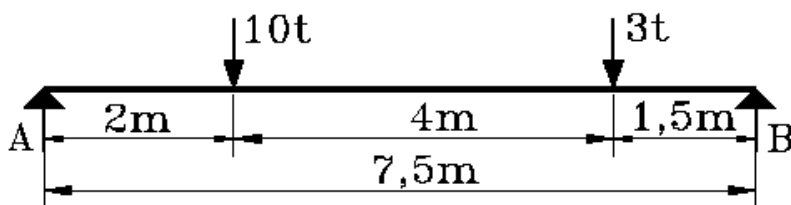
#### 1°) Mise en équilibre

Trois conditions sont à remplir pour qu'un système soit en équilibre :

- 1° condition : la somme des forces horizontales = 0 →  $\sum F_x = 0$
- 2° condition : la somme des forces verticales = 0 →  $\sum F_y = 0$
- 3° condition : la somme des moments = 0 →  $\sum M_t = 0$

exemples :

cas de charges ponctuelles



Convention des signes

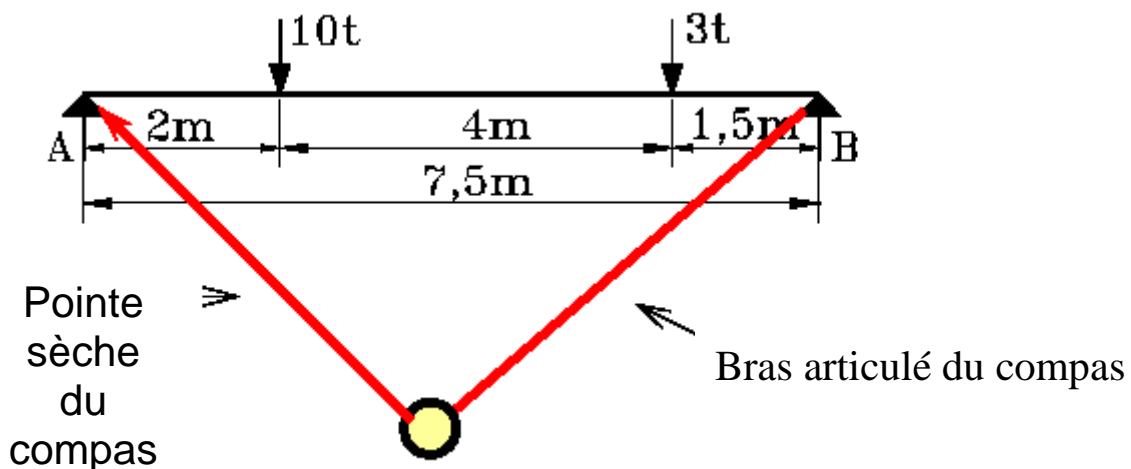
Dans le cas ci-dessus, 2 charges ponctuelles s'appuient sur la barre : ce sont les actions.

Les réactions se situent aux appuis A et B. On les nomme généralement  $R_a$  (Réaction d'appui en a) et  $R_b$ .

*Appliquons la vérification de l'équilibre de la barre :*

- $\sum F_x = 0$  : Il n'y a aucun effort horizontal, donc cela est vérifié.
- $\sum F_y = 0$  :  $-10t - 3t + R_a + R_b = 0$ ; Nous ne connaissons pas  $R_a$  et  $R_b$ .
- $\sum M_t = 0$  : Cela est vrai en tout point ( $\sum M_t$  en A,  $\sum M_t$  en b, etc.) s'il y a équilibre. Cette vérification va nous servir à trouver  $R_a$  et  $R_b$

Effectuons la somme des moments au point A ( $\sum M_t(A)$ ). Pour cela, et pour imaginer la démarche, prenons un compas et plantons la pointe sèche en A, compas fermé. Nous allons ensuite effectuer une somme de moments par rapport au point A, c'est-à-dire une somme de force  $\times$  distance.



Compas pointe sèche en A. Ouvrons le. On rencontre la charge de 10 t, vers le bas ; le moment sera donc  $+ 10 \text{ t} \times 2 \text{ m}$  (signe +, car la branche articulée du compas tourne dans le sens indiqué par la convention des signes).

Ouvrons le compas de nouveau. On rencontre la charge de 3 t, dirigée vers le bas ; le moment sera donc de  $+ 3 \text{ t} \times 6 \text{ m}$ .

Enfin, ouvrons le compas encore une fois. Nous rencontrons la charge  $R_b$  dirigée (a priori) vers le haut. Le moment sera donc de :

$$- R_b \times 7,5, \text{ m.}$$

En résumé, nous avons :

$$\begin{aligned} \sum M_t (A) &= + 10 \times 2 + 3 \times 6 - R_b \times 7,5 = 0 \quad (= 0 \text{ car équilibre}) \\ + 10 \times 2 + 3 \times 6 - R_b \times 7,5 &= 0, \text{ est un système à une équation et une inconnue.} \\ 38 - 7,5 \times R_b &= 0 \quad \text{et } 38 = 7,5 \times R_b \\ R_b &= 38 / 7,5 = 5,067 \text{ tonnes} \end{aligned}$$

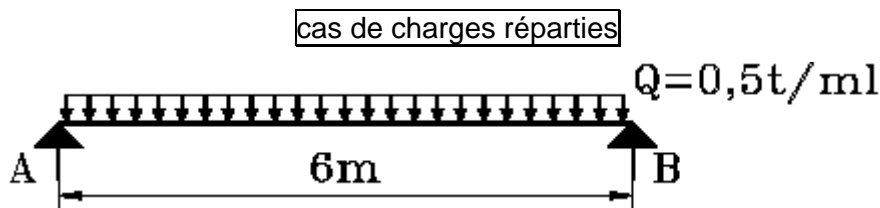
Plantons maintenant la pointe sèche de notre compas au point B et fermons le. En l'ouvrant progressivement sur la gauche, on va rencontrer la charge de 3 t, tournant dans le sens négatif (par rapport à notre convention). Le moment sera de  $- 3 \text{ t} \times 1,5$ . Ouvrons de nouveau le compas ; nous allons ensuite rencontrer la charge de 10 t et  $R_a$ .

En résumé, nous aurons :

$$\begin{aligned} \sum M_t (B) &= - 3 \times 1,5 - 10 \times 5,5 + R_a \times 7,5 = 0 \quad (= 0 \text{ car équilibre}) \\ - 59,5 &= - 7,5 \times R_a \quad \text{et} \quad R_a = - 59,5 / - 7,5 = + 7,933 \text{ tonnes.} \end{aligned}$$

Et maintenant, on peut vérifier si  $\sum F_y = 0$  :

actions :	$-10 \text{ t} - 3 \text{ t}$	$= - 13 \text{ t}$
réactions :	$5,067 + 7,933$	$= +13 \text{ t}$
actions + réactions :	$13 \text{ t} - 13 \text{ t}$	$= 0, \text{ donc équilibre !}$



Le chargement étant symétrique par rapport aux 2 appuis, on a  $R_a = R_b$

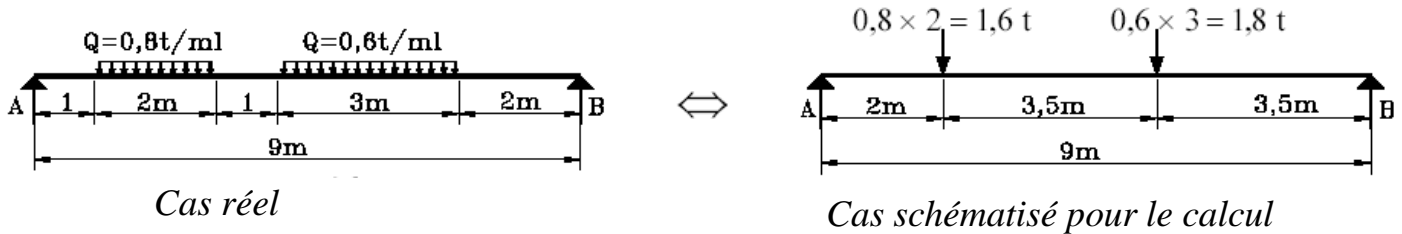
$$\text{et } \sum F_y = + 0,5 \text{ t/m} \times 6 \text{ m} - 2 \times R_a = 0, \quad (\text{pointe sèche en B})$$

Lire : "Somme des efforts suivant l'axe y (vertical) est égal à ..... et le tout est égal à zéro, si équilibre".

$$3 = 2 \times R_a \text{ et } R_a = R_b = 3 / 2 = 1,5 \text{ tonnes.}$$

$$\sum F_y = - (0,5 \times 6) + 2 \times 1,5 = 0 \quad \blacktriangleright \text{ Condition d'équilibre vérifiée.}$$

### cas de charges partiellement réparties



Pour simplifier la démarche, la charge partiellement répartie se transforme en charge ponctuelle fictive (qui n'existe que pour le calcul d'équilibre). Ensuite, la démarche pour calculer les réactions d'appuis reste identique à celle d'un cas de charge ponctuel. Nous aurons ensuite :

$$\sum M_{(A)} = + 1,6 \times 2 + 1,8 \times 5,5 - R_b \times 9 = 0, \quad \text{si équilibre}$$

$$+ 13,1 = + R_b \times 9 \quad \text{et} \quad R_b = \frac{13,1}{9} = 1,4556 \text{ tonnes}$$

$$\sum M_{(B)} = - 1,8 \times 3,5 - 1,6 \times 7 + R_a \times 9 = 0, \quad \text{si équilibre}$$

$$- 13,5 = - R_a \times 9 \quad \text{et} \quad R_a = \frac{- 17,5}{- 9} = 1,9444 \text{ tonnes}$$

Vérifions ensuite que :

$$\sum F_y = 0. \text{ et } \sum F_y = \underbrace{-(0,8 \times 2 + 0,6 \times 3)}_{\text{actions}} + \underbrace{+ 1,4556 + 1,9444}_{\text{réactions}} = 0$$

$$\text{actions} + \text{réactions} = 0 \quad \text{donc équilibre}$$

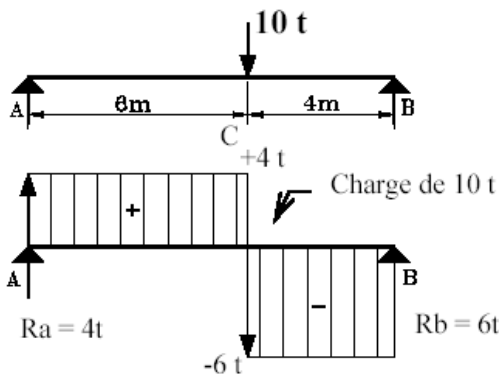
### 2°) Les efforts tranchants et les moments fléchissant

Le calcul de mise en équilibre d'une barre n'est pas suffisant pour dimensionner une barre. Pour cela, il nous faut visualiser les efforts internes qui sont dans la barre. Que se passe-t-il dans une barre chargée ? Comment cheminent les efforts et où sont-ils ? Comment dimensionne-t-on une barre ?

#### a) Les efforts tranchants

Les efforts tranchants sont des efforts de cisaillement qui agissent tout le long de la barre, avec plus ou moins d'intensité.

#### Charge ponctuelle :



Mise en équilibre

$$R_a = \frac{10 \times 4}{10} = 4 \text{ t} \quad \text{et} \quad R_b = \frac{10 \times 6}{10} = 6 \text{ t}$$

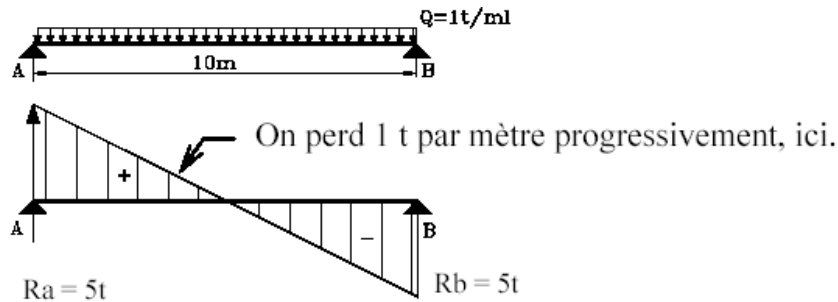
Graphique  
(diagramme)  
des efforts  
tranchants

au point A  $\Rightarrow R_a = +4t$   
entre A et C  $\Rightarrow$  pas de perte de charge  
en C  $\Rightarrow$  on perd 10 t. On arrive à -6 t  
entre C et B  $\Rightarrow$  pas de perte de charge  
en B  $\Rightarrow R_b = + 6 \text{ t}$  et ramène à zéro.

Pour tracer le graphique (diagramme), on porte la valeur de  $R_a$  sur l'appui A (à l'échelle), puis on décompte toutes les charges en allant vers l'appui B. S'il n'y a pas d'erreur, on doit retrouver la valeur de  $R_b$ .

Dans le cas ci-dessus, les boulons de l'attache au droit de l'appui A devront résister à un effort de cisaillement de 4 t (et de 6 t en B).

**Charge répartie :**



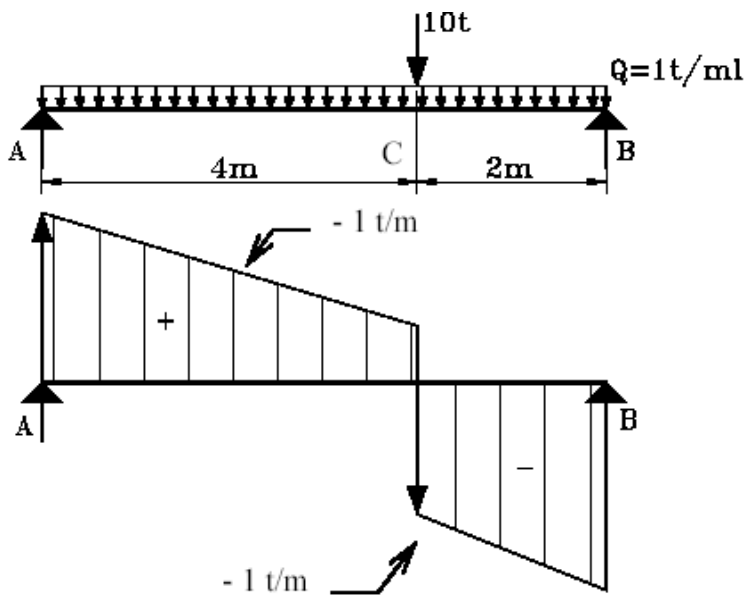
Mise en  
équilibre

$$R_a = R_b = \frac{1 \times 10}{2} = 5t$$

Graphique  
(diagramme)  
des efforts  
tranchants

au point A  $\Rightarrow R_a = +5t$   
entre A et B  $\Rightarrow$  on perd  
régulièrement 1t  
il reste :  
 $5 - 1 \times 10 = -5t$   
au point B  $\Rightarrow R_b = +5t$  et  
ramène à zéro

**Chargement composé :**



Mise en  
équilibre

$$R_b = \frac{10 \times 4}{6} + \frac{1 \times 6}{2} = 9,667 t$$

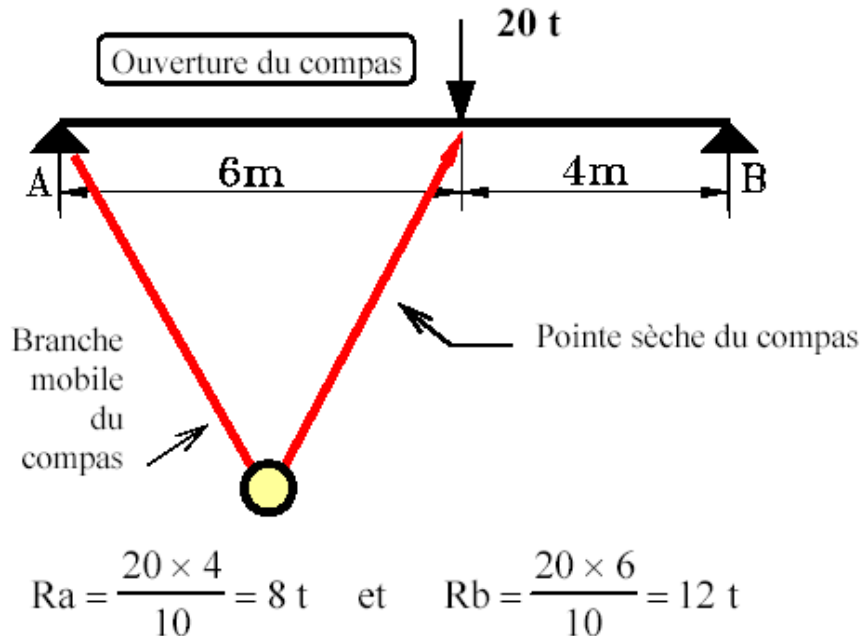
$$R_a = \frac{10 \times 2}{6} + \frac{1 \times 6}{2} = 6,333 t$$

Graphique  
(diagramme)  
des efforts  
tranchants

Au point A  $\Rightarrow R_a = +9,667 t$   
entre a et C  $\Rightarrow$  on perd 1 t par mètre  
en C, à gauche  $\Rightarrow$  on a :  $+9,667 - 1 \times 4$   
 $= +5,667t$   
en C  $\Rightarrow$  on perd 10 t  
en C, à droite  $\Rightarrow$  on a  $+5,667 - 10$   
 $= -4,333 t$   
entre C et B  $\Rightarrow$  on perd 1 t/m  
en B, à gauche  $\Rightarrow$  on a  $-4,333 - 1 \times 2$   
 $= -6,333$   
en B  $\Rightarrow R_b = +6,333$  et  
ramène à zéro

### b) Les moments fléchissant

On visualise ici les efforts qui vont fléchir la poutre.



Pour rechercher le moment en un point donné de la poutre, il faut calculer la somme des moments exercés par chaque charge appliquée (action et réaction), à gauche ou à droite de ce point.

exemples :    *Calcul du moment au point  $x = 6 \text{ m}$  (à partir de l'appui A)*

Comme pour la mise en équilibre, nous allons reprendre notre compas (imaginaire) et le planter en pointe sèche au point  $x = 6 \text{ m}$ . En l'ouvrant à gauche nous allons balayer toutes les charges rencontrées.

On écrit :     $\sum M_t (x) = \sum M_t (6 \text{ m})_g = \text{etc...}$

On lit : la somme des moments au point  $x$ , c'est à dire au point  $x = 6 \text{ m}$  à partir de l'appui A, est égale à etc. la lettre 'g' indique que l'on va ouvrir la branche mobile du compas à gauche (g comme gauche).

$$\sum M_t (6)_g = + 8 \times 6 = + 48 \text{ t.m} \quad (\text{Attention à la convention des signes !!!})$$

$$\sum M_t (6)_d = - 12 \times 4 = - 48 \text{ t.m} \quad (\text{Attention à la convention des signes !!!})$$

Si équilibre,  $M_t$  à gauche +  $M_t$  à droite = 0, et  $- 48 + 48 = 0 \text{ tm}$ .

### ATTENTION !!!

*Si on ouvre la branche du compas à droite, il ne faut pas oublier d'inverser le signe, pour avoir l'équivalence du calcul avec une ouverture à gauche.*

$$\text{C'est-à-dire : } \sum M_t (6)_g = - \sum M_t (6)_d = +48 \text{ m.t}$$

Le calcul des moments en différents points particuliers de la poutre permettra de pouvoir tracer le graphique des moments fléchissant :

$$\sum Mt(0)_g = +8 \times 0 = 0 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(1)_g = +8 \times 1 = +8 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(2)_g = +8 \times 2 = +16 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(3)_g = +8 \times 3 = +24 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(4)_g = +8 \times 4 = +32 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(5)_g = +8 \times 5 = +40 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(6)_g = +8 \times 6 = +48 \text{ t.m}$$

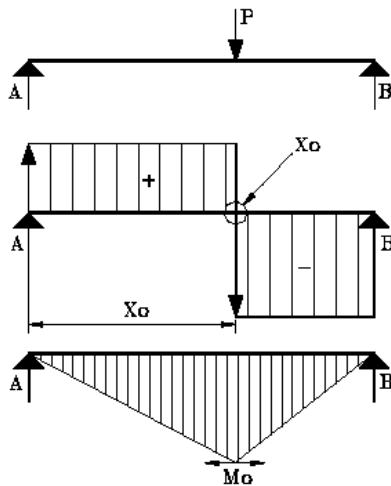
$$\sum Mt(6)_d = -(-12 \times 4) = +48 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(7)_d = -(-12 \times 3) = +36 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(8)_d = -(-12 \times 2) = +24 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(9)_d = -(-12 \times 1) = +12 \text{ t.m}$$

$$\sum Mt(10)_d = -(-12 \times 0) = 0 \text{ t.m}$$



Cas de charge

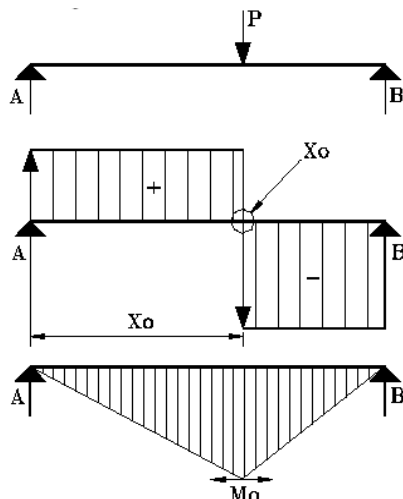
Graphique des efforts tranchant

Graphique des moments fléchissant

La valeur maximale du moment fléchissant est de +48 m.t. C'est avec cette **valeur maximale de flexion** que l'on va ensuite dimensionner la poutre. L'objectif, en traçant les schémas des efforts tranchants et moments fléchissant, est de rechercher la valeur maximum de flexion, et l'endroit où elle se produit.

### 3°) Calcul du moment maximum

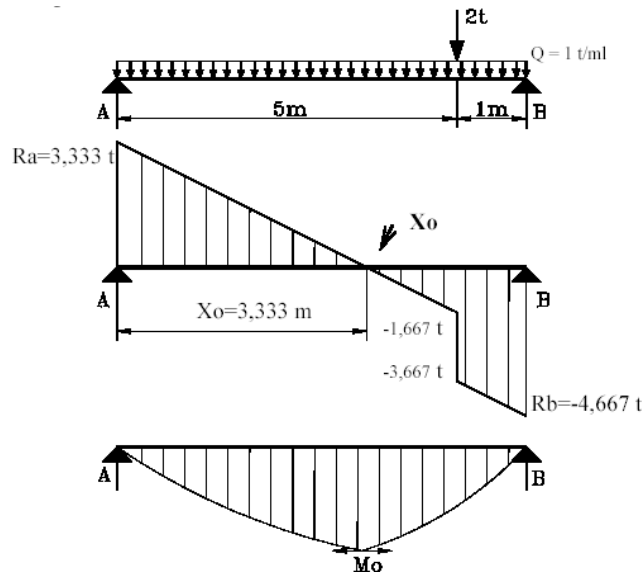
La détermination de l'endroit où le moment de flexion est maximum nécessite souvent la présence des graphiques des efforts tranchant et des moments fléchissant. Le moment maximum s'appelle  $M_0$  (lire M zéro) et l'endroit où il se situe  $X_0$  (lire X zéro). Une relation mathématique fait en sorte que  $M_0$  sera toujours à l'endroit où se situe  $X_0$ .



$X_0$  sera déterminé sur le graphique des efforts tranchants. Il se situe là où la courbe franchit l'axe des x (point d'effort tranchant nul).

### Détermination de $X_0$

Exemple :



$$Ra = \frac{2 \times 1}{6} + \frac{1 \times 6}{2} = 3,333 \text{ t}$$

$$Rb = \frac{2 \times 5}{6} + \frac{1 \times 6}{2} = 4,667 \text{ t}$$

$$\sum F_y = -(2 + 1 \times 6) + Ra + Rb = 0$$

Dans certains cas, trouver la valeur de  $X_0$  nécessite un petit calcul. Il s'agit le plus souvent de faire une règle de 3.

À titre d'exemple, d'après le cas ci-avant :

- ⇒  $Ra = 3,333 \text{ t}$ .
- ⇒ En partant de  $Ra$  pour aller vers  $Rb$ , on perd 1 t par mètre. 1 tonne → 1 mètre
- ⇒ Au bout de combien de mètres aurons-nous perdu 3,333 t ? 3,333 tonnes → x mètres

$$\text{et } x = \frac{3,333 \text{ t} \times 1 \text{ m}}{1 \text{ t}} = 3,333 \text{ m}$$

$X_0$  se trouve donc à 3,333 m de A.

### Détermination du $M_0$

$$M_0 = M_t(3,333)_G = + 3,333 \times 3,333 - 1 \times 3,333 \times \frac{3,333}{2} = 5,554 \text{ m.t}$$

signifie que l'on ouvre le compas à Gauche

$M_0$  est donc le moment maximum et vaut ici 5,554 mt.



### 4°) Pondération (coefficient partiel de sécurité $\gamma$ )

Charges permanentes :  $\gamma G = 1.35$

Charges variables :  $\gamma Q = 1.50$

Les pondérations ne sont pas à appliquer lors du calcul de flèche (déformations).

### 5°) Dimensionnement d'une barre

Quels que soient les règlements utilisés (acier, aluminium, bois, etc.), il existe au moins 2 vérifications à faire pour dimensionner une barre.

#### a) Condition de résistance

$$W_y \text{ nécessaire} \geq \frac{M_o}{\sigma_e}$$

$$\sigma_f = \frac{M_o}{W_y} \leq \sigma_e$$

**Avec :**

$W_y$  = capacité de résistance à la flexion d'un profil

$M_o$  = moment maximum calculé

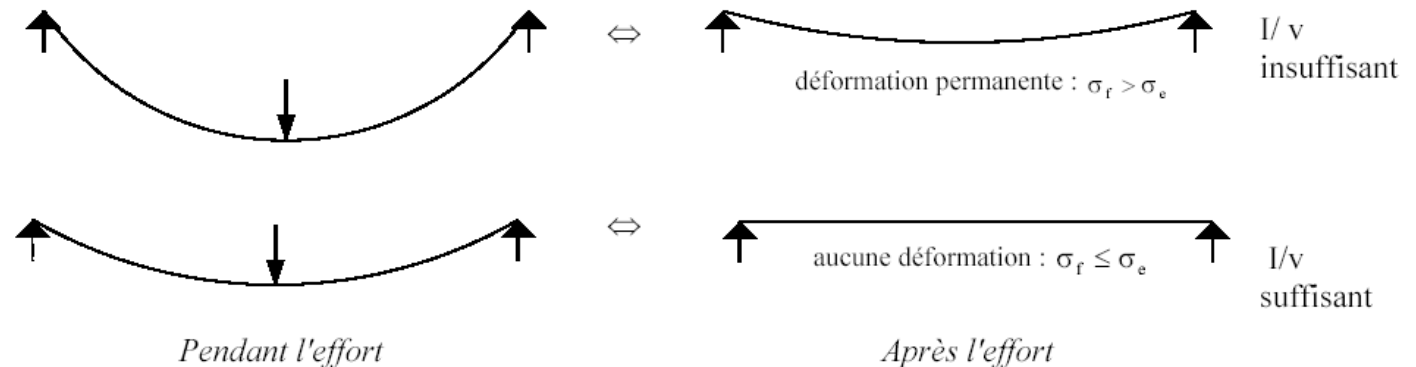
$\sigma_e$  = contrainte de flexion maximale supportée par le matériau :

acier :  $\sigma_e = 2400 \text{ kg/cm}^2$  avec pondération.

aluminium :  $\sigma_e = 1700 \text{ kg/cm}^2$  avec pondération.

$\sigma_e$  est, en quelque sorte, la pression maximale admissible du matériau.

*Flexion de la poutre sous charge :*

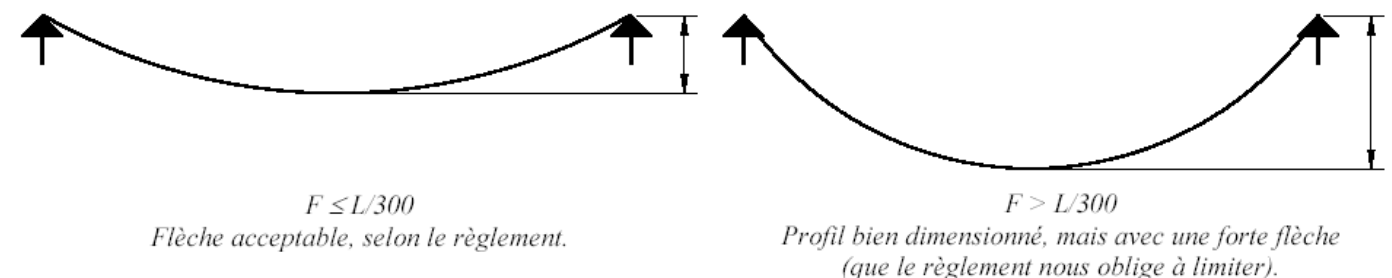


#### b) Condition de flèche

En général, les règlements conseillent une flèche de :

- 1/300 de la portée, pour les ouvrages courants.
- 1/200 de la portée, pour les ouvrages supports de couverture (pannes, etc.)

*Dimensionnement pour limiter la flèche :*



### 6°) En résumé

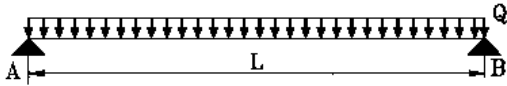
Ce calcul se décompose en plusieurs étapes qui sont :

- 1°) calcul des réactions d'appuis
- 2°) 3 vérifications sont indispensables à effectuer :  $\sum F_x = 0$ ,  $\sum F_y = 0$ ,  $\sum M_t = 0$
- 3°) Les efforts
  - Calcul des efforts tranchants.
  - tranchants :
    - Localisation du  $x_0$
    - Tracé du diagramme des E.T.
- 4°) Les moments fléchissant :
  - Calcul des moments fléchissant.
  - Calcul du moment fléchissant maximum ( $M_0$ ) au droit du  $x_0$
  - Tracé du diagramme des moments fléchissant.
- 5°) Détermination du  $W_Y$  nécessaire : condition de résistance
 
$$W_Y \text{ nécessaire} \geq M_0 / \sigma_e \quad \text{et} \quad M_0 / W_Y \leq \sigma_e$$
- 6°) Détermination du  $I_Y$  nécessaire :
  - 1/300 de la portée, pour les ouvrages courants.
  - 1/200 de la portée, pour les ouvrages supports de couverture (pannes, etc.)
    - calcul de la flèche maximum autorisée :  
 flèche maxi (en cm) = longueur de la poutre / flèche admissible
    - avec les formulaires faire le calcul du  $I_Y$  nécessaire.
- 7°) Choix d'un profil :
  - $W_Y$  du profil  $\geq$   $W_Y$  nécessaire
  - $I_Y$  du profil  $\geq$   $I_Y$  nécessaire
- 8°) vérifications :
  - contrainte à la flexion :  $\sigma_f = M_0 / W_Y \text{ du profil} \leq \sigma_e$
  - $f_{1/2} = \frac{\text{flèche maxi en cm} \times I_Y \text{ nécessaire}}{I_Y \text{ du profil}} \leq \text{flèche maxi autorisée}$

### 7°) Formulaire

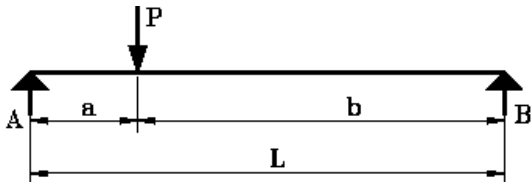
avec :  $E = 2,1 \times 10^{-6}$  et comme unités des daN et des cm

#### Charge uniformément répartie



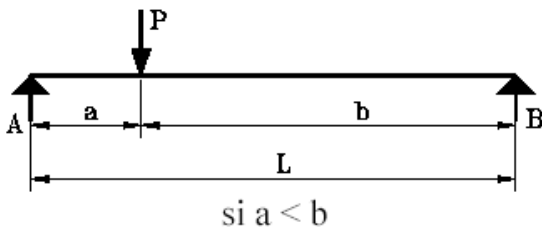
$$R_a = R_b = \frac{Q \times L}{2} \quad X_o = \frac{L}{2} \quad M_o = \frac{Q \times L^2}{8} \quad \text{Flèche à } L/2 = \frac{5 \times Q \times L^4}{384 \times E \times I}$$

#### Charge ponctuelle

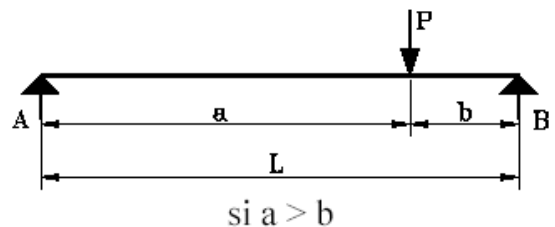


$$R_a = \frac{P \times b}{L} \quad R_b = \frac{P \times a}{L} \quad X_o = a \quad M_o = \frac{P \times a \times b}{L}$$

pour la flèche, 2 cas se présentent :

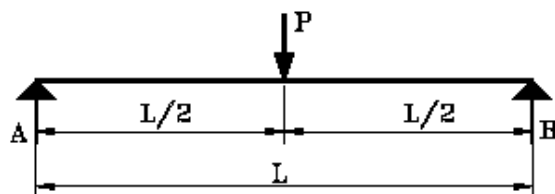


$$F_{(L/2)} = \frac{P \times a \times (3 \times L^2 - 4 \times a^2)}{48 \times E \times I}$$



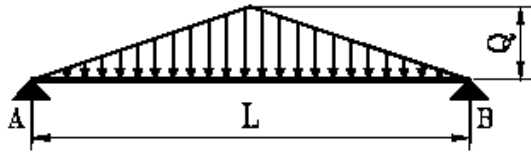
$$F_{(L/2)} = \frac{P \times b \times (3 \times L^2 - 4 \times b^2)}{48 \times E \times I}$$

un cas particulier :



$$R_a = R_b = \frac{P}{2} \quad X_o = \frac{L}{2} \quad M_o = \frac{P \times L}{4} \quad \text{Flèche à } L/2 = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I}$$

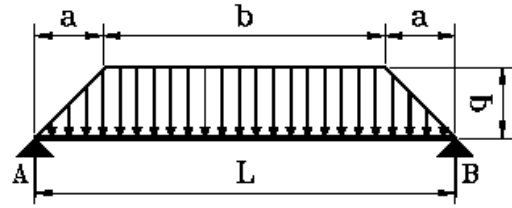
### Charge triangulaire



$$R_a = R_b = \frac{Q \times L}{4} \quad M_0 = \frac{Q \times L^2}{12}$$

$$X_0 = \frac{L}{2} \quad \text{Flèche à } L/2 = \frac{Q \times L^4}{120 \times E \times I}$$

### Charge trapézoïdale

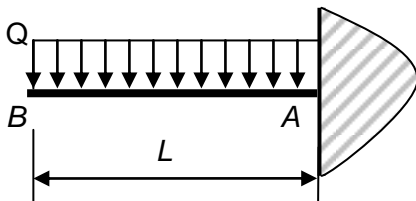


$$R_a = R_b = q \times \frac{(a+b)}{2} \quad X_0 = \frac{L}{2}$$

$$Q = q \times (a+b) \text{ et } M_0 = \frac{Q \times (3 \times L^2 - 4 \times a^2)}{24 \times (L - a)}$$

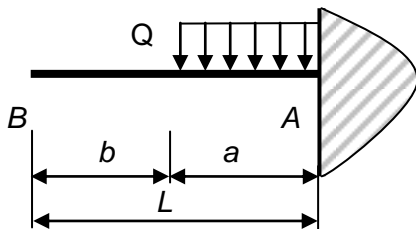
$$F_{L/2} = \frac{Q \times L^3}{(1920 \times E \times I)} \times \left[ 25 - 40 \times \left( \frac{a}{L} \right)^2 + 16 \times \left( \frac{a}{L} \right)^4 \right]$$

### Charge uniformément répartie sur console



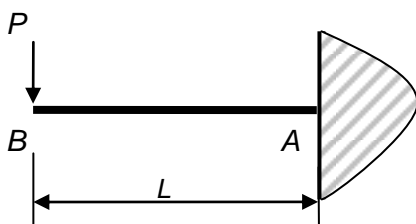
$$R_a = Q \times L \quad \text{Flèche en B} = \frac{Q \times L^4}{8 \times E \times I}$$

$$M_0 = M_A = \frac{Q \times L^2}{2} \quad X_0 = A$$



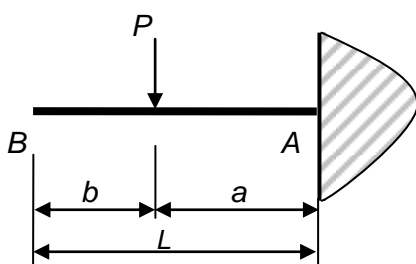
$$R_a = Q \times a \quad \text{Flèche en B} = \frac{Q \times a^3}{24 \times E \times I} \quad (3 \times a + 4 \times b)$$

$$M_0 = M_A = \frac{Q \times a^2}{2} \quad X_0 = A$$



$$R_a = P \quad \text{Flèche en B} = \frac{P \times L^3}{3 \times E \times I}$$

$$M_0 = M_A = P \times L \quad X_0 = A$$



$$R_a = P \quad \text{Flèche en B} = \frac{P \times a^2}{6 \times E \times I} \quad (2 \times L + b)$$

$$M_0 = M_A = P \times a \quad X_0 = A$$

### C/ Calcul d'attache

#### 1°) Les assemblages boulonnés (boulons ordinaires)

Ce calcul se décompose en plusieurs étapes qui sont :

1°) calcul des efforts dans le (ou les) profil, goussets... :

- calcul (ou recherche dans abaques) de la section brute du (ou des) profil :  $A_b$
- calcul de la section des trous :  $A_{\emptyset}$
- calcul de la section nette :  $A_n = A_b - A_{\emptyset}$
- l'effort admissible dans le profil :  $N_{ad} = A_n \times 24 \text{ kg/mm}^2$  ou
- la contrainte dans le (ou les) profils : l'effort exercé /  $A_n \leq \sigma_e$

2°) calcul des boulons :

- Déterminer l'effort admissible par boulons :

- suivant classe, voir abaques.
- par le calcul :

a) section réduite du boulon :

$$A_r = A_b - \text{le filetage}$$

b) résistance du boulon :

$$N_{ad} = A_r \times \text{contrainte admissible de la classe du boulon} \times 0,8$$

(Avec 0,8 = coefficient de sécurité pour boulons en traction : CM66)

$$T_{ad} = A_r \times \text{contrainte admissible de la classe du boulon} \times \text{nombre de plan de cisaillement} \times 0,65$$

(Avec 0,65 = coefficient de sécurité pour boulons en cisaillement : CM66)

- Déterminer :

- le nombre de boulons nécessaires en connaissant leur  $\emptyset$  :  
Nbr de bls = l'effort exercé sur l'assemblage /  $N_{ad}$  ou  $T_{ad}$  (suivant orientation de l'effort)
- le  $\emptyset$  des boulons nécessaires en connaissant leur nombre :  
l'effort exercé sur chaque bls = l'effort exercé sur l'assemblage / Nbr de bls  
suivant abaque ou calcul précédent : choisir un  $\emptyset$  de boulon capable de reprendre cet effort exercé sur chaque bls.

- Déterminer la pression diamétrale (PD) :

$$PD = \text{l'effort } T \text{ exercé sur chaque bls} / (\emptyset \text{ du trou} \times \text{épaisseur de la pièce})$$

Il faut ensuite vérifier si :

$$PD \leq 3\sigma_e \quad (72 \text{ daN/mm}^2)$$

pour les boulons ordinaires

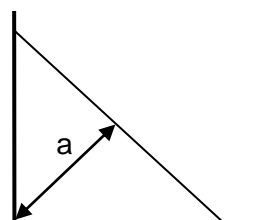
$$PD \leq 4\sigma_e \quad (96 \text{ daN/mm}^2)$$

pour les boulons HR à serrage contrôlé

#### 2°) Les assemblages soudés

- La grosseur d'un cordon de soudure est défini par la côte repérée par la lettre a

cordon vue en coupe



**a = 0,7 x la plus petite épaisseur à souder.**

a) Les soudures bout à bout :

Aucun calcul n'est exigé. On admet qu'il y a continuité de la matière, donc continuité des pièces, aux deux conditions toutefois, que l'épaisseur de la soudure soit au moins égale à l'épaisseur de la plus faible des pièces assemblées et que le métal d'apport ait des caractéristiques au moins égales à celle du métal de base.

a) Les soudures d'angle :

La longueur utile des cordons est égale à la longueur réelle diminuée de la longueur des cratères d'extrémité lorsque aucune précaution n'est prise pour les éliminer :  $l_u = l - (2xa)$

**les cordons frontaux :**

$$\frac{k.F.\sqrt{2}}{\sum l_u . a} \leq \sigma_e$$

**les cordons latéraux :**

$$\frac{k.F.\sqrt{3}}{\sum l_u . a} \leq \sigma_e$$

avec :

F : charge pondérée appliquée à l'assemblage

a : épaisseur utile du cordon (0,7 x la plus petite épaisseur)

k = coefficient variable suivant l'acier utilisé. = 0,7 pour les aciers courants

il suffit de faire, selon le cas :

pour trouver la longueur de soudure :

$$l_u \geq \frac{k.F.(\sqrt{3} \text{ ou } \sqrt{2})}{\sigma_e . a}$$

pour trouver l'effort F admissible :

$$F \geq \frac{\sum l_u . \sigma_e . a}{k.(\sqrt{3} \text{ ou } \sqrt{2})}$$

ou pour trouver le « a » du cordon de soudure :

$$a \geq \frac{k.F.(\sqrt{3} \text{ ou } \sqrt{2})}{\sigma_e . l_u}$$

Avec  $\sqrt{3}$  pour les cordons latéraux et  $\sqrt{2}$  pour les cordons frontaux

## **VIII/ ANNEXES**

### **poids volumiques** (Poids volumique en daN/m<sup>3</sup>)

Sable = 1 700-1 900 Gravier = 1 700  
 Terre sèche = 1 800 Terre humide = 2 100  
 Ballast concassé = 1 800 Ballast roulé = 1 900  
 Houille, anthracite humide = 1 000 Briquettes en vrac = 800  
 Briquettes empilées = 1 300 Coke = 650  
 Mâchefer = 800 Cendres = 800  
 Bois en bûches Bois en bûches conifères  
 conifères sec = 450 humide = 650  
 Bois en bûches feuillus sec = 700 Bois en bûches feuillus humide = 1 000  
 Bois en copeaux en vrac = 200 Bois en copeaux compact = 300  
 Blé, orge, seigle = 800 Avoine en vrac = 550  
 Pommes de terre = 700 Fruits = 450  
 Raves = 700 Malt = 600  
 Farine en vrac = 600 Farine en sacs = 500  
 Sucre en sacs = 1 600 Sucre en vrac = 950  
 Sel en vrac = 1 200 Sel en sacs = 1 000  
 Foin et paille en vrac = 100 Foin et paille bottelé = 150  
 Herbe et trèfle = 350 Fourrages ou feuilles (tassés et fermentés) = 1 000  
 Fumier en tas = 1 200 Fumier empilé = 1 800  
 Papier empilé = 1 100 Papier en rouleau = 1 600  
 Classeurs, armoires, bibliothèques = 600 Grès = 2 500  
 Calcaire compact, marbre, granit = 2 800 Calcaire de dureté moyenne = 2 200  
 Calcaire tendre = 1 800 Béton armé = 2 500  
 Blocs de liège = 400 Planches de plâtre = 1 000  
 Asphalte coulé = 1 800 Béton bitumineux = 2 200  
 Maçonnerie en pierre de taille (sans enduits) = 2 700  
 Maçonnerie en moellons (sans enduits) = 2 300  
 Maçonnerie en briques pleines (sans enduits) = 1 900  
 Maçonnerie en briques perforées (sans enduits) = 1 350  
 Maçonnerie en briques creuses (sans enduits) = 900  
 Maçonnerie en blocs de béton (sans enduits) :  
 - blocs pleins en granulats lourds = 2 100  
 - blocs creux en granulats lourds (parois épaisses) = 1 350

### poids approximatifs des éléments constitutifs d'une construction

#### 1 maçonnerie

##### **terre cuite**

nature de la parois	épaisseur réelle (sans enduit) cm	poids daN/m <sup>2</sup>
<b>a) briques pleines</b>	5,5	105
	10,5	200
	21,5	405
	33	630
<b>b) briques creuses</b>	5	45
	10	90
	15	130
	20	175
	25	215
	30	260
<b>c) briques perforées</b>	5,5	70
	10,5	140
	21,5	295
	33	450
<b>d) blocs perforés</b>	17,5	230
	22,5	295
	27,5	360

##### **blocs en béton**

<b>a) blocs pleins de béton de granulats lourds</b>	5	105
	10	210
	15	315
	20	420
<b>b) blocs creux de béton de granulats lourds (blocs à parois épaisses)</b>	5	65
	10	135
	15	200
	20	270
	25	325
	30	385
<b>c) blocs pleins de béton d'argile expansé ou de schiste expansé (masse volumique du béton: 750.1 550 kg/m<sup>3</sup>)</b>	5	45-80
	10	90-160
	15	135-240
	20	180-320
<b>d) blocs pleins de béton d'argile expansé ou de schiste expansé (blocs à parois épaisses) (masse volumique du béton: 750.1 550 kg/m<sup>3</sup>)</b>	10	60-100
	15	90-150
	20	120-200
	25	150-250
<b>e) blocs pleins de béton de laitier expansé ou de pouzzolane (masse volumique du béton: 1450 kg/m<sup>3</sup>)</b>	5	75
	10	150
	15	225
	20	300
<b>f) blocs creux de béton de laitier expansé ou de pouzzolane (blocs à parois épaisses) (masse volumique du béton: 1450 kg/m<sup>3</sup>)</b>	10	95
	15	140
	20	190
	25	230
<b>g) blocs pleins de béton cellulaire autoclavé (masse volumique du béton: 600 kg/m<sup>3</sup>)</b>	15	120
	20	160
	25	205
	30	245



carreaux de plâtre

Cloisons en carreaux de plâtre à parements lisses : par cm : 10 daN/m<sup>2</sup>

Pierre de taille

Nature de la paroi	épaisseur réelle (cm)	Poids (daN/m <sup>2</sup> )
	Enduit non compris	
a) Parois pleines	20	530
	30	810
b) Revêtements autoportants	8	220
c) Revêtements attachés	3	80
d) Revêtements scellés (y compris le mortier)		40

2

### enduits

enduit en plâtre : 10 daN/m<sup>2</sup> et par cm d'épaisseur

enduit au mortier de liants hydrauliques : 18 daN/m<sup>2</sup> et par cm d'épaisseur

### 3 planchers

Nature du plancher	Montages	hauteur réelle (cm)	poids (daN / m <sup>2</sup> )
<b>A. Dalles pleines en béton armé</b>			25
<b>B. Planchers nervurés à poutrelles préfabriquées ou nervures coulées sur place, avec entrevous en béton. Entraxe de 60 cm.</b>	avec table de compression	12+4	250-260
		16+4	275-285
		20+4	310-330
		25+5	360-400
	sans table de compression	16	220-230
		20	260-280
		24	290-310
<b>C. Planchers nervurés à poutrelles préfabriquées ou nervures coulées sur place, avec entrevous en terre cuite.</b>	avec table de compression	12+4	220-230
		16+4	250-260
		20+4	280-300
		25+5	320-360
	sans table de compression	16	190-200
		20	220-240
		24	250-270
<b>D. Planchers nervurés à poutrelles préfabriquées ou nervures coulées sur place, avec entrevous très légers (ex: Polystirène) ou sans entrevous.</b>	avec table de compression	12+5	150-170
		16+5	170-200
		20+5	180-210
		25+5	240-280
<b>E. Planchers préfabriqués à éléments jointifs de dalles alvéolées, à alvéoles de petites dimensions</b>		12	200-250
		16	240-290
		20	280-330
		24	320-370

### 4 revêtements de plancher

- a) Chape en mortier de ciment par cm : 20 daN/m<sup>2</sup>
- b) Dalle flottante en béton, y compris sous couche élastique par cm : 22 daN/m<sup>2</sup>
- c) Carrelage scellés, y compris la couche de mortier de pose de 2 cm
  - Grès cérame mince (4,5 mm) format 5 × 5 et 2 × 2 : 50 daN/m<sup>2</sup>
  - Grès cérame (9,0 mm) format 10 × 10 : 60 daN/m<sup>2</sup>
  - Dallage céramique ou pierre dure de 15 à 30 mm : 70-100 daN/m<sup>2</sup>
- d) Carrelages ou dallages collés par cm : 20 daN/m<sup>2</sup>
- e) Parquets de 23 mm y compris lambourdes : 25 daN/m<sup>2</sup>
- f) Sols minces textiles ou plastiques (collés ou tendus) et parquets mosaïques y compris ragréage du support : 8 daN/m<sup>2</sup>
- g) Chappe flottante en asphalte 2 à 2.5 cm, y compris couche élastique, revêtement de sol non compris : 50 daN/m<sup>2</sup>

### 5 toitures

Nature de l'élément		Poids réel (daN/m <sup>2</sup> )
<b>A. Support de la couverture</b>	- lattis (ou liteaux) sapin	3
	- voligeage sapin	10
	- support céramique	45
<b>B. Couvertures métalliques</b>	- en zinc (voilage et tasseaux compris)	25
	- en aluminium 8/10 ème (plaques ondulées sans support)	3
	- en aluminium 8/10 ème (voilage et tasseaux compris)	17
	- en acier inoxydable (voilage et tasseaux compris)	25
	- en tôle ondulée d'acier galvanisée 8/10ème	6
<b>C. Couverture en ardoises</b>	- ardoises natureelles ordinaires (lattis et volilage compris)	28
	- ardoises en fibro-ciment (lattis et volilage compris)	30
<b>D. Couverture en tuiles</b>	- tuiles mécaniques à emboîtement (linteaux compris)	35-45
	- tuiles plates (linteaux compris)	55-75
	- tuiles canal (voliges comprises)	40-60
	- tuiles béton (supports compris)	45
<b>E. Couvertures en éléments auto-portants non métalliques</b>	- plaques ondulées en fibro-ciment	17
	- plaques profilées en fibro-ciment et tuiles canal	40
<b>F. Sous toitures</b>	- contreplaqués okoumé, par cm d'épaisseur	5
	- panneaux de lin, par cm d'épaisseur	4
	- plaques de plâtre, par cm d'épaisseur	9
	- panneaux de paille compressée, par cm d'épaisseur	3
	- plaques planes de fibro-ciment en 6 cm d'épaisseur	11
<b>G. Terrasses</b>	- asphalte coulé en 0,5 cm d'épaisseur plus 1,5 cm d'asphalte coulé sablé	50
	- étanch. multicouche en ciment volcanique enduit plastique ou feutre bitumé, ép.2 cm	12
	- gravillon pour protection de l'étanchéité par cm d'épaisseur	20
	- protection de l'étanch. réalisée par une couche d'asphalte gravillonné de 2 cm sur deux feuilles papier kraft	50

### Valeurs des charges d'exploitation

A/ en fonction de la nature du local

Nature du local		KN/m <sup>2</sup>
1. Hébergement en chambres, salles de jeux et repos des crèches		1,5
2. Hébergement collectif (dortoirs)		2,5
3. Salles de restaurants, cafés, cantines de dimensions réduites (nbr de places assises < 100)		2,5
4. bureaux proprement dits		2,5
5. Salles de réunion avec tables de travail		2,5
6. Halles diverses (gares, etc. ) où le public se déplace		4
7. Salles d'exposition	de moins de 50 m <sup>2</sup>	2,5
	de 50 m <sup>2</sup> ou plus	3,5
8. Salles de réunion et lieux de culte avec assistance debout (14)		5
9. Salles, tribunes, gradins des lieux de spectacles et de sport avec places debout (14)		6
10. Salles de théâtre, de conférences, amphithéâtres, tribunes et autres lieux avec sièges (sans table ni pupitre) (14)		4
11. Cuisines des collectivités, non compris les charges du gros matériel prises en compte indépendamment (15)		2,5
12. Salles de lecture des bibliothèques		4
13. Salles de danse (16)		5
14. Boutiques et annexes		5
15. Garages et parcs de stationnement de voitures légères, à l'exclusion des ateliers d'entretien et de réparation		2,5
16. Circulations intérieures des bâtiments	idem locaux déservis + 5 KN/m <sup>2</sup> quand grand nombre de personnes (17)	
17. Balcons	cas courant	3,5
	cas où une accumulation de personnes est possible (ERP)	6
18. Loggias	charge des locaux contigus	

### B/ bâtiments scolaires et universitaires

Nature du local		KN/m <sup>2</sup>
1. Dépôts de cuisines collectives		6
2. Salles avec assistance debout: circulations,escaliers,surfaces de regroupement, d'abri,de détente et de jeux	salles polyvalentes	4
	cuisines collectives	5
3. Salles de réunions, salles polyvalentes utilisées normalement avec sièges, bibliothèques, dépôts, lingerie		4
4. Amphithéâtres, salles de classe remodelables et locaux équivalents, cantines réfectoires (19)		3,5
5. Salles de classe et locaux aquivalents, salles à manger de petites dimensions, laboratoires,ateliers, dortoirs ou chambres collectives,sanitaires collectifs, locaux médicaux et sociaux, galeries de liaisons, garages à vélos		2,5
6. Hébergement individuel		1,5

### C/ bâtiments à usage d'habitation

Nature du local		KN/m <sup>2</sup>
1. Logements y compris combles aménageables		1,5
2. Balcons		3,5
3. Escaliers à l'exclusion des marches isolées, halls d'entrée		2,5
4. Combles non aménageables dont l'utilisation n'est pas prévue a priori, non accessible normalement	- avec plancher (18)	1
	- sans plancher	Charge ponctuelle d' 1 KN en n'inporte quel point de la structure accessible
5. Greniers proprement dits		2,5
6. Etages des caves		2,5

### D/ bâtiments hospitaliers et dispensaires

Nature du local		KN/m <sup>2</sup>
1. Locaux d'hébergement	- chambres	1,5
	- circulations internes	2,5
2. Locaux médicaux techniques	- salles d'opérations, de plâtres, de travail	3,5
	- pour les autres services	2,5
3. Autres locaux	- halls	4
	- circulations générales	4
	- bureaux	2,5
	- postes de personnels et de soins	2,5
	- salles de cours	2,5
	- salles de cours, conférences et de restauration générale	local utilisable en tant que local de réception, de surface en prinicpe supérieure à 100 m <sup>2</sup>
		local de surface inférieure à 500 m2
	- sanitaires	1,5
	- cuisines	5
	- buanderies	3,5
	- locaux de réserves, dépôts ou stockage	3,5 à 6

### E/ bâtiments de bureaux

Nature du local	KN/m <sup>2</sup>
1. Bureaux proprement dits	2,5
2. Bureaux paysagers	3,5
3. Circulations et escaliers	2,5
4. Halls de réception	2,5
5. Halls à guichet	4
6. Salle de projection et de conférence à nombre de places limité ( $\leq 50\text{m}^2$ )	3,5
7. Cantines	2,5 à 3,5
8. Salles de réunion avec tables	2,5
9. Zone de dépôts	3,5
10. Salles d'ordinateurs et de reprographie	2,5

