

# Fermes et pannes



- Principes
- Matériaux
- Prédimensionnement
- Assemblages
- Fixation des fermes aux appuis
- Fixation des pannes
- Contreventement
- Rives et saillies
- Normes et DTU

## ▲ Principes

---



*Maison à Epinal  
Architecte: HABA*

**La charpente dite traditionnelle est constituée de fermes, de pannes et de chevrons.**

Une ferme est composée par l'assemblage de plusieurs pièces de bois massif. Les arbalétriers, l'entrait et le poinçon forment le réseau principal tandis que les contre-fiches, les jambes de force, les diagonales et les potelets forment le réseau secondaire d'une ferme.

Les assemblages des parties constitutives de la ferme se font par embrèvement, par boulon ou par clouage.

Chaque ferme reporte une charge concentrée importante sur les infrastructures qu'il est nécessaire de prévoir.

La ferme traditionnelle est une solution appréciable lorsque la charpente comporte d'importantes pénétrations (cheminées, cages d'escalier au niveau du plancher, lucarnes) ou des raccords (noues, arêtiers...)

Du fait de l'utilisation de fortes sections, la ferme offre une bonne tenue au feu. Elle peut donc s'exposer et participer à la qualité de l'espace.

On cherche à écarter les fermes au maximum sans le faire au détriment des pannes et des solives (en cas de plancher) qu'elles supportent.

La ferme traditionnelle étant placée dans un plan vertical, elle doit être contreventée lors de sa mise en œuvre. On utilise pour cela des liens disposés dans le plan du faîtage.

## ▲ Matériaux



Fermes et pannes

### QUALITÉ

Les fermes et les pannes sont le plus souvent fabriquées à partir des résineux suivants : **épicéa, sapin, douglas, pin maritime, pin sylvestre.**

Leur forte épaisseur n'oblige pas à utiliser des bois présentant de très grandes caractéristiques mécaniques sauf pour les très grandes portées. Lorsqu'ils sont cachés, les bois n'offrent pas de contraintes visuelles. Par contre les charpentes apparentes doivent faire l'objet d'un plus grand soin d'aspect (Classement structure : C18 ou C24, Classement visuel : ST3 ou ST2).

### HUMIDITÉ

Mis en œuvre dans une ambiance non chauffée, les bois doivent avoir un taux d'humidité voisin de 18 % sans excéder 22 %.

Si les fermes doivent être apparentes dans un local chauffé, le taux d'humidité sera voisin de 15 % sans dépasser 20%.

### RISQUES BIOLOGIQUES

Abritées et ventilées, les fermes ne présentent pas d'autres risques biologiques que ceux qui sont liés aux insectes. Les bois doivent présenter une durabilité naturelle ou conférée correspondant à la classe d'emploi 2. Le transport, le stockage ou le chantier pouvant présenter un risque d'humidification.

#### Attention :

- Les pannes mises en œuvre avec une sous-toiture mal ventilée peuvent être exposées à des risques de condensation (classe d'emploi 3) ;
- Les bois noyés en maçonnerie et destinés à recevoir les fixations de fermes ou les extrémités d'entrants encastrés dans des murs maçonnés sont beaucoup plus sujets à dégradation. Le choix de l'essence ou du traitement doit correspondre à la classe d'emploi 4.

### DIFFÉRENTS TYPES DE FERMES

Il existe plusieurs types de fermes caractérisées par leur triangulation. Les critères intervenant dans le choix sont les suivants :

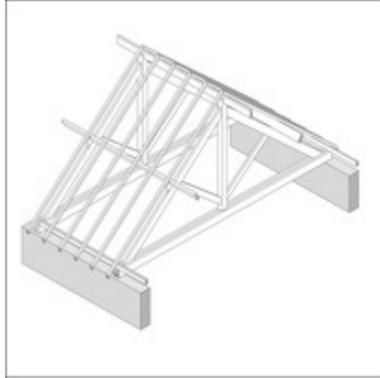
- Utilisation du comble,
- Portée,

- Débord de toiture,
- Pente de toit,
- Poids de la couverture,
- Poids des plafonds.

#### FERME LATINE

Elle est formée de triangles qui ont pour but d'éviter les moments de flexion. Le système le plus simple est constitué d'arbalétriers et de contre-fiches massives, d'un entrait pouvant être moisé et d'un poinçon souvent de section carrée pour recevoir les contre-fiches dans une direction et les liens de contreventement dans une direction perpendiculaire.

La ferme constituée d'un poinçon avec contre-fiche ne permet guère de dépasser 8 m de portée. On peut augmenter la portée (12 à 14 m) en renforçant le réseau secondaire par ajout de montants et de diagonales moisées qui soulagent l'entrait.



Ferme latine

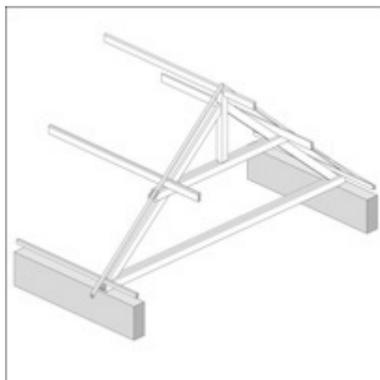
Ferme latine

#### FERME À ENTRAIT RETROUSSÉ

Ce type de ferme s'utilise pour les combles habitables. L'entrait est retroussé à la hauteur des volumes que l'on veut utiliser.

Elle comporte des jambes de force destinées à soulager la partie inférieure des arbalétriers. Elle peut comporter des liens en partie supérieure situés au droit des pannes.

Fortement hyperstatique, ce type de fermes ne nécessite pas de pièces de bois de sections importantes. La portée des fermes à entrait retroussé se situe entre 10 et 12 m.

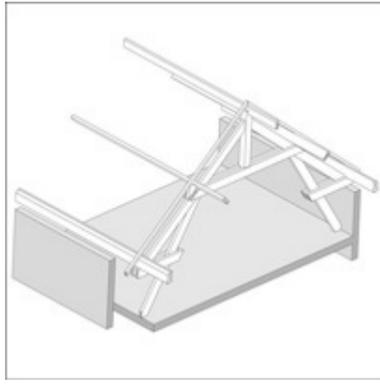


Ferme à entrait retroussé

#### Attention :

*La réaction en pied de la jambe de force est variable selon l'inclinaison. Elle peut conduire à des poussées horizontales. Le maintien des pieds d'arbalétriers doit alors être assuré par un tirant en acier posé au niveau du plancher.*

Ferme à entrait retroussé

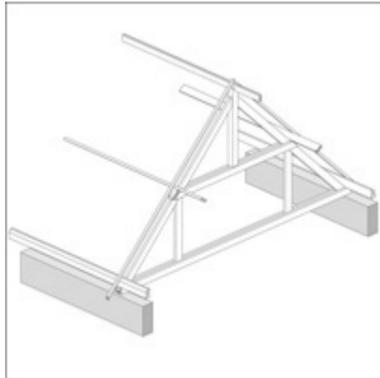


*Ferme sur blochet*

### FERME SUR BLOCHET

Les fermes sur blochet s'apparentent aux fermes à entrain retroussé à la différence que le pied de l'arbalétrier n'exerce aucune poussée sur les murs. Il s'agit d'une ferme à deux articulations qui fonctionne à la manière d'une ferme sur poteau dont la flexion de l'arbalétrier est reprise par les blochets. La portée de ce type de ferme ne dépasse que rarement 12 m.

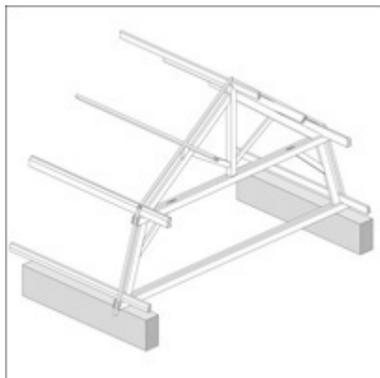
On notera que le pied de l'arbalétrier peut ne pas être en appui sur le mur.



*Ferme à la Palladio*

### FERME À LA PALLADIO

Ferme dont l'appellation provient du nom de l'architecte italien Andréa Di Pietro dit Palladio (1508-1580). C'est une ferme pour comble utilisable ne venant pas prendre appui sur un plancher. L'entrait fait fonction d'élément porteur de plancher. Les suspentes latérales ne servent qu'à soulager l'entrait afin qu'il ne se déforme pas sous son propre poids et à reprendre les contre-fiches qui soulagent les arbalétriers. La portée peut atteindre 16 à 18 m.



*Ferme à la Mansart*

### FERME À LA MANSART

C'est à François Mansart (1598-1666), architecte, que l'on a attribué à tort cette ferme. Elle fut utilisée par Pierre Lescot (1515-1578) au Louvre. Elle offre un maximum de volume pour la réalisation d'un comble habitable. Elle fonctionne à la manière d'un portique. La principale difficulté consiste à assurer la stabilité des fermes dans leurs plans sans réduire le dégagement intérieur.

Une première solution consiste à utiliser des contre-fiches qui reçoivent en outre la réaction d'appui des arbalétriers. Cette solution nécessite de fortes sections et les différentes pièces sont situées dans un même plan. Les portées courantes ne dépassent pas 8 m.

Une autre solution consiste à utiliser une ferme triangulée et des poteaux moisés. La stabilité est assurée dans le plan des entrants par un contreventement qui reporte les efforts au droit des pignons. La portée peut alors atteindre 10 à 12 m.

## ▲ Prédimensionnement



Ferme à entrain retroussé

**En plus des charges propres de la toiture (éventuellement du plafond et du plancher des combles), des surcharges climatiques et des caractéristiques mécaniques des bois de construction utilisés, le dimensionnement d'une charpente dépend essentiellement du type de ferme, de la portée des fermes et de la travée.**

## LES FERMES

L'entraxe des fermes varie entre 3,00 et 5,00 m.

La portée des fermes se situe généralement entre 8 et 12 m, mais peut aller jusqu'à 18 m.

Dimension minimum des pièces de bois (résineux) pour une ferme latine

Portée	Distance entre fermes	Arbalétrier	Entrait	Contre-fiche	Poinçon
6	3	65 x 125	65 x 125	65 x 125	65 x 125
	3,5	65 x 150	65 x 125	65 x 125	65 x 125
	4	65 x 150	65 x 125	65 x 125	65 x 125
7	3	65 x 150	65 x 150	65 x 125	65 x 150
	3,5	65 x 175	65 x 175	65 x 150	65 x 150
	4	65 x 175	65 x 175	65 x 150	65 x 150
8	3	75 x 150	75 x 150	75 x 125	75 x 125
	3,5	75 x 175	75 x 175	75 x 125	75 x 150
	4	75 x 175	75 x 175	75 x 150	75 x 150
9	3	75 x 175	75 x 175	75 x 150	75 x 175
	3,5	75 x 200	75 x 200	75 x 175	75 x 175
	4	75 x 200	75 x 200	75 x 175	75 x 175
10	3	75 x 200	75 x 200	75 x 175	75 x 175

3,5	75 x 200	75 x 200	75 x 175	75 x 175
4	75 x 200	75 x 200	75 x 175	75 x 200

## LES PANNES

Le nombre de pannes dépend de la portée des fermes.

Portée (P)	5 < P < 8m	5 pannes
	8 < P < 12m	7 pannes
	12 < P < 15m	9 pannes
	15 < P < 18m	11 pannes

La portée des pannes dépasse rarement 4,50 m

L'espacement entre deux pannes consécutives varie entre 1,20 et 1,80 m.

Il est déterminé par le type de couverture et la pente de toiture

### Distances admissibles entre pannes

Toiture en tuile		Toiture en bardeaux bitumeux		Toit en bac-acier Toiture en tôle en fibre ciment	
Pente	Dist.	Pente	Dist.	la distance entre pannes dépend du profil de la plaque	
30°	1,10 m	14°	1,10 m	Fib.ciment	1,35 m
45°	1,30 m	33°	1,30 m	Bac acier	1,80 m
60°	1,60 m				

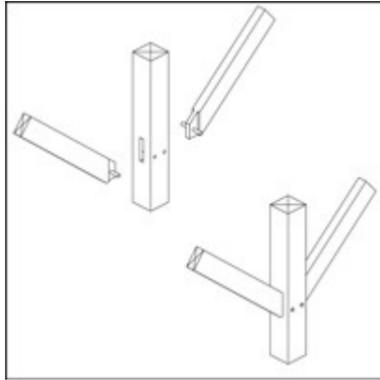
La section des pannes dépend :

- De leur portée,
- De leur écartement,
- De la couverture.

Sections admissibles des pannes (hypothèse d'écartement de 1,30m)

Portées	Ch. 80 daN/m <sup>2</sup>	Ch.150 daN/m <sup>2</sup>
3,00 m	50 x 150 mm	50 x 175 mm
4,00 m	65 x 175 mm	75 x 225 mm
5,00 m	75 x 225 mm	105 x 225 mm

## ▲ Assemblages

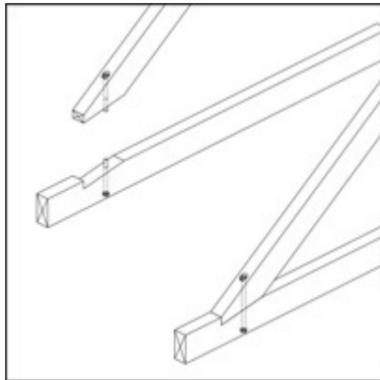


Assemblage par tenon et mortaise

### TENONS ET MORTAISES

Ce sont les assemblages les plus utilisés en charpente traditionnelle. Ils permettent le bon positionnement de deux pièces l'une par rapport à l'autre, mais ont de faibles performances mécaniques.

Le tenon a généralement une épaisseur de 3 cm et une longueur de 7 cm, quant à la mortaise, elle a une profondeur de 8 cm. On utilise généralement ce type d'assemblage pour les liens, les contre-fiches, les têtes d'arbalétriers... Une cheville en bois dur assure un bon contact entre les éléments.

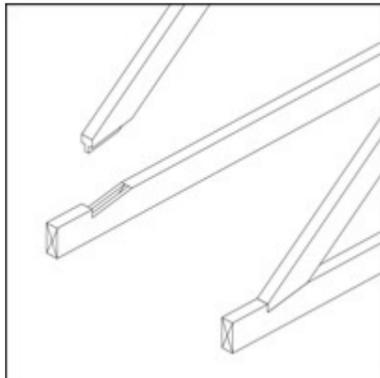


Assemblage par embrèvement simple

### EMBRÈVEMENT

Ce sont des assemblages permettant de reprendre des efforts importants qui viennent souvent renforcer un assemblage par tenons et mortaises. Ils présentent cependant l'inconvénient de ne reprendre que des efforts de compression et de réduire les sections, là où l'effort tranchant est souvent important.

Le maintien de l'embrèvement se fait généralement par l'intermédiaire d'un boulon.

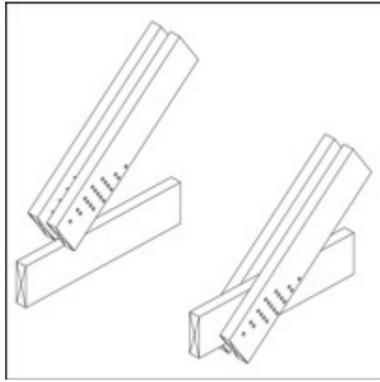


Assemblage par embrèvement et tenon

### CLOUS

Les clous sont réservés à l'assemblage des pièces de bois dont l'épaisseur ne dépasse pas 75 mm.

Les clous sont sollicités soit à l'arrachement soit au cisaillement. La résistance à l'arrachement ne dépasse jamais 50 % de la résistance au cisaillement. Le double cisaillement représente la condition idéale d'utilisation des clous. Il se rapporte à l'assemblage de 3 éléments entre eux.



Assemblage par clous

On utilise de préférence des clous torsadés.

Le nombre et la section des clous dépendent des efforts à reprendre. Mais on notera que l'augmentation de la densité du clouage conduit à des réductions des charges admissibles (10 % à partir de 10 clous, 20 % à partir de 20 clous) pour tenir compte du fait que tous les clous ne travaillent pas à pleine charge.

On peut utiliser comme pièces complémentaires des goussets en contre-plaqué ou des tôles minces.

Les diamètres courants des clous vont de 2 à 6 mm et la longueur jusqu'à 200 mm.

#### Attention :

*En atmosphère humide, les clous peuvent être sujet à de la corrosion. La galvanisation à chaud est recommandée pour assurer une bonne protection des éléments en acier.*

### BOULONS

Les boulons sont généralement sollicités en flexion alors que le bois l'est à la compression et au cisaillement.

Les boulons et les tiges filetées sont montés avec des rondelles ou des plaquettes pour diminuer l'écrasement du bois.

Comme les clous, ils doivent être protégés contre la corrosion.

Il est recommandé d'utiliser au moins 2 boulons par assemblages afin de diminuer la concentration des efforts au voisinage du boulon.

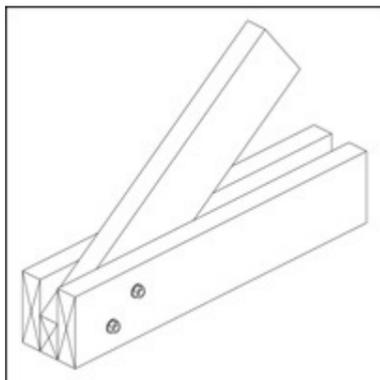
Le diamètre fréquent des boulons est de 18 mm. La longueur va jusqu'à 40 cm pour les boulons et plus pour les tiges filetées.

#### A noter :

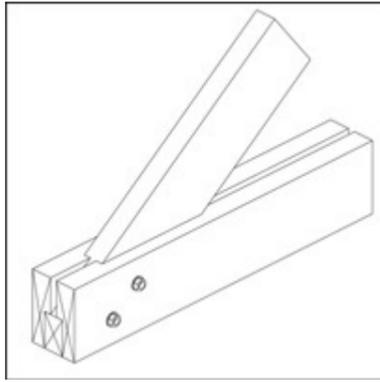
*La mise en œuvre de crampons entre les pièces de bois assemblées par boulons permet d'augmenter la rigidité de l'assemblage.*

### MOISEMENTS

Les moiselements sont des usinages destinés à maintenir des éléments dans une position prédéfinie ou à



Assemblage simple par boulons



Assemblage avec moisement



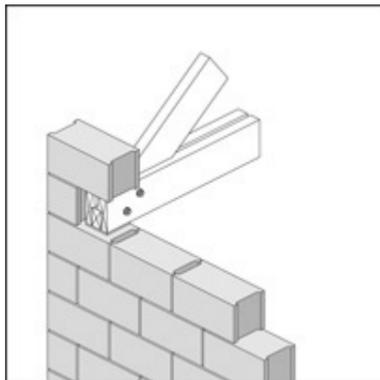
Assemblage par gousset et broches

renforcer des assemblages boulonnés ou cloués. Ils peuvent être simples ou doubles selon qu'un seul élément ou tous les éléments sont moisés. Pour qu'ils soient considérés comme étant travaillant (accroissement de la rigidité) leur profondeur minimale doit être de 1,2 cm.

### GOUSSETS ET BROCHES

Ces assemblages utilisent le principe des goussets métalliques de formes variées insérés en âme pleine. Les goussets sont maintenus par des broches ou chevilles en acier d'un diamètre supérieur à 6 mm. L'usinage des parties se fait généralement sur machine à commandes numériques. La mise en œuvre doit s'effectuer de manière ajustée et suppose une grande précision.

## ▲ Fixation des fermes aux appuis

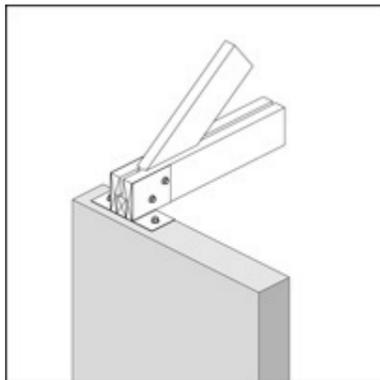


Appui sur mur maçonné

**Il faut porter une attention particulière aux appuis car il se produit à cet endroit une concentration d'efforts importants.**

### APPUI SUR MUR MAÇONNÉ

La surface d'appui doit être suffisante pour éviter les risques de compression transversale du bois. De plus, l'axe de l'appui doit être situé dans le 1/3 intérieur de l'épaisseur du mur pour limiter les risques de chargement excentré du mur (augmentation du flambement du mur).



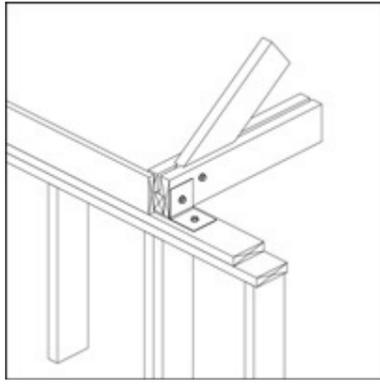
Appui sur voile en béton

On prévoit en général un calage qui isole le bois de la maçonnerie et assure la surface d'appui nécessaire. Il est également recommandé d'interposer une coupure de capillarité (feutre bitumeux).

#### Attention :

*Lorsque l'appui se fait dans une cavité du mur, il faut prévoir un jeu de réglage latéral autour de l'assemblage qui ne doit pas être comblé au mortier.*

### APPUI SUR CHAINAGE OU VOILE BÉTON

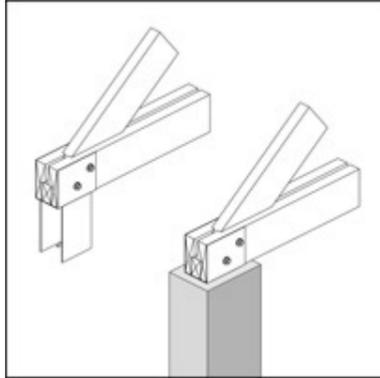


*Appui sur mur à ossature en bois*

Lorsque le mur maçonné se termine par un chaînage en béton armé, l'arbalétrier trouve un bon repos en termes d'horizontalité et de surface d'appui. Afin d'éviter tous risques de soulèvement il est nécessaire de prévoir une ferrure boulonnée.

#### **APPUI SUR MUR A OSSATURE LÉGÈRE EN BOIS**

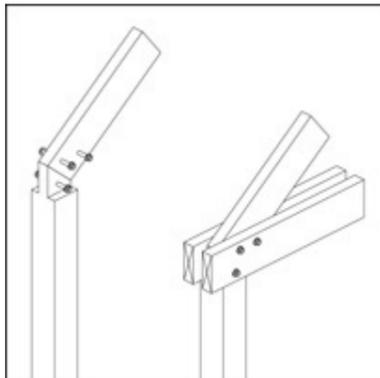
La fixation de l'entrait se fait par des équerres ou une ferrure en U boulonnée sur la sablière du panneau. Il est indispensable de renforcer l'ossature du mur au droit de l'appui par l'insertion d'un poteau en bois ou de montants complémentaires dimensionnés pour reprendre les contraintes de flambement.



*Appui sur poteau en béton*

#### **APPUI SUR POTEAU EN BÉTON**

Le poteau est généralement de faible section. L'assemblage courant se fait par une ferrure scellée au milieu du poteau. L'étrier en fer plat est calé au mortier et raidi par un fer d'ancrage en U ou en I d'une largeur voisine de l'étrier afin d'éviter toute déformation des fers plats.



*Appui sur poteau en bois*

Si le poteau en béton est encastré en pied il peut admettre des poussées horizontales légères de la charpente.

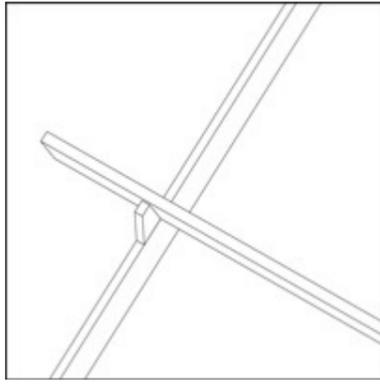
#### **APPUI SUR POTEAU EN BOIS**

On fait généralement appel à un système moisant. L'entrait moisant vient enserrer la tête du poteau et la fixation se fait par boulon. On peut prévoir sur la tête du poteau des épaulements afin de diminuer le cisaillement dans les assemblages.

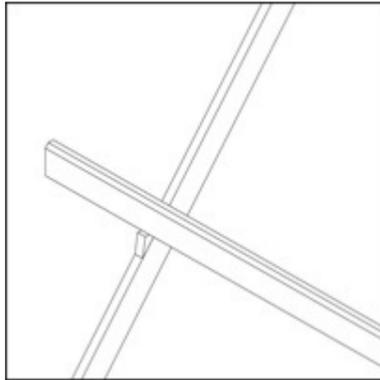
Dans le cas d'une ferme à entrait simple, l'assemblage de tête est assuré par deux fers plats boulonnés.

## **▲ Fixation des pannes**

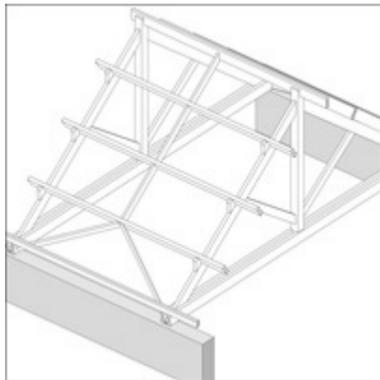
---



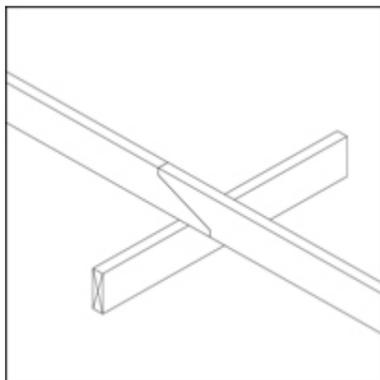
Pannes à dévers



Pannes d'aplomb



Décharges et entretoises



Joint en sifflet sur appui

### APPUI DES PANNES

Les pannes sont fixées sur les arbalétriers au moyen d'échantignolles. Pour les toitures à faible pente (<100 %), les pannes sont posées à dévers. Cette solution permet aux pannes d'offrir une bonne surface d'appui aux chevrons. Elle permet également un bon appui sur l'arbalétrier.

Sur des toitures à pente plus importante, il est préférable de poser les pannes d'aplomb. En général la panne est délardée sur son arête extérieure afin d'offrir un appui suffisant aux chevrons. Mais la solution qui consiste à entailler la sous face des chevrons pour former un appui est également pratiquée.

#### Attention :

*Plus la panne est déversée plus sa flexion va augmenter (une poutre de 75 mm X 225 mm est neuf fois moins rigide à plat que de chant). Il convient de prévoir des augmentations de la section ou d'introduire des dispositifs de reprise des poussées de pannes.*

### REPRISE DES POUSSÉES DE PANNES

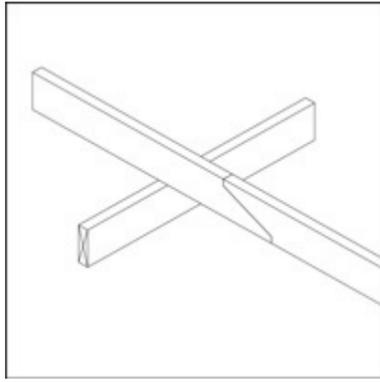
La pose de pannes déversées nécessite la mise en œuvre de dispositifs de reprise de poussées, selon un plan parallèle à celui de la couverture. On interpose entre toutes les pannes intermédiaires des entretoises. La poussée en partie basse est alors reprise par deux décharges.

### JOINTS DE PANNES

Lorsqu'elles sont discontinues, les pannes sont aboutées par des coupes en sifflet situées aux appuis. Il est nécessaire que la longueur du sifflet soit suffisante (1,5 fois la hauteur des pièces de bois) afin d'éviter que les pannes ne glissent l'une sur l'autre. Dans le cas de grandes portées, on peut déporter le joint hors de l'appui, cette disposition est dite en cantilever.

La fixation se fait par des pointes lardées correspondant à la section des pièces de bois (pointes de 125 à 160 mm de longueur). On peut également fixer les pannes sur les arbalétriers par des équerres métalliques.

Les pannes sablières peuvent être posées déversées sur les arbalétriers mais aussi d'aplomb sur les entrails.



Joint en sifflet en cantilever

Dans le cas de murs en maçonnerie, les sablières peuvent être posées à plat et être fixées directement sur le chaînage du mur par des tire-fonds chevillés, des équerres ou des boulons scellés.

Les pannes faîtières sont le plus souvent posées en face d'aplomb et délardées sur deux arêtes pour recevoir les chevrons. Le faîtage se fixe sur le poinçon par une gargouille, par embrèvement ou encore par tenon et mortaise. On rencontre parfois la solution de deux pannes faîtières déversées.

## ▲ Contreventement



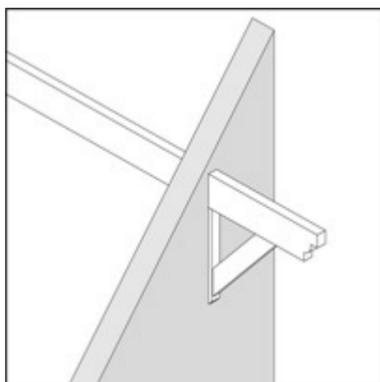
Liens de contreventement

Le contreventement longitudinal est assuré par des liens placés entre les fermes dans le plan des poinçons. Les liens d'une section courante de 7,5 x 11 cm sont fixés par tenons et mortaises ou par simple clouage entre les poinçons et la panne faîtière. Leur inclinaison est proche de 45 °.

### Attention :

Lorsque les pignons ne sont pas autostables, il est nécessaire de prévoir des contreventements rampants dans les travées de rives clouées à leur intersection avec les pannes et fixées aux fermes.

## ▲ Rives et saillies



Pannes et liens

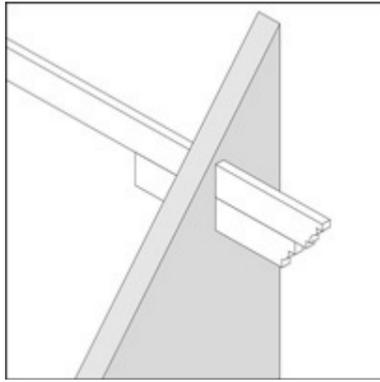
### LE PIGNON

La valeur du débordement est le plus souvent dictée par l'esthétique du toit et son rôle recherché dans la protection des murs.

Quant les pannes ont un dépassement de 40 à 50 cm, elles sont en général simplement découpées à leurs extrémités à des fins décoratives.

Lorsque les débordements sont plus importants (de l'ordre de 1 m) on peut faire appel à deux techniques de renfort pour éviter qu'elles ne fléchissent.

Les pannes sont soulagées par des liens. Ceux-ci sont assemblés en tête par des embrèvements, des tenons et mortaises ou des ferrures en acier. En pied ils peuvent être encastrés ou également assemblés par des ferrures.



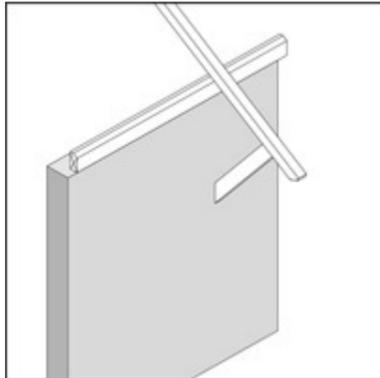
Pannes et corbeaux

Les pannes sont soulagées par des corbeaux superposés scellés dans le mur ou par une sous-panne qui pénètre à l'intérieur de la construction d'une longueur égale à celle de son débordement. Tous ces éléments sont assemblés entre eux par boulonnage.

**Attention :**

*On veillera à ce que l'extrémité des pannes ne soient pas exposée à l'eau par une position légèrement en retrait de la rive ou par une protection rapportée (zinc, planche à pourrir...).*

**LE LONG PAN**

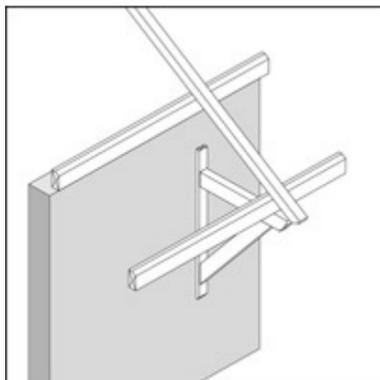


Chevrons et consoles

Les saillies ont pour fonction de protéger les murs et lorsqu'elles ont de grandes dimensions de former un avant-toit pour abriter des balcons, des passages ou encore contrôler l'ensoleillement. Elles présentent aussi l'intérêt de souligner par un trait d'ombre la transition entre la façade et le toit.

Les saillies sont le plus souvent réalisées par prolongement des chevrons. La finition prend la forme d'une sous-face rampante ou d'un caisson horizontal. Avec de chevrons de 5 x 7,5 cm ou 7,5 x 7,5 cm, on peut atteindre sans difficulté 60 cm de débordement. Cette valeur importante, malgré les faibles sections, s'explique par le fait que le poids de la saillie est équilibré par la partie de couverture située au-delà du mur.

Au-delà de 60 cm, il faut utiliser :  
Des chevrons de sections plus fortes (7,5 x 11 cm),  
Des consoles sous les chevrons,  
Une sablière de volée reposant sur des consoles ou des poteaux.



Chevrons et sablières de volée

**▲ Normes et DTU**

- NF P 21.204 : DTU 31.2 Construction des maisons et bâtiments à ossature en bois
- NF P 21.203 : DTU 31.1 Charpente et escaliers en bois
- NF P 92.703 : BF 88 Méthode de justification par le calcul de la résistance au feu des structures en bois
- NF P 21.711 : Eurocode 5 Calcul des structures bois
  - EN - 1995 1.1 : Règles pour les bâtiments
  - EN - 1995 1.2 : Calcul des structures au feu

