

Module Charpente



I- Le vocabulaire

- 1.1 Vocabulaire des pièces de charpente
- 1.2 Vocabulaire des assemblages de charpente

2- La méthodologie du tracé

- 2.1 Le plan
- 2.2 L'épure (échelle 1)

3- Les différentes forces

- 3.1 Les forces qui s'appliquent sur la charpente
- 3.2 Les forces qui s'appliquent à l'intérieur de la charpente
- 3.3 La résistance des matériaux

4- Réalisation des différents assemblages

- 4.1 Les signes d'établissements
- 4.2 Le repicage
- 4.3 Le tracé
- 4.4 L'usinage
- 4.5 L'affûtage

Module Charpente

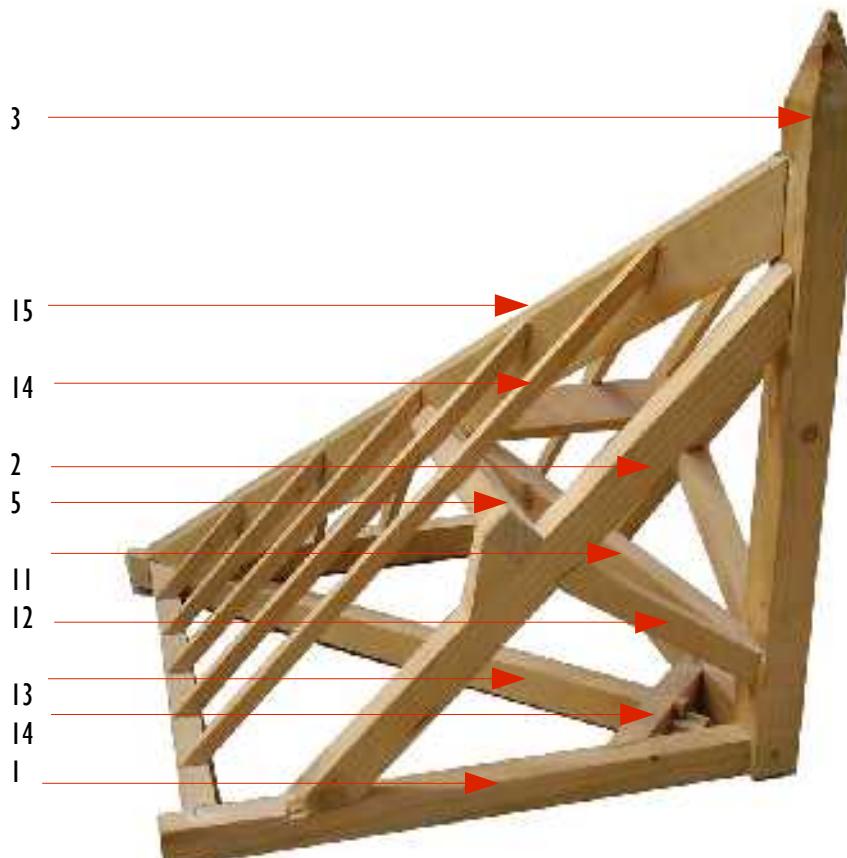
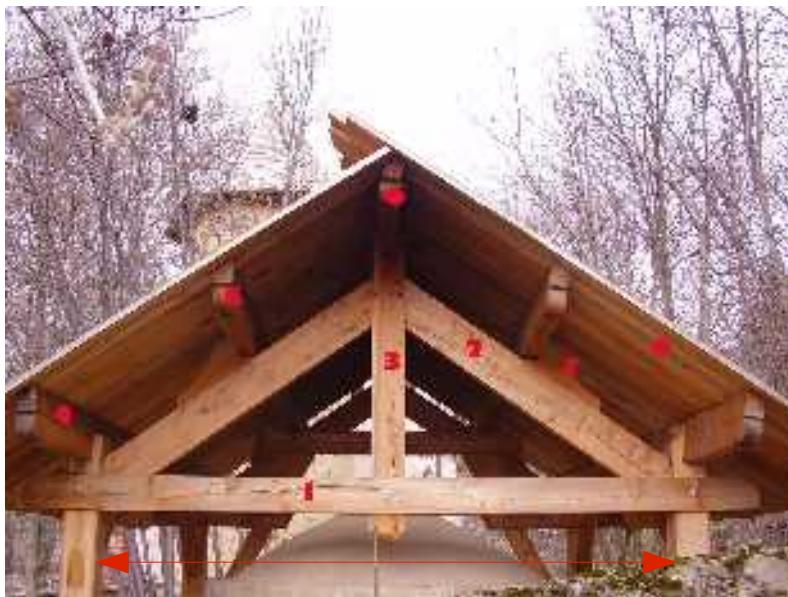
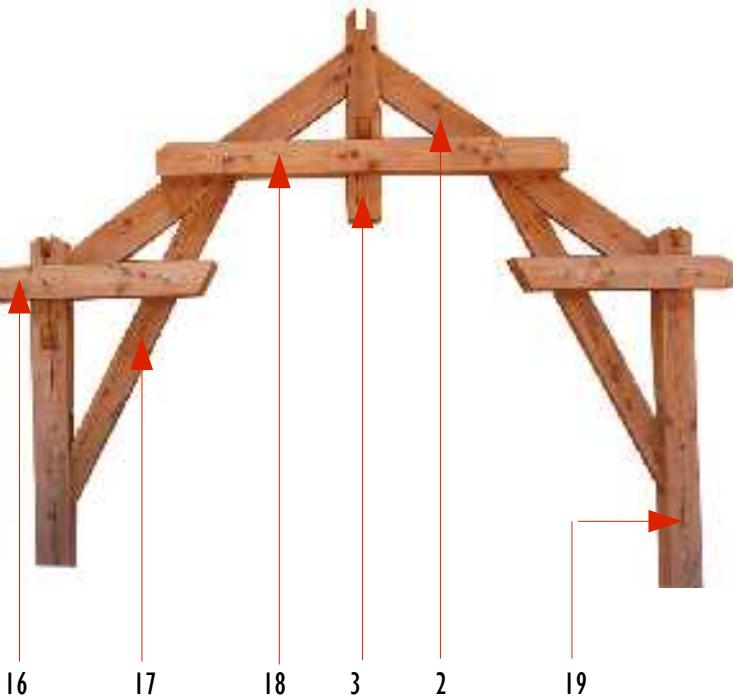
I- Le vocabulaire

1.1 Vocabulaire des pièces de charpente

1.2 Vocabulaire des assemblages de charpente



1.1 Le nom des différentes pièces



- 1 Entrait (tirant si métallique)
- 2 Arbalétrier
- 3 Poinçon
- 4 Panne sablière ou sablière
- 5 Panne intermédiaire
- 6 Panne faîtière : faîtière
- 7 Echantignole ou chantignole
- 8 Fiche de contreventement (entre le poinçon et la faîtière)
- 9 Bardeau
- 10 Chevron
- 11 Contrefiche d'arbalétrier
- 12 Contrefiche
- 13 Coyer
- 14 Gousset
- 15 Arrétier
- 16 Entrait retroussé
- 17 Jambe de force
- 18 Faux entrant
- 19 Poteau

Une ferme : un ensemble de pièces (1, 2, 3, 8, 12) de charpente qui constitue le support de la couverture.

Porté : distance entre les 2 appuis.

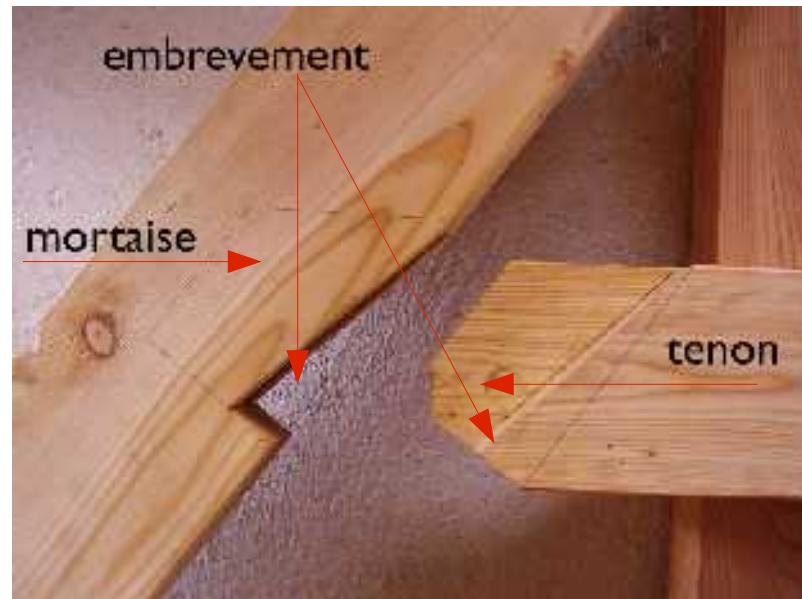
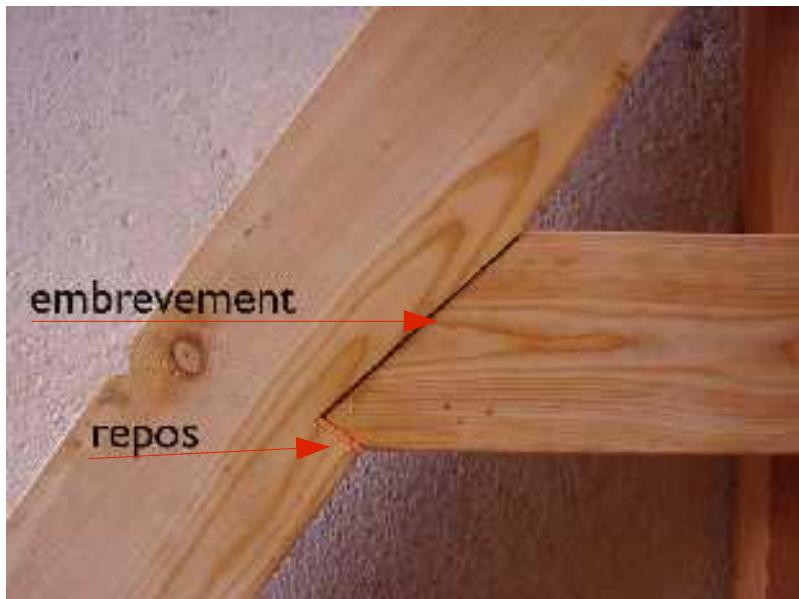
Un entrant peut être massif ou moisé (réalisé avec 2 pièces de même section mises en parallèle)

1.2 Les différents assemblages

Embrèvement

Tenon

Mortaise



**En charpente traditionnelle,
les assemblages constituent les points faibles.**

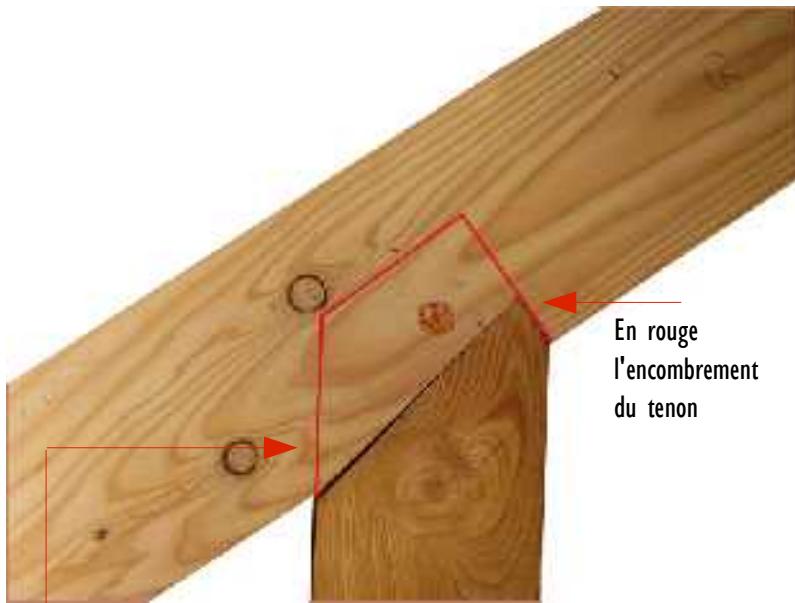


L'embrèvement est un repos sur toute la largeur de la pièce, une entaille pratiquée dans la pièce mortaisée pour servir de butée et soulager le tenon.

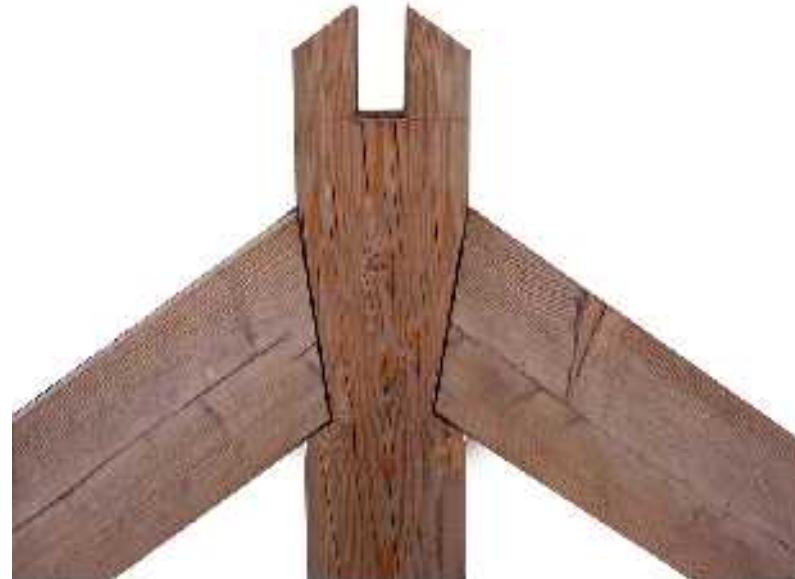
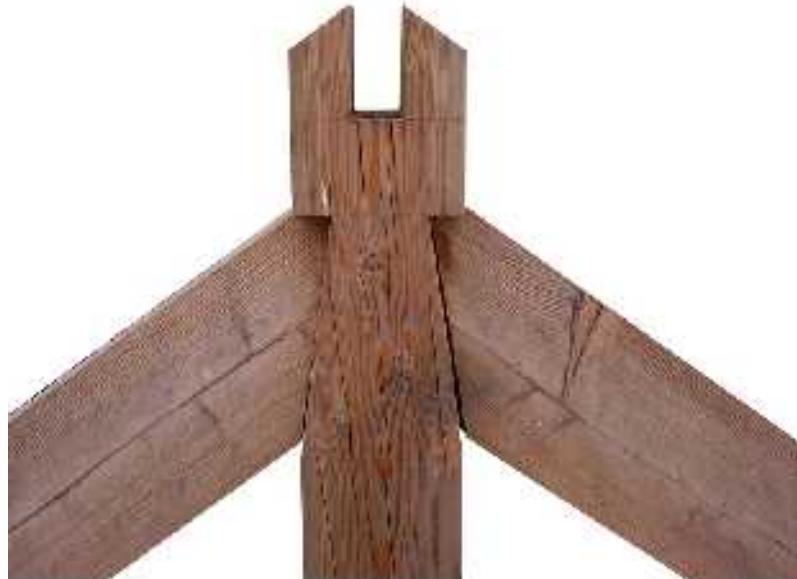
Mortaise : évidemment, cavité rectangulaire pratiquée dans une pièce pour y loger le tenon, de même section, d'une autre pièce à laquelle on l'assemble.

1.2 Les différents assemblages

- 1 Embrèvement
- 2 Tenon
- 3 Mortaise



Embrèvement
avec tenon



Module charpente

2 - Les tracés

2.1 Le plan

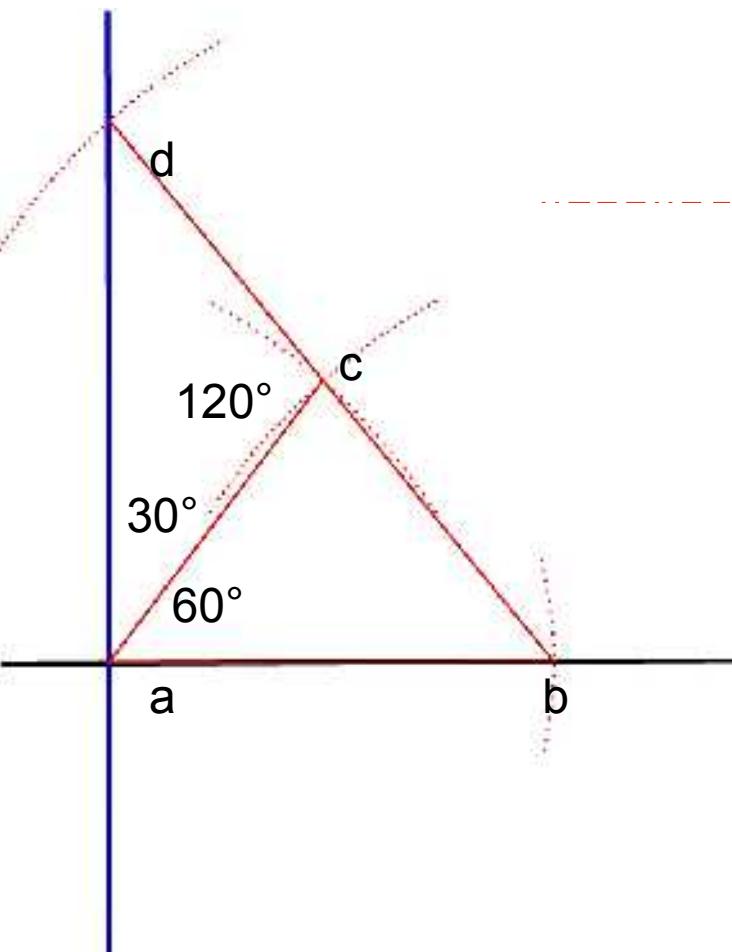
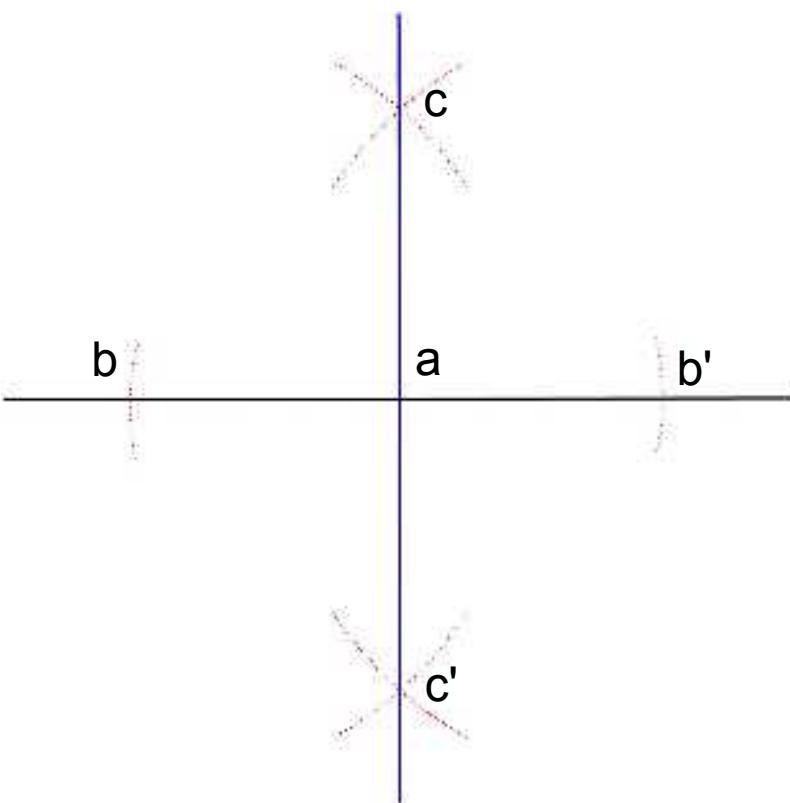
2.2 Le tracé d'épure (échelle 1)



2.1 Les plans

Les tracés d'équerre

Pour tracer 2 droites perpendiculaires, il est possible d'utiliser plusieurs méthodes.



1- Au compas (à gauche)
Pour tracer une perpendiculaire en (a), marquer les points (b) et (b') à équidistance, puis en allongeant le compas tracer (c) et (c'). La droite (cc') est perpendiculaire en (a).

2- Au compas lorsque l'on ne peut pas tracer les 2 points (b) et (b')
Avec un seul écartement de compas, tracer (b), puis (c) (triangle équilatéral), puis (d) sur la droite (cd). (ad) est perpendiculaire à (ab). En effet la somme des angles d'un triangle est égale à 180° , les angles d'un triangle équilatéral sont de 60° .

3- Au mètre ou à la corde à 12 noeuds.
Méthode 3-4-5 (voir épure)

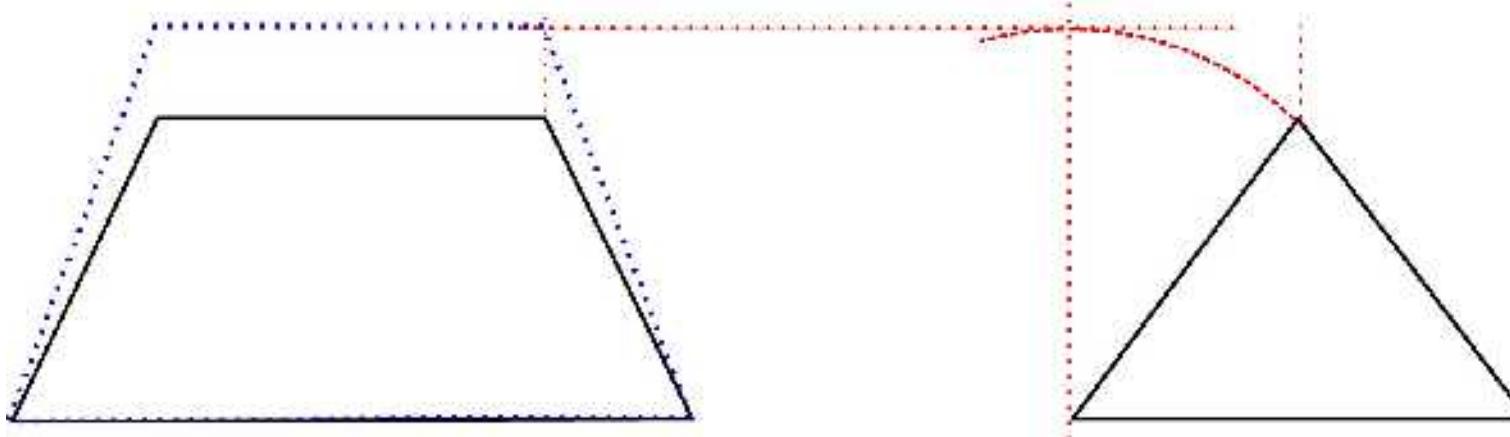
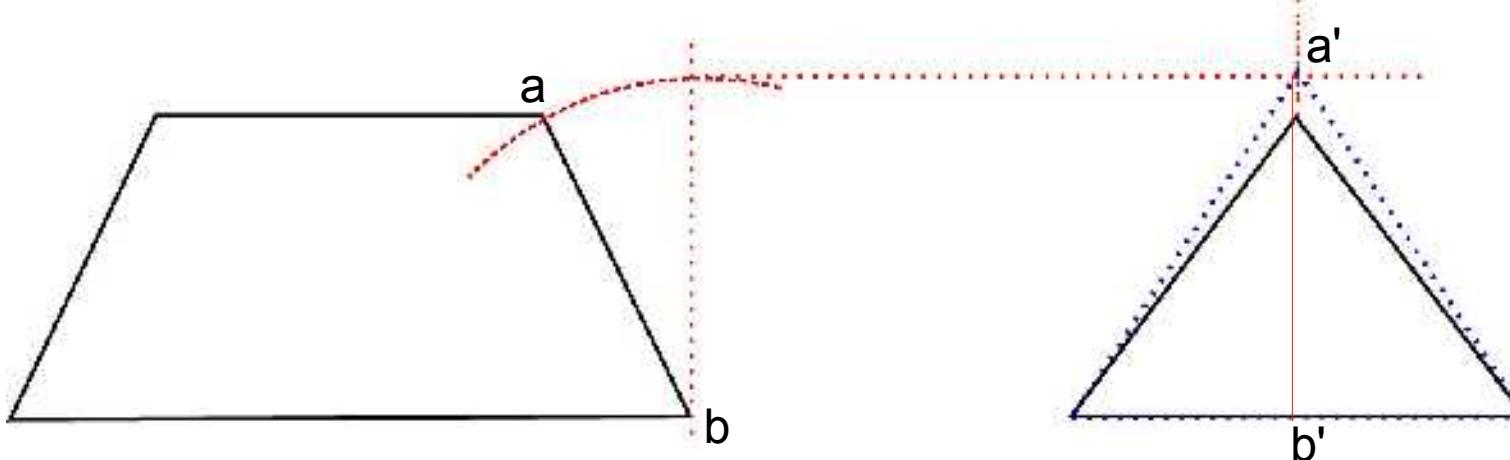
2.1

Les plans

Le rabattement

Les différentes vues en plan dessiné à l'échelle ne donnent pas toujours par lecture directe les vraies longueurs.

Le rabattement d'un plan sur l'autre permet de retrouver toutes les vraies dimensions indispensables à la réalisation des métrés, des devis et des usinages.



Sur le dessin de gauche la longueur (ab) est égale à la vraie longeur ($a'b'$) du dessin de droite.

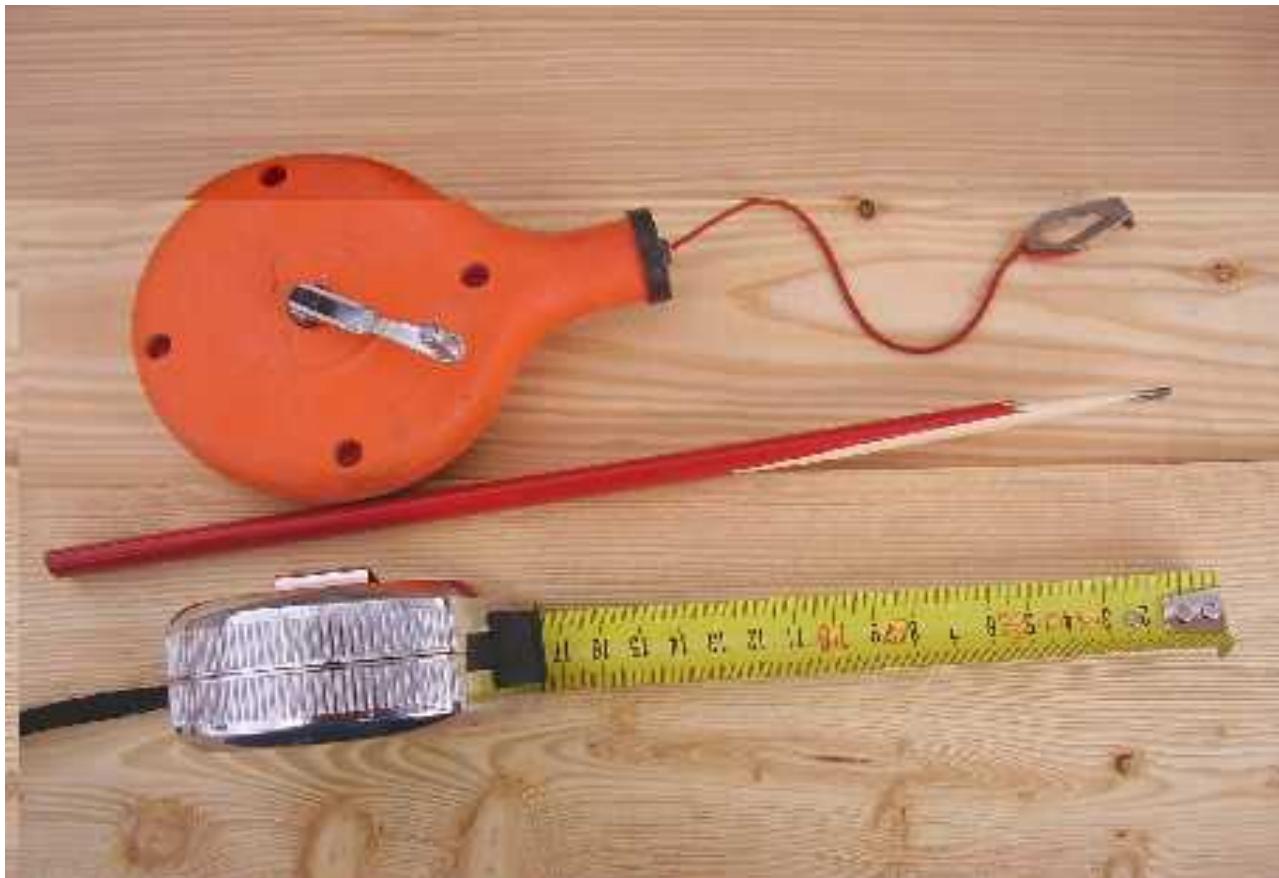
En reportant (ab) sur le dessin de droite, on obtient la vraie surface de la croupe (en bleu).

Idem pour la vraie grandeur du long pan.

2.2 **Le tracé d'une épure**

Les outils :

- 1 Le cordex
- 2 Le crayon de charpentier
- 3 Le mètre ruban



1 Le cordex

Il sert à tracer des traits droits dans de grandes longueurs et sur tout support.

Il est constitué d'un enrouleur qui fait aussi office de réservoir de pigments et d'un fil de coton.

Pour tracer, le fil doit être ré-enroulé entre chaque tracé, afin de se ré-enduire de pigment. Avant de tracer, le fil est « mouché », c'est-à-dire claqué en l'air pour enlever le surplus de couleur et éviter ainsi de tracer des traits trop épais.

2 Le crayon de charpentier

Il sert à noter les différentes longueurs sur les tracés de cordex. Il est taillé avec un rabot, afin d'avoir un plat sur une face. (voir repicage).

3 Le mètre ruban

Il est utilisé pour mesurer les différentes côtes de la charpente. Il est plus précis de l'utiliser en partant de 10 cm (ne pas oublier de retirer les 10 cm à l'autre bout).

2.2 Le tracé d'une épure

Les gestes :

Le tracé au cordex.
L'utilisation des sections réelles des bois.



Pour tracer l'épaisseur d'une pièce de charpente, il est recommandé de placer celle-ci et de l'utiliser comme règle.

Le fil du cordex est tendu en dépassant de chaque côté puis on le fait claquer sur le sol.



2.2

Le tracé d'une épure

Technique :

Tracer des droites

perpendiculaires entre elles sur le sol.

Méthode 3-4-5 (simplification du théorème de Pythagore), cette méthode peut être réalisée avec la corde à 12 noeuds.

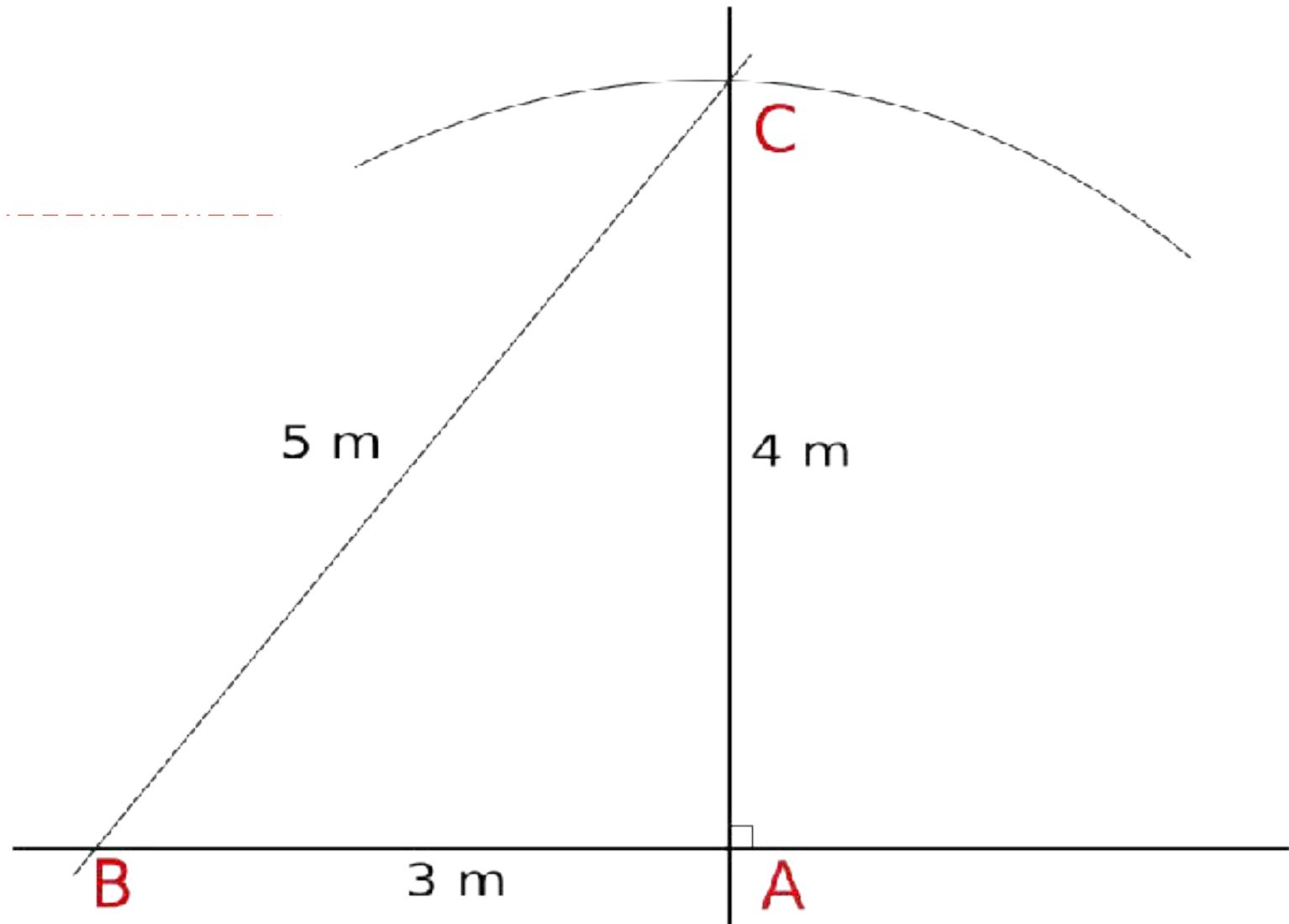
1- Tracer un trait au cordex (AB)

2- A partir d'un point (A) mesurer une longueur multiple de 3 (3m 1,5 m...), tracer B

3- A partir du même point A tracer un petit arc de cercle d'un rayon multiple de 4 (4 m 2m...)

4- A partir du point B, mesurer une distance multiple de 5 et tracer l'intersection avec l'arc de cercle (C).

Les droites AB et AC sont perpendiculaires (voir théorème de Pythagore)..



Module charpente

3 - Les différentes forces

- 3.1 Les forces qui s'appliquent sur la charpente
- 3.2 Les forces qui s'appliquent à l'intérieur de la charpente
- 3.3 La résistance des matériaux
- 3.4 Le plancher bois/béton collaborant
- 3.5 L'usinage

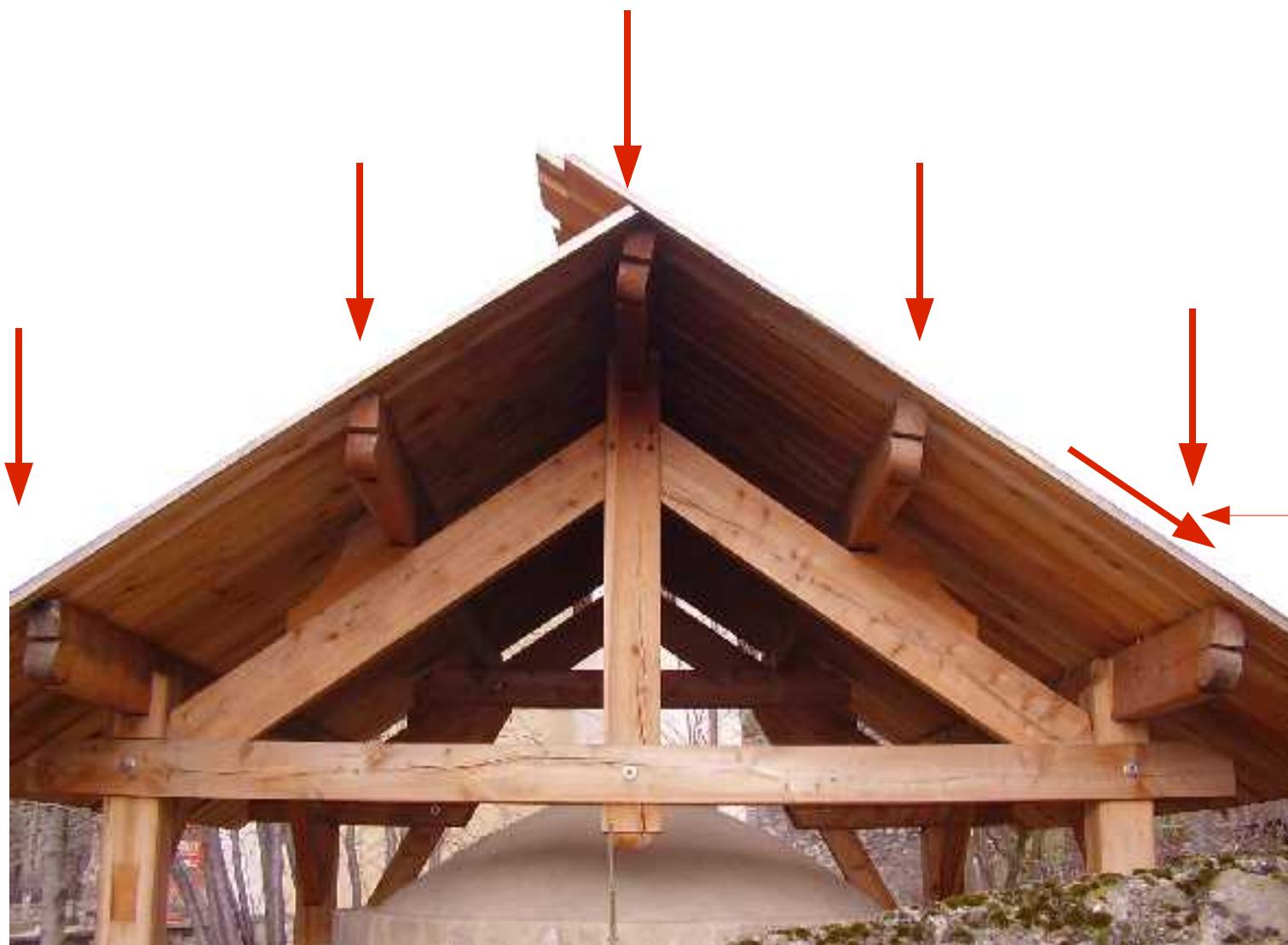


3.1 Les différentes forces en présence sur la charpente

Connaitre les différentes forces s'appliquant sur les pannes permet de déterminer la position du cœur dans la pièce de bois.

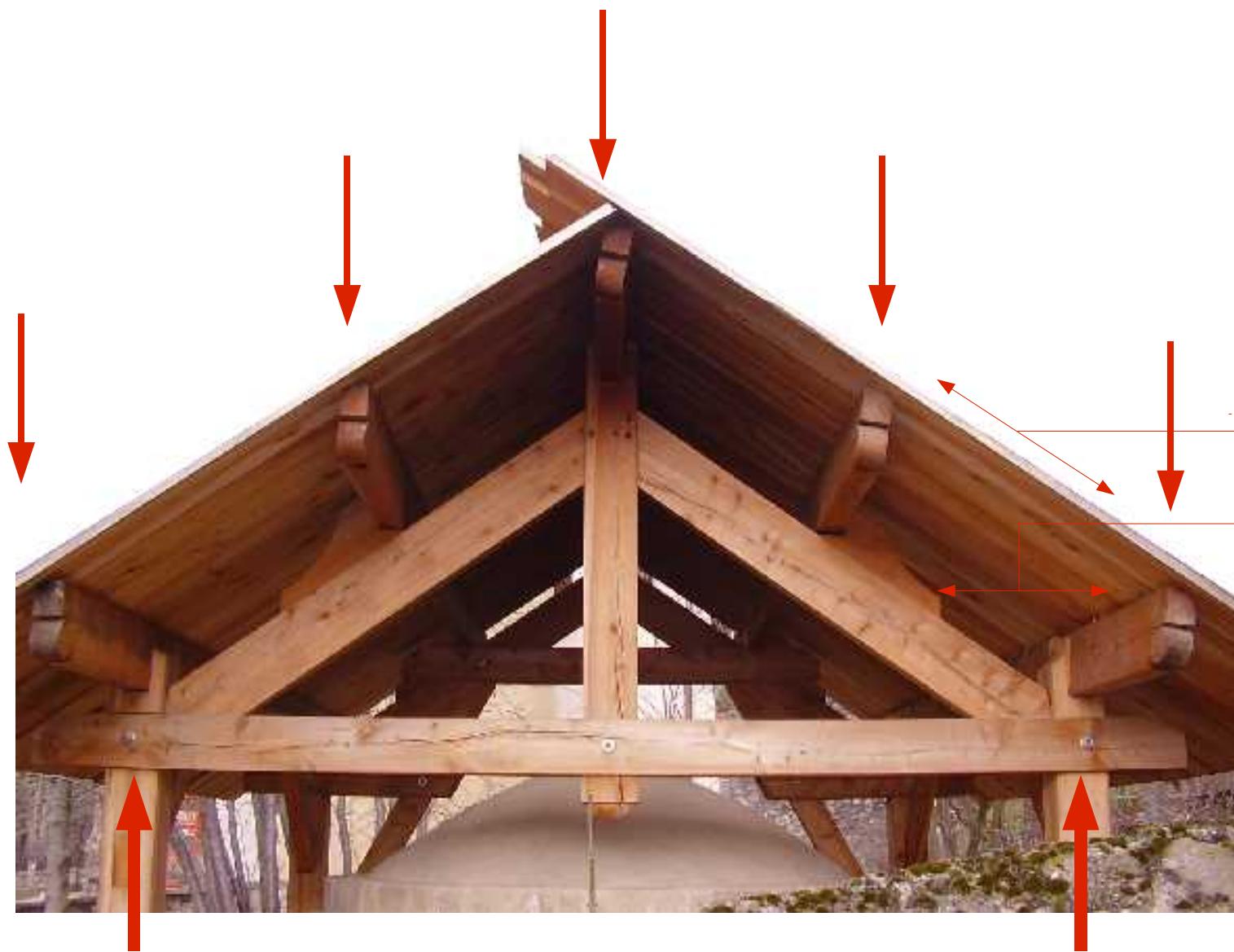
Pour la panne faîtière, le cœur est centré et placé en haut.

Pour les autres coeurs, ils sont situés en haut et du côté du faîte du toit.



La charge est appliquée à l'écartement des deux coeurs

3.1 Les différentes forces en présence sur la charpente



Les différentes forces en présences sont :

- le poids propre des pièces de charpente + celui de la couverture
- les surcharges (neige et vent)

Pour le poids propre on peut compter de 40 à 100 Kg au m².

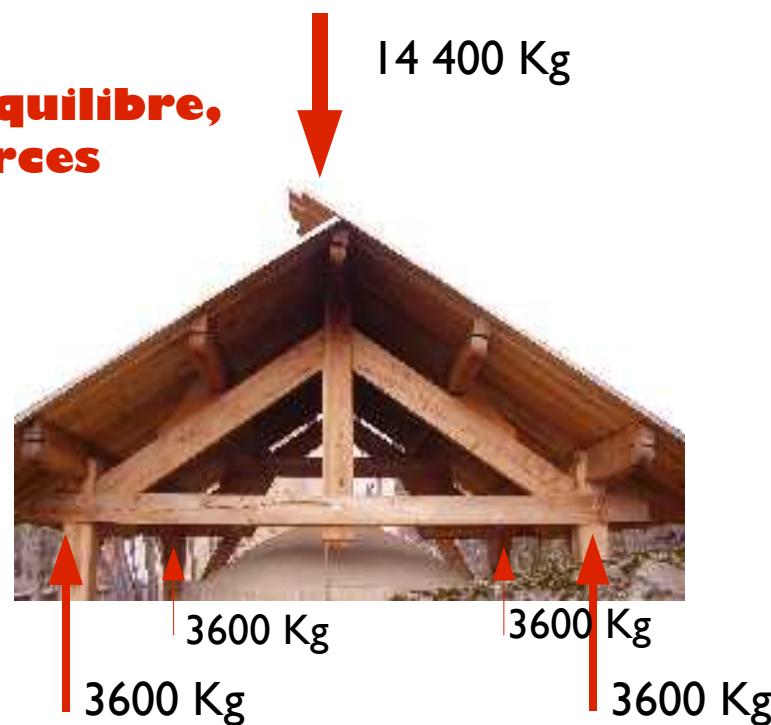
Pour les surcharges on peut compter 200 Kg au m².

Pour qu'il y ait équilibre, il faut que les forces s'annulent.

3.1 Les différentes forces en présence sur la charpente



**Pour qu'il y ait équilibre,
il faut que les forces
s'annulent.**



Si l'on prend par exemple, un toit de 6 m de long par 8 m de large. Avec une charge de 100 Kg/m² et une surcharge de 200 Kg/m²:

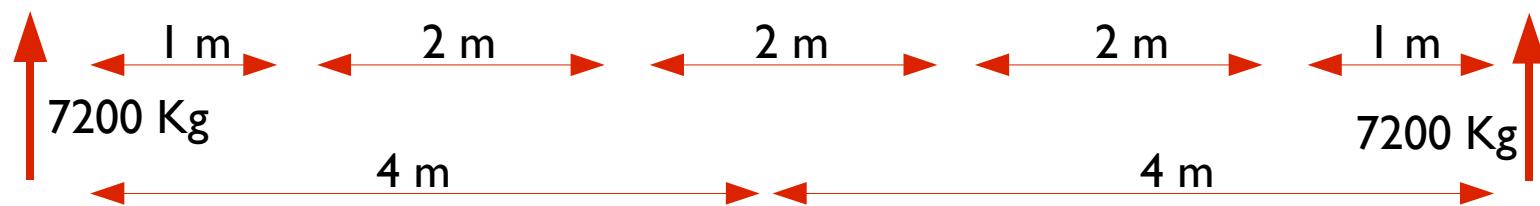
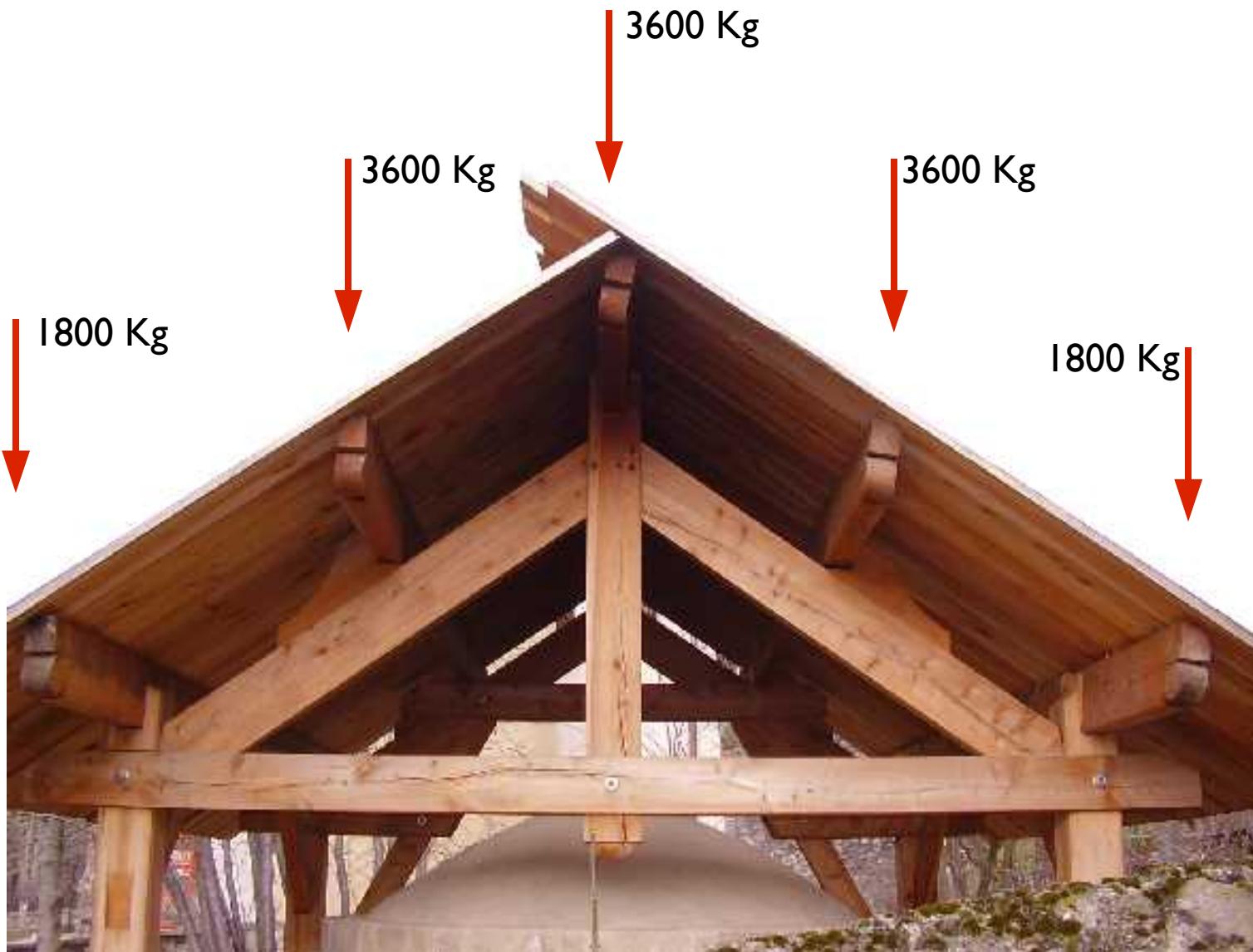
$$100+200=300 \text{ Kg/m}^2$$

La surface au sol est de $8 \times 6 = 48 \text{ m}^2$

On peut donc en déduire que la surcharge totale est de

$$48 \times 300 = 14400 \text{ kg}$$

Si l'on compte qu'il y a 4 pieds disposés régulièrement on pourra conclure que, chaque pied exerce une force de bas en haut de $14400/4 = 3600 \text{ Kg}$.



3.1 Les différentes forces en présence sur la charpente

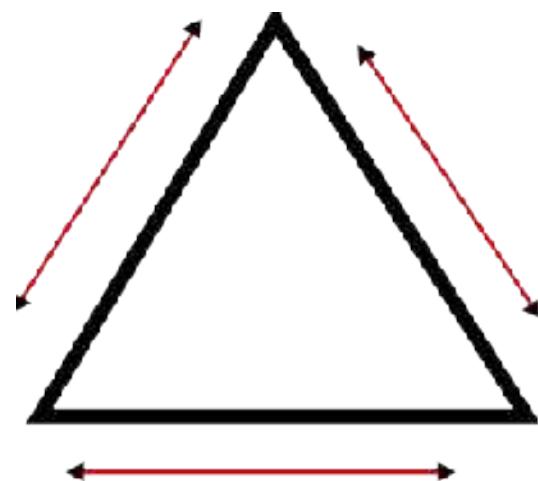
Chaque pente supporte le poids du toit au dessus d'elle de part et d'autre de son axe.

Les 2 pentes sablières supportent donc $1m \times 6m \times 300kg/m^2 = 1800\text{ Kg}$

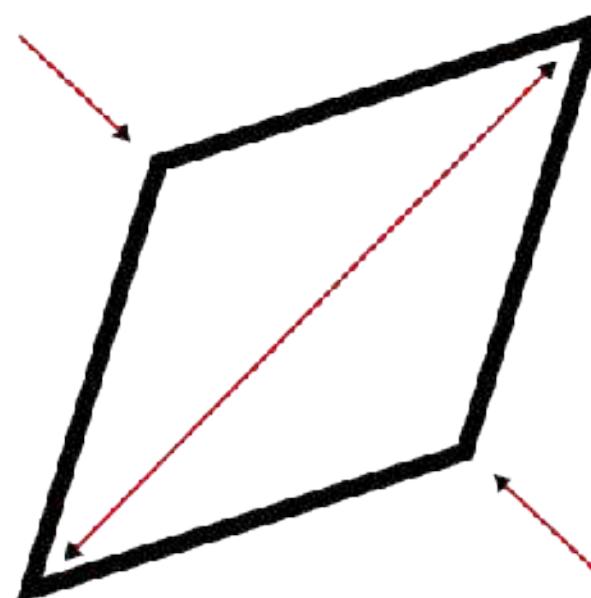
Les pentes intermédiaires et la faîtière supportent chacune : $2m \times 6m \times 300Kg/m^2 = 3600Kg$

Les pentes ont 2 appuis, chaque appui exerce donc une poussée de $1800/2=900\text{ Kg}$
 $3600/2=1800\text{ Kg}$

Si le bois a une résistance à la compression transversale de 20 Kg/cm^2 , alors la pente faîtière devra avoir un repos de $3600\text{ Kg}/20\text{ Kg}/m^2 = 180\text{ cm}^2$. Si elle fait 10 cm de large l'arbalétrier devra faire au moins : $180\text{ cm}^2/10\text{ cm} = 18\text{ cm}$ de large



Chaque angle du triangle, et par extension chaque point de jonction des pièces de la ferme sont appelés des noeuds.



3.2 **Les différentes forces en présence à l'intérieur de la ferme**

La triangulation.

Parmi les différentes formes géométriques constituées de droite, le triangle est la forme la plus « stable », il est indéformable.

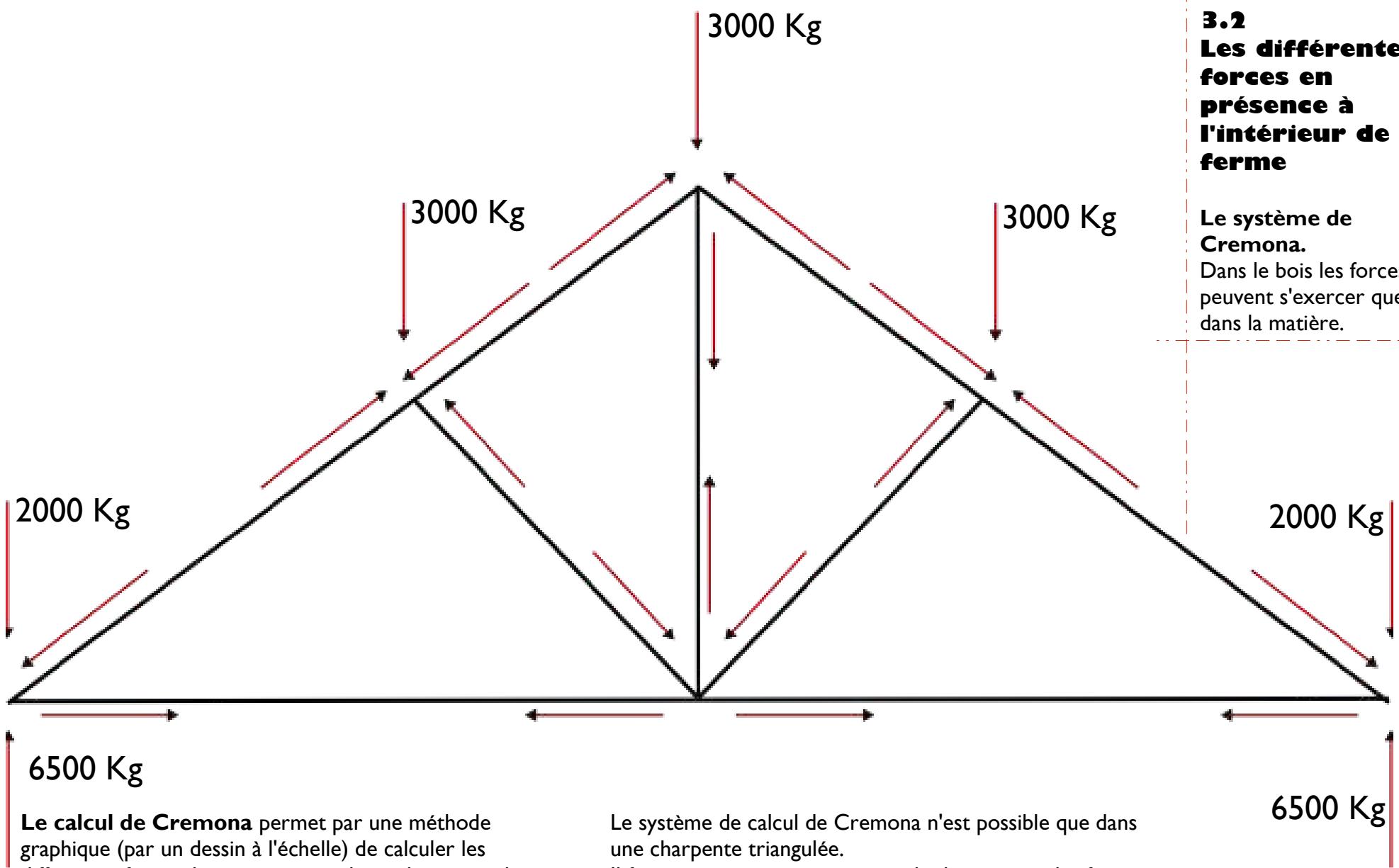
Par exemple dans un carré, si les liaisons entre les côtés ne sont pas rigides, alors le carré peut très facilement se transformer en losange, le triangle lui ne se déforme pas.

C'est pourquoi il est important de trianguler une charpente, c'est à dire de créer des triangles à l'intérieur qui donneront une stabilité dimensionnelle à l'ensemble.

3.2 Les différentes forces en présence à l'intérieur de la ferme

Le système de Cremona.

Dans le bois les forces ne peuvent s'exercer que dans la matière.



Le calcul de Cremona permet par une méthode graphique (par un dessin à l'échelle) de calculer les différentes forces, leur intensité, et leurs directions dans une charpente.
Il s'agit de symboliser chaque force par un vecteur (voir page suivante)

Le système de calcul de Cremona n'est possible que dans une charpente triangulée.
Il faut commencer par poser sur le dessin toute les forces que l'on connaît

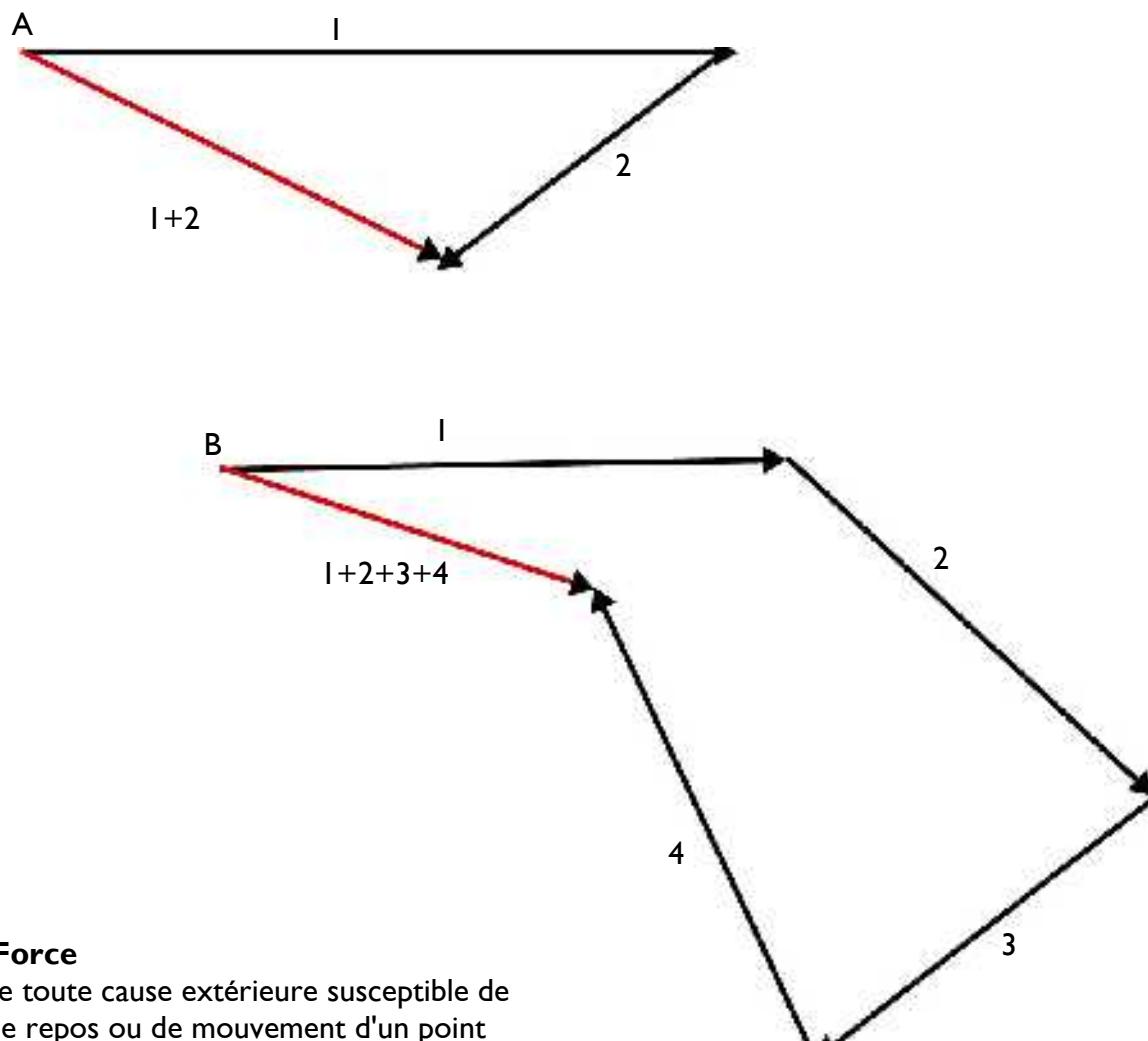
Il faut traduire 1800 Kg en 1800 DaN ou 1800 Kg force.

3.2 Les différentes forces en présence à l'intérieur de la ferme

Le système de Cremona. Les vecteurs

Un vecteur est une représentation graphique d'une force. La force est représentée par une flèche ayant une longueur proportionnelle à sa force, la même direction, et un point de départ correspondant au point d'application. (le point d'application est le point d'appui de la force)

Les vecteurs peuvent s'additionner ou se soustraire (voir dessin A et B)



La notion de Force

On appelle force toute cause extérieure susceptible de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un point matériel.

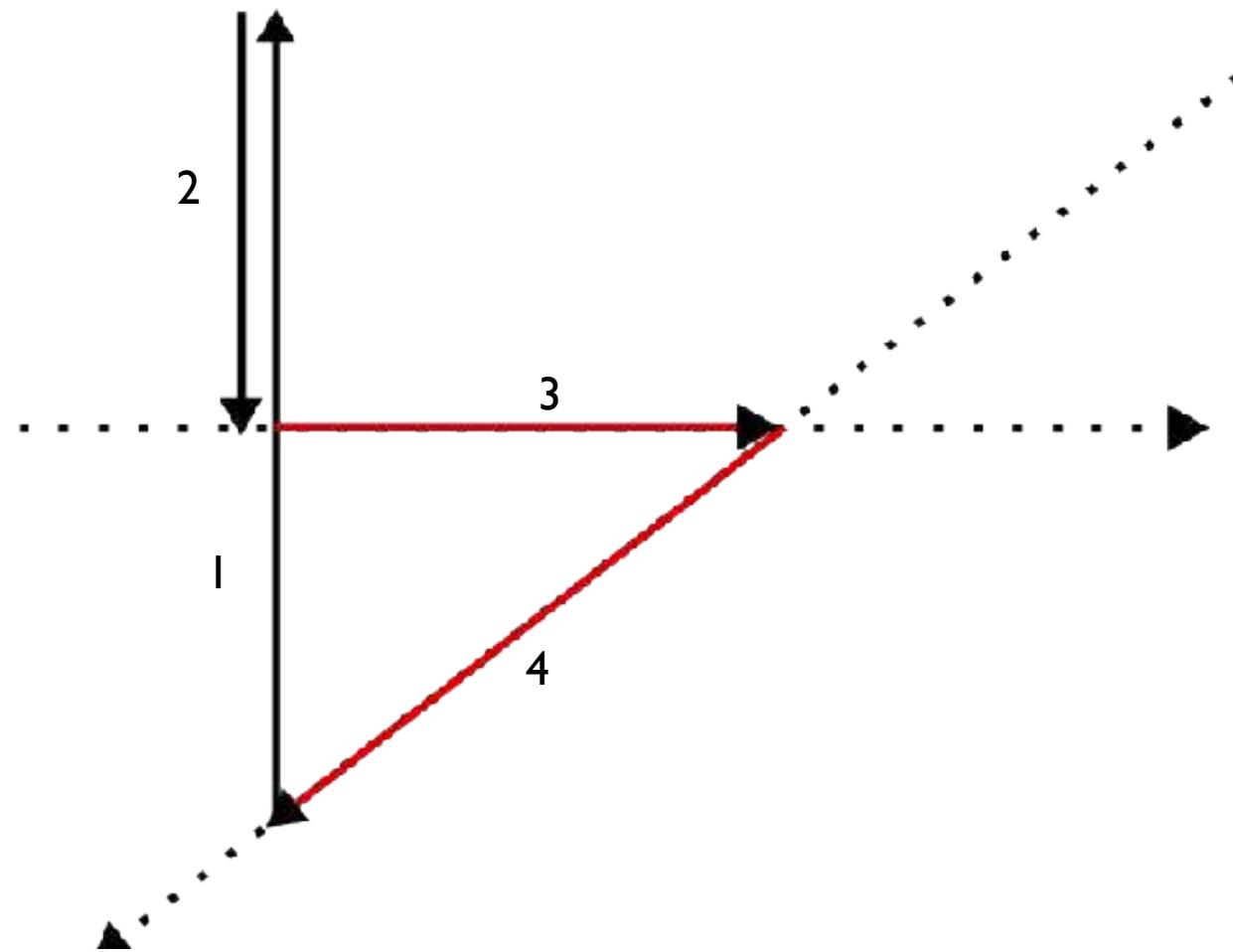
La grandeur d'une force se mesure en Newton(N)

1 kilogramme force = 9,8 N

3.2 Les différentes forces en présence à l'intérieur de la ferme

Le système de Cremona

Noeud par noeud appliquer le système de Cremona, afin d'avoir l'ensemble des vecteurs, donc des forces en présence.



Placer le premier vecteur connu,(1)

En partant de l'extrémité de celui-ci placer le deuxième (2).

En partant de l'extrémité du deuxième placer la direction d'un troisième (3).

Placer enfin la dernière direction en passant par le point de départ du premier (4).

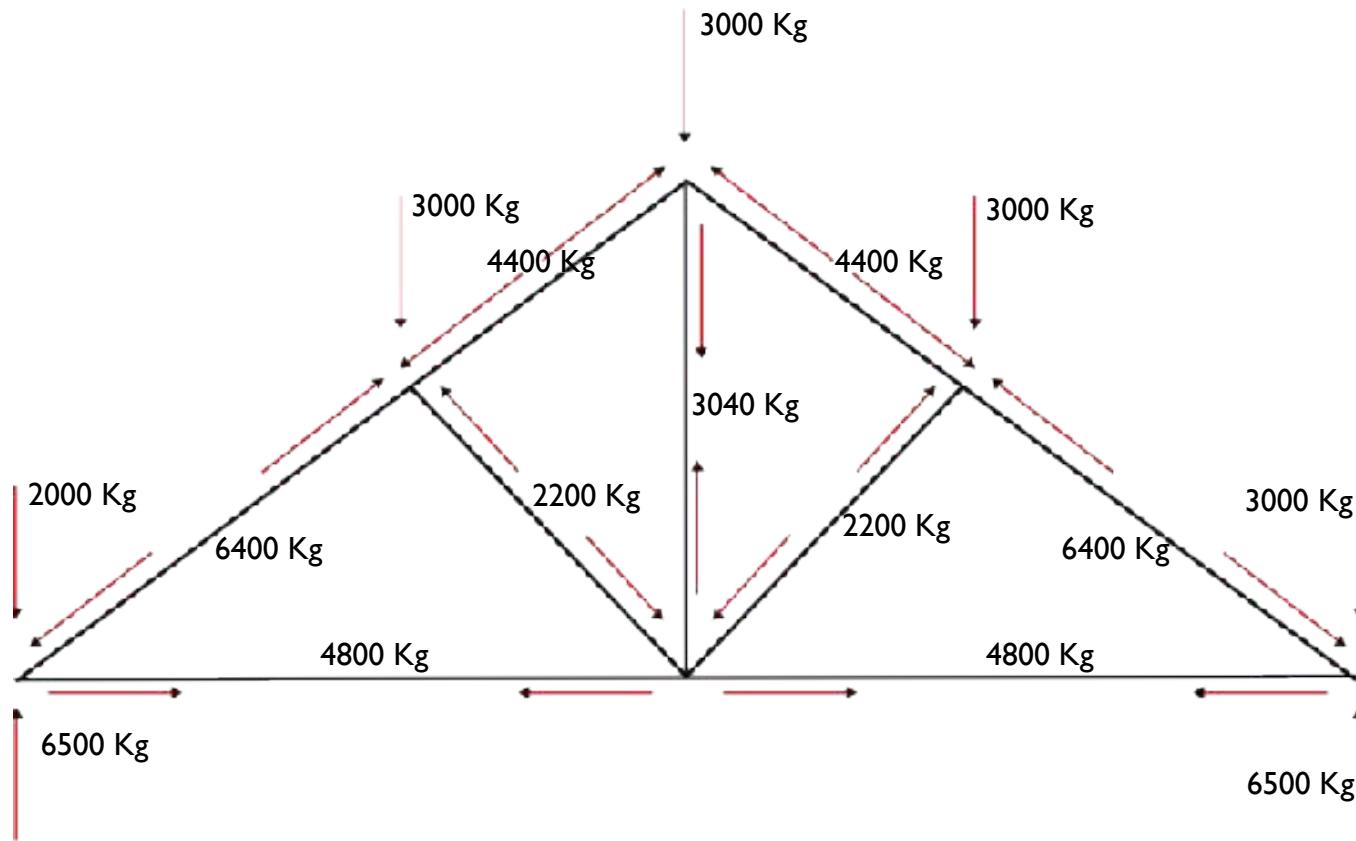
Il est possible de lire sur le dessin les 2 vecteurs qui manquaient (3 et 4) et d'en déduire les forces en présence .

Pour
1 => 16,25 cm => 6500 kg
2 => 5 cm => 2000 kg
3 => 12 cm => 4800 Kg
4 => 16 cm => 6400 Kg

3.2 Les différentes forces en présence à l'intérieur de la ferme

Le système de Cremona

Il est intéressant de relier ces différentes forces avec les différentes résistances du bois (compression longitudinale, compression transversale, traction, cisaillement).



Le calcul de Cremona permet donc de se rendre compte de l'intensité mais aussi de la direction des forces en présence. Par exemple il est particulièrement important de noter que le poinçon tire l'entrait vers le haut et travail donc en traction, l'entrait lui aussi travaille en traction.

L **Les assemblages sont les points faibles d'une charpente.**

3.3 Les différentes forces en présence à l'intérieur de la ferme

La résistance des bois

Dans un premier temps, on peut noter les points forts du bois : la compression longitudinale, la flexion statique et la traction axiale, et les points faibles: la traction transversale, le cisaillement longitudinal et la compression transversale.

Spécifications	Croquis	CONTRAINTES MAXIMALES SUR LES BOIS en Kg/cm ²					
		Chêne			Résineux		
		1	2	3	1	2	3
Masse volumique		0,9 à 1	0,75 à 1	0,7 à 1	0,5 à 0,6	0,45 à 0,55	1,4 à 1,5
Géolies d'élasticité		1 à 1,5 10^{-4}	1 à 1,5 10^{-4}	1 à 1,5 10^{-4}	0,8 à 1,2 10^{-4}	0,9 à 1,2 10^{-4}	1,3 à 1,2 10^{-4}
Compression longitudinale		136	103	96	111	103	92
Traction axiale		164	98	58	152	87	27
Flexion statique		147	125	109	142	103	87
Cisaillement longitudinal		22	14	13	15	13	11
Traction transversale		10	11	9	9	7	4
Compression transversale		49	41	32	27	22	17

Dans notre exemple, la poussée des arbalétriers sur l'entrait (cisaillement longitudinal) est de 6400 Kg avec un résineux de moyenne qualité on peut compter avec 100 kg/cm² donc $6400\text{Kg} / 100\text{Kg/cm}^2 = 64 \text{ cm}^2$ qui seront nécessaires pour résister aux contraintes. Si l'entrait fait 6 cm de large, il faut donc que l'entrait dépasse de l'embrèvement de 10,6 cm.

Le repos de l'entrait devra lui résister à 6500 Kg en compression transversale, avec une résistance moyenne de 20 Kg/cm² on obtient : $6500\text{kg} / 20\text{Kg/cm}^2 = 325 \text{ cm}^2$ de surface d'appui Une surface d'appui de 20 cm par 17 sera donc le minimum requis.

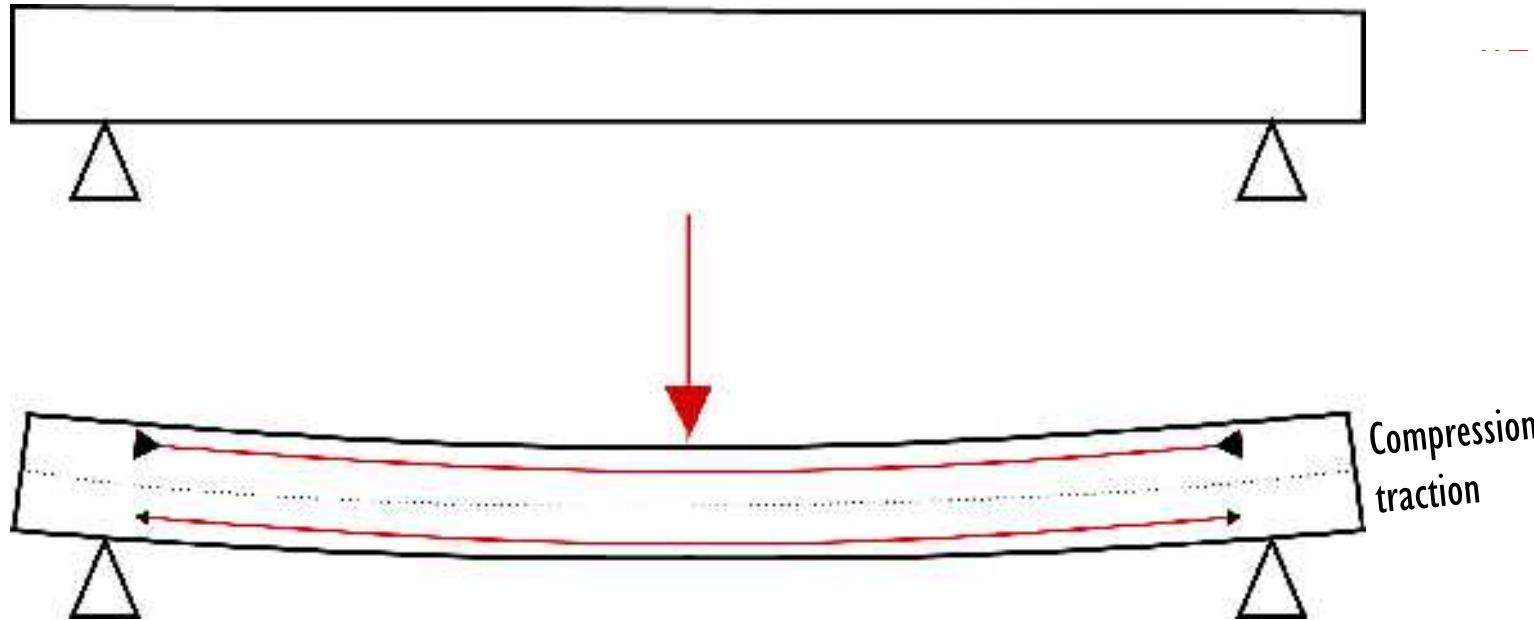
Quant à un poteau qui ferait 180 cm², il pourrait résister à une compression de $180\text{cm}^2 \times 100\text{Kg/cm}^2 = 18000 \text{ kg}$!

3.3 Les différentes forces en présence sur la charpente

Les forces dans une poutre.

Le haut d'une poutre travail en compression .
Le bas travail en traction.

En traction toute interruption de la continuité des fibres supprime la résistance.
En compression par contre tant qu'il y a contact, la résistance est conservée. L'une des conséquences est qu'il faut placer les gros noeuds dans le haut des poutres pour qu'ils ne fragilisent pas celle-ci.

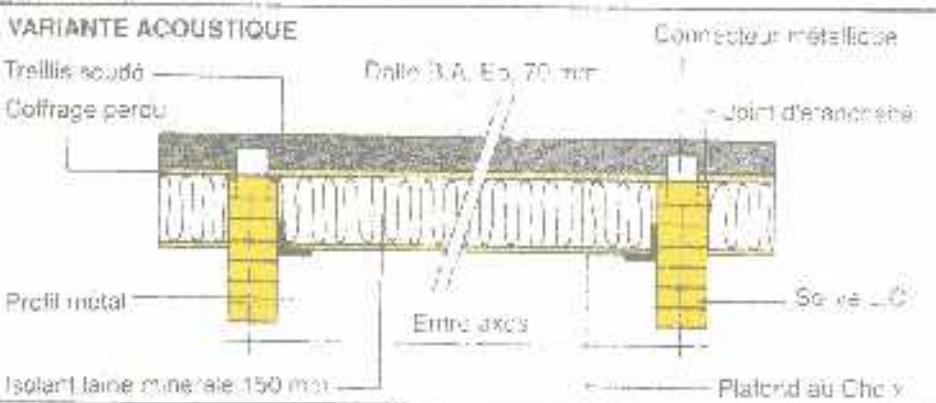
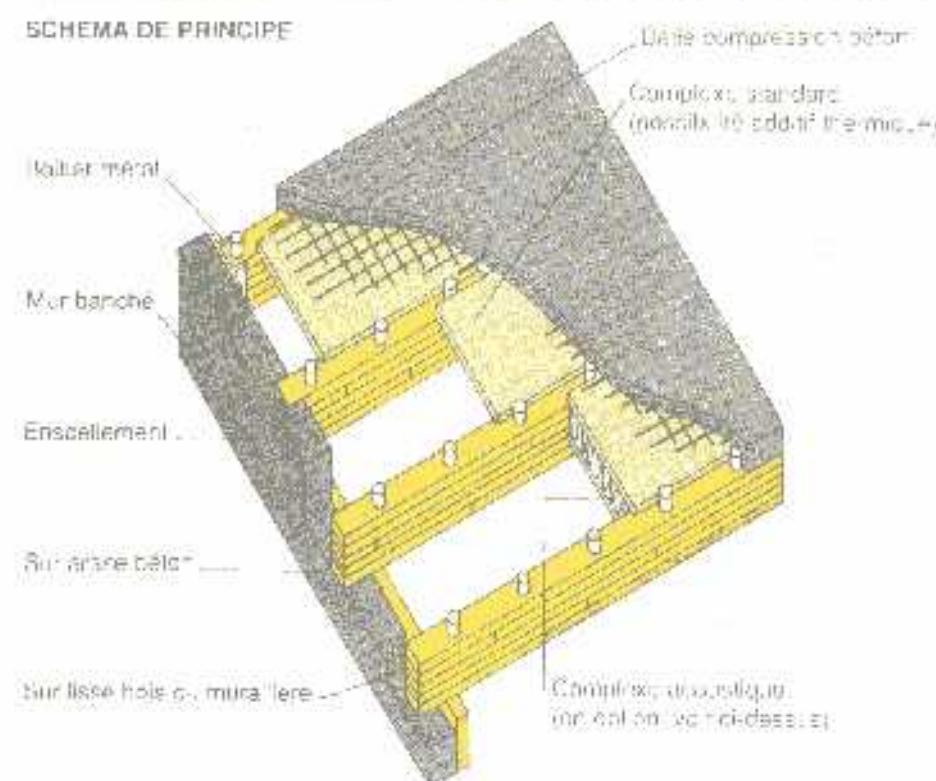


La résistance d'une poutre est :
- proportionnelle à sa largeur.
- égale au cube de sa hauteur

3.4 Les différentes forces en présence sur la charpente

Le plancher bois-béton collaborant

Partant du principe que le haut des poutres travaille en compression et le bas en traction, Alain Grimaud a mis au point un système utilisant la capacité du bois à travailler en traction et la capacité du béton à travailler en compression.



PRINCIPE PLANCHER

Brevet 88.102.550.7

- Dalle béton armé en guise de dalle de compression.
- Poutres bois faisant office de nervures tendues.
- Connecteurs métalliques liant le bois et le béton.
- Coffrage perdu sur joint d'étanchéité devenant plafond décoratif.
- Isolant éventuel sur coffrage ou entre solives suivant effet recherché (acoustique ou thermique).

TENUE AU FEU

1/2 heure - Poutres épaisseur 11 cm hauteur à ajuster suivant charges
1 heure - Poutres épaisseur 17,5 cm hauteur à ajuster suivant charges
besoin (STB 88.27.782 sous alternatif RFT).

COMPORTEMENT ACOUSTIQUE

Un isolant minéral de 150 mm entre solives avec un support au choix du prescripteur respecté l'arrêté du 10/2/82 modifié du 23/3/78 soit 51 dBA en bruit rose et 70 dBA en bruit d'impact sur site.

Essais UEBTP du 19 juil. 1989.

Des connecteurs métalliques (tuyaux de chauffage de 40 ou 70 de diamètre) sont enfouis de 40 mm dans les poutres (avant trou à la scie cloche) tout les 200 mm.

L'espace entre les poutres est coffré sans recouvrir les connecteurs.

Une dalle de béton armé est coulée sur 70 mm de haut.(connecteurs remplis et recouverts de 1 cm).

La résistance de la poutre est calculée en additionnant sa hauteur et celle de la dalle.

ANALYSES TECHNIQUES

Moyenné à titre indicatif, consulter la brochure d'étude de nos distributeurs.

Plancher Lamelle + dalle long. à tout en cm	Portée en mètres (épaisseur de dalle à 9 cm)			
	charge plancher uniformément répartie			
	250 daN/m²	500 daN/m²	avec cléma	sans cléma
tous les filé 9 cm				
11,0X14,0	7,75	5,20	4,75	4,20
12,5X18,0	7,35	5,00	4,15	3,60
13,5X23,5	8,25	7,50	7,40	6,75
13,5X28,2	9,30	8,50	8,35	7,60
16,0X37,5	12,20	10,30	10,50	9,40
tous filé 9,0 cm				
11,0X14,0	5,20	4,75	4,30	3,85
11,0X15,8	6,10	5,60	5,00	4,80
11,0X24,5	7,10	6,60	6,45	5,50
11,0X30,4,2	9,20	7,25	6,70	6,55
11,0X33,9	9,30	8,20	7,65	7,25
13,5X18,0	9,05	8,00	5,45	5,25
13,5X23,5	7,85	6,85	6,40	5,80
16,0X26,2	8,45	7,70	7,10	6,60
16,0X32,0	9,50	8,70	8,10	7,10
16,0X37,5	10,35	9,60	9,25	8,10
16,0X48,2	9,10	8,10	7,90	7,30
16,0X53,5	10,00	9,10	8,50	7,60
16,0X65,0	11,30	9,40	9,00	8,50

On peut voir ici que des portées importantes peuvent être obtenues avec des sections relativement faibles : 10 m de portées avec des poutres de 16/33 cm.

3.4 Les différentes forces en présence sur la charpente

Le plancher bois-béton collaborant

Cette méthode est très intéressante en rénovation:

- elle permet de restaurer un plancher en renforçant les poutres en place.
- de conserver les plafond anciens de l'étage inférieur.
- de ne pas engendrer de surpoids trop important.

Distributeur

Inventeur
Alain GRIMAUD
Ingénieur

1, rue des Lagerons
05500 St BONNET

Tél. 92 52 07 93

Elle est aussi intéressante en construction ossature bois, car elle apporte de l'inertie.

Module charpente

4 - Réalisation des différents assemblages

- 4.1 Les signes d'établissements
- 4.2 Le repiquage
- 4.3 Le tracé
- 4.4 Les usinages
- 4.5 L'affûtage



4.1 Réalisation de tenon, mortaise, embrèvement

L'établissement

Avant de commencer le travail sur les pièces, il faut tout d'abord établir les pièces, c'est à dire décider de leurs emplacements dans l'ensemble de l'ouvrage, de leur parement (côté vue), du haut et du bas et réaliser les signes d'établissement.

Les signes conventionnels dont se servent les charpentiers sont : soit des marques, soit des lettres, soit des chiffres, et tous doivent être composés de manière à pouvoir être tracés avec la rainette ou la besaiguë.

- Chiffres : Les chiffres sont principaux ou composés. Les principaux dont la valeur est indiquée, correspondent aux nombres 1, 5, 9, 10, 15, 19, 20. Les composés se forment des principaux de la manière suivante :

de 1 à 5 on répète le chiffre 1

de 5 à 9 on met les 1 dans le 5

de 10 à 15 on met les traits à la droite du X

de 15 à 19 on met les traits dans le chiffre 15

La contre-marque.



la contre-marque de la deuxième ferme.



4.2 Le repiquage

C'est l'action qui consiste à reporter les différents points d'intersection, et les tracés d'assemblages de l'épure sur la pièce.

Il est pour cela important d'avoir un crayon taillé au rabot.

L'oeil est placé juste au dessus du trait à repiquer et le plat du crayon dans l'axe du trait de cordex. Le repiquage s'effectue d'un seul coup de crayon, afin d'avoir un trait précis. Tous les tracés qui serviront sur une pièce doivent être repiqués en une seule fois.



4.3 **Réalisation de tenon, mortaise, et embrèvement**

Le tracé

A partir du repiquage, reporter les tracés sur les différentes faces où ils seront utiles.



Pour les largeurs de pièces, il est plus précis d'utiliser la pièce elle-même comme gabarit.



4.4 Réalisation de tenon, mortaise, embrèvement

La découpe

La découpe à la scie circulaire peut être effectuée en suivant le trait ou en s'appuyant sur une règle.

La règle doit être décalée de la largeur du sabot.



Après avoir réalisé la (ou les) coupe(s) de délimitation, donner des coups de scie tous les 10 à 15 mm afin de préparer le travail au ciseau.

4.4 Réalisation de tenon, mortaise, embrèvement

La découpe

Une fois les découpes effectuées, faire sauter la matière avec le ciseau de charpentier.

Puis finir avec le ciseau à plat, afin d'obtenir une surface régulière.



4.4 **Réalisation de tenon, mortaise, embrèvement**

La découpe

Chaque usinage doit être vérifié avec la pièce complémentaire ou avec un gabarit.



4.4 Réalisation de tenon, mortaise, embrèvement

Usinage de la mortaise

Dans un premier temps, dégrossir la partie verticale de l'usinage à la perceuse.

Ensuite délimiter le périmètre de la cavité.
Enfin creuser au ciseau.



Le marquage de la mortaise se dessine comme suit :

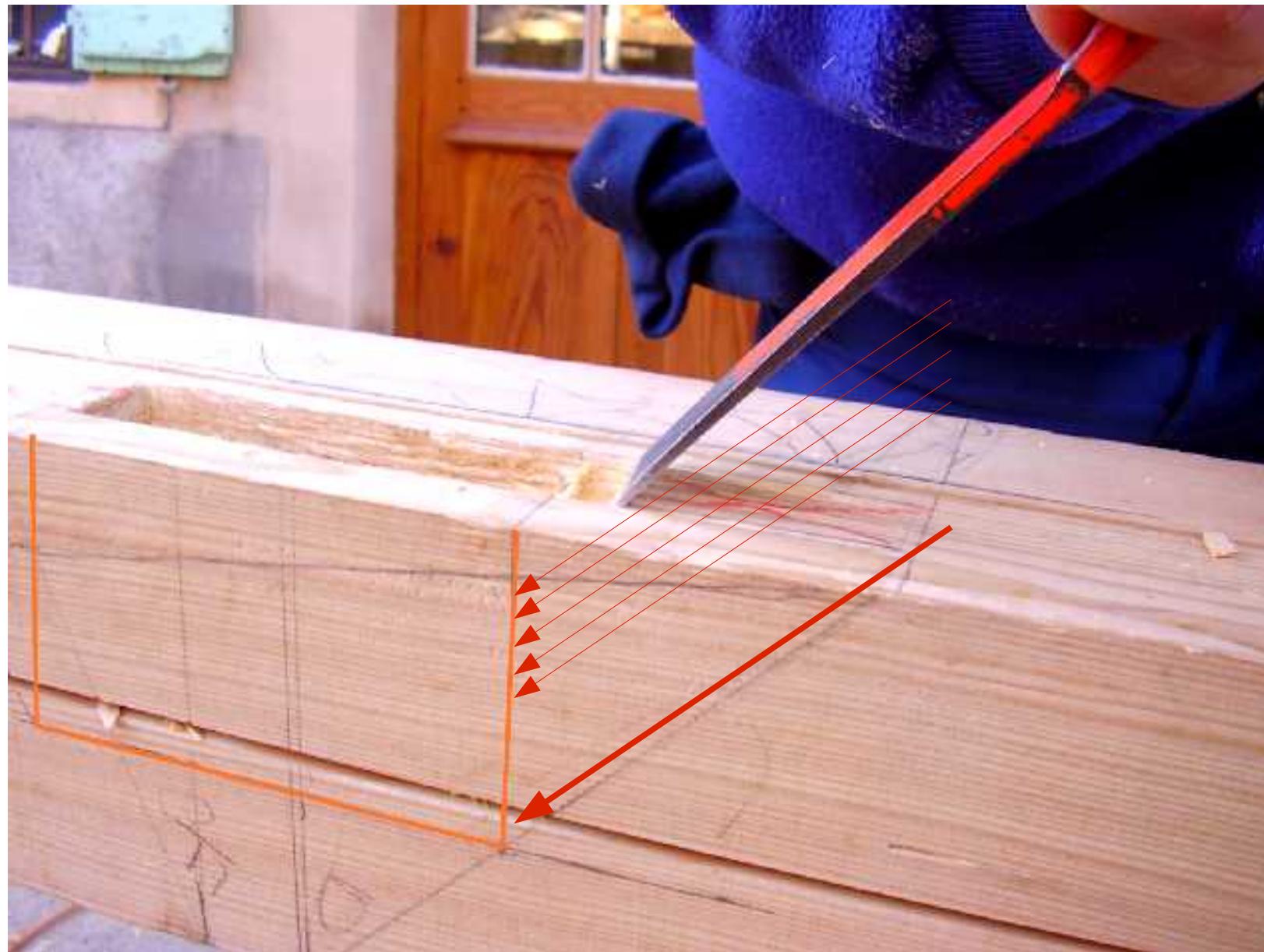
- Une double flèche pour les mortaises débouchantes.
- Une demi double flèche pour les mortaises non débouchantes.
- Une surface barrée pour les parties en biais.



4.4 Réalisation de tenon, mortaise, embrèvement

Usinage de la mortaise

Pour réaliser la partie inclinée de la mortaise, positionner le ciseau au bord de la cavité avec le même angle que le fond de la mortaise, puis enlever des copeaux réguliers jusqu'au fond.



La largeur de l'usinage doit être validée tout au long du travail avec un gabarit, puis à la fin avec le tenon de la pièce correspondante.



4.4 **Réalisation de tenon, mortaise, embrèvement**

Usinage du tenon

La réalisation du tenon est très similaire à celle des assemblages à mi-bois.

Il faut veiller malgré tout à ne pas exécuter la coupe de long trop rapidement, afin de garder un appui pour la scie circulaire.



4.4 **Réalisation de tenon, mortaise, embrèvement**

Usinage de l'embrèvement

La réalisation de l'embrèvement est assez proche de celle de la pente d'une mortaise.

Dans un premier temps couper le fonds de l'usinage.

Ensuite progressivement au ciseau, enlever la matière. Il est très important de tailler dès le début parallèlement au dernier coup de ciseau.

Il est possible de dégrossir avec le ciseau droit, mais il est indispensable de finir avec le ciseau à plat.



4.5 Réalisation

Affûtage des ciseaux

L'affûtage du ciseau se réalise en 2 temps :

1- Récupérer le file du ciseau sur la meule, le touret.

2 - Ébarber sur une pierre à huile.



Sur le touret, il est important de garder le ciseau bien plaqué sur le guide, et de le déplacer de gauche à droite sans arrêt. Attention aussi à ne pas détremper la lame.



Sur la pierre à huile, affûter alternativement d'un coté et de l'autre, en restant bien plaqué.

