

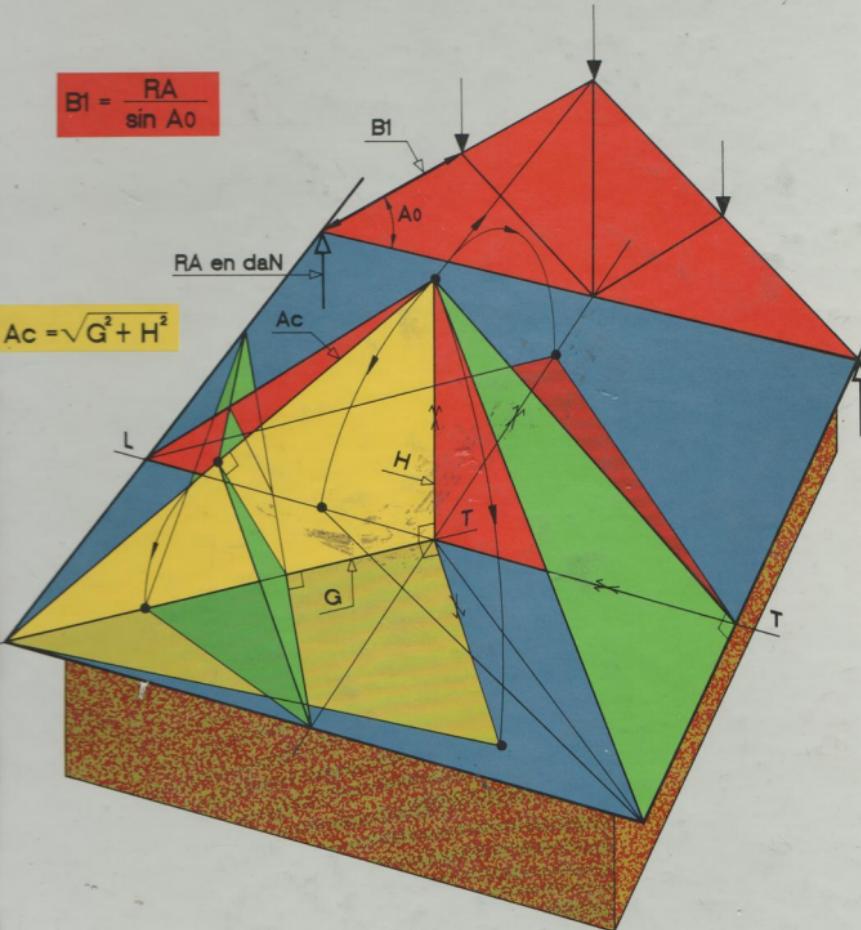
ÉMERY

# LA CHARPENTE EN BOIS

$$B_1 = \frac{RA}{\sin A_0}$$

RA en daN

$$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$$



ÉDITIONS H. VIAL

# **LA CHARPENTE EN BOIS**

PAR

**GILBERT ÉMERY,**  
*ancien professeur technique*

**JEAN-MICHEL ÉMERY et PHILIPPE NAIRIÈRE**  
*techniciens en Génie Civil*

**MARIE-PAULE RAIMBAULT,**  
*dactylographe*

**ÉDITIONS H. VIAL**

## *Avant-Propos*

**L**A CHARPENTE occupe une place importante dans l'industrie du bâtiment, à la fois par le rôle qu'elle joue sur le plan architectural et par la diversité de ses applications.

Support du matériau de couverture, elle constitue l'ossature du comble. Pour satisfaire les exigences de l'esthétique, de même que pour permettre l'exploitation fonctionnelle des locaux qu'elle abrite, la charpente doit épouser les formes les plus variées. Elle doit aussi être conçue de manière à résister aux efforts mécaniques qui, sous l'action des charges, sollicitent ses éléments. La charpente en bois, étant donné sa souplesse d'emploi, se prête particulièrement bien aux mouvements de toits complexes, et avec le lamellé-collé, aux lignes courbes.

**L**E MATERIAU qui la compose – le bois – produit de la forêt, est une matière première noble qui se renouvelle sans cesse.

On pourrait donc penser que le bois est un matériau inépuisable ; cela reste vrai tant que la consommation ne dépasse pas le rendement des forêts exploitées. Mais le rendement des forêts est tributaire du temps, nécessaire à la croissance de l'arbre.

C'est pourquoi il convient d'employer cette matière-d'œuvre suivant une méthode rationnelle, afin d'en obtenir la meilleure rentabilité mécanique ; ce qui nécessite des sections appropriées aux efforts, une triangulation rigoureuse et un choix judicieux des assemblages.

**L**E MÉTIER DE CHARPENTIER est certes un métier manuel, mais il est aussi, comme tant d'autres, un moyen de culture qui demande des connaissances technologiques approfondies, aussi bien en ce qui concerne le traçage, que la conception des charpentes.

– Le traçage est une application pratique de la géométrie descriptive. Il demande une bonne représentation spatiale, pour résoudre les problèmes d'épure, que posent certains mouvements de toit.

– La conception exige la connaissance des bases élémentaires de la statique et de la résistance des bois, pour situer convenablement les éléments, et choisir les assemblages en fonction des efforts.

Notre livre est divisé en trois parties.

**L**A PREMIÈRE PARTIE s'applique aux tracés de charpente traditionnels sur l'épure.

La méthode consiste à rechercher les vraies grandeurs, qui déterminent les *dimensions linéaires* et les *valeurs d'angles*, nécessaires au traçage des pièces de bois.

**L**A DEUXIÈME PARTIE concerne les tracés de charpente par programmation. La recherche des *dimensions linéaires* et des *valeurs d'angles*, se fait par mathématiques, à l'aide de programmes traités au micro-ordinateur.

Au préalable, il nous a semblé utile de rappeler les mathématiques élémentaires, utilisées dans ces programmes.

**L**A TROISIÈME PARTIE est plus spécialement destinée à la structure des ouvrages, en particulier des fermes, avec la recherche des efforts qui sollicitent les éléments.

Auparavant, il nous a paru nécessaire de revoir les bases de la statique et de la résistance des bois.

Pour rendre notre ouvrage plus facile à exploiter, nous présentons, à chaque double page, une étude qui traite un exemple concret, avec un texte et un graphisme à proximité l'un de l'autre.

Nous n'avons ni la prétention d'être complets ni d'avoir résolu tous les problèmes qui peuvent se poser au charpentier. Cependant, au travers d'exemples choisis, nous avons essayé de rassembler l'essentiel, et de le présenter avec autant de clarté que possible.

Nous espérons que le lecteur pourra en tirer profit :

- qu'il soit apprenti, candidat à un examen,
- qu'il soit compagnon, cherchant un complément d'information,
- ou qu'il veuille s'initier à la charpente programmée.

Les auteurs.

*Première partie*

**TRACÉS DE CHARPENTE  
SUR L'ÉPURE**

# *Table des matières de*

Etudes



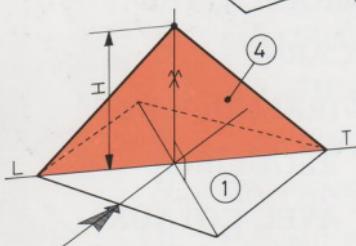
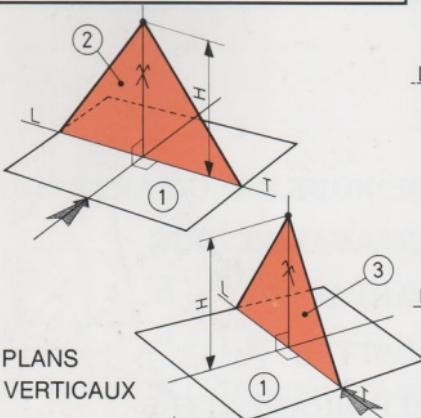
- 1 LES PLANS DANS L'ESPACE**
- 2 LE VERSANT DE TOIT**
- 3 VERSANT DE TOIT. Cas particuliers**
- 4 LE RECTILIGNE DU DIÈDRE**
- 5 RECTILIGNE DU DIÈDRE. Cas particuliers**
- 6 LA CROUPE RÉGULIÈRE**
- 7 ARÊTIER RÉGULIER**
- 8 NOUE RÉGULIÈRE**
- 9 LA PANNE D'ARÊTIER**
- 10 PANNE D'ARÊTIER AVEC BARBE**
- 11 COMBLE AVEC AILE**
- 12 LA CROUPE IRRÉGULIÈRE**
- 13 ARÊTIER IRRÉGULIER**
- 14 CONTRE-FICHE D'ARÊTIER**
- 15 NOUE IRRÉGULIÈRE**
- 16 LES HERSES SUR L'ARÊTIER**
- 17 LES HERSES SUR LA NOUE**

*la première partie*

- 18** EMPANONS DE NOUE AVEC BARBE
- 19** COMBLE AVEC AVANT-CORPS
- 20** ARÊTIER CHANLATTÉ
- 21** NOUE CHANLATTÉE
- 22** NOUE-ARÊTIER CHANLATTÉE
- 23** NOULETS DE LUCARNE
- 24** SAILLIE DE TOIT IRRÉGULIÈRE
- 25** SAILLIE DE TOIT RÉGULIÈRE
- 26** SAILLIE DE TOIT AVEC COYAUX
- 27** FERME ET SAILLIE BIAISES
- 28** CROUPE BIAISE RÉGULIÈRE
- 29** CROUPE BIAISE IRRÉGULIÈRE
- 30** LIENS DE FAÎTAGE
- 31** LIEN MANSART
- 32** CROIX DE SAINT-ANDRÉ
- 33** NOUES SUR AILE OBLIQUE

**ÉTUDE  
1**

**LES PLANS  
DANS L'ESPACE**



On peut observer sept types de plans, qui se différencient suivant leur position dans l'espace, par rapport à l'observateur.

**Le plan horizontal (1)**

Support de tous les tracés de charpente, le plan horizontal est l'aire d'épure, que l'on appellera *vue en plan*.

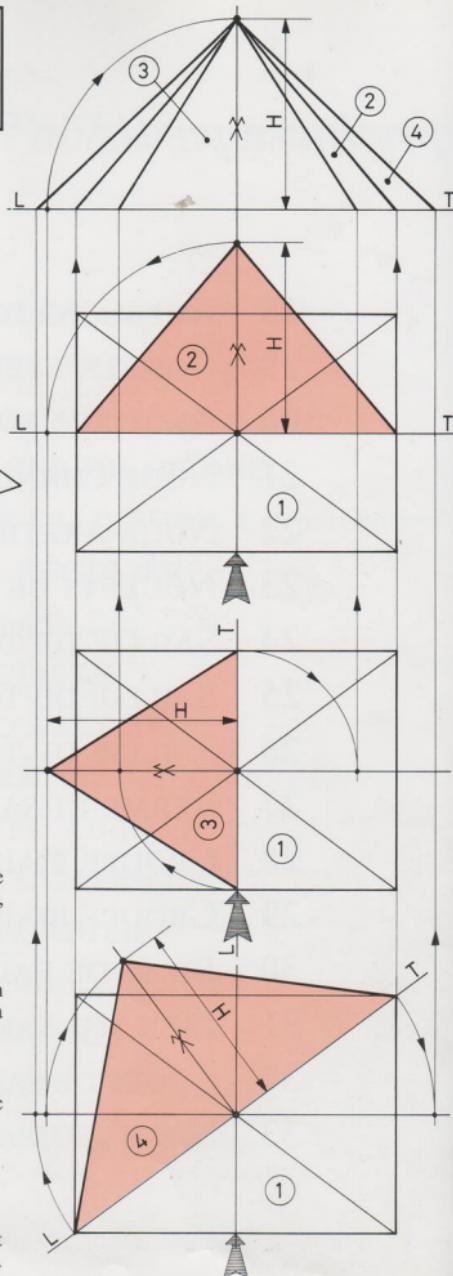
**Les plans verticaux**

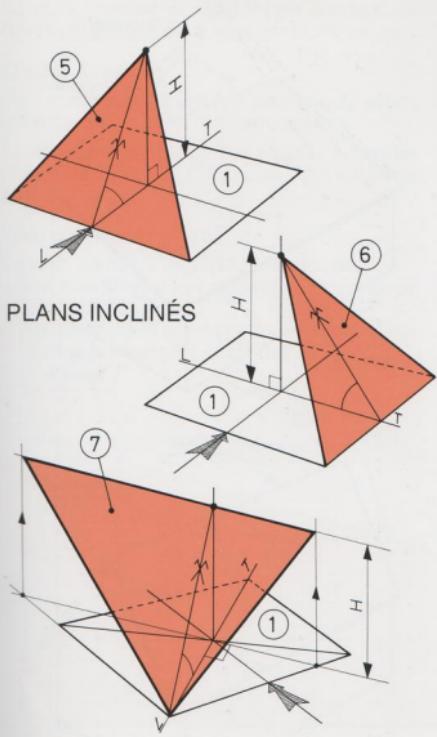
Les plans verticaux forment un angle droit avec le plan horizontal.

Suivant leur orientation, on distingue :

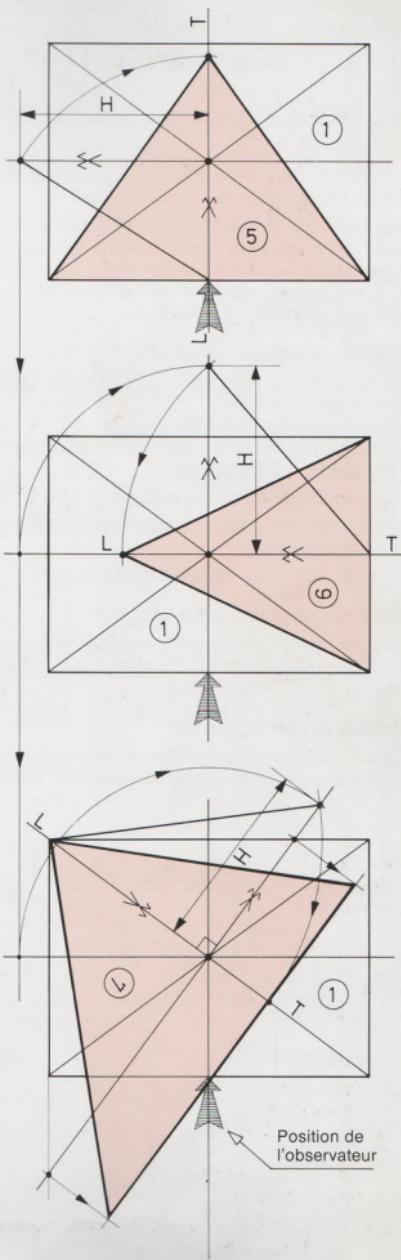
- le plan vertical frontal (2)
- le plan vertical de profil (3)
- le plan vertical oblique (4)

Leur vraie grandeur est obtenue par rabattement sur le plan horizontal, après une rotation de 90°.





### PLANS INCLINÉS



#### Ligne de terre (symbole L T)

La ligne de terre coupe le plan horizontal, elle est à la base du plan vertical. C'est en quelque sorte la charnière entre les deux plans.

En terme de charpente, la ligne de terre est aussi appelée *ligne de trave*.

#### Les plans inclinés

Les plans inclinés forment un angle plus petit que  $90^\circ$  avec le plan horizontal.

Suivant leur orientation, on distingue :

- le plan incliné frontal (5)
- le plan incliné de profil (6)
- le plan incliné oblique (7)

Leur vraie grandeur est obtenue par rabattement sur le plan horizontal, après une rotation inférieure à  $90^\circ$ .

Les sept plans qui font l'objet de cette étude, sont donnés à titre d'exemples. Il en existe d'autres qui s'assimilent à ceux-là.

**ÉTUDE****2****LE VERSANT DE TOIT**

Le versant de toit est une surface inclinée qui assure l'écoulement des eaux de pluie.

Sur l'appentis de la figure 1, on peut observer :

- la *rive d'égout*, appelée ainsi parce qu'elle reçoit l'eau qui s'écoule du toit,
- la *rive faîtière*, située en haut du versant,
- les *rives latérales*, sur les côtés.

**Combles à plusieurs versants (fig. 2 et 3)**

La rencontre de deux versants forme une intersection qui peut être :

- un *faîtage*, au sommet du comble,
- un *arêtier*, situé à l'intersection des versants de long-pan et de croupe.

L'arêtier forme une arête saillante.

- une *noue*, qui réalise également la jonction de deux versants.

La noue forme une arête rentrante.

**Ligne de plus grande pente (L.G.P.)**

La ligne de plus grande pente est perpendiculaire à l'horizontale. C'est la direction que suit l'eau en s'écoulant sur le versant.

**Position en plan (fig. 4 et 5)**

Dans les deux cas l'égout étant de niveau, la ligne de plus grande pente est perpendiculaire à l'égout.

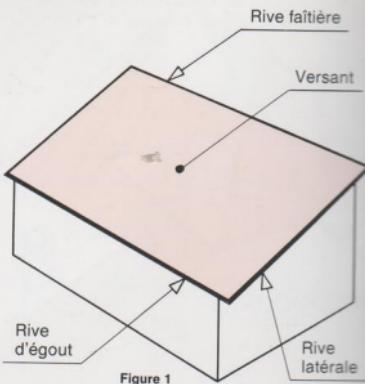


Figure 1

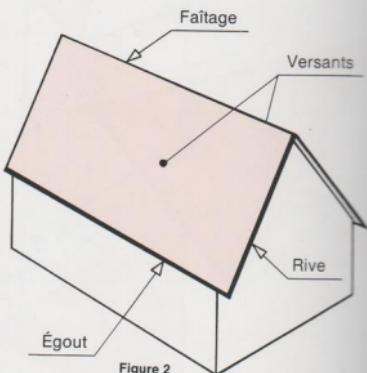


Figure 2

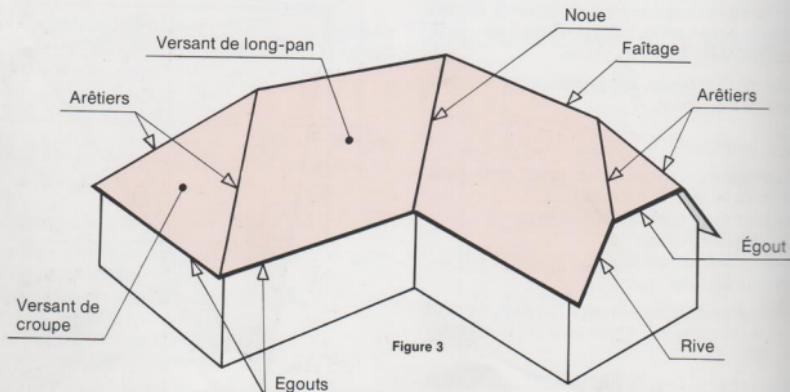


Figure 3

La vraie grandeur de (L.G.P.) est obtenue par élévation, à partir de sa trace sur la vue en plan.

### Chevron d'emprunt

On appelle ainsi la ligne de plus grande pente, qui passe par le point de couronnement.

Le chevron d'emprunt, terme technique, se substitue à la ligne de plus grande pente, terme géométrique.

### Vraie grandeur du versant

La vraie grandeur du versant est obtenue :

- par rabattement du chevron d'emprunt de long-pan (fig. 4),
- par rabattement des chevrons d'emprunt, relatifs aux hauteurs  $H_1$  et  $H_2$  (fig. 5).

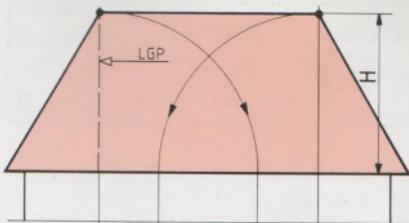
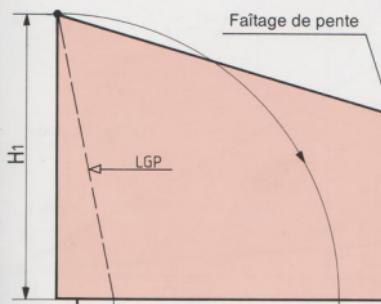


Figure 4

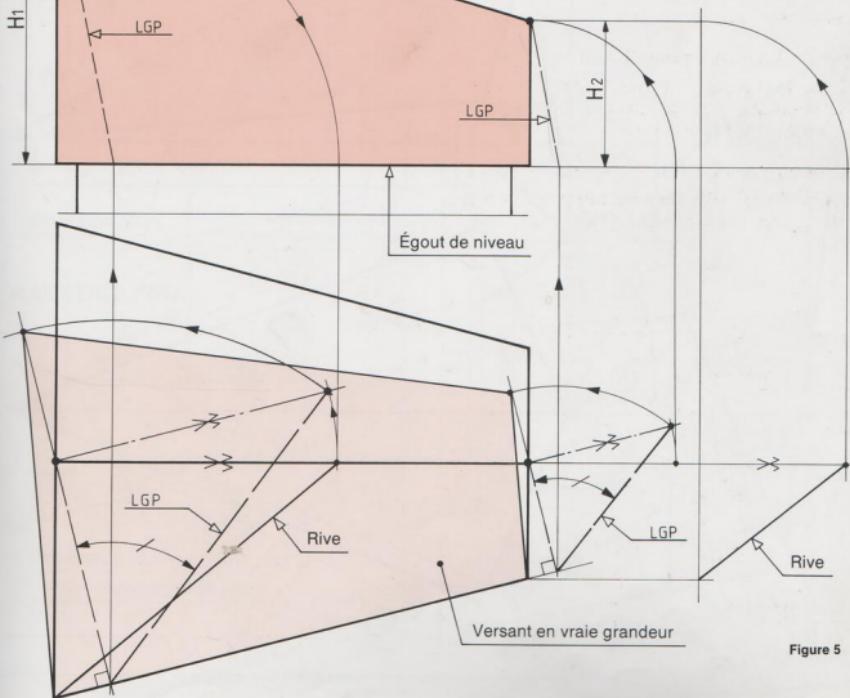


Figure 5

**ÉTUDE  
3**

**VERSANT  
DE TOIT**  
**cas particuliers**



Dans les deux cas particuliers traités ici, le versant ne comporte aucune rive horizontale. Il est par conséquent nécessaire d'établir une ligne de niveau appelée : *égout de dégauchissement*.

Cette ligne, située en dehors du versant, permettra de tracer la ligne (L.G.P.), c'est-à-dire de situer le *chevron d'emprunt*, pour construire ensuite la vraie grandeur du versant.

**Application A (fig. 1 et 2)**

Pour faciliter la mise en œuvre du matériau de couverture, le chevron de rive est situé suivant la ligne de plus grande pente (L.G.P.).

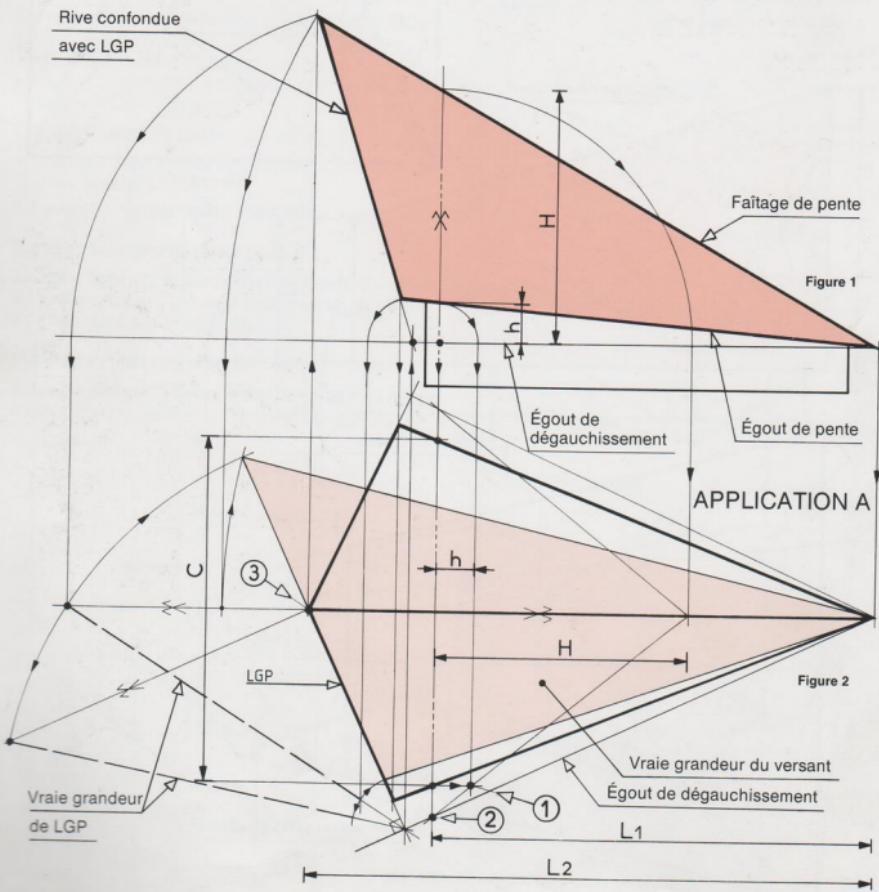
**Egout de dégauchissement**

Tracer l'élévation de ferme de hauteur H :

- la cote C détermine le point 1,
- la hauteur (h) situe le point 2, par où passe l'égout de dégauchissement.

**Chevron de rive**

A partir du point 3, donné par la cote L<sub>2</sub>, abaisser la perpendiculaire sur l'égout de dégauchissement.



### Application B (fig. 3 et 4)

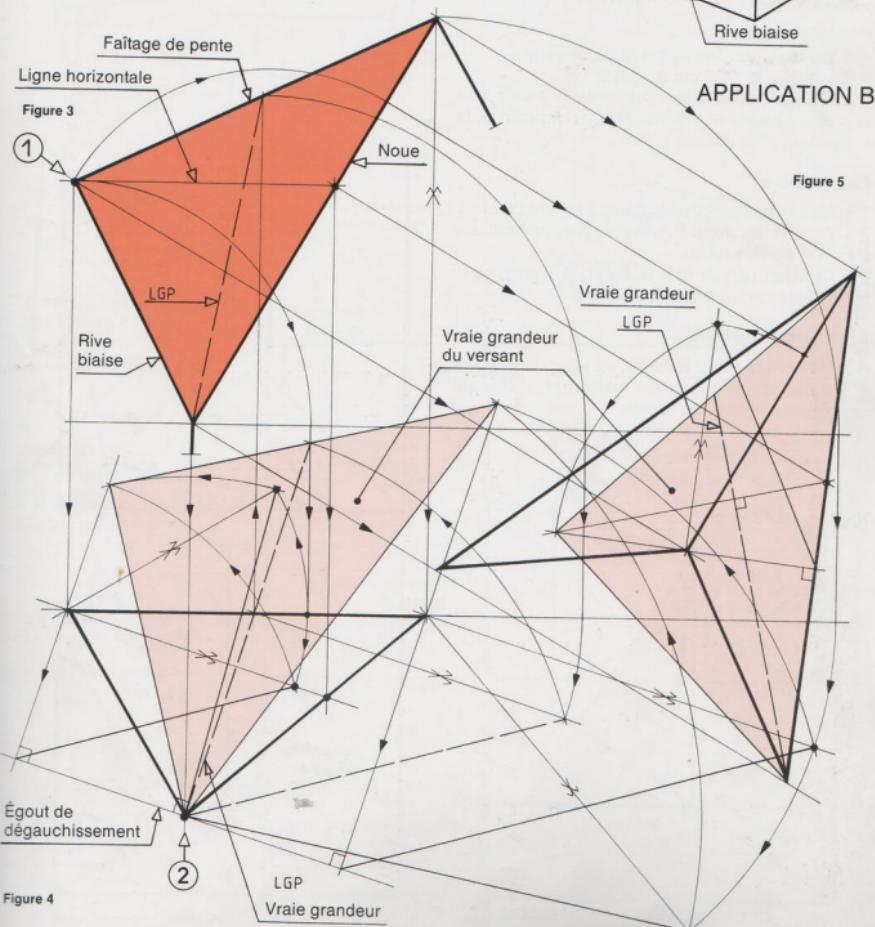
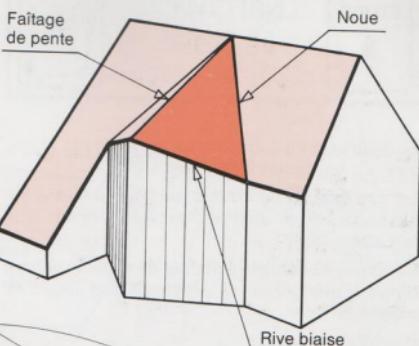
1°) A partir du point 1, tracer une ligne horizontale sur la vue en élévation (fig. 3).

2°) Projeter cette ligne sur la vue en plan (fig. 4), où elle se situe en vraie grandeur.

3°) Par le point 2, mener l'égout de dégauchissement, parallèle à cette ligne horizontale.

4°) Par ce même point 2, élever la perpendiculaire (L.G.P.) soit le chevron d'emprunt.

L'épure de la figure 5, est un tracé indépendant qui permet d'obtenir le même résultat, sans traçage de la vue en plan.





Le dièdre est un solide constitué par deux plans, dont l'intersection forme une arête (fig. 1).

Le rectiligne est déterminé par un troisième plan qui sectionne le dièdre, perpendiculairement à son arête.

Le rectiligne du dièdre permet de situer la *section droite* d'une pièce, et d'obtenir son *angle de corroyage*.

Il peut s'appliquer :

- à l'arêtier, qui forme un angle saillant,
- à la noue, qui forme un angle rentrant,
- au chevron de rive biaise, c'est-à-dire aux pièces situées obliquement, par rapport à la ligne de plus grande pente.

#### Construction

1<sup>e</sup>) Mener une perpendiculaire à l'arête en plan.  
2<sup>e</sup>) A partir du point P, tracer la perpendiculaire à l'arête en élévation.

3<sup>e</sup>) Construire, par rabattement, le triangle sur la vue en plan.

#### Exemples d'application

- sur l'arêtier et sur la noue, en page de gauche,
- sur une rive biaise et sur un comble d'inégale largeur, en page de droite.

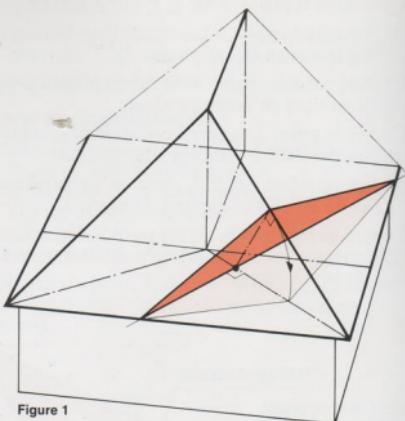
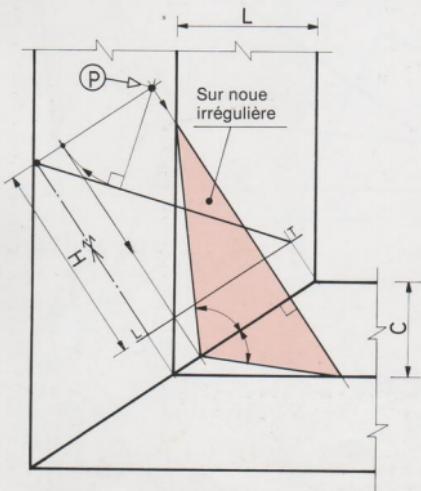
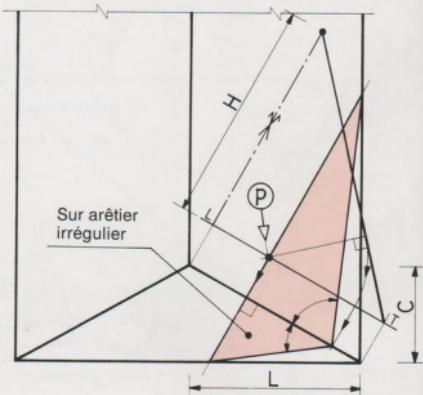
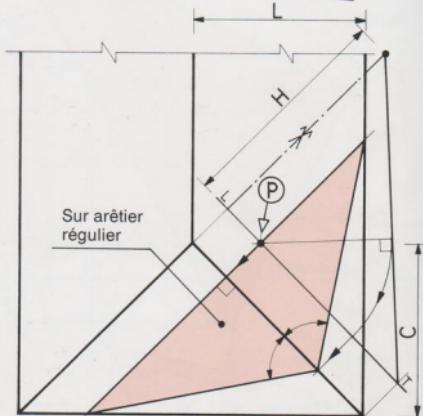
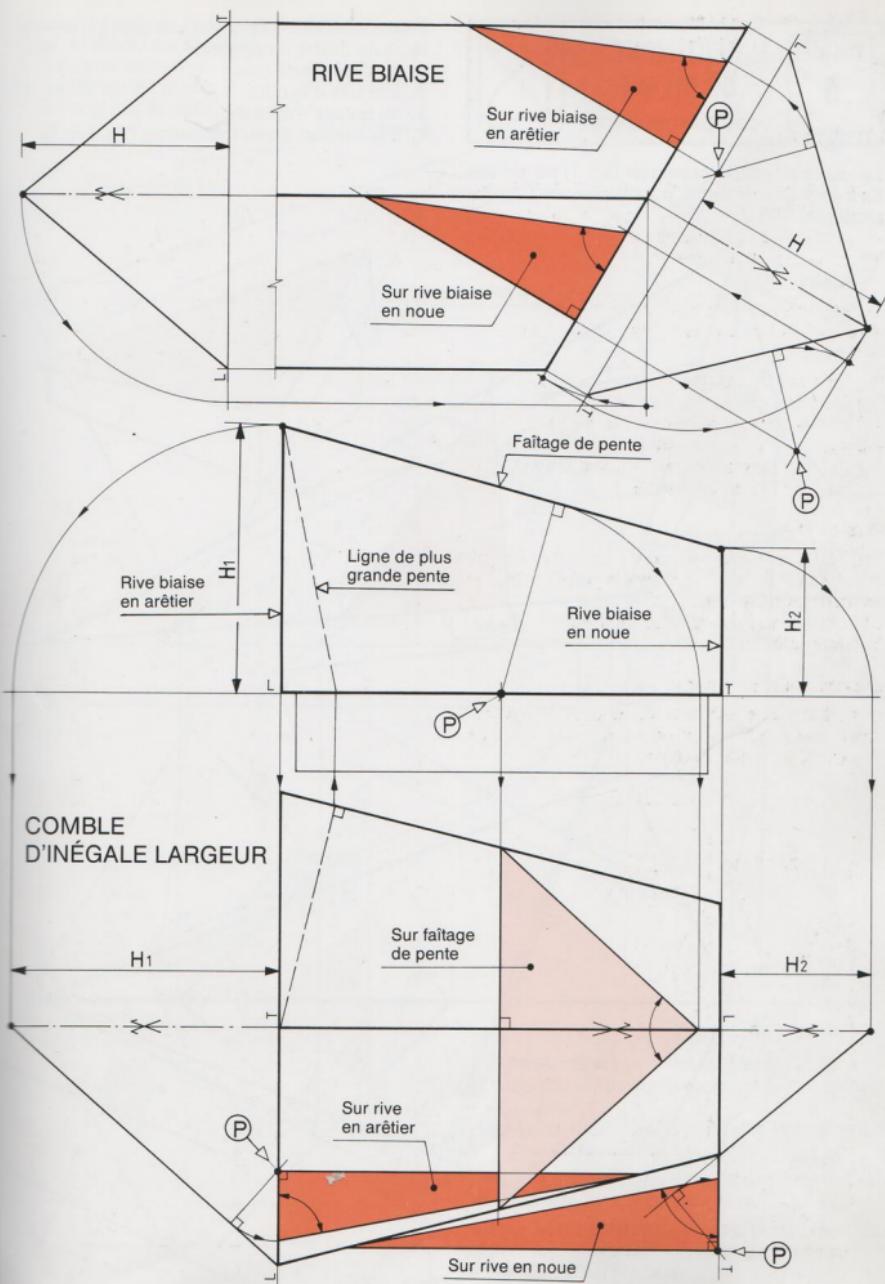


Figure 1





ÉTUDE  
5

RECTILIGNE  
DU DIÈDRE  
cas particuliers



Dans cet exemple de la page de gauche, le rectiligne du dièdre est appliqué :

1. au chevron de rive,
2. à la rive d'égout,
3. au faîteage - arêtier,
4. à la sablière du soubassement (fig. 1 et 2).

La vue en élévation du comble (fig. 1) est assimilée à un plan horizontal, pour la construction des rectilignes 1 et 2.

Figure 1

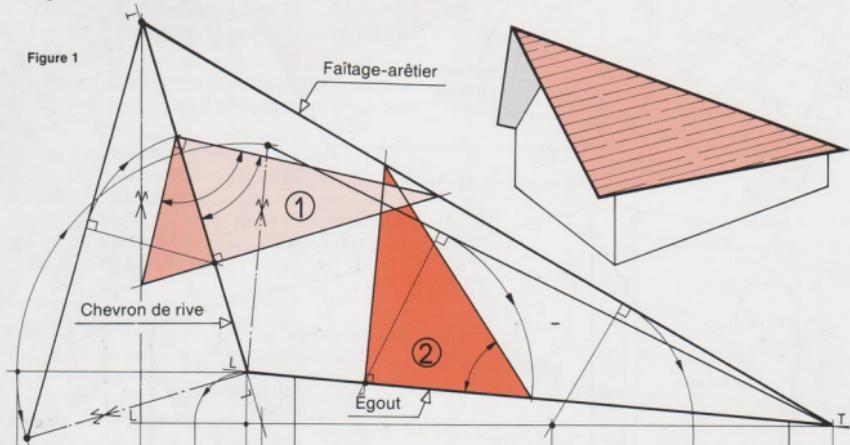
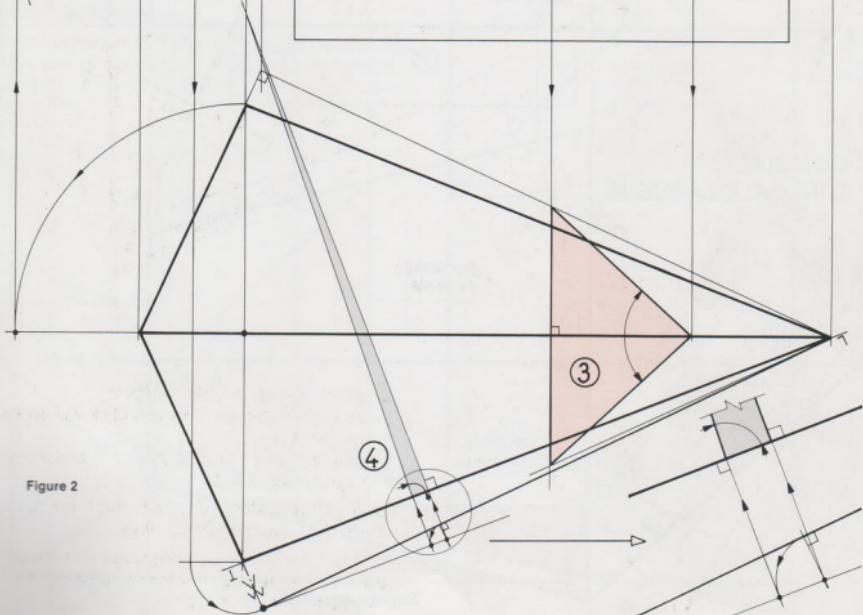


Figure 2



Dans cet exemple de la page de droite, le rectiligne du dièdre est appliqué :

5. au chevron de rive,
6. au faîtage de pente,
7. à l'angle de la noue.

Figure 3

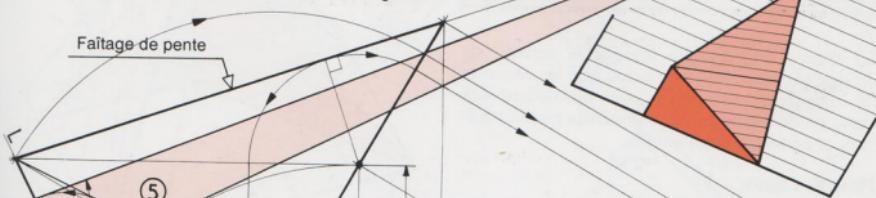


Figure 5

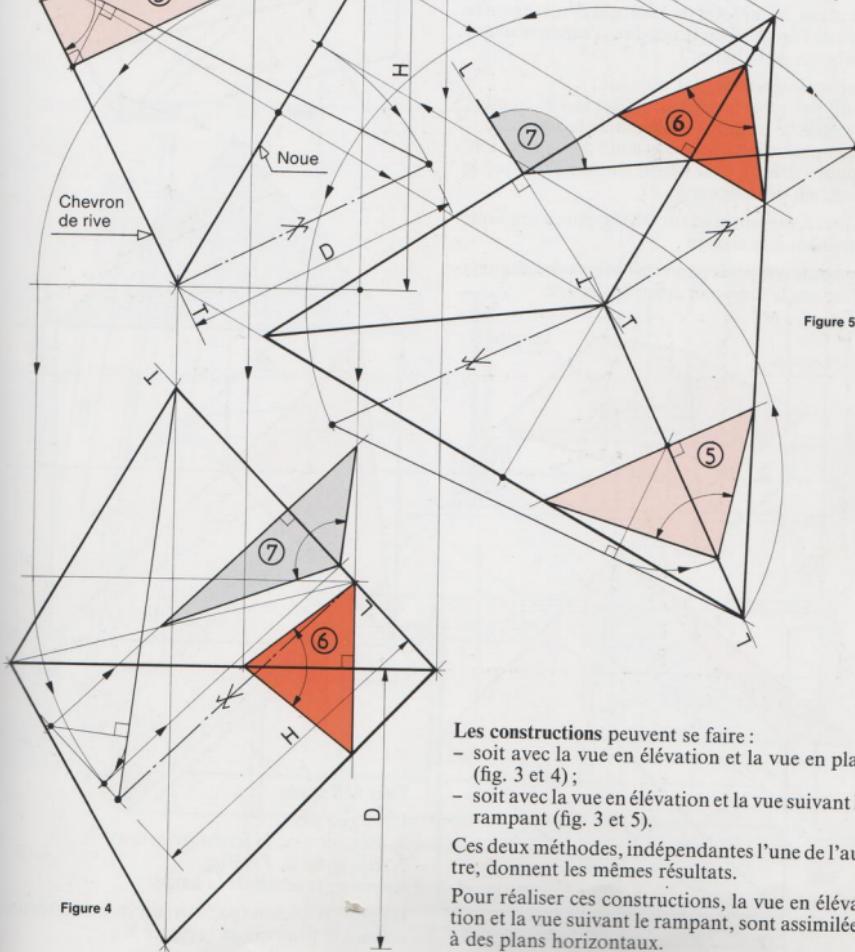


Figure 4

Les constructions peuvent se faire :

- soit avec la vue en élévation et la vue en plan (fig. 3 et 4);
- soit avec la vue en élévation et la vue suivant le rampant (fig. 3 et 5).

Ces deux méthodes, indépendantes l'une de l'autre, donnent les mêmes résultats.

Pour réaliser ces constructions, la vue en élévation et la vue suivant le rampant, sont assimilées à des plans horizontaux.

## ÉTUDE

**6**

## LA CROUPE RÉGULIÈRE



La croupe est régulière lorsque le versant de croupe présente la *même pente* que les versants de long-pan. Les arêtiers, qui raccordent des versants de même pente, sont situés en plan suivant la *bissectrice* des angles.

### Plans de l'épure

Les plans, numérotés de 1 à 4, qui contiennent le tracé de l'épure, sont situés dans l'espace suivant le schéma de la figure 1.

Leur vraie grandeur est obtenue :

- soit par rabattement direct sur la vue en plan, comme le montre le schéma de la figure 2 ;
- soit par rabattement à la suite d'une rotation, pour l'arêtier et la herse, comme l'indique le schéma de la figure 3.

La herse, présentée ici sur le long-pan, s'applique également à la croupe.

Une seule coupe de panne est nécessaire, étant la même sur le long-pan et sur la croupe.

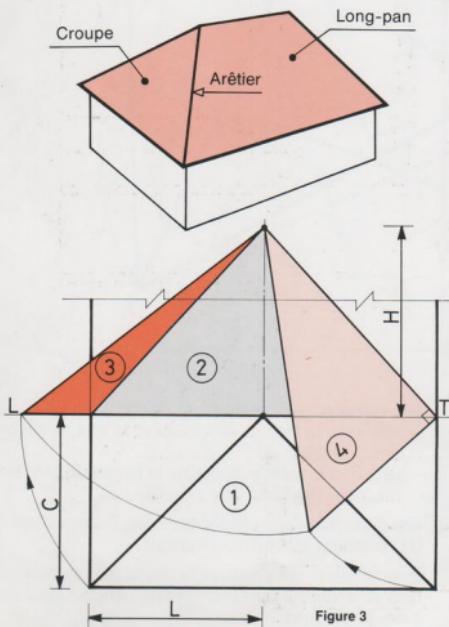


Figure 3

Point de couronnement

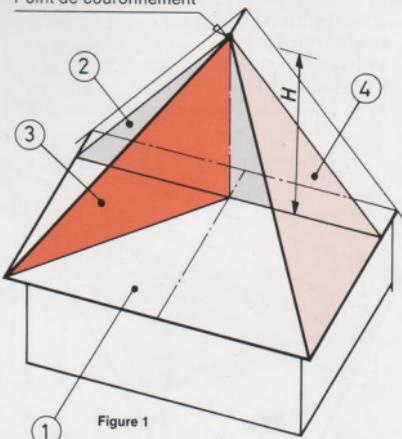


Figure 1

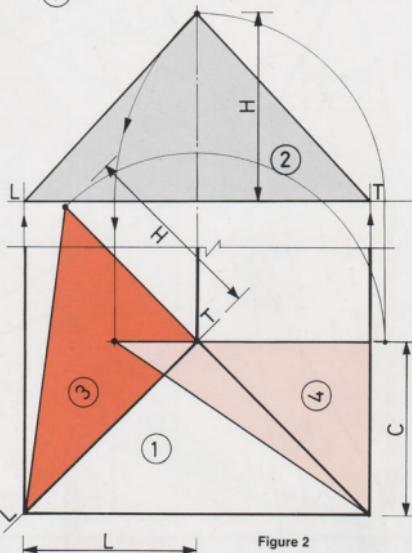
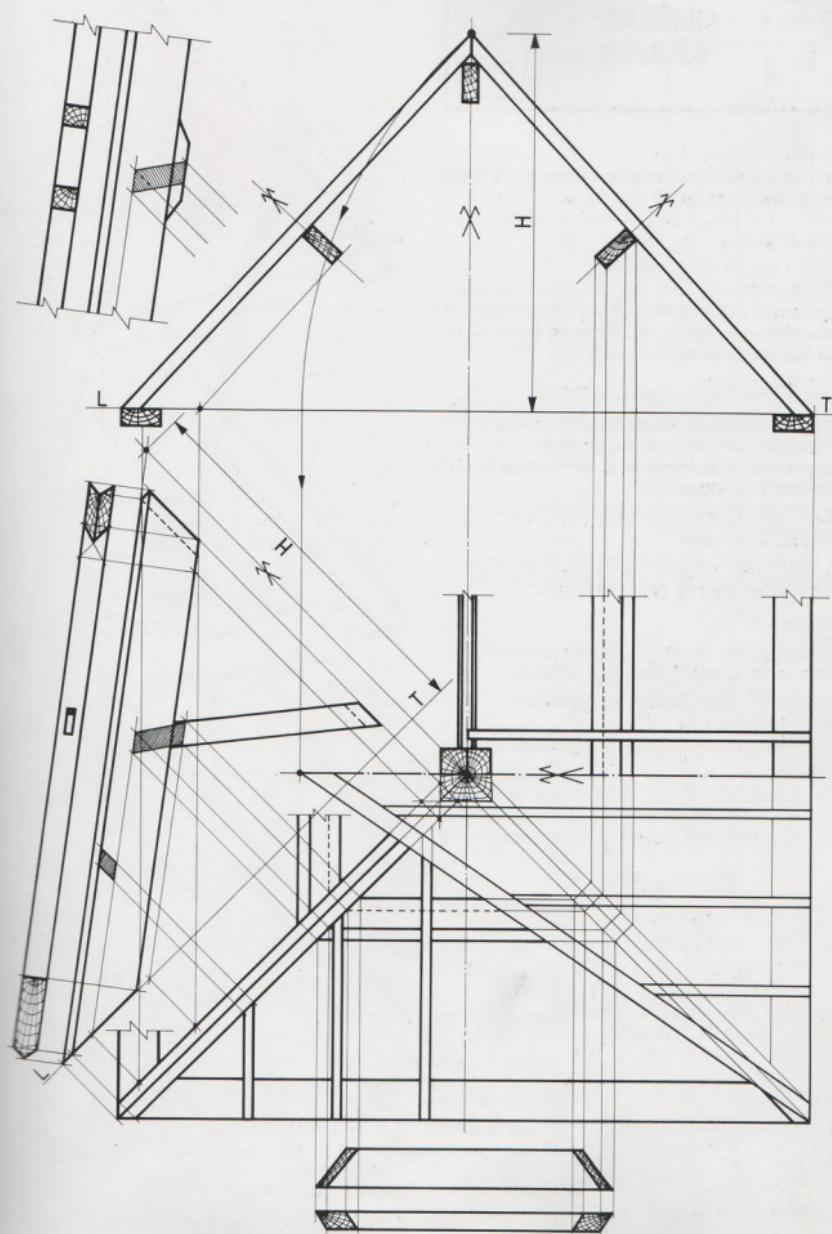


Figure 2

### Vues de l'épure

1. vue en plan,
2. élévation de la ferme (chevron),
3. élévation de l'arêtier,
4. vraie grandeur de la herse.

L'épure ci-contre (page de droite) est exécutée suivant le principe de la figure 2.



## ÉTUDE 7

### ARÊTIER RÉGULIER



L'arêteur régulier assure la rencontre entre deux versants de même pente (fig. 1).

#### Coupe de pied

L'arêteur repose sur la sablière :

- soit par une simple coupe de niveau, un *gousset* d'angle augmente la surface d'appui (fig. 2) ;
- soit avec une *barbe*, qui vient en butée dans l'angle intérieur des sablières (fig. 3).

#### Coupe de tête (fig. 4 et page de droite)

Sur la vue de dessus, imaginons deux plans qui se confondent avec les faces du poinçon :

- le plan A, suivant la face de long-pan, qui donne les points a et b,
- le plan B, suivant la face de croupe, qui donne les points c et d.

Les lignes 1 et 2, élevées à partir de ces points, déterminent la coupe sur l'arêteur en élévation.

#### Délardement

Le chant supérieur de l'arêteur est corroyé pour former *lattis* avec les plans des versants.

La valeur du délardement est obtenue :

- soit par la ligne 3 ;
- soit par la cote Cd, relevée sur le rectiligne du dièdre.

Le rectiligne du dièdre, rabattu sur la vue en plan, au moyen des lignes 4 et 5, donne la section droite de l'arêteur et l'angle de délardement.

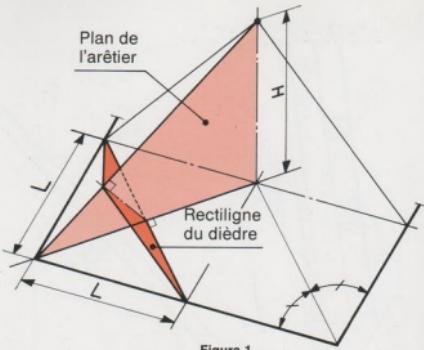


Figure 1

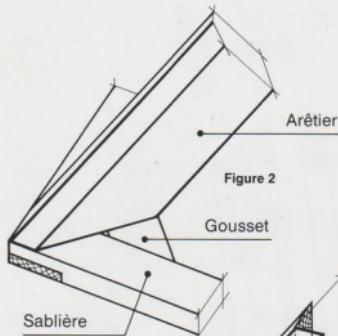


Figure 2

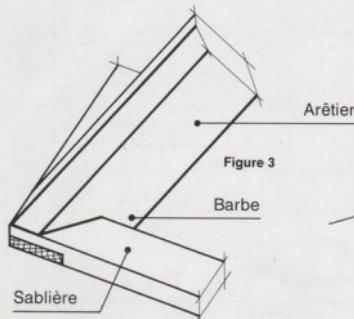


Figure 3

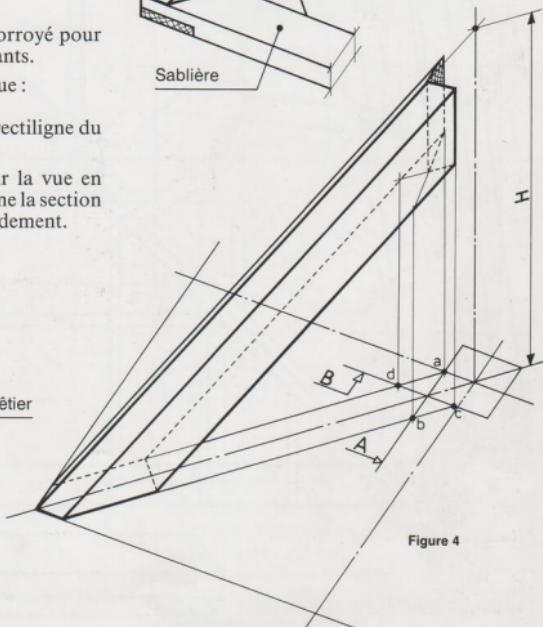
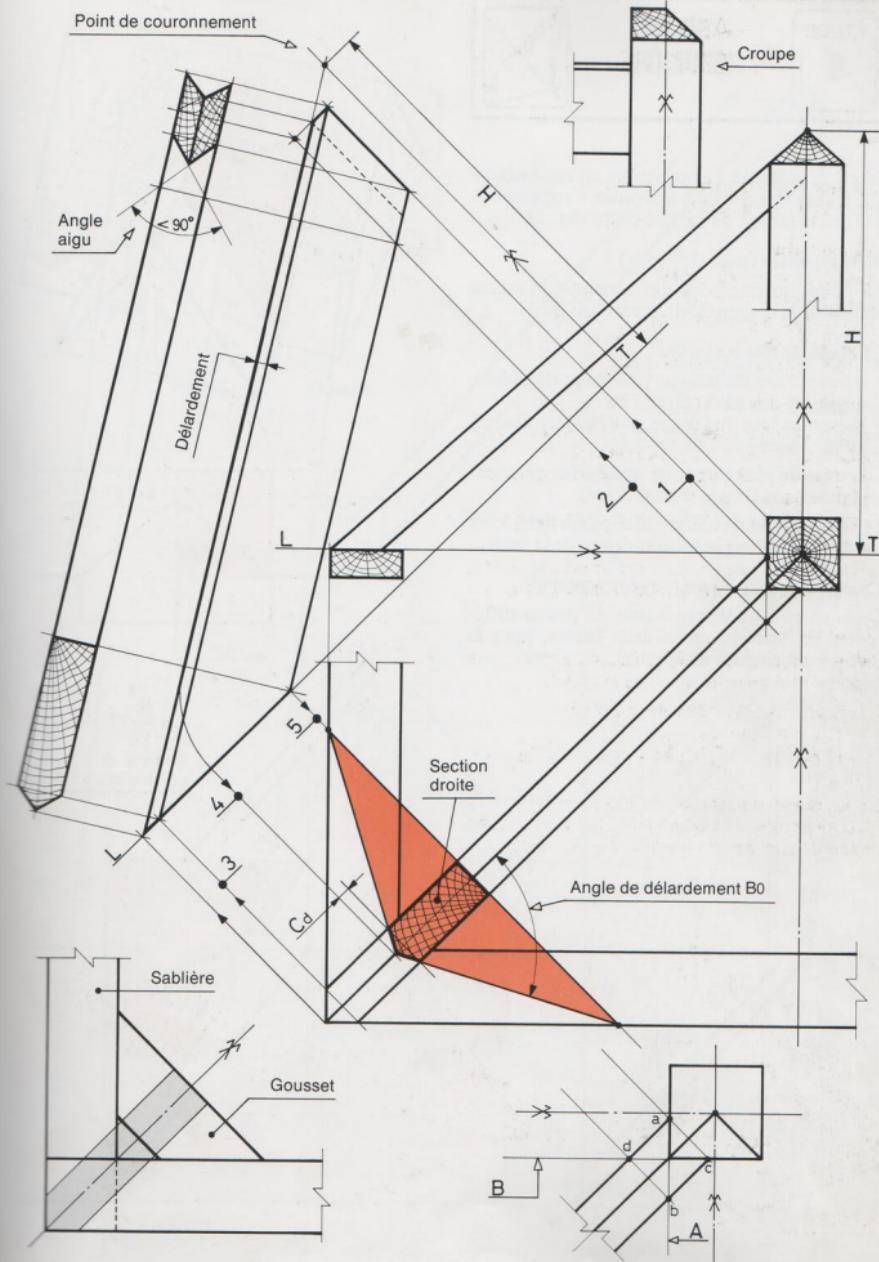


Figure 4



**ÉTUDE  
8**

**NOUE  
RÉGULIÈRE**



Dans cet exemple, l'avant-corps est moins élevé que le comble principal. Les noues s'appuient en tête sur le faîtage de l'avant-corps (fig. 1).

**Noue régulière (page de droite)**

La noue, qui raccorde des versants de même pente, est la diagonale d'un carré en plan.

**La coupe de tête est taillée :**

- suivant l'axe du faîtage, pour la partie haute, située au-dessus du niveau N.
- suivant la face du faîtage, pour la partie basse, située au-dessous du niveau N.

La coupe du pied comporte une *barbe*, qui vient en butée dans l'angle des sablières.

Le *rencreusement* est déterminé par la ligne 3, ou par la cote Cd sur la section droite de la noue.

**Construction des herses (page de gauche)**

Dans ce cas, les versants sont de pentes différentes. L'épure nécessite deux herses, pour le traçage des empanons.

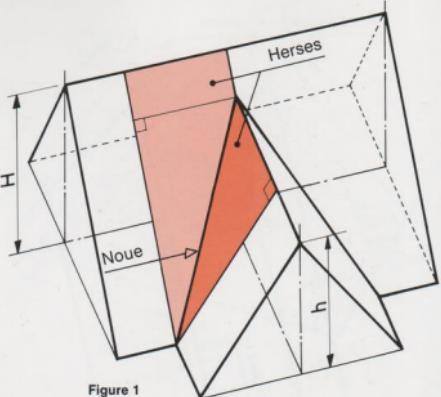
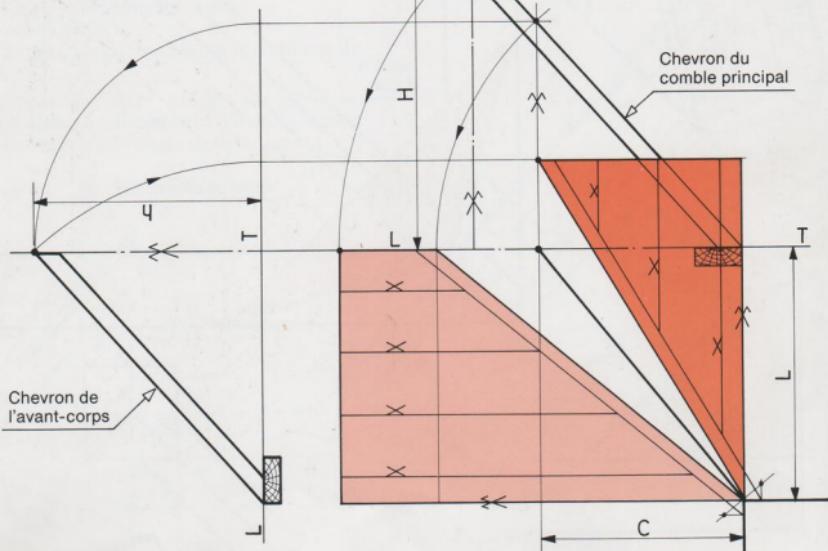
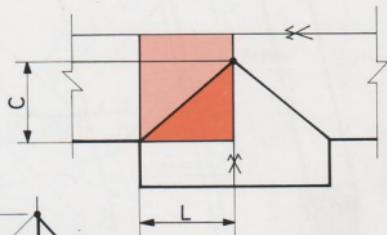
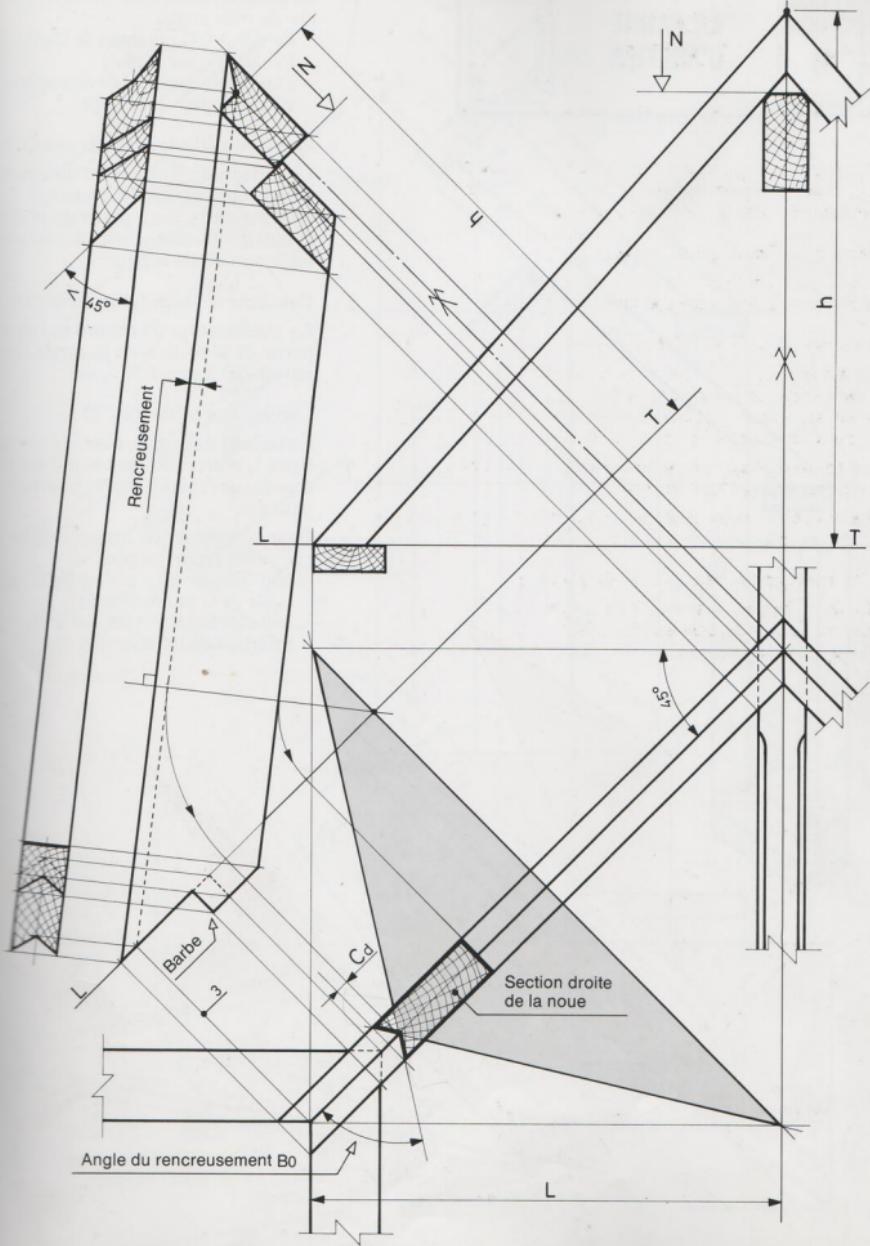


Figure 1





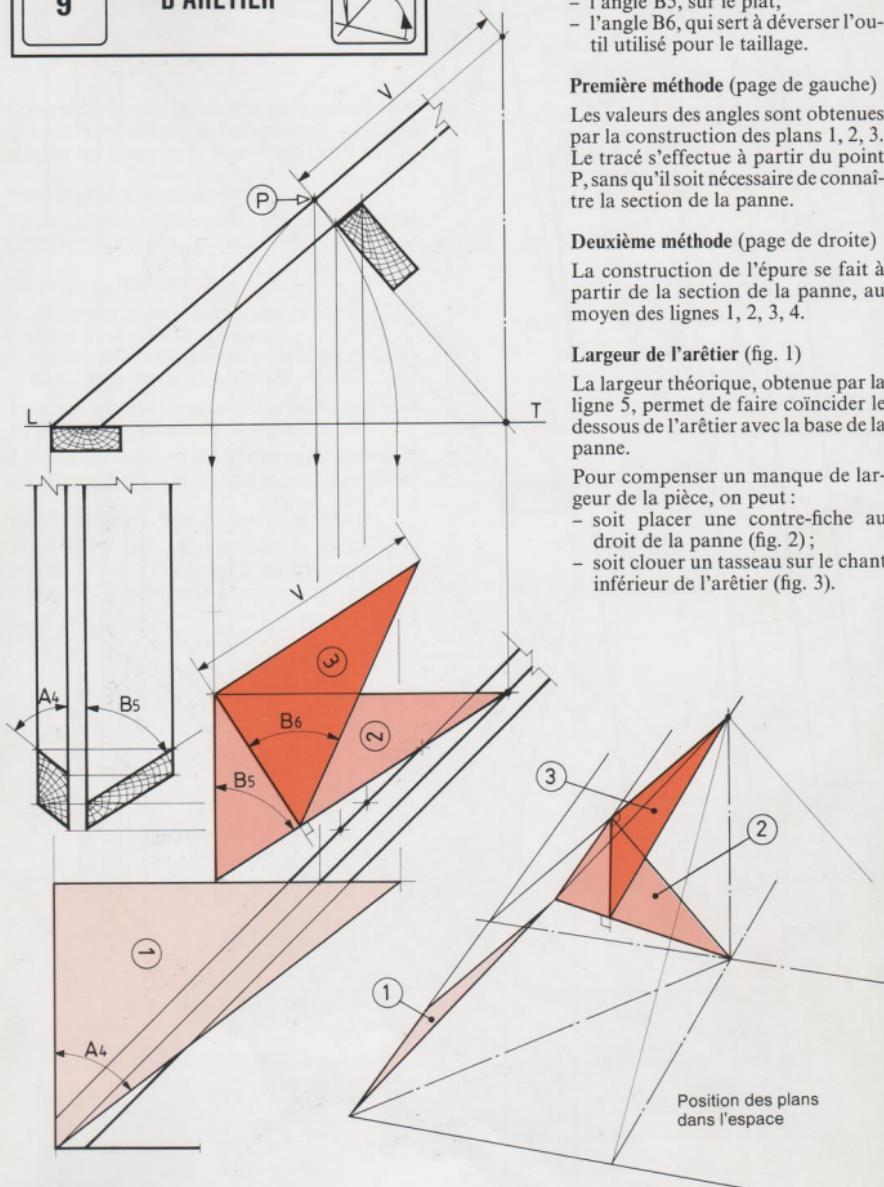
ÉTUDE  
9

LA PANNE  
D'ARÈTIER



**La panne d'arêtier** nécessite la recherche de trois angles :

- l'angle A4, sur le chant de la pièce,
- l'angle B5, sur le plat,
- l'angle B6, qui sert à déverser l'outil utilisé pour le taillage.



**Première méthode** (page de gauche)

Les valeurs des angles sont obtenues par la construction des plans 1, 2, 3. Le tracé s'effectue à partir du point P, sans qu'il soit nécessaire de connaître la section de la panne.

**Deuxième méthode** (page de droite)

La construction de l'épure se fait à partir de la section de la panne, au moyen des lignes 1, 2, 3, 4.

**Largeur de l'arêtier (fig. 1)**

La largeur théorique, obtenue par la ligne 5, permet de faire coïncider le dessous de l'arêtier avec la base de la panne.

Pour compenser un manque de largeur de la pièce, on peut :

- soit placer une contre-fiche au droit de la panne (fig. 2);
- soit clouer un tasseau sur le chant inférieur de l'arêtier (fig. 3).

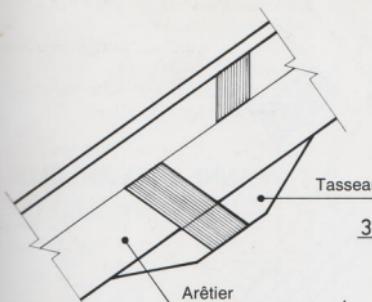


Figure 3

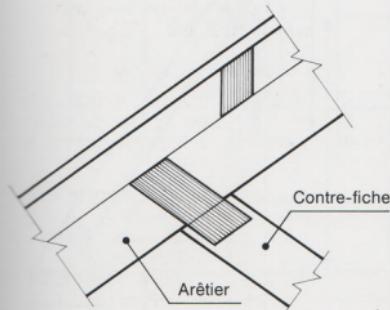
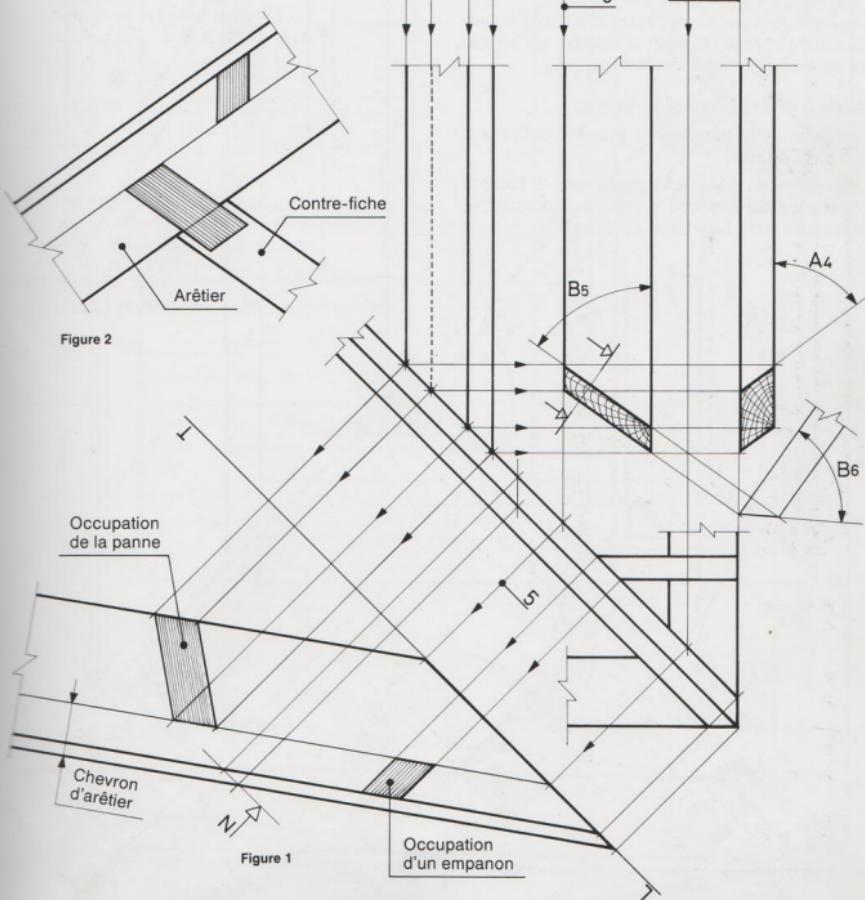
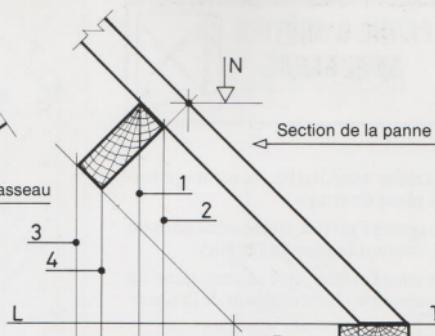


Figure 2



ÉTUDE  
10

## PANNE D'ARÊTIER AVEC BARBE



La panne d'arêtier avec barbe, nécessite le traçage de deux plans de coupe.

1°) La coupe contre l'arêtier, qui se situe dans un plan vertical, suivant la face de l'arêtier.

2°) La coupe sous l'arêtier, qui se situe dans un plan incliné, suivant le chant inférieur de l'arêtier.

### Panne face aplomb (en page de gauche)

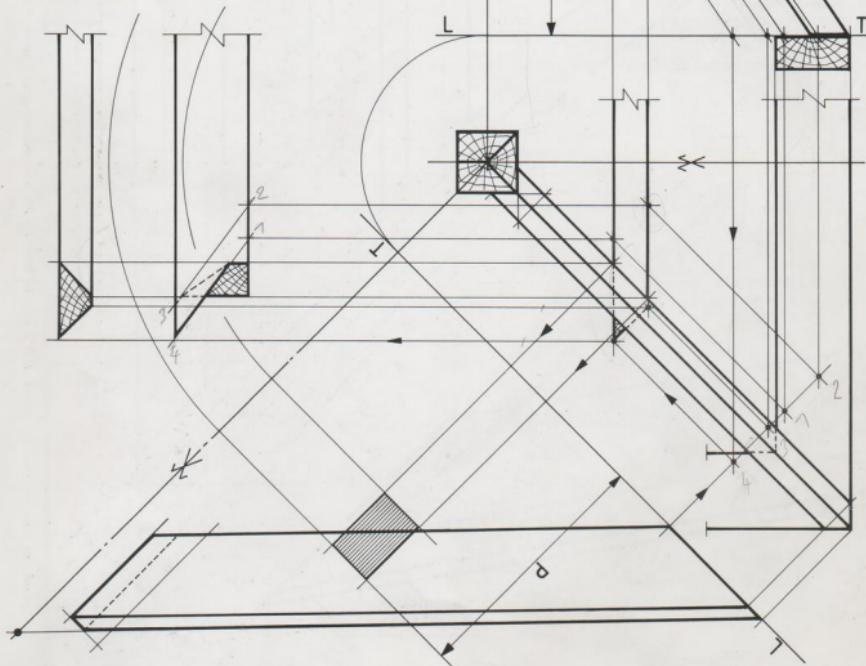
Les faces de la panne sont verticales dans l'espace. La coupe contre l'arêtier, d'équerre sur le plat, est biaise sur le chant seulement.

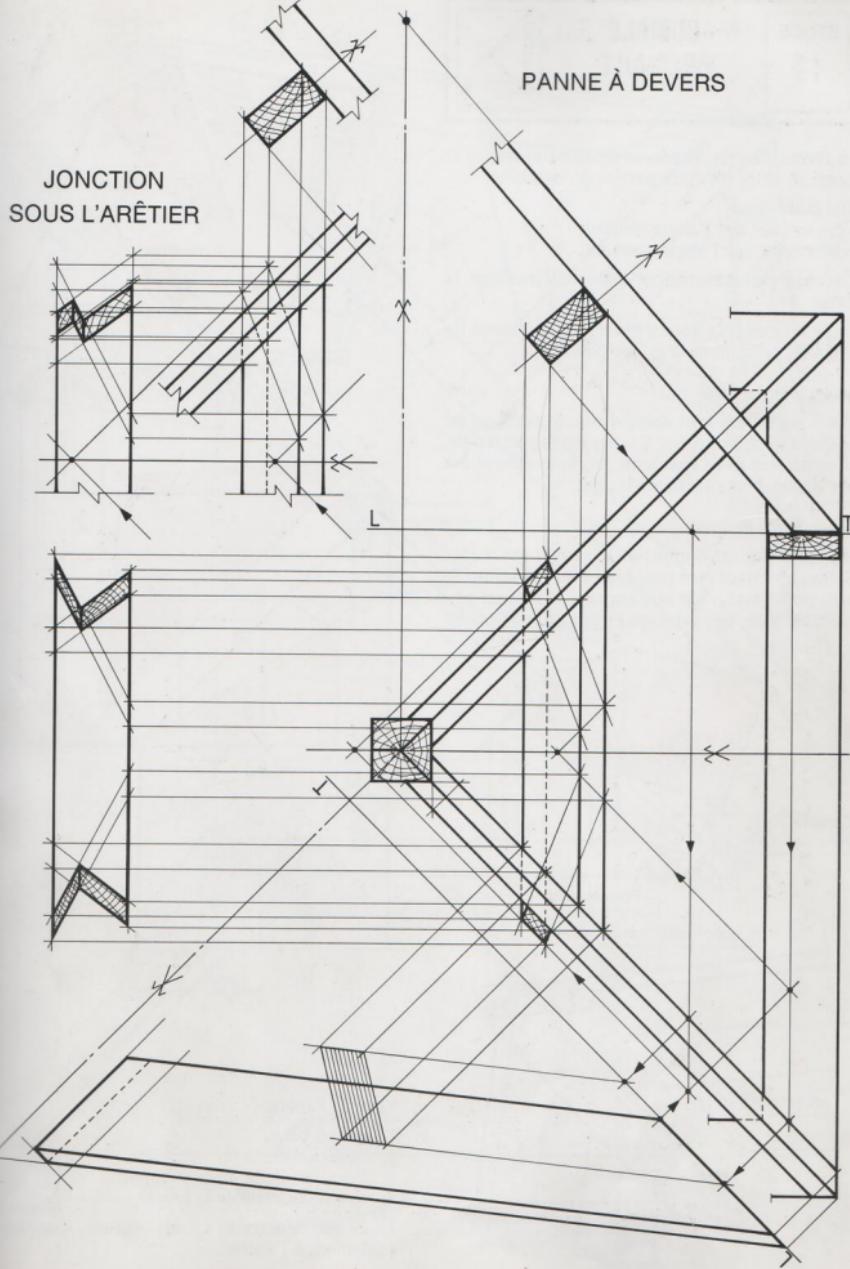
### Panne à dévers (en page de droite)

Les faces de la panne sont perpendiculaires au rampant du toit.

Lorsque deux pannes viennent face à face, un troisième plan de coupe, parallèle au premier, est nécessaire dans l'axe sous l'arêtier.

### PANNE FACE APLOMB





**ÉTUDE  
11**

**COMBLE  
AVEC AILE**



La ferme d'angle, située en diagonale, assure la jonction entre les deux parties du comble.

Elle comprend :

- un arêtier, sur l'angle saillant,
- une noue, sur l'angle rentrant.

Ces éléments constituent les arbalétriers de la ferme.

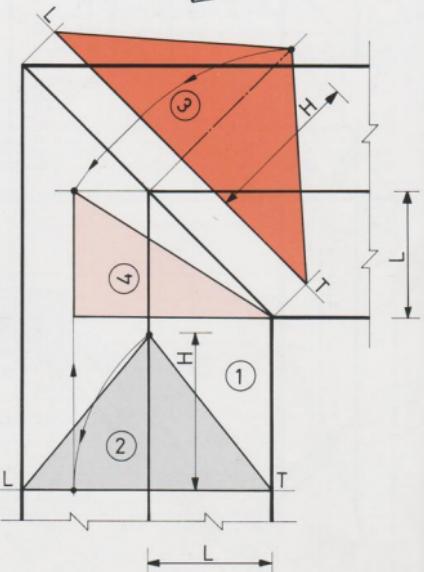
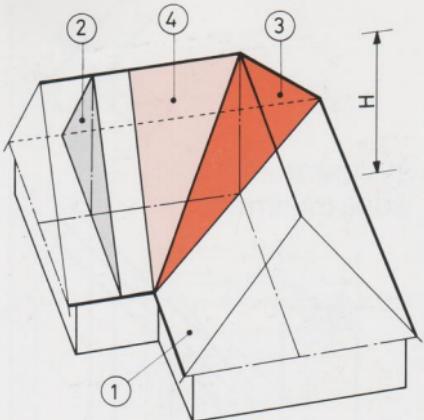
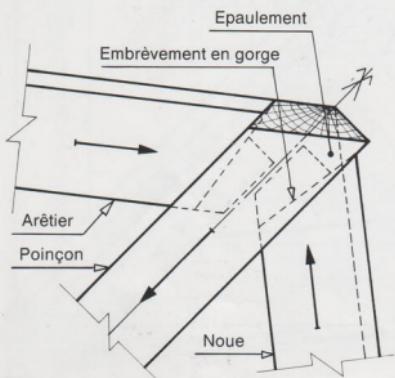
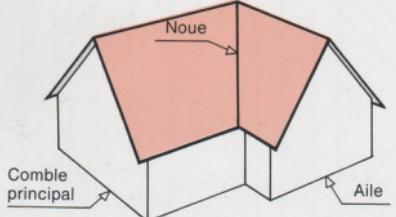
Dans cet exemple, le comble est régulier, tous les versants présentent la même pente.

**Assemblage de tête**

Les arbalétriers sont comprimés, le poinçon est tendu. On peut réaliser l'assemblage par tenons et mortaises avec épaulements, et le consolider par des embrèvements en gorge.

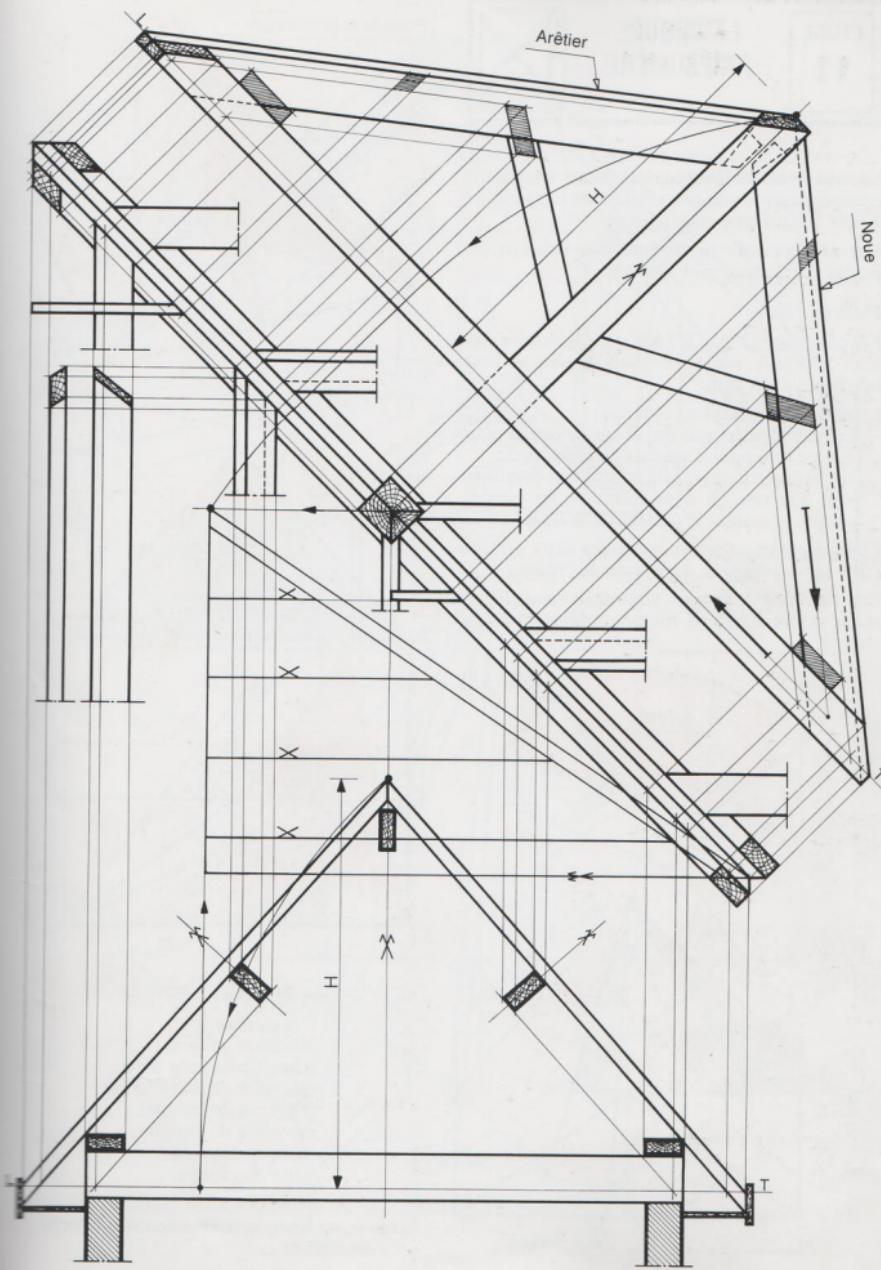
**Assemblage de base**

L'arbalétrier est comprimé, l'entrant est tendu. Ce dernier peut être prolongé dans la saillie de toit, pour faciliter le boulonnage et assurer une résistance en rapport avec l'intensité de l'effort.



**Vues de l'épure**

1. vue en plan,
  2. élévation de la ferme droite,
  3. élévation de la ferme d'angle,
  4. vraie grandeur de la herse.
- La herse, construite ici sur la noue, s'applique également à l'arêtier.





**La croupe est irrégulière**, lorsque le versant de croupe présente une *pente différente* par rapport à celle des versants de long-pan.

Les arêtiers, qui raccordent des versants de pentes différentes, sont *dévoyés*.

### Plans de l'épure

Les plans numérotés de 1 à 6, qui contiennent les vues de l'épure, sont situés dans l'espace suivant le schéma de la figure 1.

Leur vraie grandeur est obtenue :

- soit par rabattement direct sur la vue en plan comme l'indique le schéma de la figure 2 ;
- soit par rabattement à la suite d'une rotation, pour l'arêtier, la demi-ferme et les herses, comme le montre le schéma de la figure 3.

Le traçage des empanons nécessite deux herses : l'une sur le long-pan, l'autre sur la croupe.

Deux coupes de pannes sont également nécessaires : la première en long-pan, la seconde en croupe.

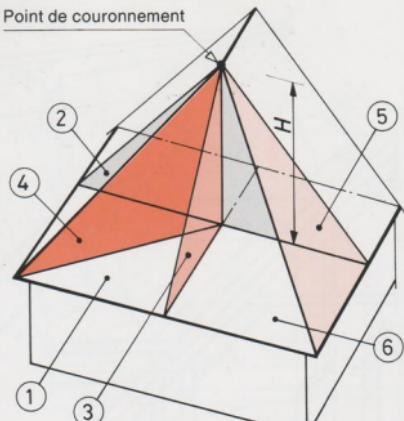
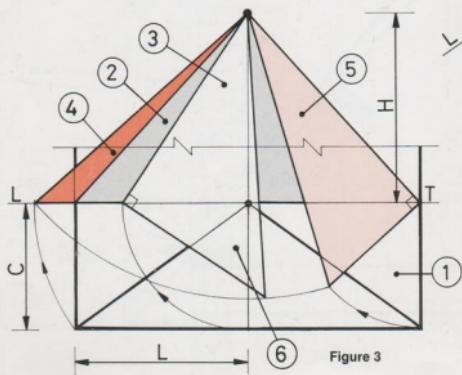
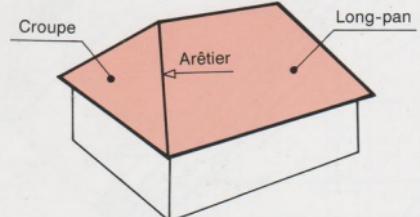


Figure 1

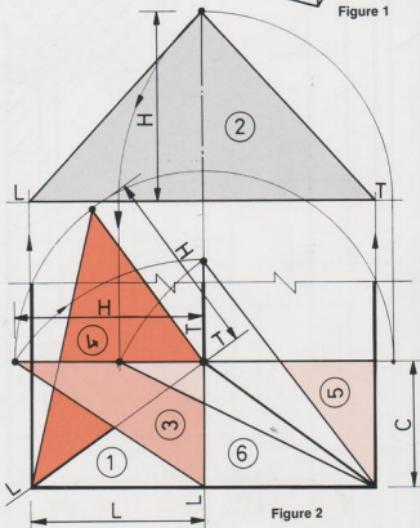
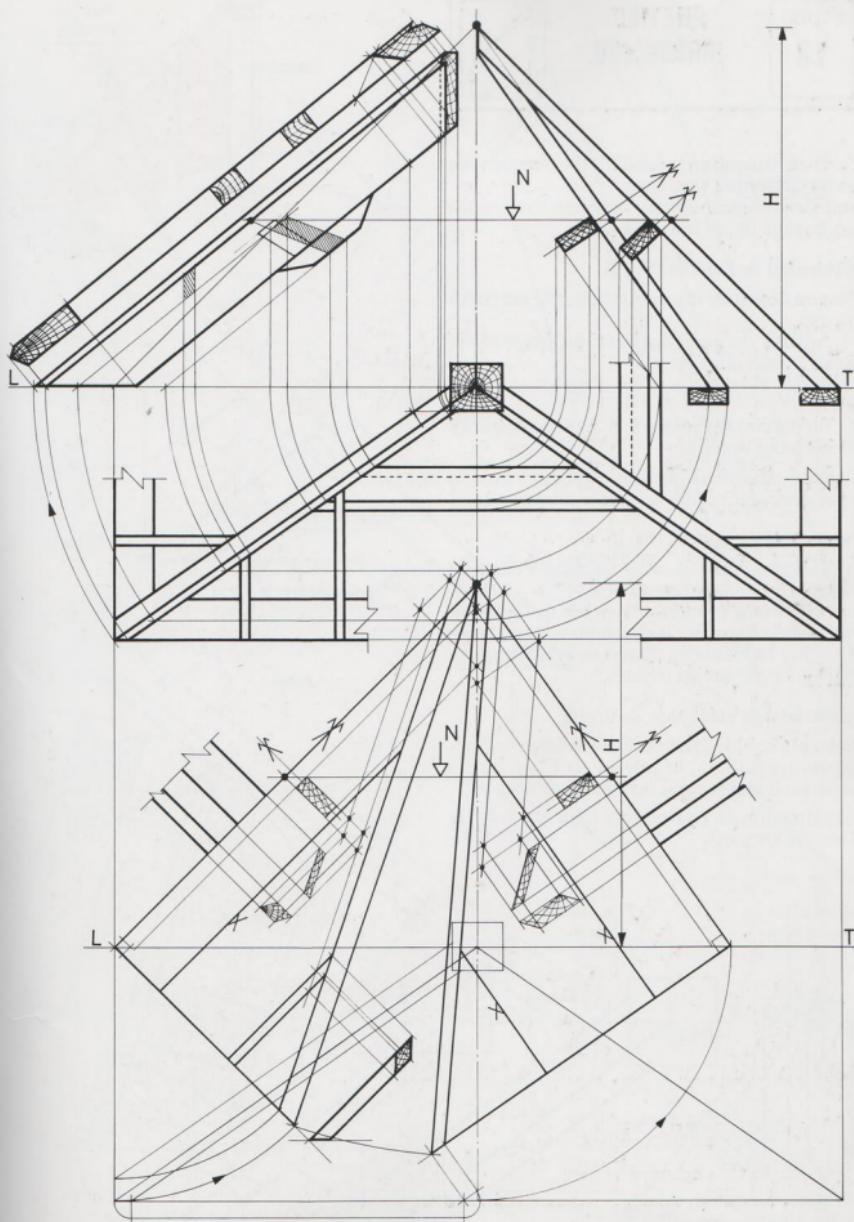


Figure 2

### Vues de l'épure

1. vue en plan,
2. élévation de ferme (chevron de long-pan),
3. élévation de demi-ferme (chevron de croupe),
4. élévation de l'arêtier,
5. herse de long-pan,
6. herse de croupe.

L'épure ci-contre (page de droite) est réalisée conformément au principe de la figure 3.





L'arêtier irrégulier raccorde des versants de pentes différentes (fig. 1).  
Il est dévoyé pour obtenir la même hauteur ( $h$ ) sur chacune de ses faces (fig. 3).

#### Dévoiement de l'arêtier (fig. 2)

C'est un déport de la pièce de bois, par rapport à son axe.

- 1<sup>o</sup>) A partir du point 1, tracer une perpendiculaire à la ligne d'arête.
- 2<sup>o</sup>) Porter de chaque côté l'épaisseur  $A$  de l'arêtier.
- 3<sup>o</sup>) En partant des points 2 et 3, mener la parallèle à l'égout opposé.

L'arêtier dévoyé se présente toujours avec la petite épaisseur vers le versant le plus pentu.

#### Dévoiement du poinçon (fig. 3)

Le principe consiste à faire coïncider l'angle du poinçon avec l'arête, au point P.

Il a pour but d'équilibrer les joues de l'engueulement et de simplifier le couronnement du poinçon. C'est en réalité un déport de la ferme qui se fait vers l'intérieur du comble.

#### Assemblage du pied (page de droite)

Dans cet exemple, qui peut être réalisé avec l'arêtier dévoyé ou non, le gousset est placé sur les sablières. Il assure ainsi une meilleure liaison.

Les extrémités du gousset sont taillées suivant la pente des versants.

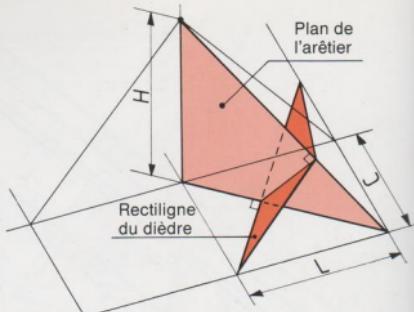


Figure 1

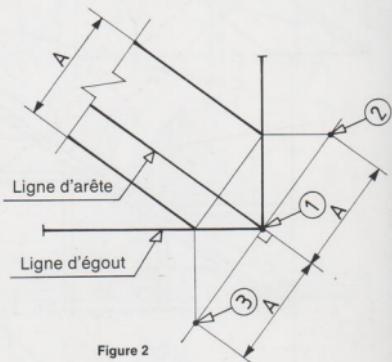


Figure 2

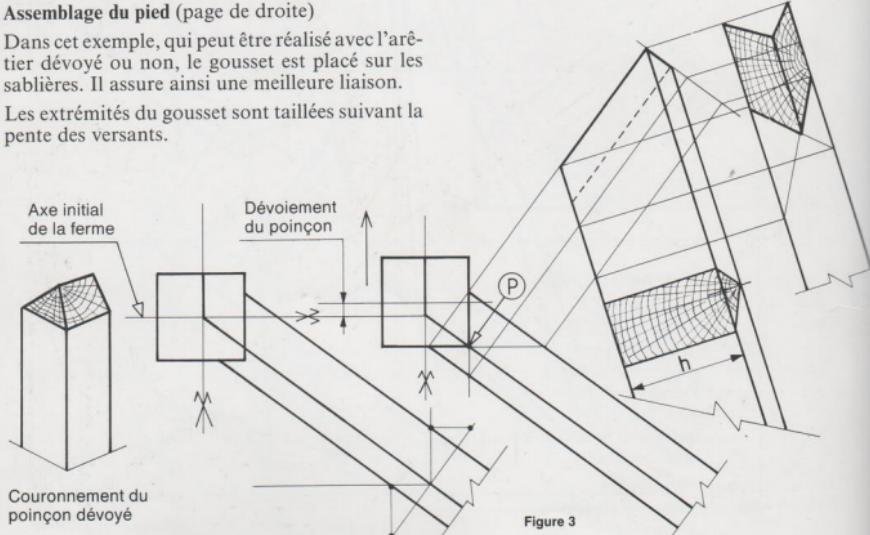
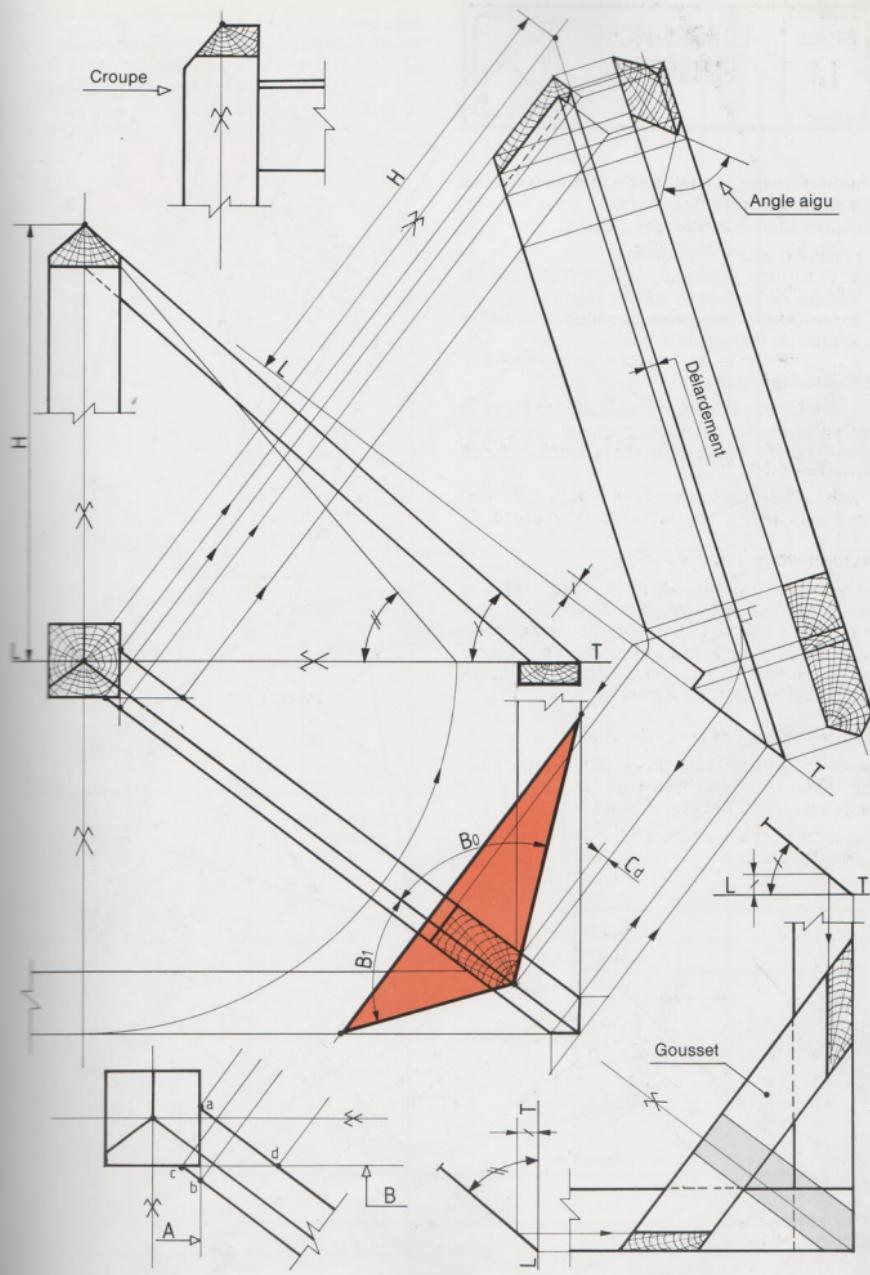


Figure 3



ÉTUDE  
14

CONTRE-FICHE  
D'ARÊTIER



Théoriquement, la contre-fiche d'arêtier doit se dégauchir avec celle de la ferme, et pour cela elle est située dans le même plan (fig. 1).

Le principe peut s'appliquer :

- à la croupe régulière, comme l'indique le schéma de la page de gauche (fig. 2);
- à la croupe irrégulière, comme le montre l'épure de la page de droite.

Déjoutement (fig. 3)

La contre-fiche d'arêtier est assemblée au pied par engueulement dans le poinçon, avec une coupe appelée *déjoutement*, sur la contre-fiche de ferme.

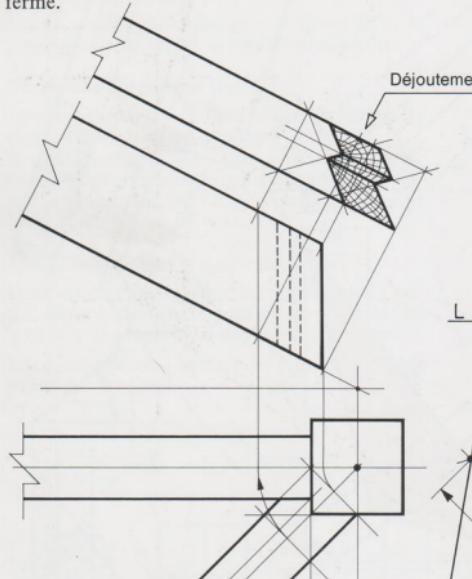


Figure 3

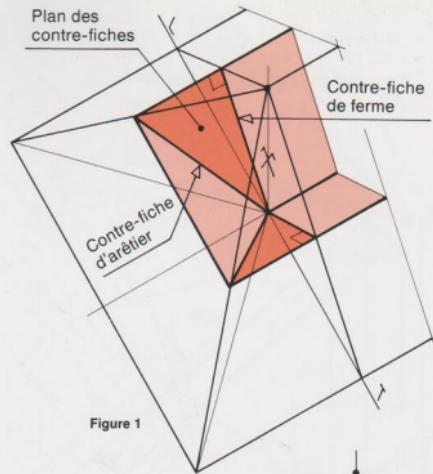


Figure 1

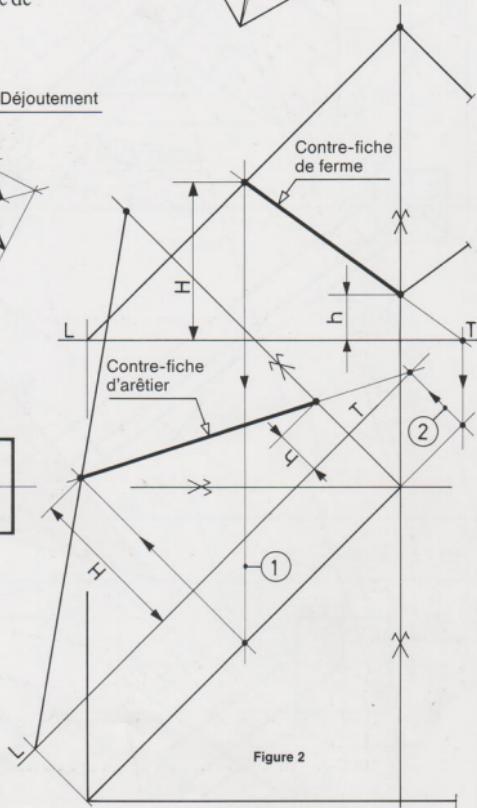
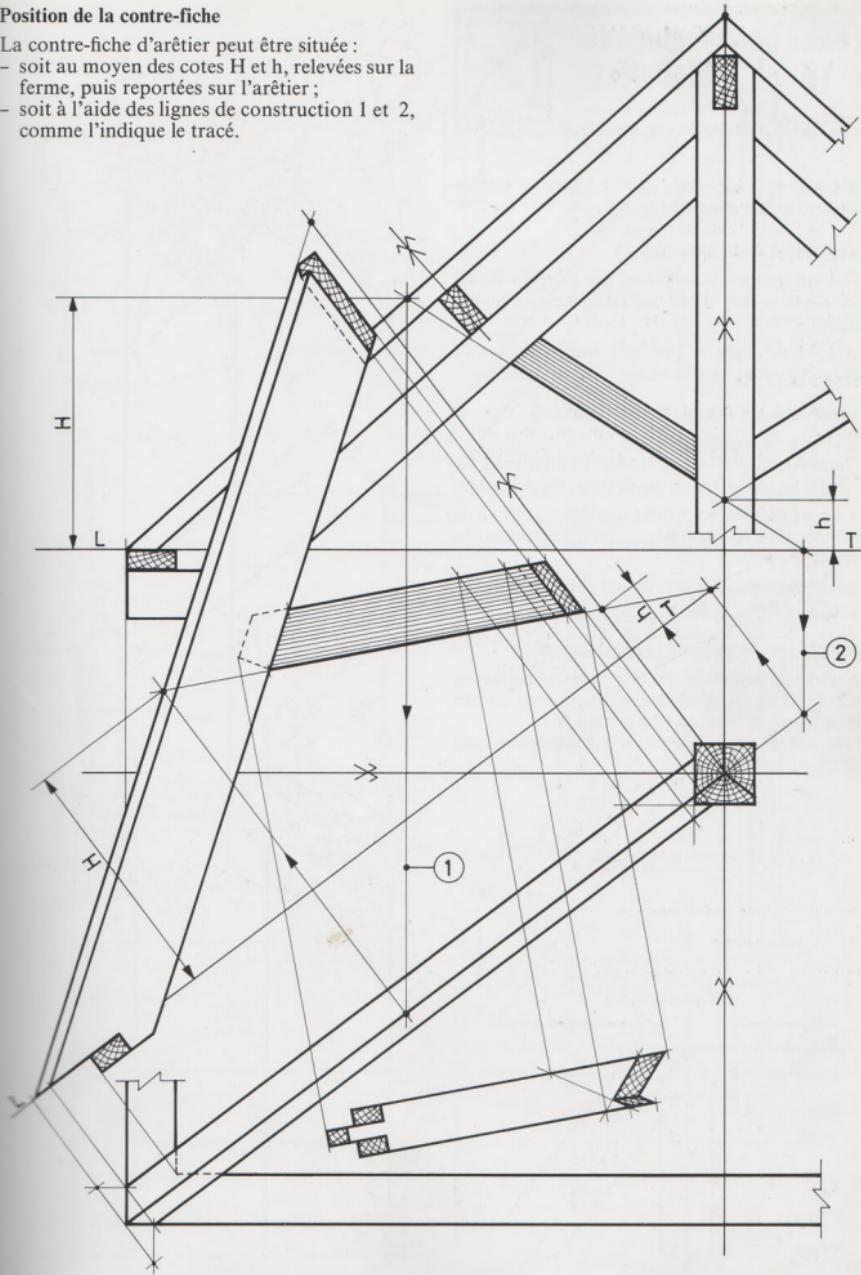


Figure 2

### Position de la contre-fiche

- La contre-fiche d'arêtier peut être située :
- soit au moyen des cotés  $H$  et  $h$ , relevées sur la ferme, puis reportées sur l'arêtier ;
  - soit à l'aide des lignes de construction 1 et 2, comme l'indique le tracé.



ÉTUDE  
15

NOUE  
IRRÉGULIÈRE



La noue, qui raccorde des versants de pentes différentes, est dévoyée (fig. 1).

**Dévoiement de la noue (fig. 2)**

C'est un déport de la pièce, par rapport à son axe, dans le but d'obtenir des faces de même largeur.

La noue dévoyée se présente toujours avec la petite épaisseur vers le versant le plus pentu.

**Assemblage sur faîteage (page de droite)**

La coupe de tête comprend :

- la partie haute, située au-dessus du niveau N,
- la partie basse, située au-dessous du niveau N.

La coupe du pied comporte une *barbe*, qui vient en butée contre la sablière, afin d'augmenter la surface d'appui.

Le **rencreusement** de la noue est déterminé par la cote Cd, ou par la ligne 3.

**Assemblage sur poinçon (page de gauche)**

La noue est assemblée en tête par engueulement dans le poinçon, avec des déjoutements contre les faîtages, au-dessous du niveau N.

Dans cet exemple, la noue est supposée non rencreuse.

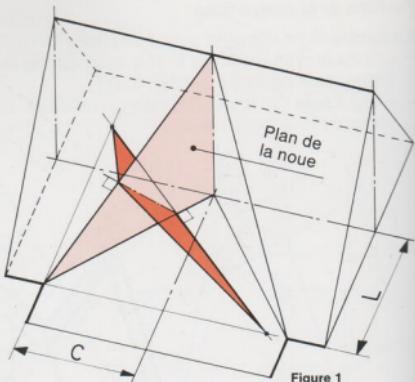


Figure 1

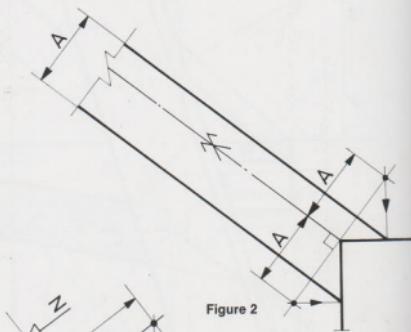
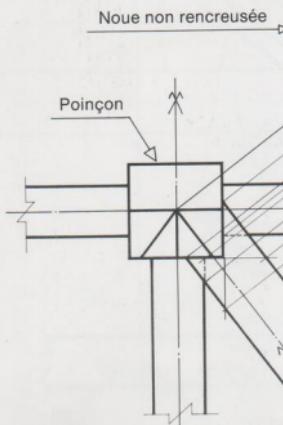
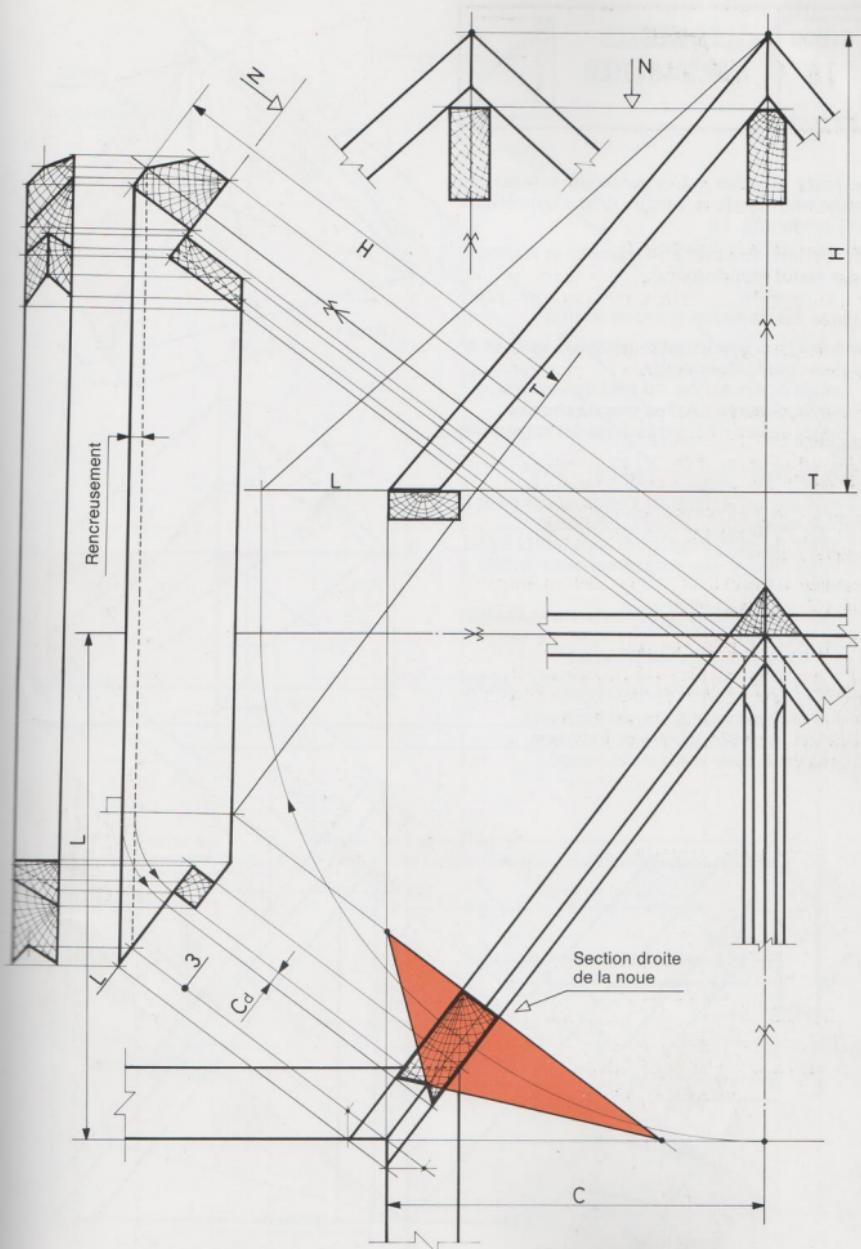


Figure 2







La herse d'arêtier est la partie du versant qui forme un triangle rectangle, dont l'hypoténuse est l'arêtier (fig. 1).

Elle permet de situer les *empanons* et d'obtenir leurs vraies grandeurs.

#### Coupes des empanons (page de droite)

Le traçage des empanons nécessite la mise en application de trois angles :

- l'angle de niveau  $A_0$ , au pied du chevron,
- l'angle d'aplomb  $A_1$ , en tête du chevron,
- l'angle de herse  $A_5$ , sur le chant des empanons.

#### Angle de dévers (page de gauche)

L'angle qui sert à déverser l'outil, utilisé pour le taillage des coupes à dévers, peut-être :

- l'angle  $A_3$ , si les empanons sont taillés à plat,
- l'angle  $B_0$ , si les empanons sont taillés à chant.

L'angle  $A_3$  est formé par l'empanon et l'arêtier sur la vue en plan.

Il vaut  $45^\circ$  si la croupe est régulière.

L'angle  $B_0$  est donné par le *rectiligne du dièdre*.

Si la croupe est irrégulière, on utilisera :

- l'angle  $B_0$ , pour la herse de long-pan,
- l'angle  $B_1$ , pour la herse de croupe.

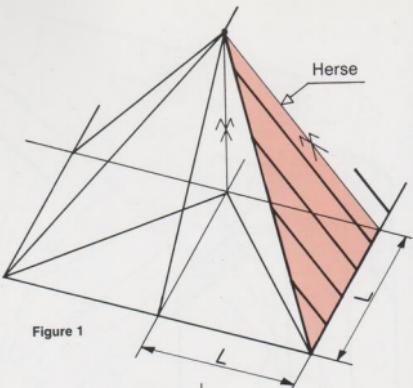
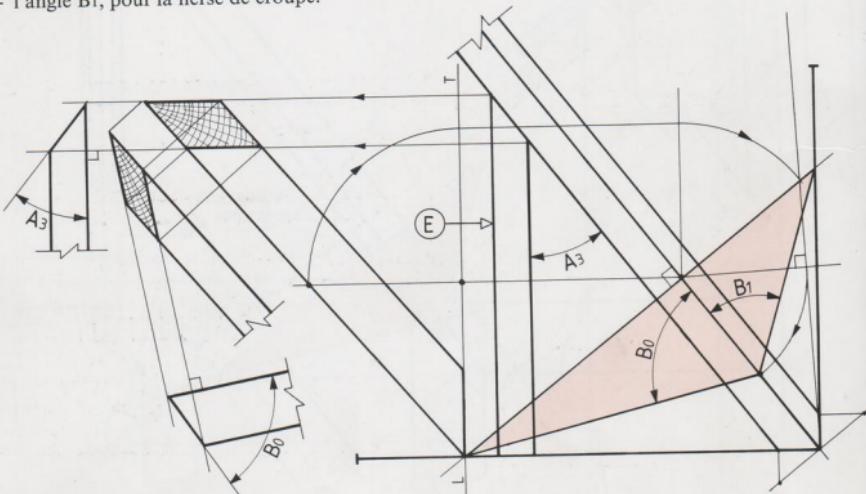
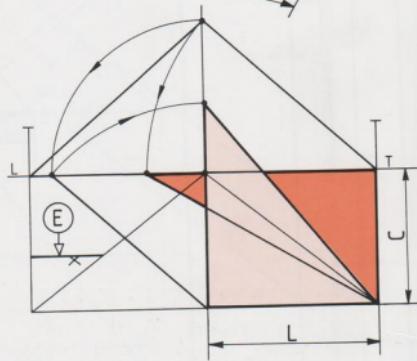
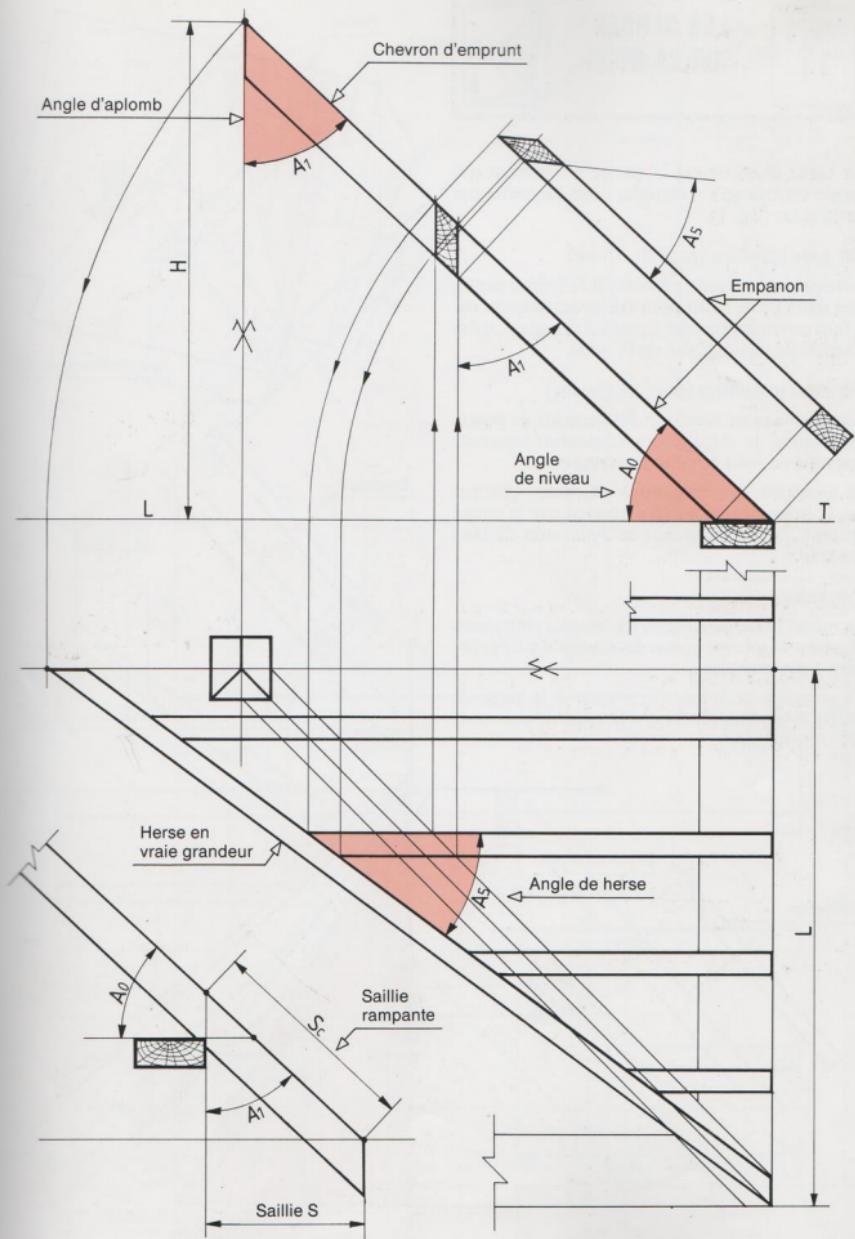


Figure 1







La herse de noue est la partie du versant qui forme un triangle rectangle, dont l'hypoténuse est la noue (fig. 1).

#### **Sur noue régulière (page de droite)**

Lorsque les versants présentent la même pente, une seule herse suffit pour tracer les empanons. Il faut cependant veiller au sens d'orientation des coupes, de chaque côté de la noue.

#### **Sur noue irrégulière (page de gauche)**

Lorsque la noue raccorde des versants de pentes différentes, le traçage des empanons nécessite deux herses, une sur chaque versant.

**La longueur** des empanons de noue, obtenue sur la herse, est prolongée au pied par la coupe aplomb, ce qui augmente la dimension du bois capable.

#### *Remarque*

La même herse peut servir à tracer les empanons d'arêtier et les empanons de noue, s'il y a égalité dans les dimensions.

Ce principe pourrait s'appliquer à la page de droite ci-contre, ainsi qu'à la page de droite de l'étude précédente.

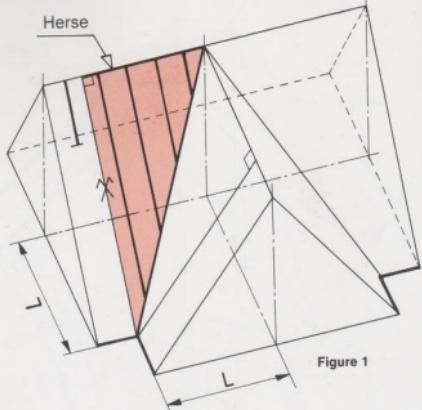
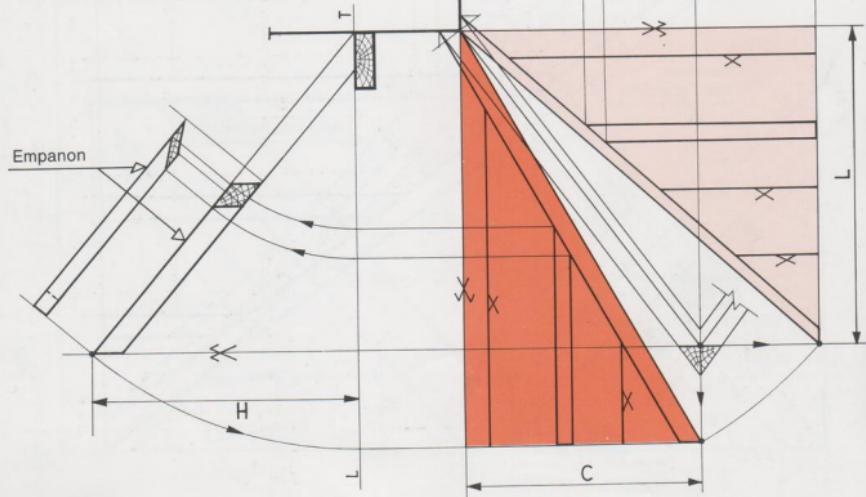
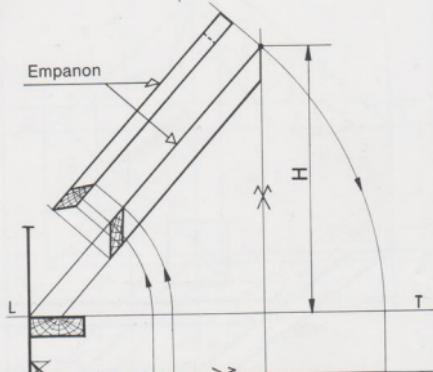
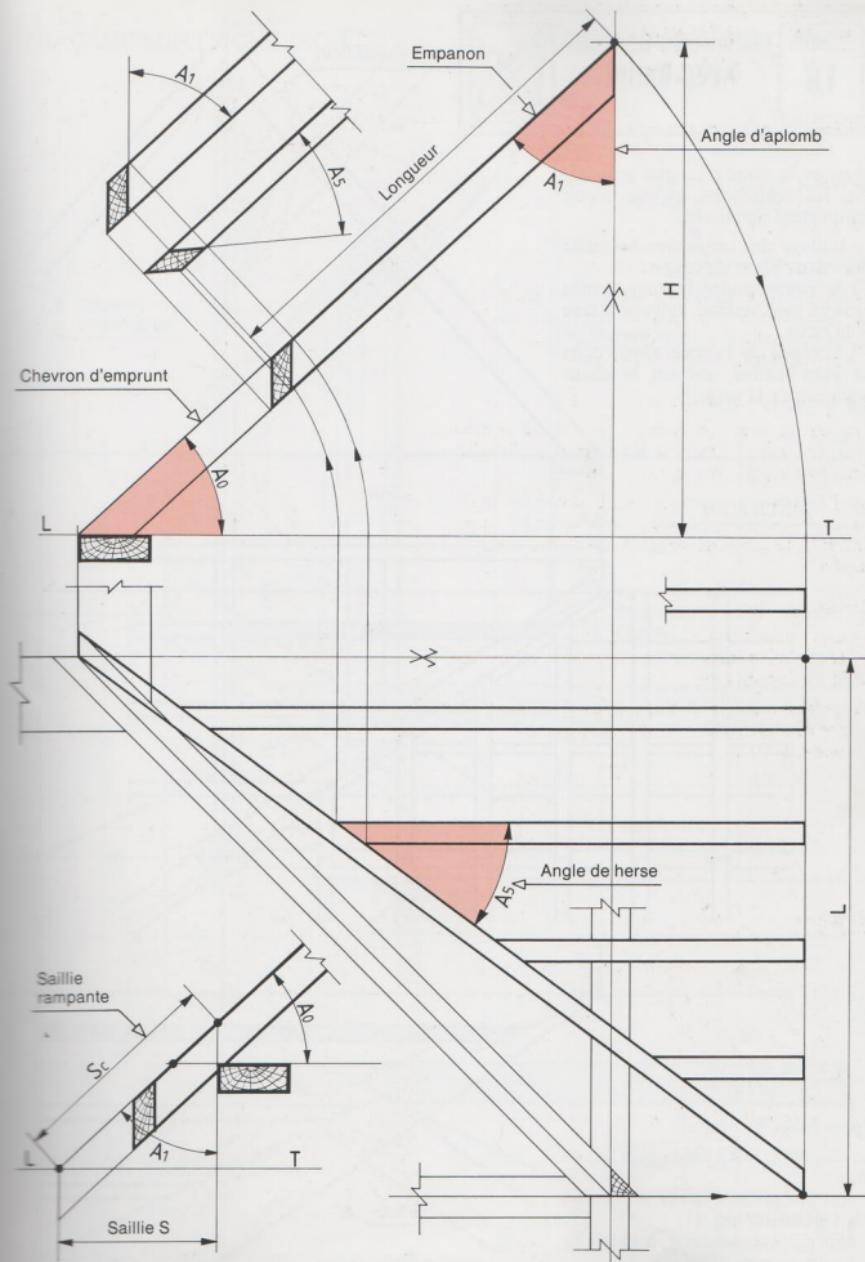


Figure 1





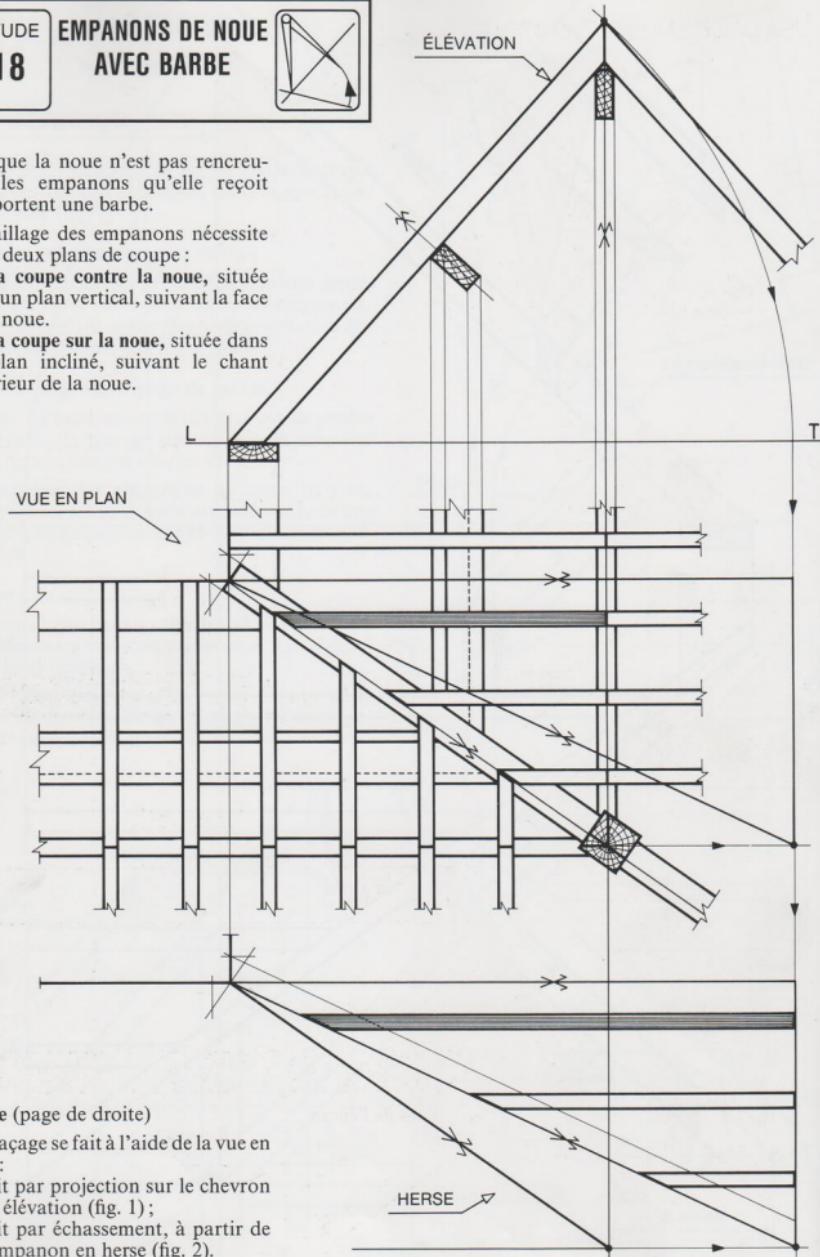


Lorsque la noue n'est pas rencreuse, les empanons qu'elle reçoit comportent une barbe.

Le taillage des empanons nécessite alors deux plans de coupe :

1°) la coupe contre la noue, située dans un plan vertical, suivant la face de la noue.

2°) la coupe sur la noue, située dans un plan incliné, suivant le chant supérieur de la noue.



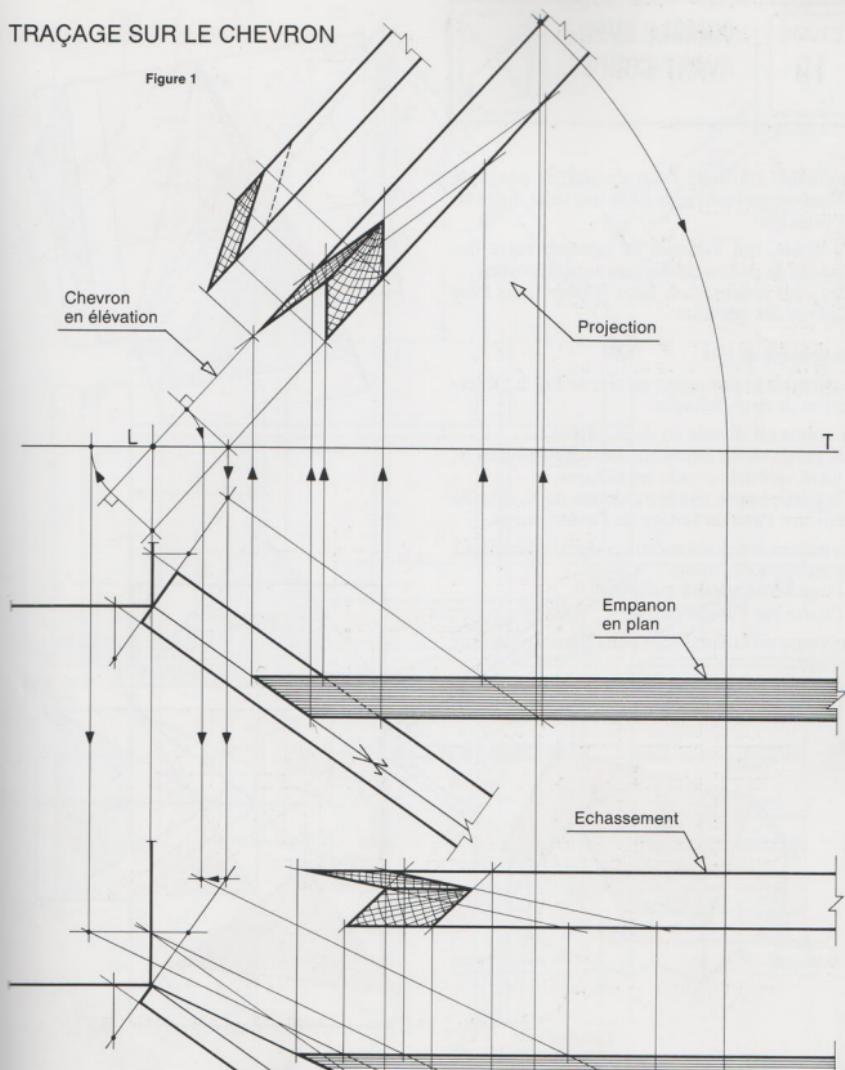
#### Epure (page de droite)

Le traçage se fait à l'aide de la vue en plan :

- soit par projection sur le chevron en élévation (fig. 1);
- soit par échassement, à partir de l'empanon en herse (fig. 2).

## TRAÇAGE SUR LE CHEVRON

Figure 1



## TRAÇAGE SUR LA HERSE

Figure 2



## ÉTUDE 19

### COMBLE AVEC AVANT-CORPS



Le comble traité ici est irrégulier, la pente de l'avant-corps étant plus forte que celle du comble principal.

Les noues, qui assurent la jonction entre des versants de pentes différentes sont dévoyées. Elles sont rencreuses, pour former lattis avec les plans des versants.

#### Assemblage de tête

L'assemblage des noues en tête se fait à l'intersection de deux faîtages.

La coupe est divisée en deux parties :

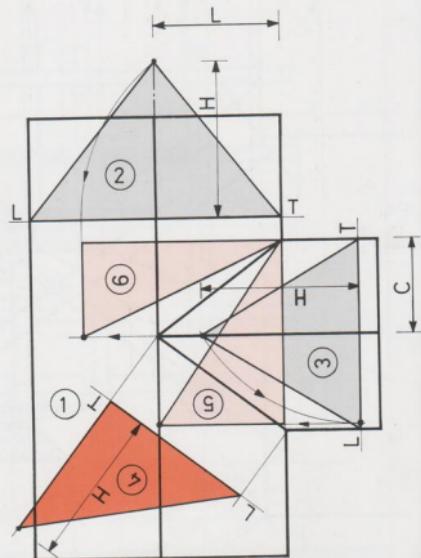
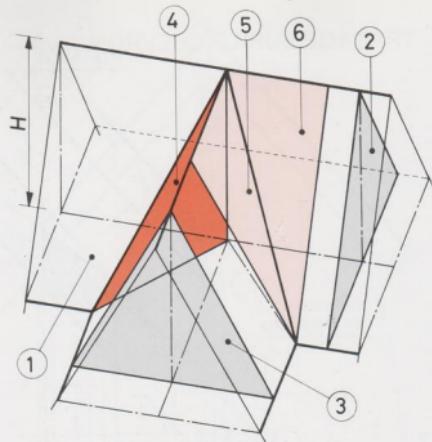
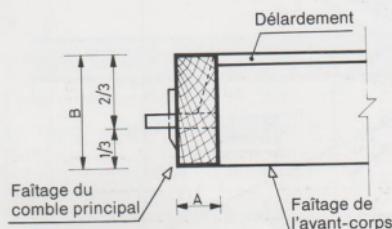
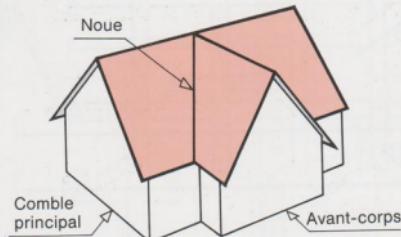
- la partie basse, située au-dessous du niveau N, vient en butée contre les faîtages,
- la partie haute, située au-dessus de N, se taille suivant l'axe du faîtage de l'avant-corps.

Les pannes demandent deux coupes différentes à la rencontre des noues :

- l'une sur le comble principal,
- l'autre sur l'avant-corps.

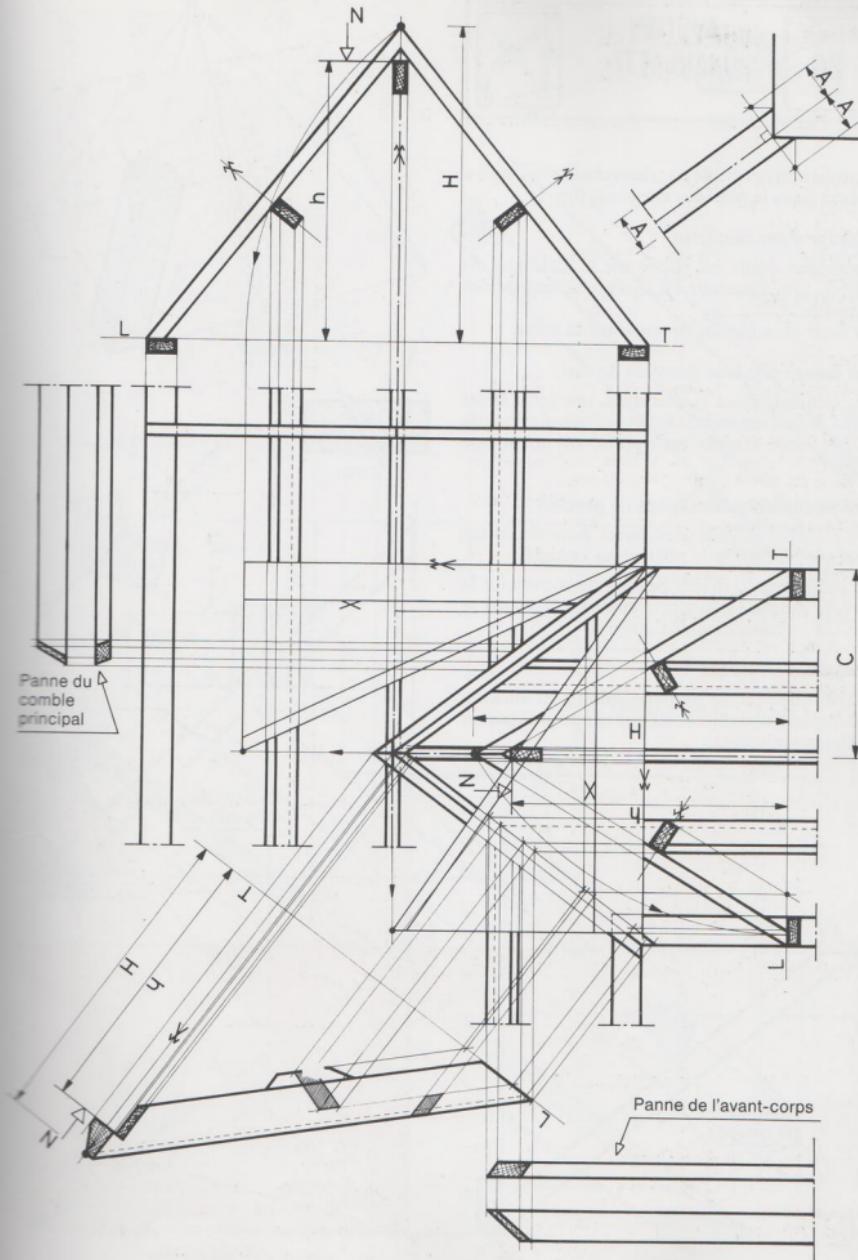
Les empanons nécessitent deux herses pour leur traçage :

- l'une sur le comble principal,
- l'autre sur l'avant-corps.



#### Vues de l'épure

1. vue en plan,
2. élévation de ferme (comble principal),
3. élévation de ferme (avant-corps),
4. élévation de nouse,
5. herse, sur le comble principal,
6. herse, sur l'avant-corps.





L'arêtier est constitué par deux chanlattes, qui se situent dans le plan des chevrons (fig. 1).

#### Traçage d'une chanlatte

La section droite est située sur le rectiligne du dièdre. Son épaisseur est égale à la largeur des chevrons.

La vraie grandeur est obtenue sur la herse.

#### Sur croupe régulière (page de droite)

Les éléments étant symétriques, une seule herse suffit. Il faut cependant veiller à l'orientation des pièces, dont le sens est opposé sur un même arêtier.

#### Sur croupe irrégulière (page de gauche)

Les deux herses sont nécessaires, pour tracer sur chacune, la chanlatte relative au versant.

Le rectiligne du dièdre permet de construire la section droite. La jonction entre les éléments se fait sur la bissectrice de l'angle.

#### Coupe des empanons

La chanlatte étant perpendiculaire au versant, les empanons comportent une coupe oblique sur le chant seulement.

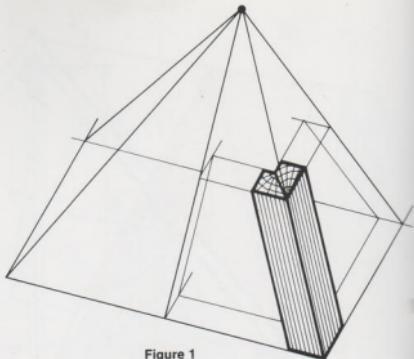
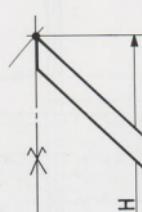
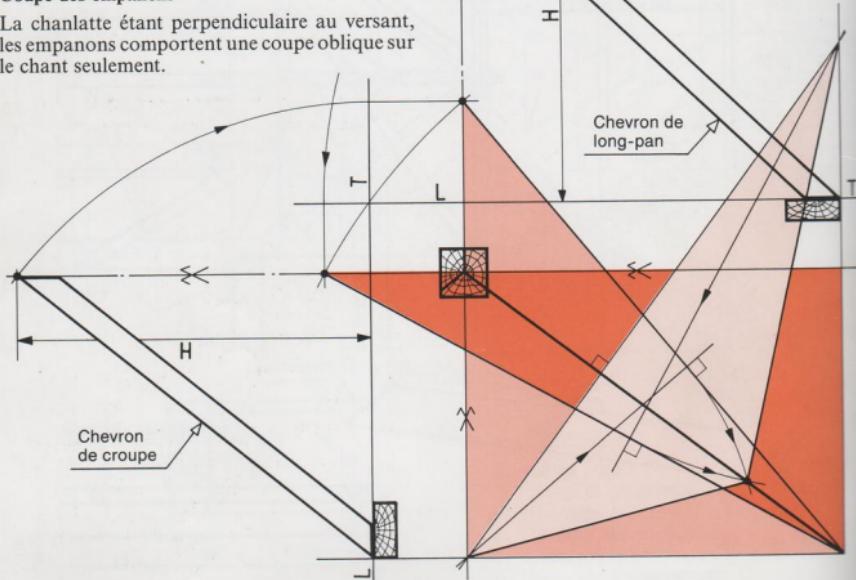
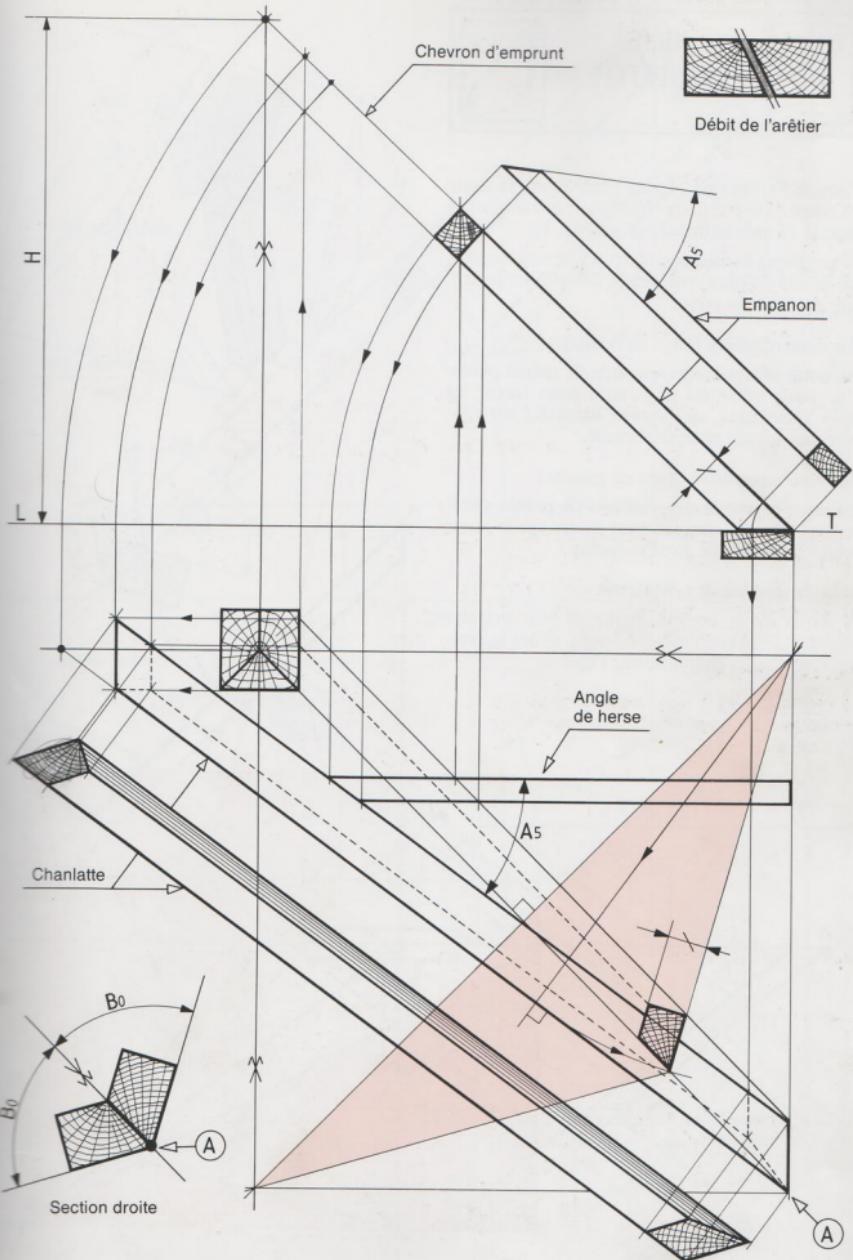


Figure 1



Section droite







Comme l'arêteur de l'étude précédente, la noue est constituée par deux chanlattes, qui se situent dans la *chambrée* des chevrons (fig. 1).

**Le rectiligne du dièdre**, construit par rabattement sur la vue en plan, permet de déterminer la *section droite* de la noue.

#### Sur noue régulière (page de droite)

La noue raccorde des versants de même pente. Une seule herse est nécessaire pour tracer les deux chanlattes, qui seront orientées en sens inverse, suivant chaque versant.

#### Sur noue irrégulière (page de gauche)

La noue raccorde des versants de pentes différentes. Chaque chanlatte est tracée sur la herse relative au versant correspondant.

#### Mise en position des chanlattes

A partir de la section droite, il faut prendre comme référence l'arête A, pour situer correctement chaque chanlatte sur l'épure.

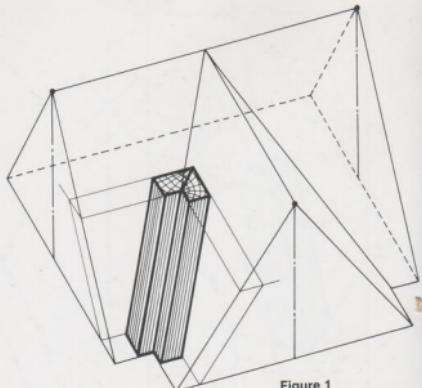
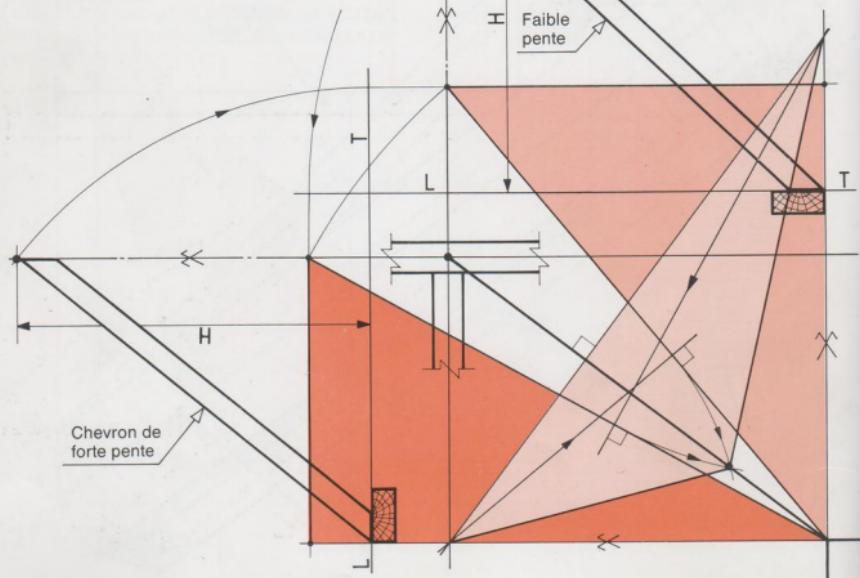
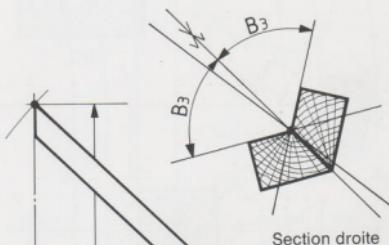
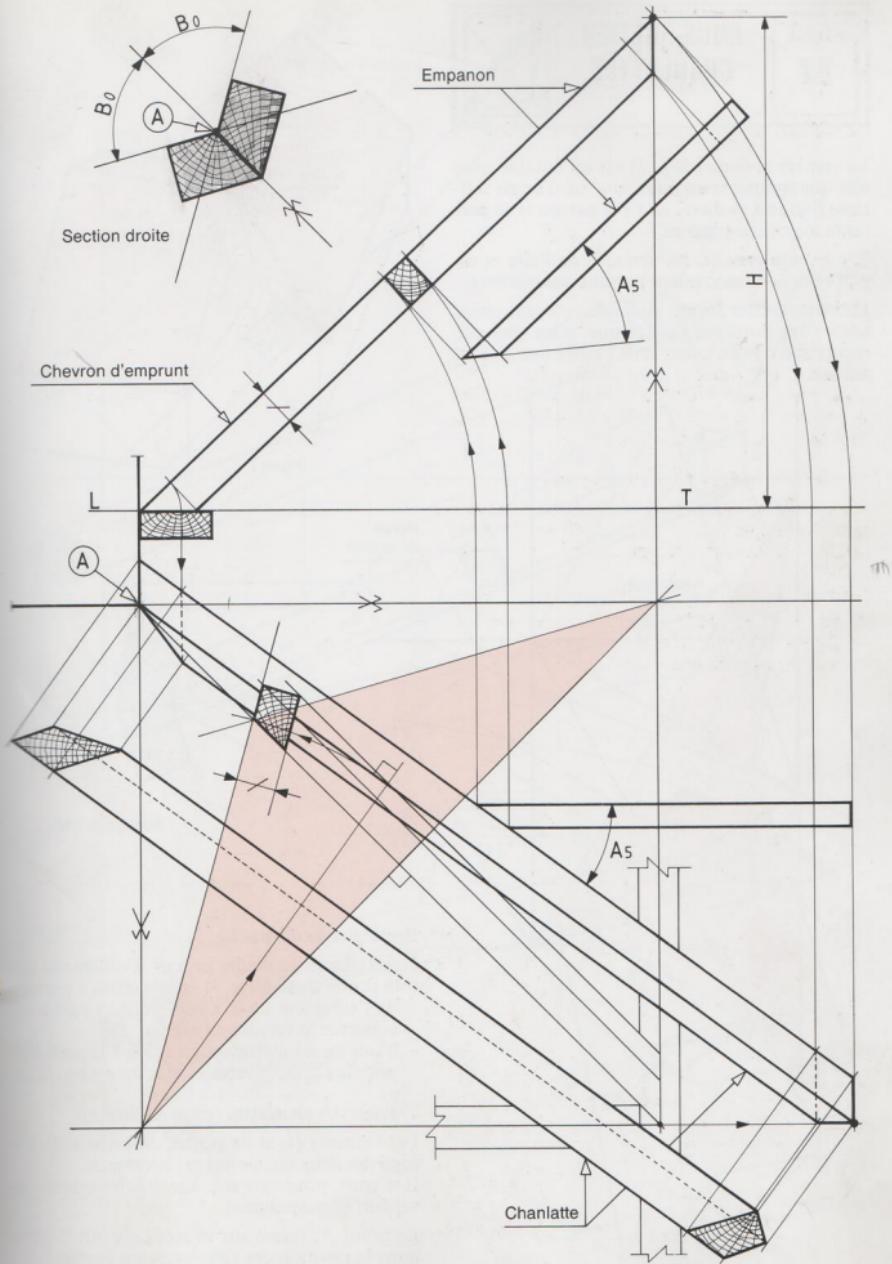


Figure 1







Le comble ci-contre (fig. 1) est un comble avec aile qui comporte un *pan coupé* sur l'angle saillant. Son toit se divise en trois parties et se présente avec trois pignons.

Sur le côté gauche, les versants de l'aile et du pan-coupé, se raccordent par une *noue-arêtier*.

La noue-arêtier forme un angle rentrant, mais nous l'appelons ainsi parce que, d'un côté elle reçoit une rive en noue, et de l'autre une rive en arêtier.

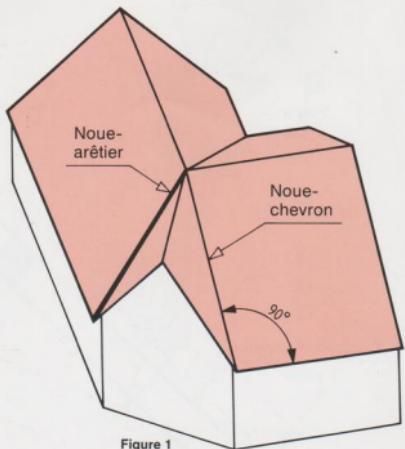


Figure 1

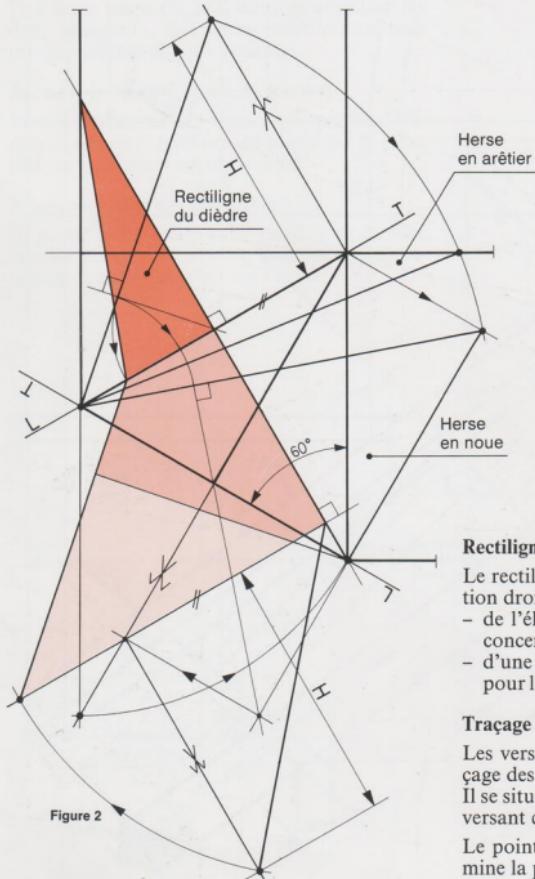


Figure 2

#### Rectiligne du dièdre (fig. 2)

Le rectiligne du dièdre permet d'obtenir la section droite de la noue. Il est construit à partir :

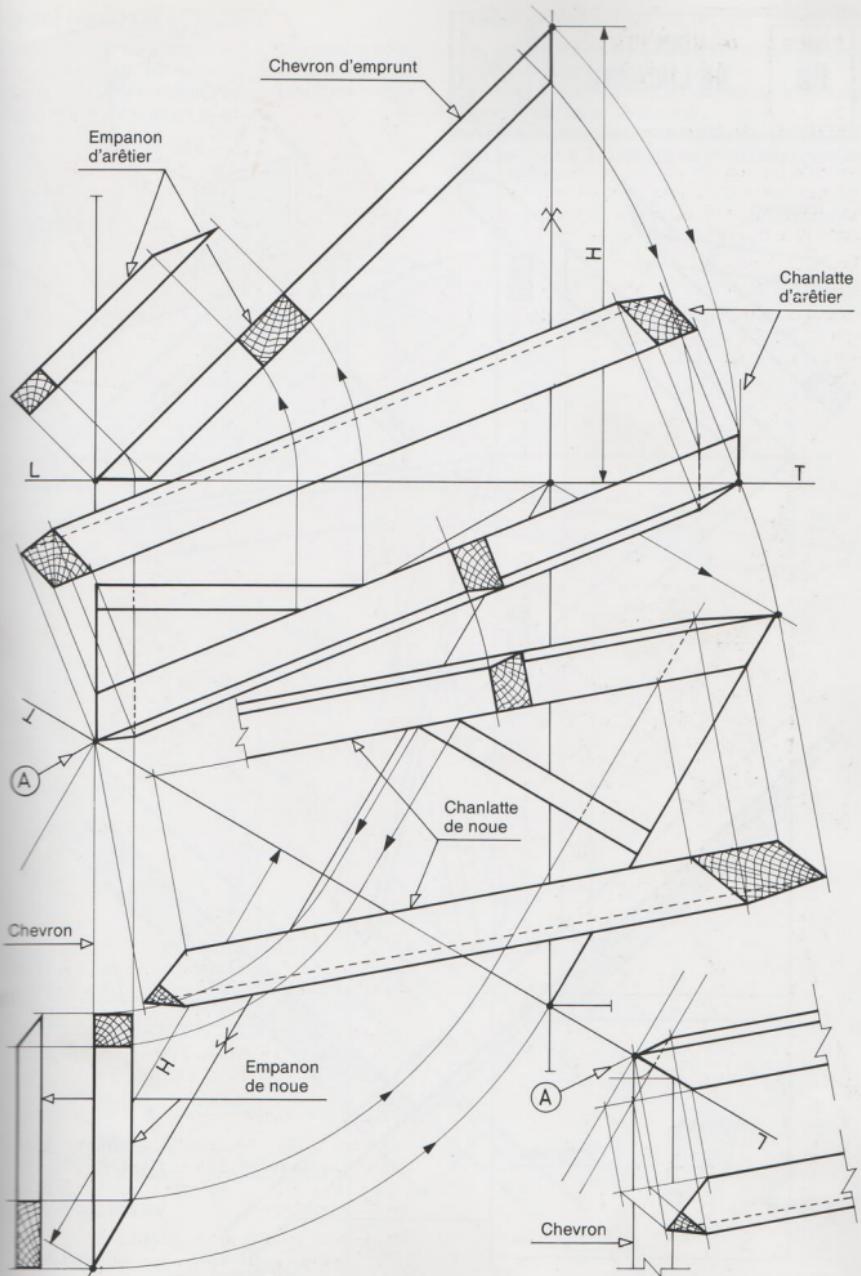
- de l'élévation de la noue, pour la partie qui concerne le versant en arêtier,
- d'une fausse élévation, parallèle à la première, pour la partie qui concerne le versant en noue.

#### Traçage des chanlattes (page de droite)

Les versants étant de pentes différentes, le tracage des deux chanlattes est nécessaire.

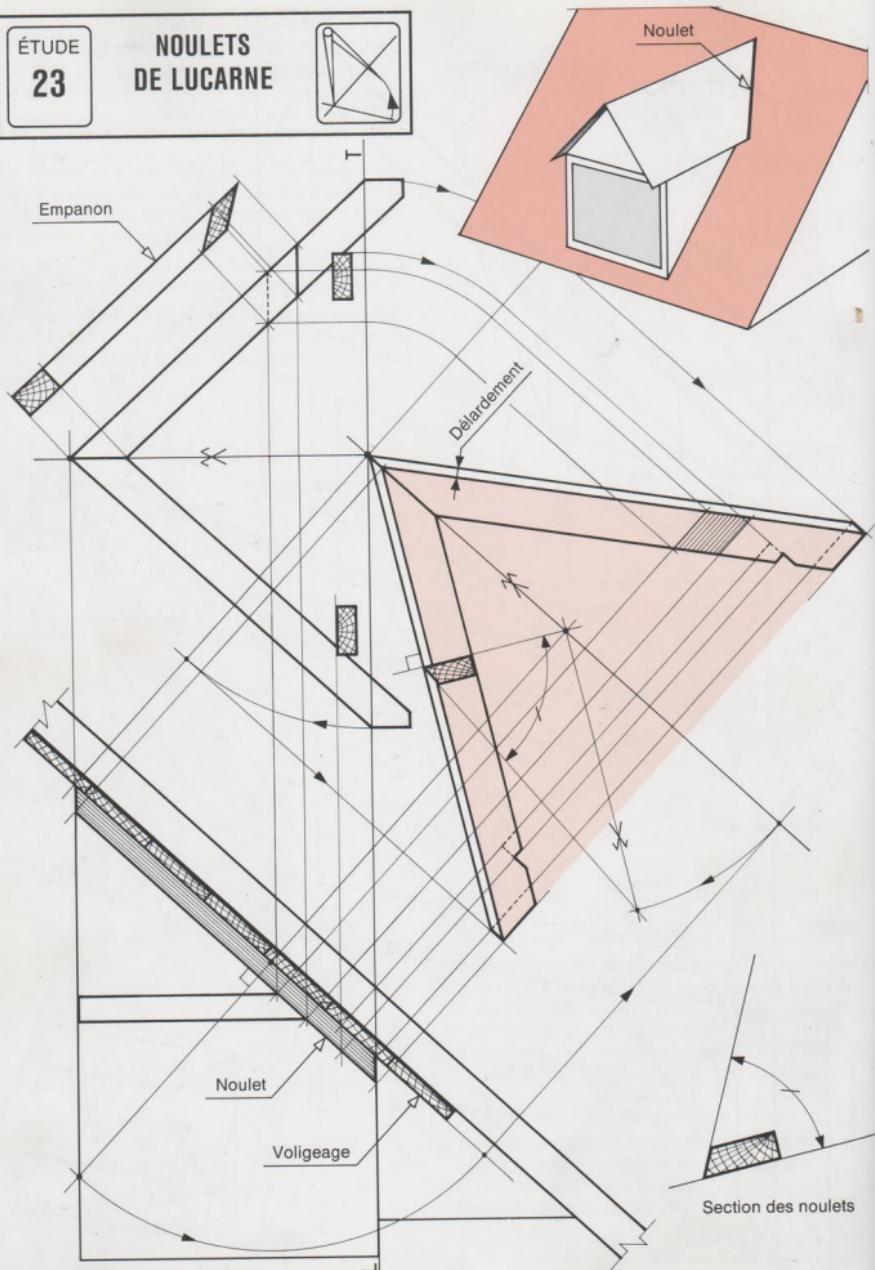
Il se situe, pour chacune, sur la herse relative au versant correspondant.

Le point A, relevé sur la section droite, détermine la position des chanlattes sur l'épure.



ÉTUDE  
23

NOULETS  
DE LUCARNE



### Noulets plats (Page de gauche)

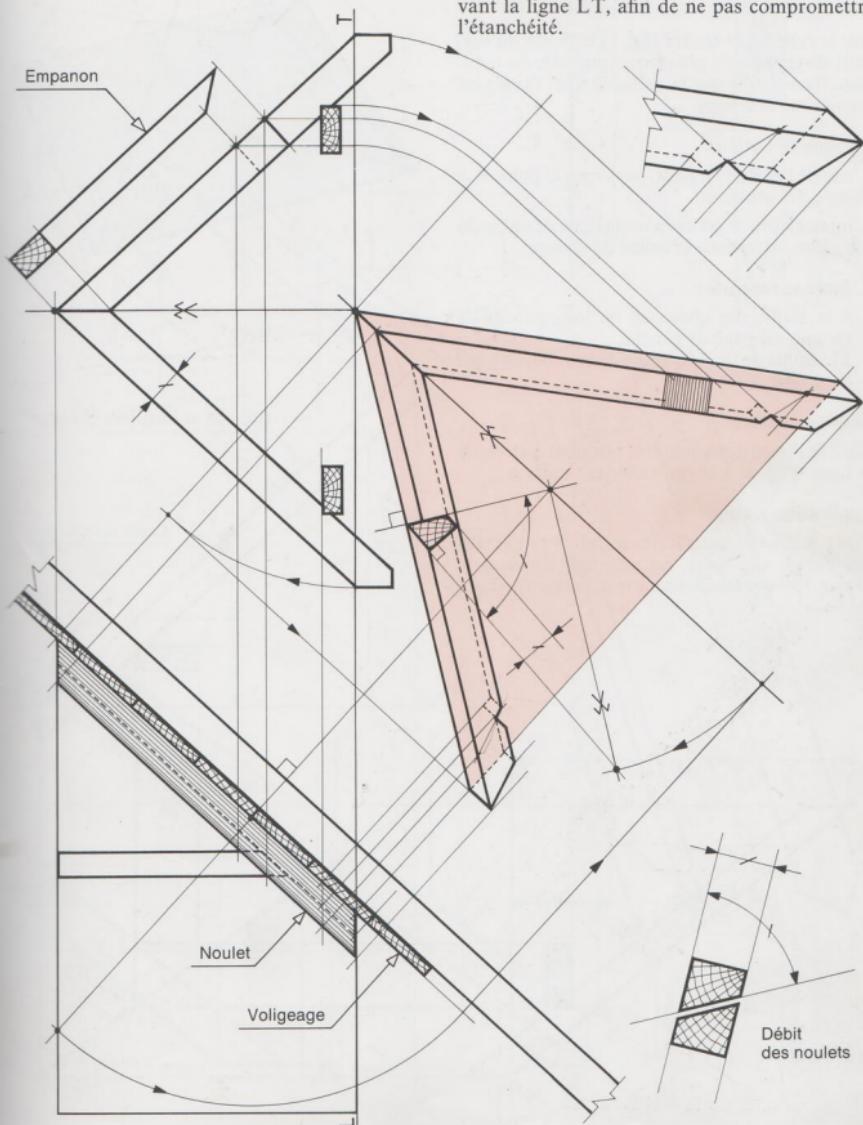
Placés sur un voligeage jointif, les noulets sont délardés suivant les versants de la lucarne. Les empanons qu'ils reçoivent comportent une coupe biaise sur deux sens au pied.

### Noulets chanlattés (page de droite)

Les deux éléments sont débités dans une pièce de section rectangulaire.

La coupe des empanons, d'équerre sur le plat, est biaise sur le chant seulement.

Au pied, les noulets sont taillés de niveau, suivant la ligne LT, afin de ne pas compromettre l'étanchéité.





Sur le schéma ci-contre (fig. 1) la pente du versant de croupe est plus forte que celle du long-pan. Il en résulte que la saillie de toit ( $T$ ) est plus étroite sur la croupe.

#### Position de l'arêtier

L'axe de l'arêtier en plan, passe par le point  $P$ , à l'angle des sablières.

L'intersection de cet axe avec la ligne de saillie du long-pan, détermine la saillie de croupe.

#### L'épure se rapporte :

- à la saillie des chevrons de long-pan et de croupe, en page de gauche,
- à la saillie de l'arêtier, puis de la noue, en page de droite.

#### Saillie rampante

C'est la dimension suivant le rampant du toit, de la ligne d'égout à la verticale des sablières.

#### Application pratique

Cette méthode, avec l'axe des arêtiers passant par l'angle des murs, est celle qui convient le mieux, lorsque les chevrons restent apparents en saillie.

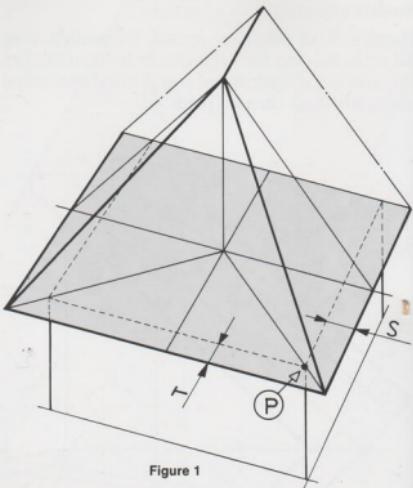
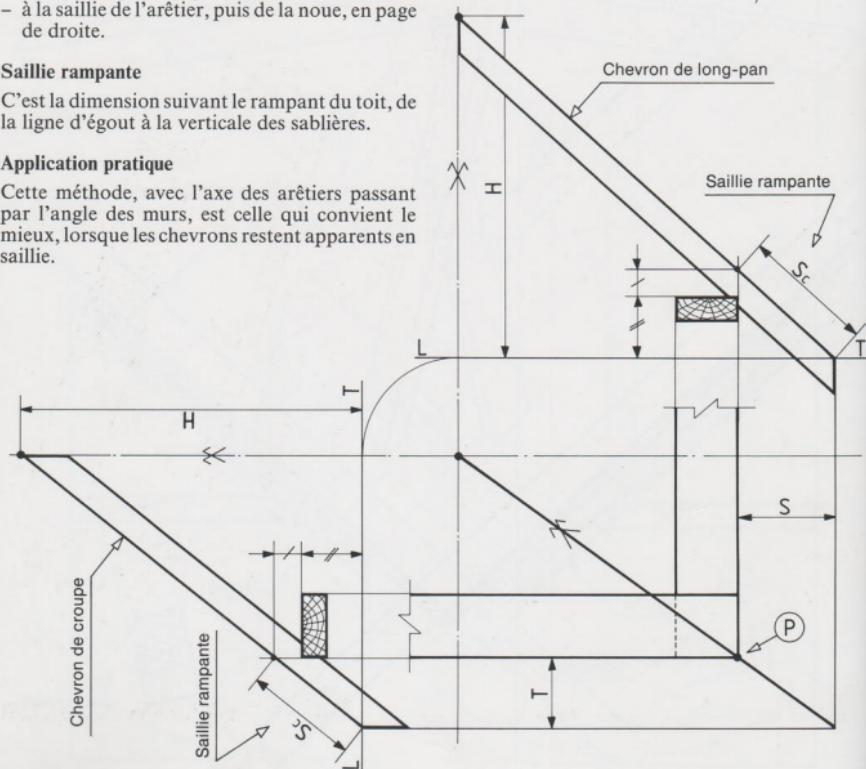
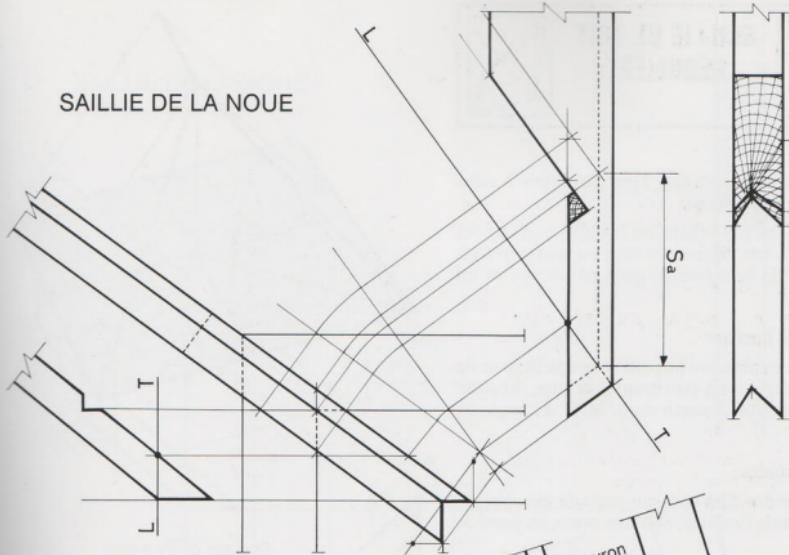


Figure 1



SAILLIE DE LA NOUE



Dessus de sablière

Chevron d'arétier

Empanon

Saillie rampante

SAILLIE DE L'ARÊTIER



Le schéma ci-contre (fig. 1) est analogue à celui de l'étude précédente.

La pente est plus forte en croupe que sur les autres versants. Mais cette fois, on veut donner à la saillie (S) la même largeur en croupe et en long-pan.

#### Position de l'arêtier

Sur la vue en plan, on porte d'abord la largeur de la saillie, sur le long-pan et sur la croupe. Ensuite l'arêtier est situé à partir du point P, à l'angle de la saillie.

#### L'épure montre :

- la saillie des chevrons, en page de gauche,
- la saillie de l'arêtier, et d'une noue, en page de droite.

Une fourrure, qui vient en coupe contre les arêtiers, est placée sur la sablière de croupe.

Cette pièce, dont l'épaisseur est donnée par l'épure, sert d'appui aux empanons de la croupe.

#### Application pratique

Cette conception, avec une largeur égale en croupe et en long-pan, satisfait mieux l'esthétique, si la saillie comporte un caisson qui dissimule le pied des chevrons et de l'arêtier.

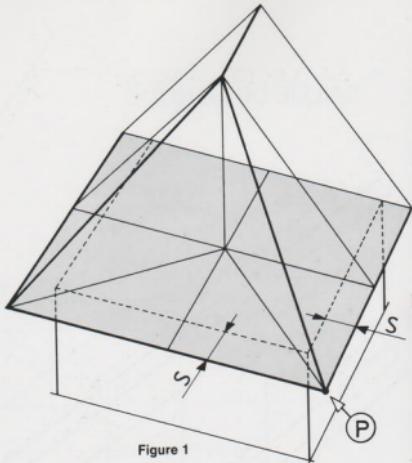
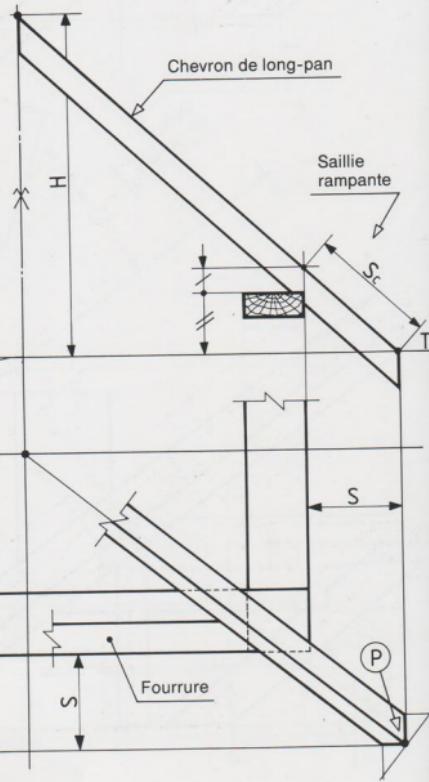
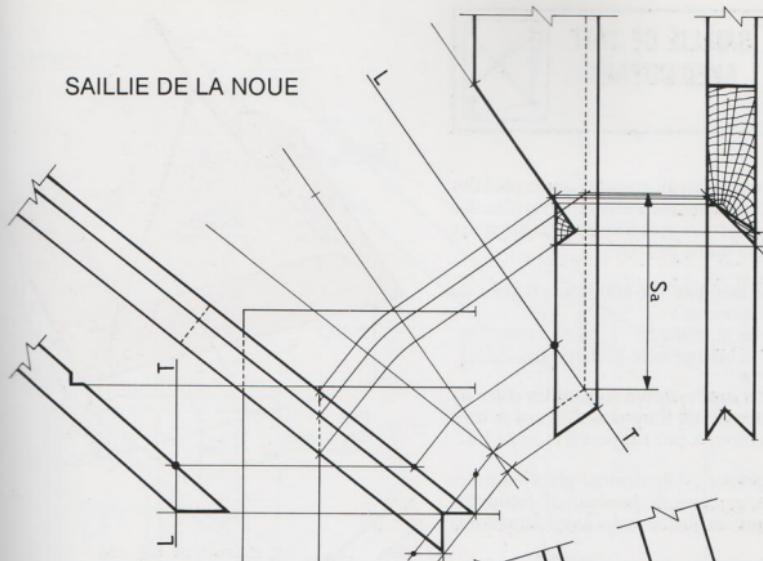


Figure 1

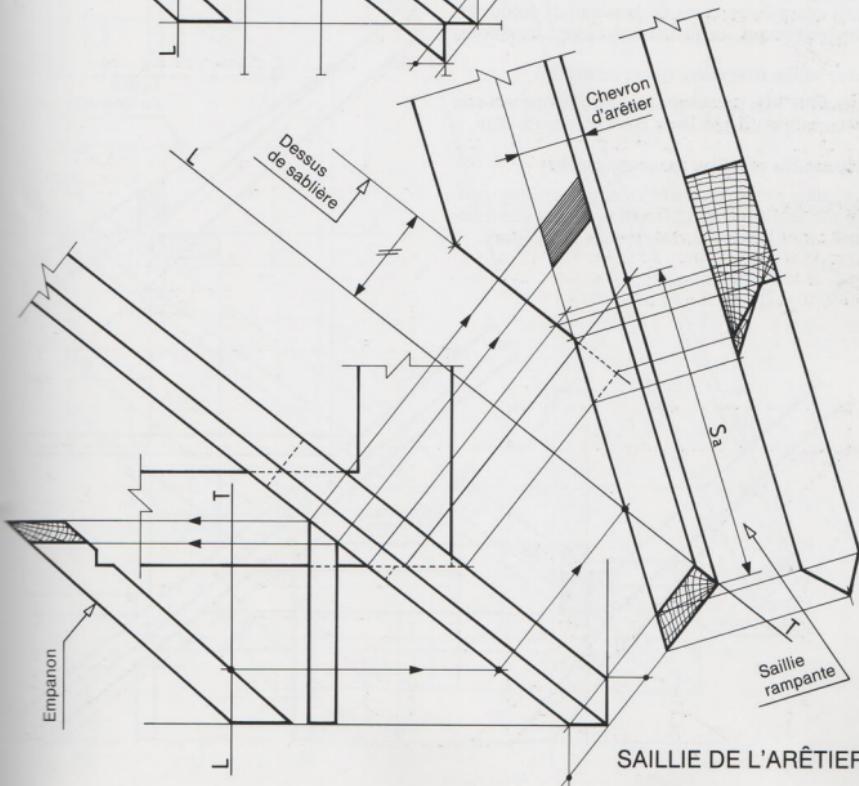


SAILLIE DE LA NOUE



Chevron  
d'arêtier

Dessus  
de sablière



SAILLIE DE L'ARÊTIER

**ÉTUDE  
26**

**SAILLIE DE TOIT  
AVEC COYAUX**



Les coyaux, qui viennent en coupe sur le pied des chevrons, produisent une *brisure* dans le plan des versants. Ils se prolongent à l'extérieur des murs pour former la saillie de toit.

**Le coyau de long-pan** est établi le premier de manière à déterminer :

- la largeur de la saillie  $S$ ,
- l'angle de la brisure avec le chevron.

**Le coyau de croupe** est situé suivant les cotes de hauteur, obtenues en long-pan. Ces cotes sont reportées en croupe, par rapport à la ligne LT.

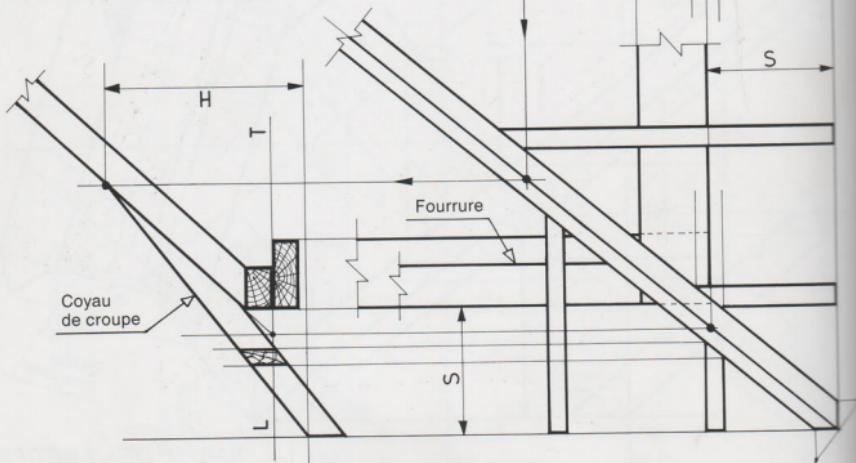
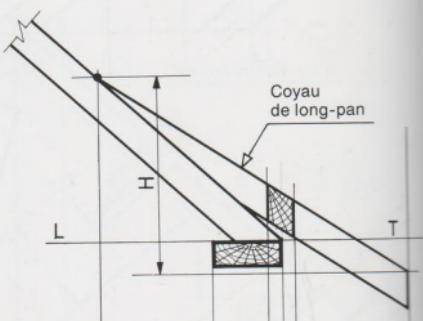
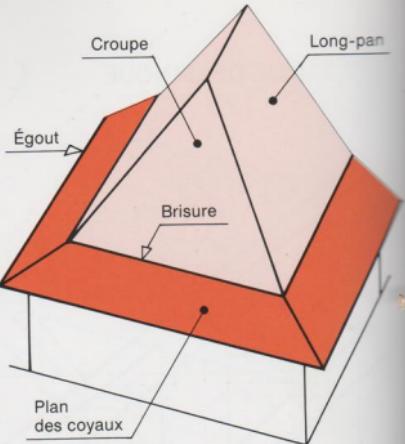
**Le coyau d'arêtier** est également placé en fonction des mêmes cotes de hauteur. Il reçoit sur chaque versant, un ou deux coyaux en empanons.

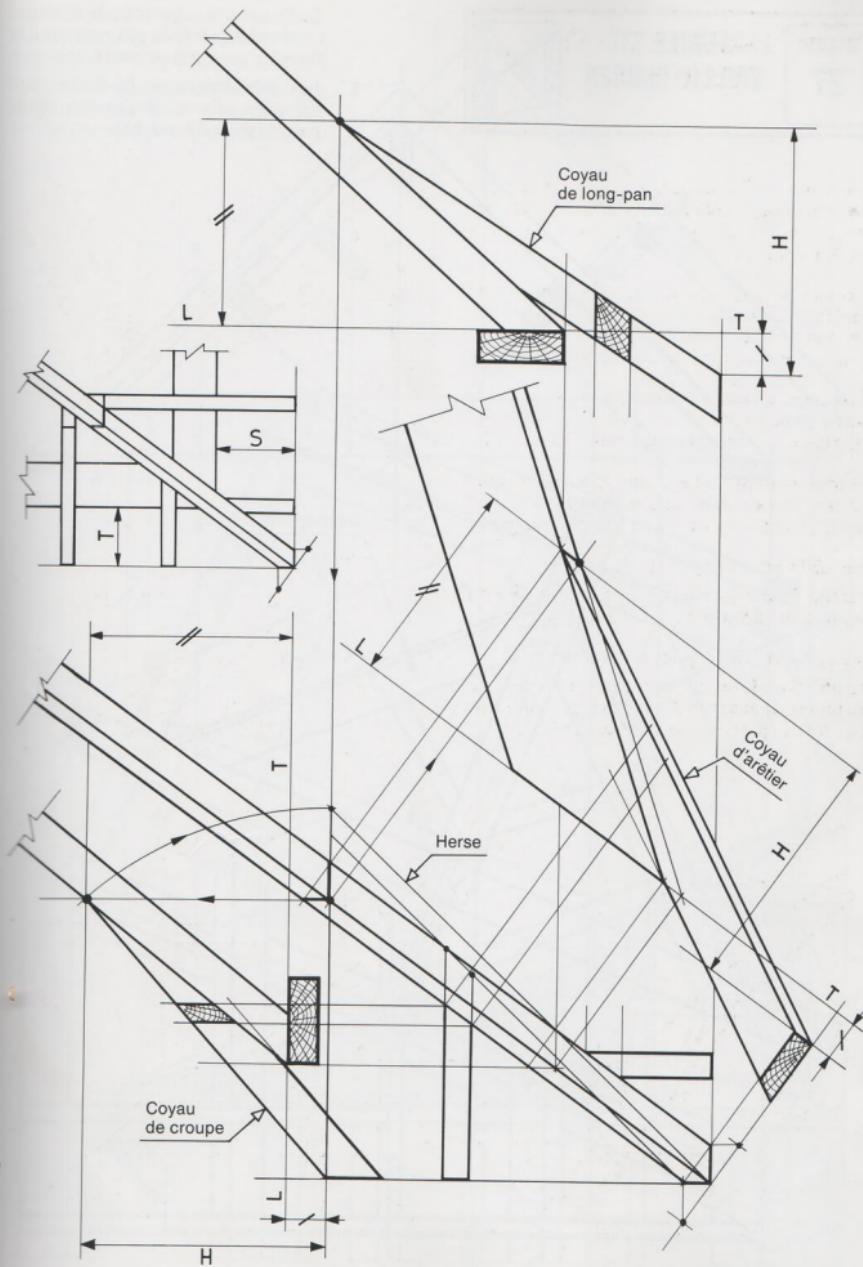
**Avec saillie irrégulière (page de droite)**

La saillie  $T$  de la croupe, plus étroite que celle du long-pan, est déterminée par l'arêtier en plan.

**Avec saillie régulière (page de gauche)**

La saillie  $S$  est la même en croupe et en long-pan. La sablière de croupe est rehaussée par une fourrure, dont l'épaisseur est donnée par l'épure.

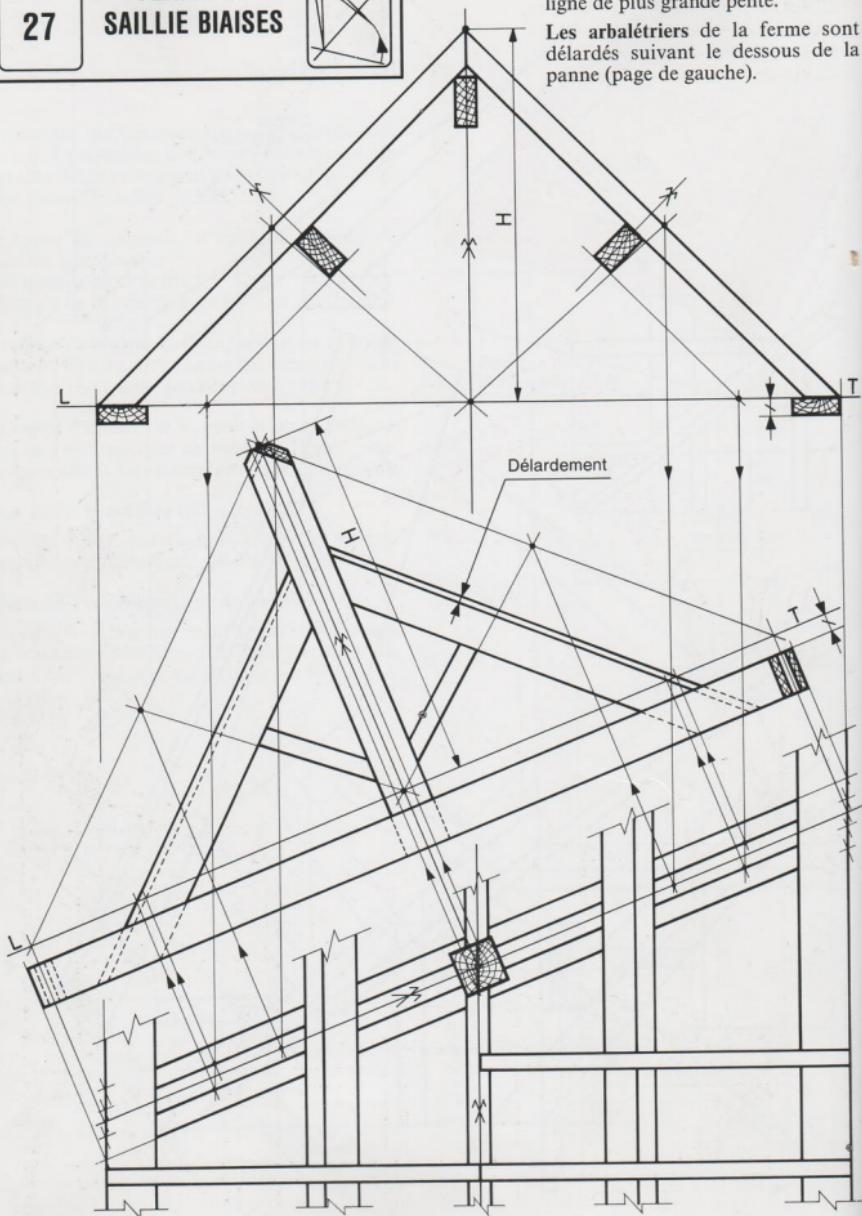






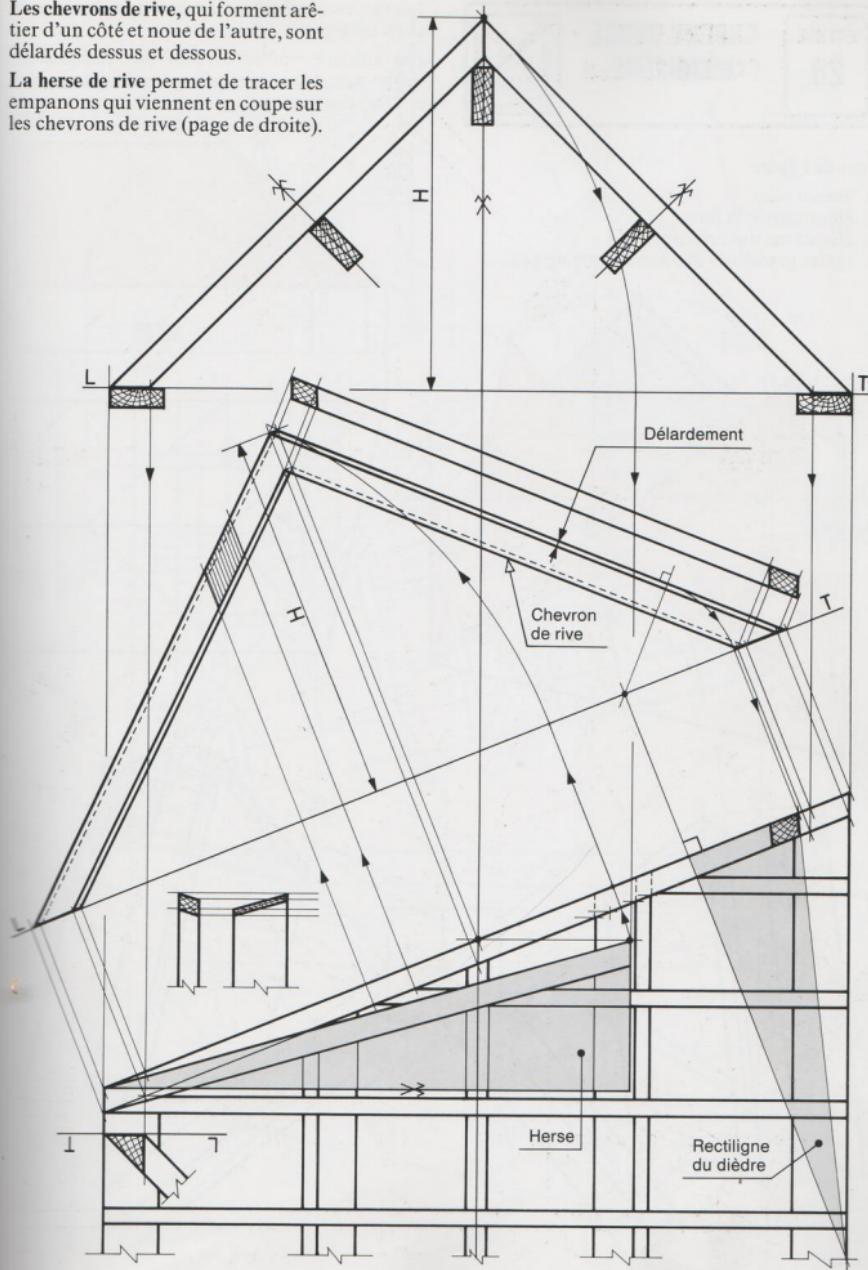
La ferme et les chevrons de rive sont situés obliquement, par rapport à la ligne de plus grande pente.

Les arbalétriers de la ferme sont délardés suivant le dessous de la panne (page de gauche).



**Les chevrons de rive**, qui forment arête d'un côté et noue de l'autre, sont délardés dessus et dessous.

La herse de rive permet de tracer les empanons qui viennent en coupe sur les chevrons de rive (page de droite).



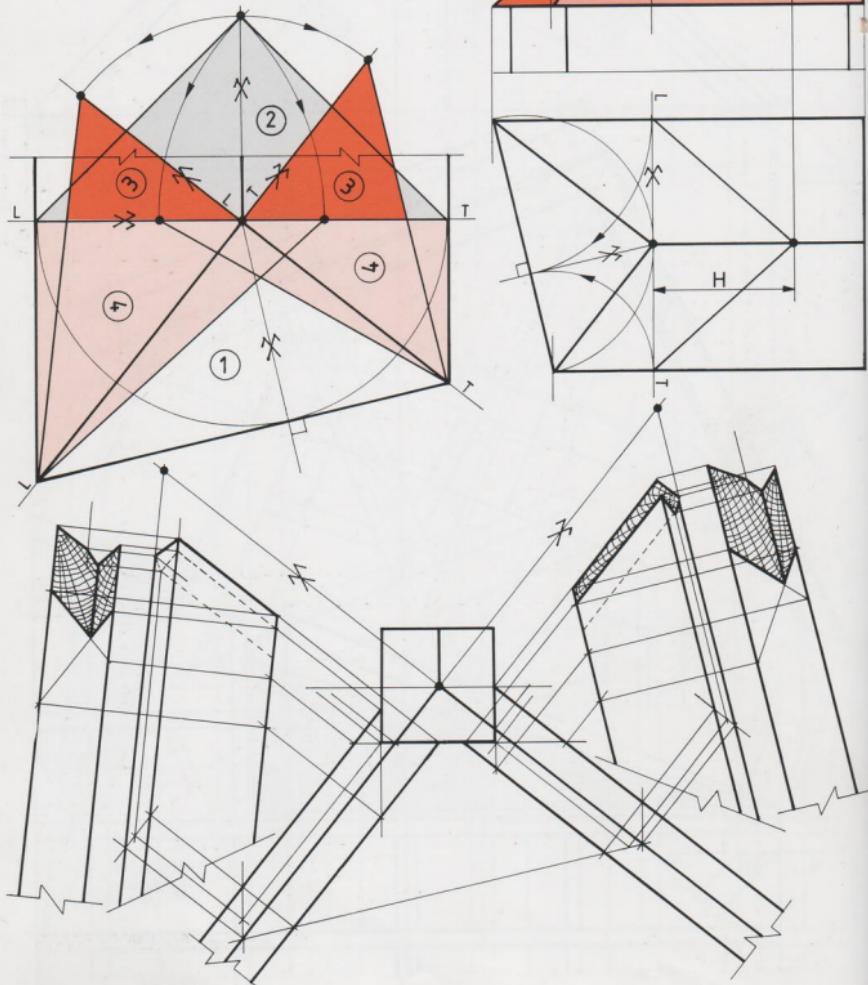


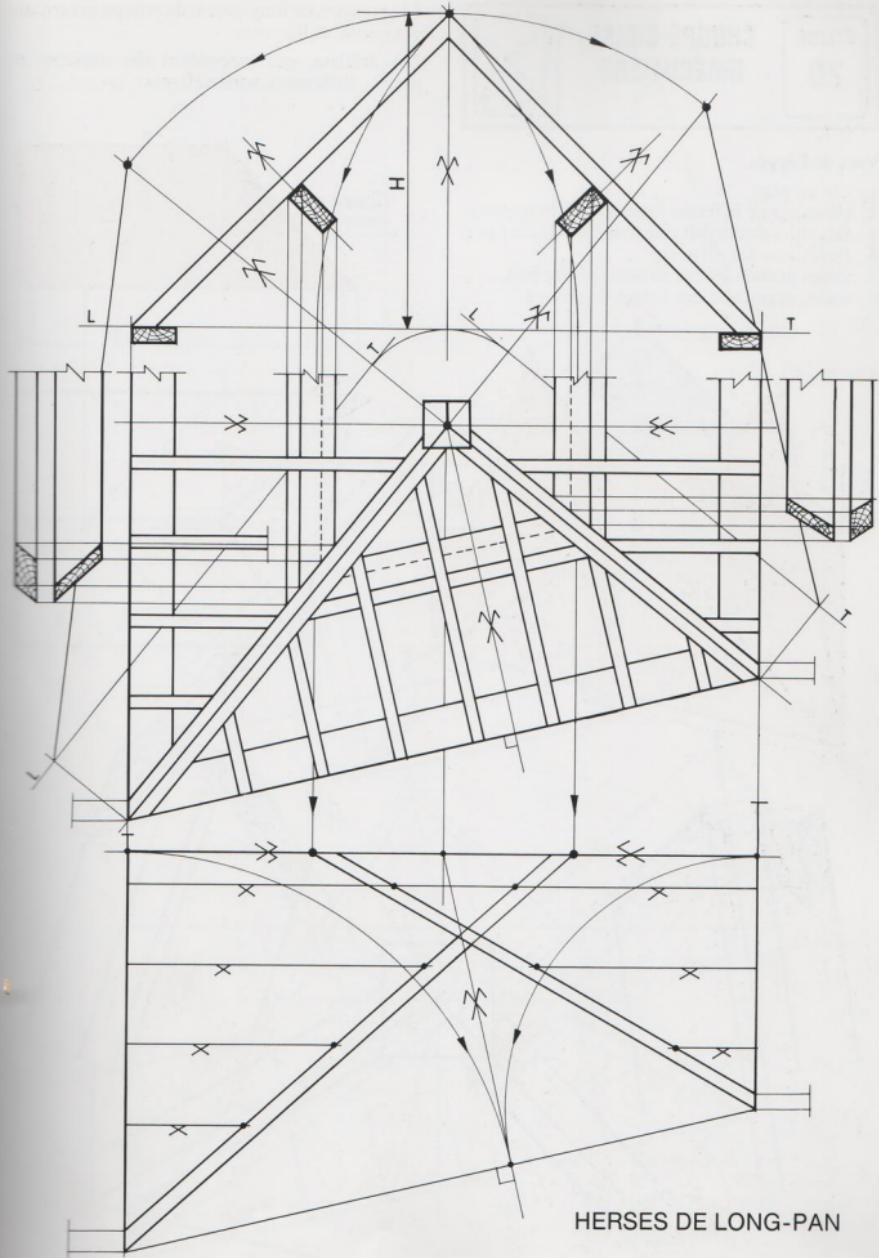
Les versants présentent la même pente en croupe et en long-pan.

Les arêtiers, qui raccordent des versants de même pente, sont situés en plan suivant la bissectrice des angles.

### Vues de l'épure

1. vue en plan,
2. élévation de la ferme,
3. élévations des arêtiers,
4. vraies grandeurs des herses de long-pan.





HERSES DE LONG-PAN

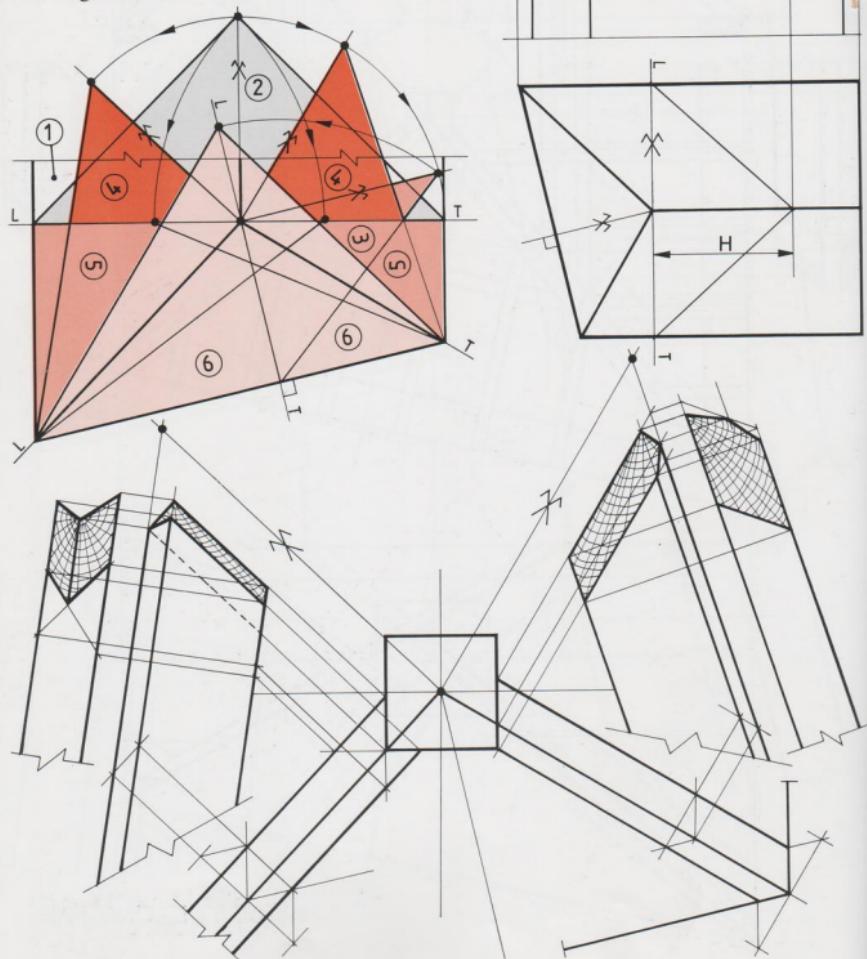


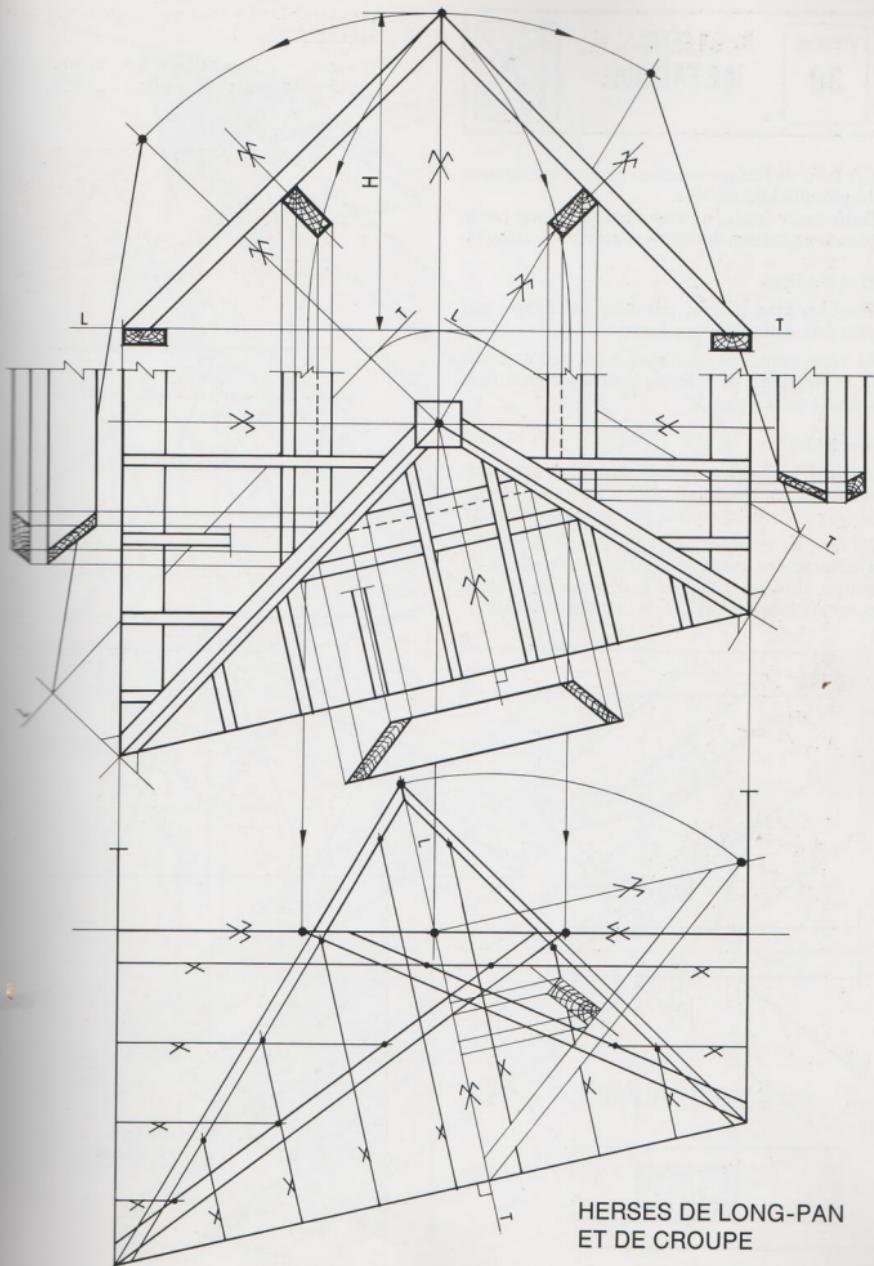
Les versants de long-pan et de croupe présentent des pentes différentes.

Les arêtiers, qui raccordent des pentes de pentes différentes, sont dévoyés.

Vues de l'épure

1. vue en plan,
2. élévation de la ferme (chevron de long-pan),
3. élévation de demi-ferme (chevron de croupe),
4. élévations des arêtiers,
5. vraies grandeurs des herses de long-pan,
6. vraies grandeurs des herses de croupe.





HERSES DE LONG-PAN  
ET DE CROUPE

**ÉTUDE  
30**

**LIENS  
DE FAÎTAGE**



Les liens de faîtage assurent le *contreventement longitudinal* du comble.

Dans cette étude, ils s'appliquent à une charpente comportant des fermes sans poinçon (fig. 1).

**Plan des liens**

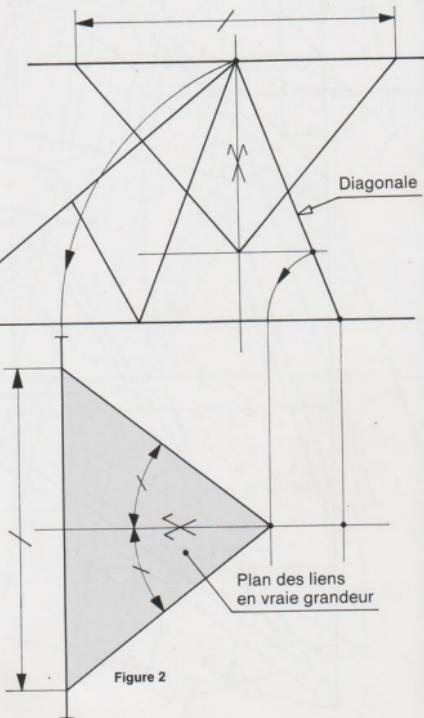
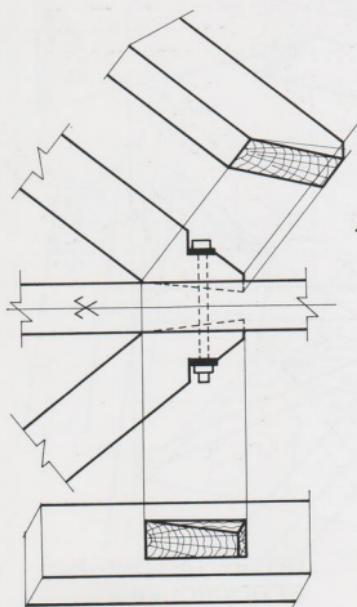
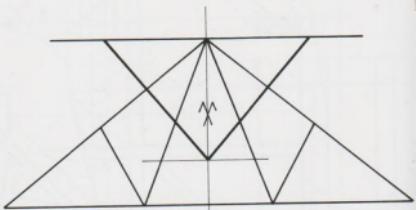
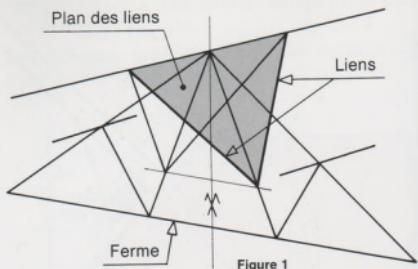
C'est un plan incliné, parallèle au faîtage, qui peut être assimilé à une herse.

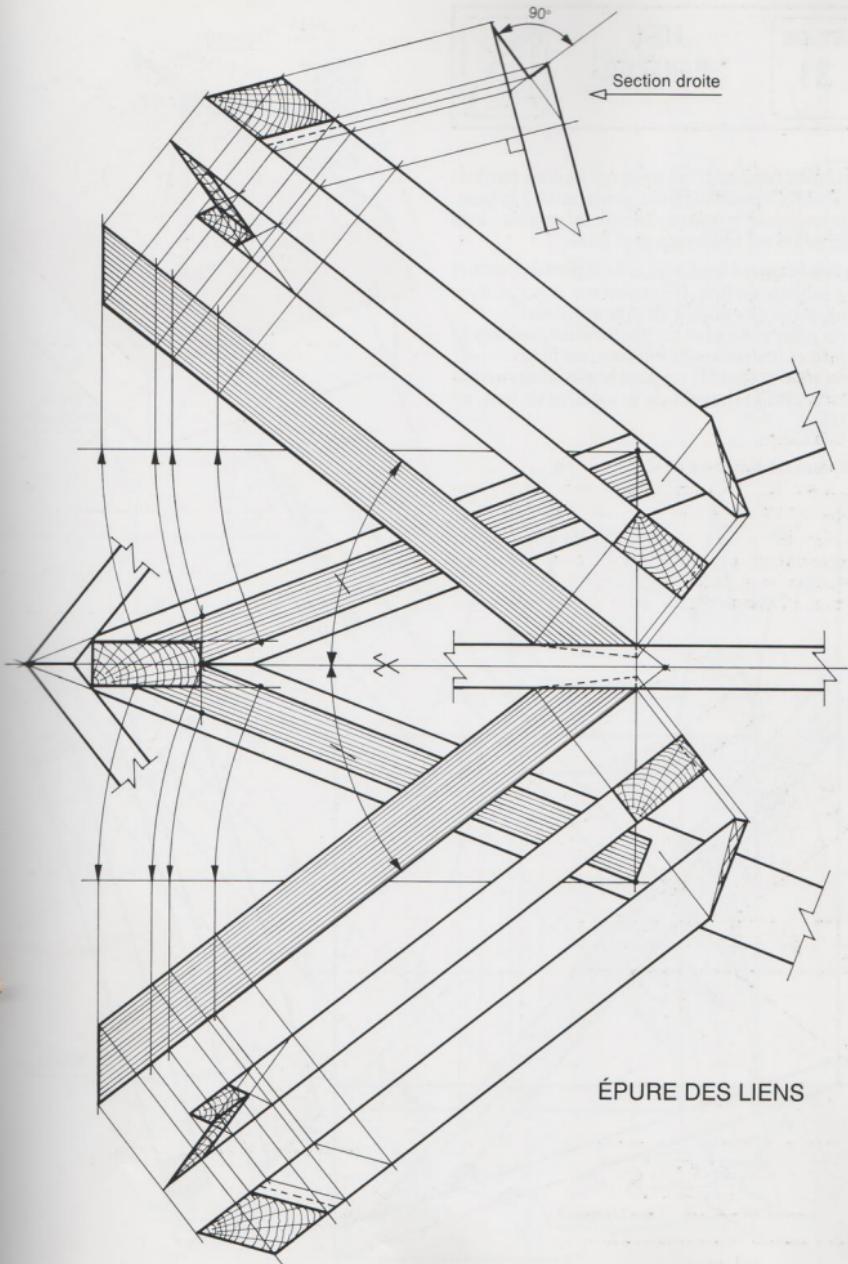
Sa vraie grandeur est obtenue par rabattement de la diagonale de la ferme, comme le montre le schéma de la figure 2.

**Assemblages**

*Au pied*, les liens sont assemblés avec embrèvement sur les diagonales de la ferme. L'assemblage peut être consolidé par un boulon (fig. 3).

*En tête*, ils viennent en coupe contre le faîtage. L'assemblage peut comporter deux plans de coupe, suivant la face et le dessous du faîtage, comme l'indique l'épure de la page de droite.

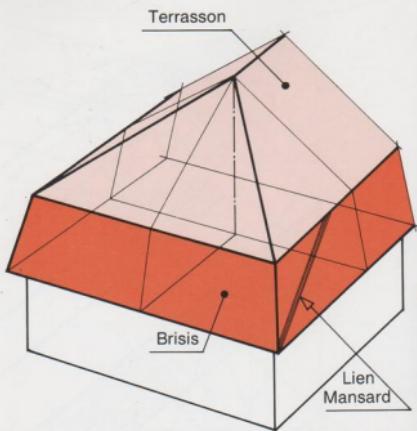




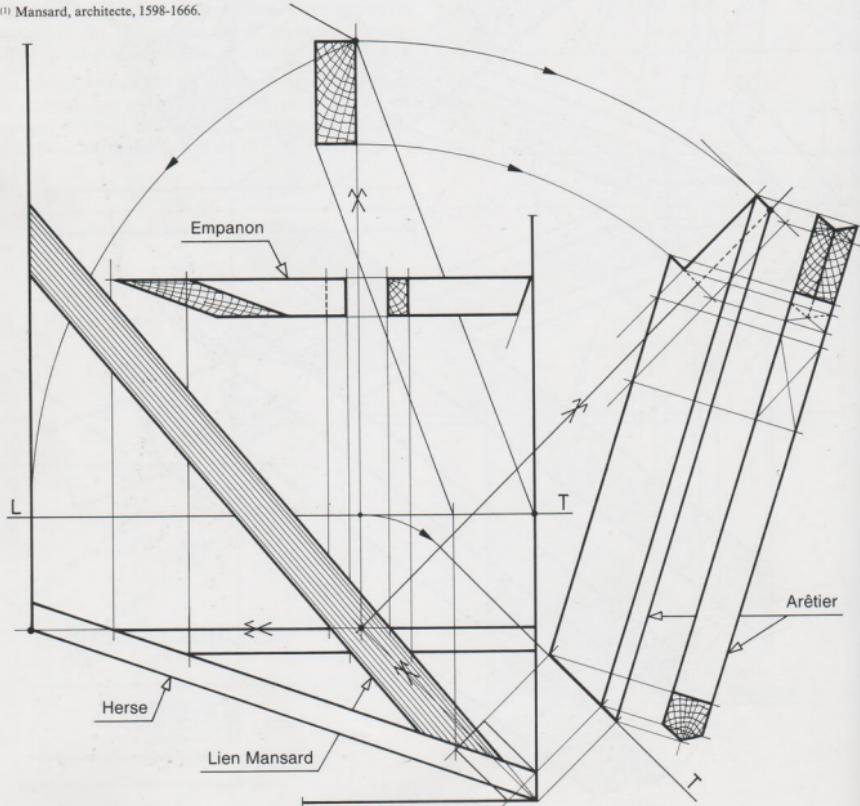


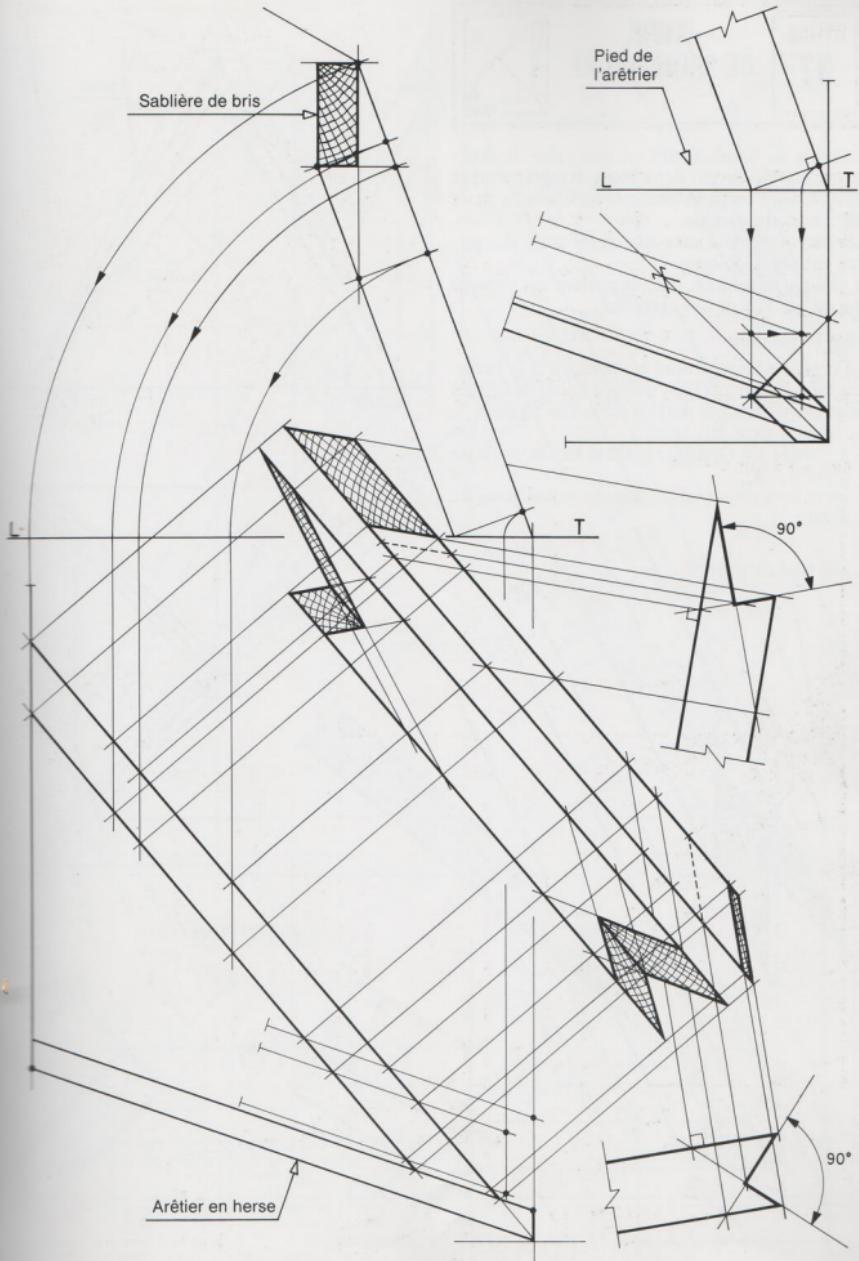
Le comble Mansard<sup>(1)</sup> se compose de deux parties :  
 - le *brisis*, versant de forte pente, situé à la base,  
 - le *terrasson*, partie supérieure du comble, dont  
 la pente est beaucoup plus faible.

Le lien Mansard étudié ici, relie le pied de l'arêtier à la sablière de bris. Il se trace sur la herse, avec deux plans de coupe à chaque extrémité :  
 - un plan vertical et un plan incliné, suivant la face et le dessous de l'arêtier, au pied,  
 - un plan vertical et un plan horizontal, suivant la face et le dessous de la sablière de bris, en tête.



<sup>(1)</sup> Mansard, architecte, 1598-1666.







La croix de Saint-André est une pièce de charpente, composée par deux éléments qui forment un X. Dans l'exemple présenté, elle relie les deux arêtiers d'une croupe.

Les deux éléments sont assemblés entre eux par une entaille à mi-bois.

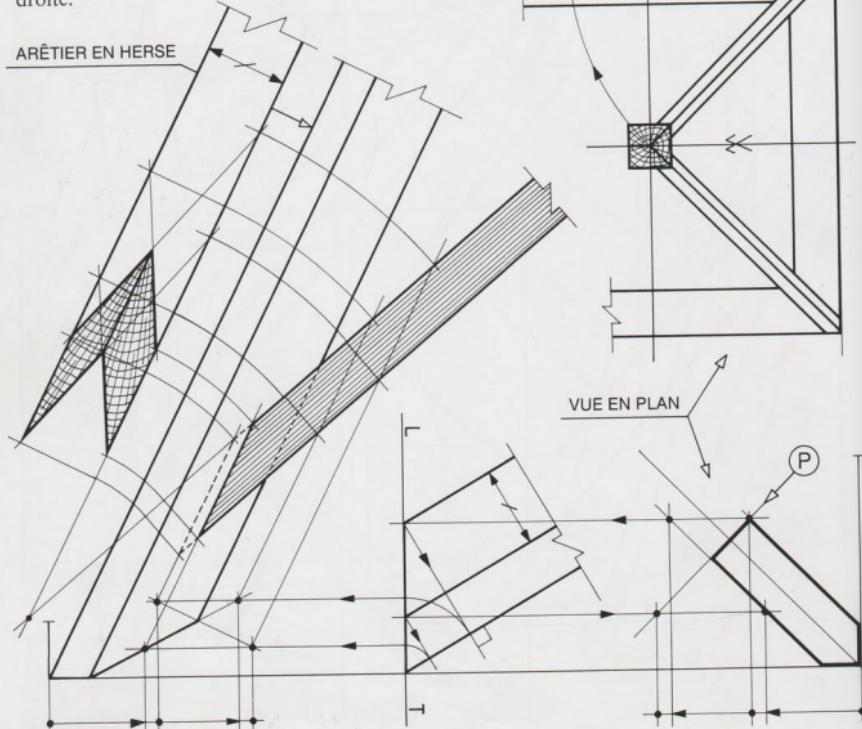
A chaque extrémité, ils comportent un *engueulement* sur l'angle des arêtiers.

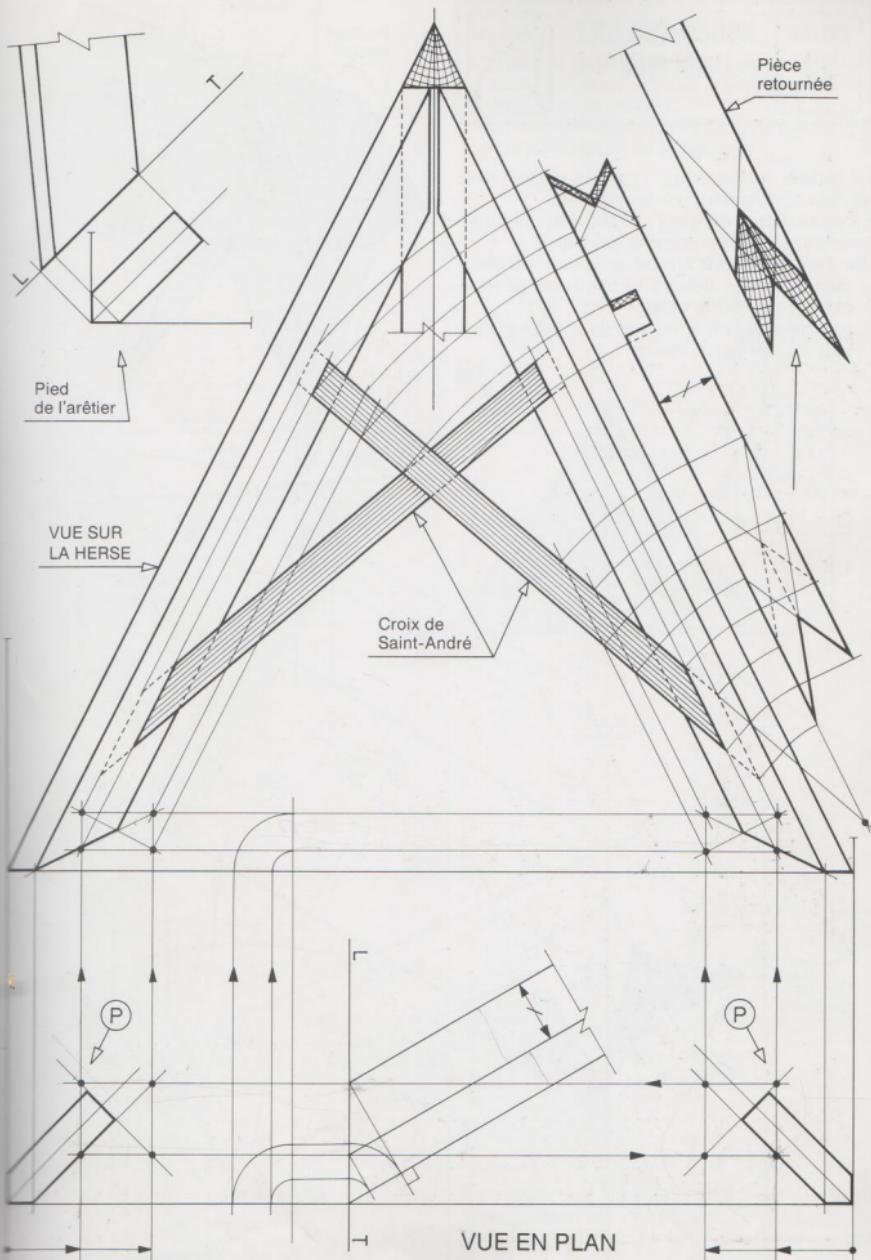
#### Mise en position

La croix de Saint-André est placée sur la herse. Les enguelements sont tracés à l'aide des lignes de construction qui partent de la vue en plan.

Le point P peut être situé :

- à l'angle de l'arêtier, comme sur la page de gauche,
- en dehors de cet angle, comme sur la page de droite.





**ÉTUDE  
33**

**NOUES SUR AILE  
OBlique**



Le comble ci-contre (fig. 1) est un comble avec aile qui se présente avec des pignons.

Sa particularité est que l'aile est située obliquement par rapport au comble principal.

Sur le côté gauche, le versant de l'aile se raccorde :

- par une rive en arêtier contre le bardage vertical, dans sa partie basse,
- par une noue sur le versant du comble principal, dans sa partie haute.

Bardage vertical

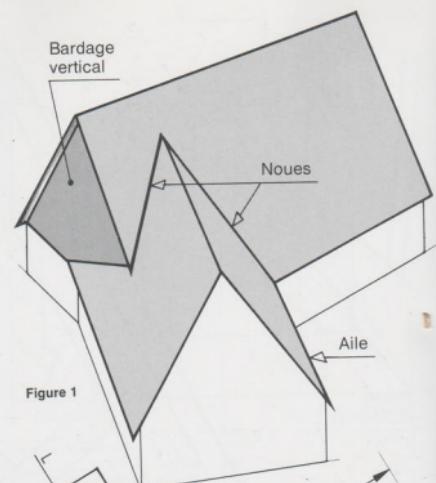


Figure 1

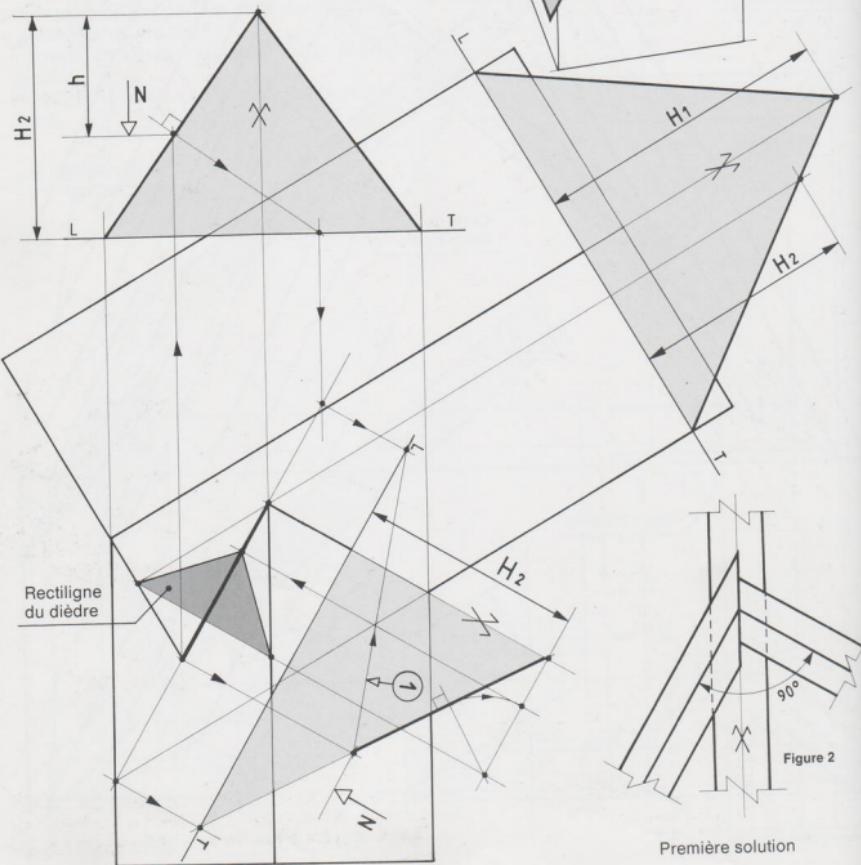
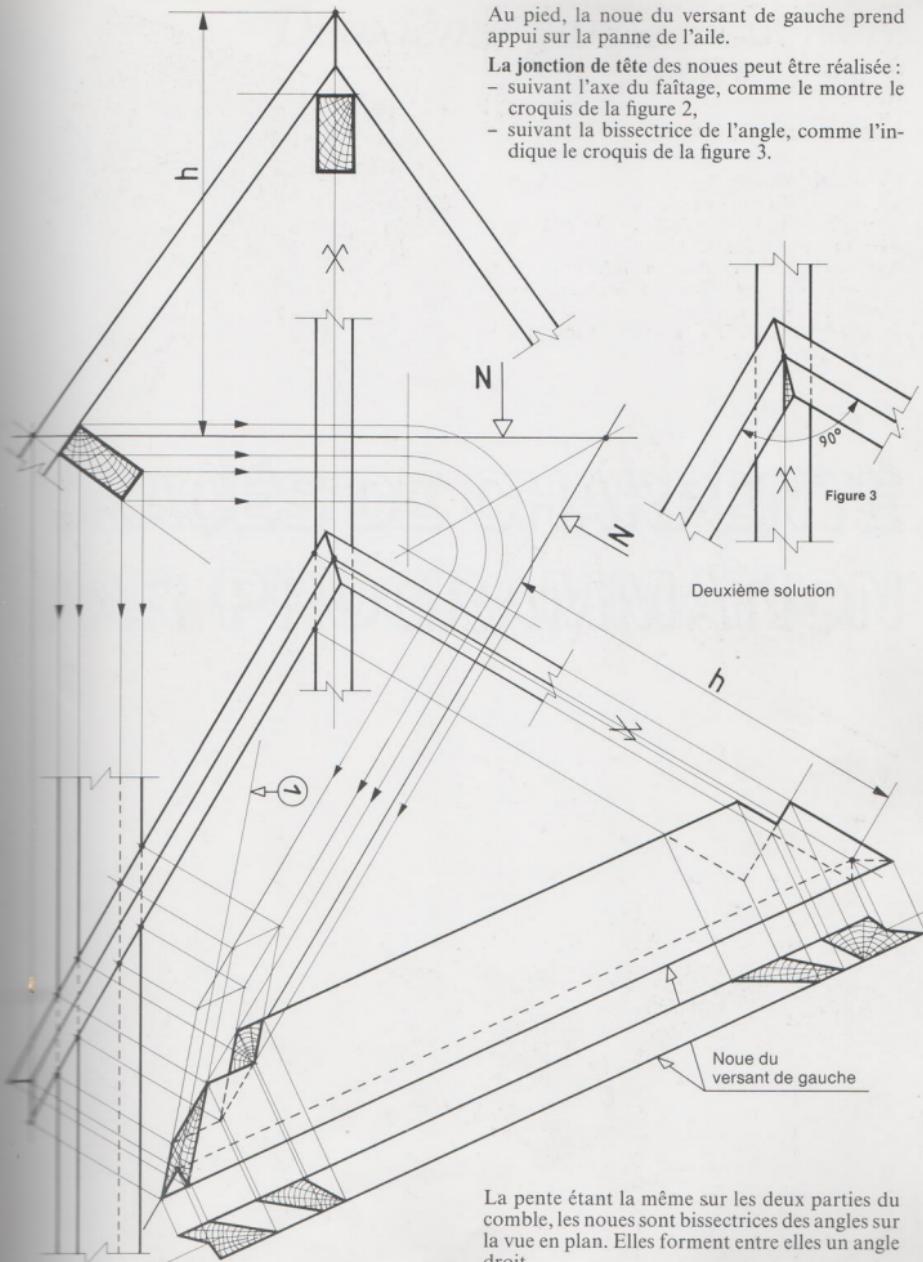


Figure 2

Première solution



La pente étant la même sur les deux parties du comble, les noues sont bissectrices des angles sur la vue en plan. Elles forment entre elles un angle droit.

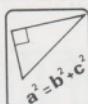
*Deuxième partie*

# **TRACÉS DE CHARPENTE PAR PROGRAMMATION**

## *Table des matières de*

### MATHÉMATIQUES ÉLÉMENTAIRES

Etudes



- 34 THÉORÈME DE PYTHAGORE
- 35 RAPPORTS ET PROPORTIONS
- 36 CERCLE TRIGONOMÉTRIQUE
- 37 RAPPORTS TRIGONOMÉTRIQUES
- 38 TRIANGLES QUELCONQUES



- 39 CHARPENTE PROGRAMMÉE
- 40 RECTILIGNE DU DIÈDRE
- 41 COUPE DE LA PANNE
- 42 LONGUEUR DE LA PANNE
- 43 LA HERSE
- 44 ARÊTIER RÉGULIER
- 45 NOUE RÉGULIÈRE
- 46 PAVILLON CARRÉ



- 47 RECTILIGNE DU DIÈDRE
- 48 COUPE DE LA PANNE
- 49 LONGUEUR DE LA PANNE
- 50 LES HERSES D'ARÊTIER
- 51 ARÊTIER IRRÉGULIER
- 52 ARÊTIER - TRAÇAGE



## *la deuxième partie*



- 53** NOUE IRRÉGULIÈRE
- 54** SAILLIES DE TOIT
- 55** COMBLE À CROUPES (avec saillie régulière)
- 56** COMBLE À CROUPES (avec saillie irrégulière)
  
- 57** PROGRAMME PRÉLIMINAIRE
- 58** RECTILIGNE DU DIÈDRE
- 59** LA PANNE D'ARÊTIER
- 60** LES HERSES
- 61** LES ARÊTIERS
- 62** PAVILLON TRAPÉZOÏDAL
  
- 63** PROGRAMME PRÉLIMINAIRE
- 64** RECTILIGNE DU DIÈDRE
- 65** LA PANNE D'ARÊTIER
- 66** LES HERSES
- 67** LES ARÊTIERS
- 68** SAILLIES DE TOIT
- 69** COMBLE À CROUPES BIAISES (avec saillie régulière)
- 70** COMBLE À CROUPES BIAISES (avec saillie irrégulière)
  
- 71** ORGANIGRAMME



**ÉTUDE  
34**

**THÉORÈME  
DE PYTHAGORE**

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Dans un triangle rectangle, le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des côtés de l'angle droit (fig. 1).

$$a^2 + b^2 = c^2 \longrightarrow a = \sqrt{b^2 + c^2}$$

A partir de cette formule, on peut aussi écrire :

$$b^2 = a^2 - c^2 \longrightarrow b = \sqrt{a^2 - c^2}$$

$$c^2 = a^2 - b^2 \longrightarrow c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

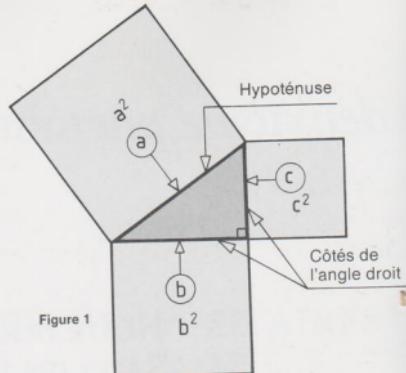


Figure 1

**Application au rectangle (fig. 2)**

On peut calculer :

- la diagonale du rectangle, connaissant ses côtés,
- un côté, connaissant l'autre et la diagonale.

Diagonale du rectangle

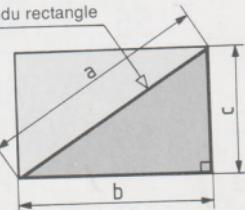


Figure 2

**Application au carré (fig. 3)**

Le demi-carré, est un triangle rectangle *isocèle*.

- calcul de la diagonale, connaissant le côté :

$$a^2 = c^2 + c^2 \longrightarrow a^2 = 2 c^2$$

$$\text{d'où } a = \sqrt{2} c \longrightarrow a = c \sqrt{2}$$

- calcul du côté, connaissant la diagonale :

$$c = \frac{a}{\sqrt{2}} \text{ ou } c = \frac{a \sqrt{2}}{2}$$

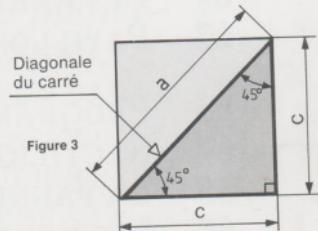


Figure 3

**Application au triangle équilatéral (fig. 4)**

Le demi-triangle équilatéral est un triangle rectangle.

- calcul de la hauteur, connaissant le côté :

$$h^2 = c^2 - \left(\frac{c}{2}\right)^2 \longrightarrow h^2 = c^2 - \frac{c^2}{4}$$

$$h^2 = \frac{4 c^2}{4} - \frac{c^2}{4} \longrightarrow h^2 = \frac{3 c^2}{4}$$

$$h = \sqrt{\frac{3 c^2}{4}} \longrightarrow h = \frac{c \sqrt{3}}{2}$$

- calcul du côté, connaissant la hauteur :

$$c = \frac{2 h}{\sqrt{3}} \text{ ou } c = \frac{2 h \sqrt{3}}{3}$$

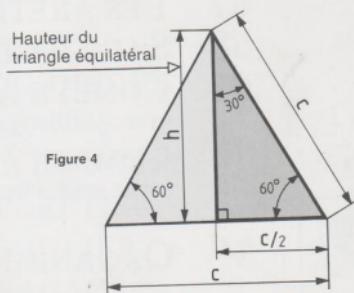


Figure 4

<sup>(1)</sup> Pythagore, philosophe et mathématicien grec du 6<sup>e</sup> siècle avant notre ère.

## Application pratique

### Sur la croupe régulière (fig. 5)

Longueur du chevron en élévation :

$$Ch = \sqrt{L^2 + H^2} \quad Ch = \sqrt{52^2 + 45^2} = 68,77$$

Projection de l'arêtier en plan :

$$G = L \times \sqrt{2} \quad G = 52 \times \sqrt{2} = 73,54$$

Longueur de l'arêtier en élévation :

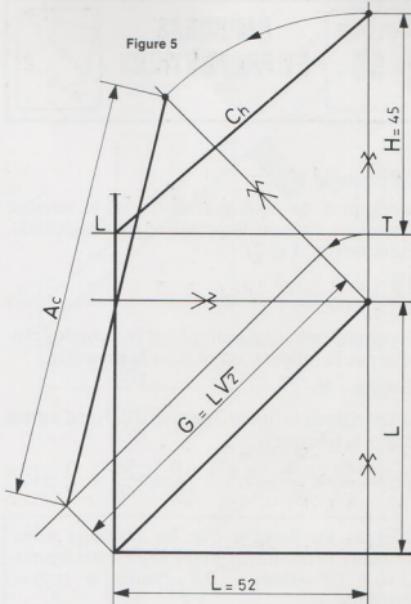
$$Ac = \sqrt{G^2 + H^2} \quad Ac = \sqrt{73,54^2 + 45^2} = 86,21$$

ou, sans calculer la valeur de l'arêtier en plan :

$$Ac = \sqrt{(L\sqrt{2})^2 + H^2}$$

$$Ac = \sqrt{2L^2 + H^2}$$

$$Ac = \sqrt{2 \times 52^2 + 45^2} = 86,21$$



### Sur la croupe irrégulière (fig. 6)

Longueur du chevron de long-pan en élévation :

$$Ch = \sqrt{L^2 + H^2} \quad Ch = \sqrt{55^2 + 47^2} = 72,35$$

Longueur du chevron de croupe en élévation :

$$Ch = \sqrt{C^2 + H^2} \quad Ch = \sqrt{38^2 + 47^2} = 60,44$$

Projection de l'arêtier en plan :

$$G = \sqrt{L^2 + C^2} \quad G = \sqrt{55^2 + 38^2} = 66,85$$

Longueur de l'arêtier en élévation :

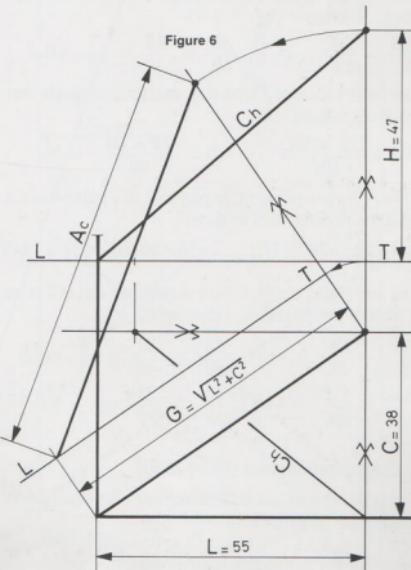
$$Ac = \sqrt{G^2 + H^2} \quad Ac = \sqrt{66,85^2 + 47^2} = 81,72$$

ou, sans calculer la valeur de l'arêtier en plan :

$$Ac = \sqrt{(\sqrt{L^2 + C^2})^2 + H^2}$$

$$Ac = \sqrt{L^2 + C^2 + H^2}$$

$$Ac = \sqrt{55^2 + 38^2 + 47^2} = 81,72$$



**ÉTUDE  
35**

**RAPPORTS  
ET PROPORTIONS**



### Les rapports

Le rapport de deux grandeurs est le nombre obtenu en divisant la première par la seconde.  
Exemple (fig. 1 et 2).

$$\frac{AB}{BC} = \frac{36}{60} = \frac{3}{5} = 0,6$$

Réiproquement, en multipliant la seconde grandeur par le rapport, on obtient la première.

$$60 \times 0,6 = 36$$

Le triangle de la figure 2 permet d'écrire d'autres rapports tels que :

$$\frac{AC}{BC} = \frac{48}{60} = \frac{4}{5} = 0,8 \quad \frac{AB}{AC} = \frac{36}{48} = \frac{3}{4} = 0,75$$

Notons au passage que les rapports ainsi obtenus, déterminent pour l'angle  $\alpha$  des figures 2 et 4 :  $0,6 = \sinus \alpha$ ;  $0,8 = \cosinus \alpha$ ;  $0,75 = \tangente \alpha$ .

### Les proportions

On appelle proportion, l'égalité de deux rapports. Exemple (fig. 3 et 4).

$$\frac{AB}{BC} = \frac{DE}{EC} \longrightarrow \frac{36}{60} = \frac{24}{40} = \frac{3}{5} = 0,6$$

On peut calculer l'une des valeurs, connaissant les trois autres.

$$AB = \frac{DE \times BC}{EC} \quad AB = \frac{24 \times 60}{40} = 36$$

Dans une proportion, le produit des *extrêmes* est égal au produit des *moyens*.

$$AB \times EC = BC \times DE \longrightarrow 36 \times 40 = 60 \times 24 = 1440$$

Les triangles de la figure 4 permettent d'écrire d'autres proportions, telles que :

$$\frac{AC}{BC} = \frac{DC}{EC} \longrightarrow \frac{48}{60} = \frac{32}{40} = \frac{4}{5} = 0,8$$

$$\frac{AB}{AC} = \frac{DE}{DC} \longrightarrow \frac{36}{48} = \frac{24}{32} = \frac{3}{4} = 0,75$$

### Triangles semblables (fig. 4 et 5)

Deux triangles sont semblables, lorsque leurs angles correspondants sont égaux.

Les triangles CBA et CED sont semblables. Leurs côtés respectifs sont proportionnels.

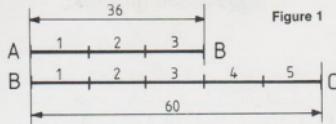


Figure 1

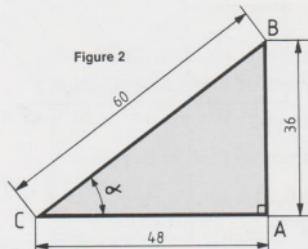


Figure 2

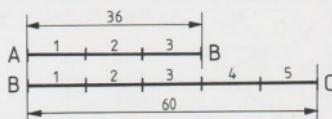


Figure 1

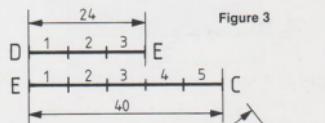


Figure 3

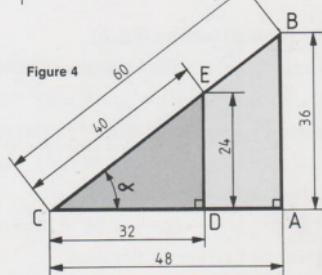


Figure 4

Triangles semblables

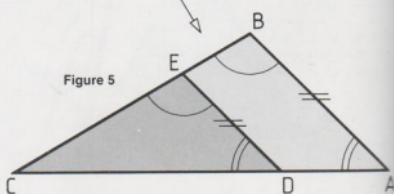


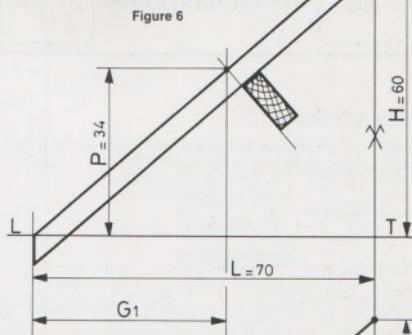
Figure 5

## Application pratique

Les proportions, établies entre les côtés respectifs des triangles semblables, permettent de calculer la quatrième valeur, l'inconnue de la proportion.

### Calcul de la cote $G_1$ (fig. 6)

$$\frac{G_1}{P} = \frac{L}{H} \quad G_1 = \frac{L}{H} \times P = \frac{70}{60} \times 34 = 39,66$$



### Calcul de la saillie rampante (fig. 7)

La saillie rampante, c'est-à-dire suivant la pente du toit, est appliquée ici à la croupe irrégulière. Longueur du chevron de long-pan :

$$Ch = \sqrt{L^2 + H^2} \quad Ch = \sqrt{70^2 + 60^2} = 92,20$$

### Saillie rampante du chevron de long-pan

$$\frac{Sc}{S} = \frac{Ch}{L} \quad Sc = \frac{Ch}{L} \times S$$

$$Sc = \frac{92,20}{70} \times 25 = 32,93$$

Longueur du chevron de croupe :

$$Ch = \sqrt{C^2 + H^2} \quad Ch = \sqrt{50^2 + 60^2} = 78,10$$

Saillie  $T$  de la croupe

$$\frac{T}{S} = \frac{C}{L} \quad T = \frac{C}{L} \times S \quad T = \frac{50}{70} \times 25 = 17,85$$

### Saillie rampante du chevron de croupe

$$\frac{Sc}{T} = \frac{Ch}{C} \quad Sc = \frac{Ch}{C} \times T$$

$$Sc = \frac{78,10}{50} \times 17,85 = 27,88$$

Longueur de l'arêtier :

$$Ac = \sqrt{L^2 + C^2 + H^2}$$

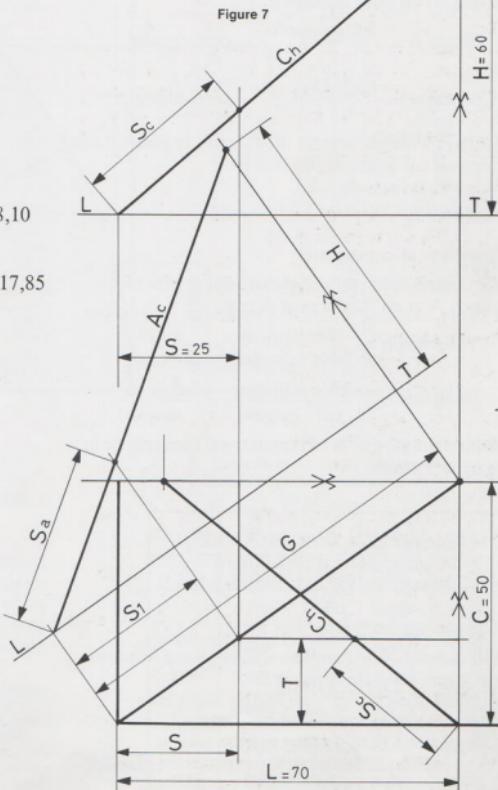
$$Ac = \sqrt{70^2 + 50^2 + 60^2} = 104,88$$

### Saillie rampante de l'arêtier

$$\frac{Sa}{Ac} = \frac{S_1}{G} = \frac{S}{L} \quad \frac{Sa}{Ac} = \frac{S}{L}$$

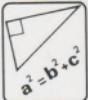
$$Sa = \frac{S}{L} \times Ac$$

$$Sa = \frac{25}{70} \times 104,88 = 37,46$$



**ÉTUDE  
36**

**CERCLE  
TRIGONOMÉTRIQUE**



### Sinus et cosinus

Suivant les rapports trigonométriques du triangle rectangle (fig. 1) :

$$\text{Sinus } \alpha = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\text{Cosinus } \alpha = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}}$$

Situons le triangle rectangle dans le cercle, en attribuant au rayon de ce cercle, une valeur unique  $R = 1$ .

Le rayon du cercle étant égal à l'hypoténuse du triangle, on peut admettre :

$$\text{Sinus } \alpha = \frac{\text{côté opposé}}{1} = \text{côté opposé}$$

$$\text{Cosinus } \alpha = \frac{\text{côté adjacent}}{1} = \text{côté adjacent}$$

Lorsque l'angle  $\alpha$  varie de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ , le point P se déplace sur le cercle, de A à B.

- le sinus varie de 0 à 1
- le cosinus varie de 1 à 0

### Tangente et cotangente

Ces lignes sont respectivement tangentes au cercle en A et en B. On peut écrire :

$$\text{Tangente } \alpha = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{\text{sinus}}{\text{cosinus}}$$

$$\text{Cotangente } \alpha = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{côté opposé}} = \frac{\text{cosinus}}{\text{sinus}}$$

Remarquons que la cotangente est l'inverse de la tangente, soit :

$$\cotg = \frac{1}{\tg}$$

Lorsque l'angle  $\alpha$  varie de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  :

- la tangente varie de 0 à l'infini
- la cotangente varie de l'infini à 0

### Comparons les figures 2 et 3

On constate que l'angle  $\alpha$  de la figure 2, est plus petit que celui de la figure 3.

Simultanément, lorsque l'angle augmente :

- le sinus et la tangente augmentent,
- le cosinus et la cotangente diminuent.

Mais ces variations ne sont pas proportionnelles à la valeur de l'angle.

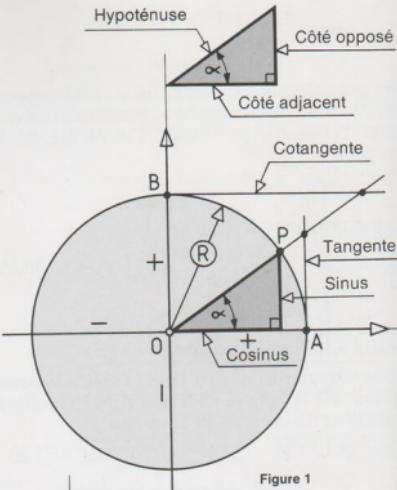


Figure 1

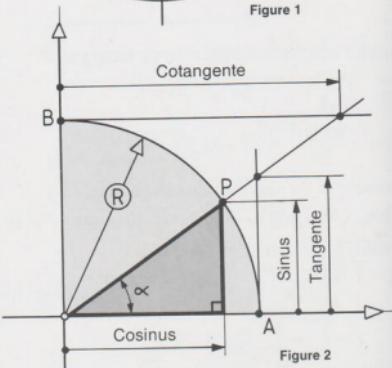


Figure 2

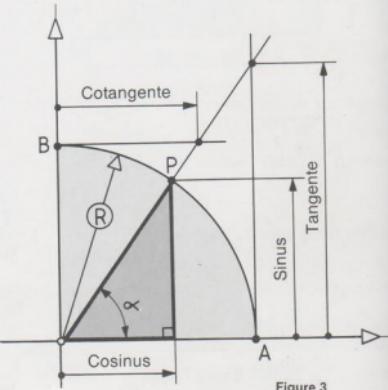


Figure 3

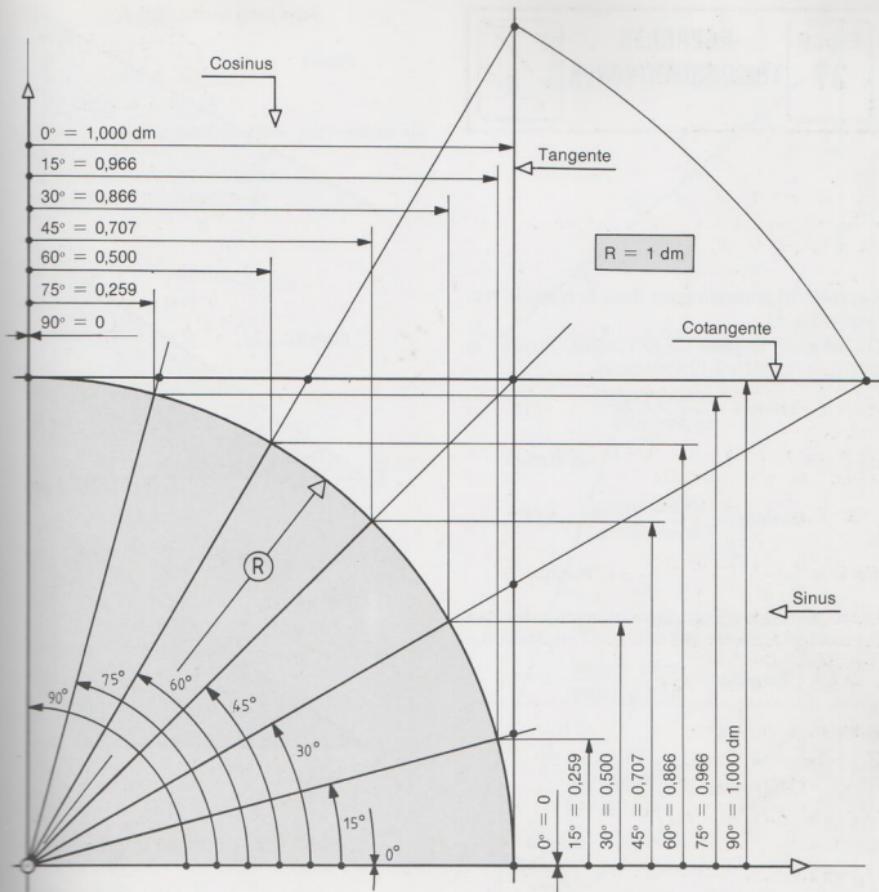


Table de trigonométrie sommaire  
correspondant au graphique ci-dessus

Le graphique ci-dessus a pour but de démontrer le principe des rapports trigonométriques.

Le rayon du cercle est égal à 1 décimètre.

Le sinus et le cosinus d'un angle sont déterminés par la cote correspondante, évaluée en décimètre. Le tracé de la tangente et de la cotangente n'est plus possible dans la zone voisine de  $90^\circ$  pour la tangente et de  $0^\circ$  pour la cotangente, les points étant projetés à des distances inaccessibles.

Le graphique montre les valeurs de la tangente jusqu'à  $60^\circ$  et de la cotangente au-delà de  $30^\circ$ .

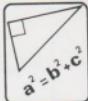
Par le calcul, on obtient :

$$\operatorname{tg} = \frac{\sin}{\cos} \quad \operatorname{cotg} = \frac{\cos}{\sin} = \frac{1}{\operatorname{tg}}$$

Degrés	sin	cos	tg	cotg
$0^\circ$	0,000	1,000	0,000	infini
$15^\circ$	0,259	0,966	0,268	3,732
$30^\circ$	0,500	0,866	0,577	1,732
$45^\circ$	0,707	0,707	1,000	1,000
$60^\circ$	0,866	0,500	1,732	0,577
$75^\circ$	0,966	0,259	3,732	0,268
$90^\circ$	1,000	0,000	infini	0,000

**ÉTUDE  
37**

**RAPPORTS  
TRIGONOMÉTRIQUES**



**Rapports trigonométriques dans le triangle rectangle (fig. 1)**

On emploie le *sinus* ou le *cosinus*, lorsque le calcul se rapporte à l'hypoténuse.

$$\text{Sinus} = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\sin \hat{C} = \frac{c}{a} \quad \sin \hat{B} = \frac{b}{a}$$

$$\text{Cosinus} = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\cos \hat{C} = \frac{b}{a} \quad \cos \hat{B} = \frac{c}{a}$$

On emploie la tangente ou la cotangente, lorsque le calcul se rapporte aux côtés de l'angle droit.

$$\text{Tangente} = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}}$$

$$\operatorname{tg} \hat{C} = \frac{c}{b} \quad \operatorname{tg} \hat{B} = \frac{b}{c}$$

$$\text{Cotangente} = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{côté opposé}}$$

$$\operatorname{cotg} \hat{C} = \frac{b}{c} \quad \operatorname{cotg} \hat{B} = \frac{c}{b}$$

**Angles complémentaires (fig. 1)**

Dans un triangle rectangle, les angles aigus sont *complémentaires*, leur somme étant égale à  $90^\circ$ . Le sinus d'un angle, est égal au cosinus de l'angle complémentaire.

$$\sin \hat{C} = \cos \hat{B} = \frac{c}{a}$$

Exemple :  $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 0,5$

De même, la tangente d'un angle est égale à la cotangente de l'angle complémentaire.

$$\operatorname{tg} \hat{C} = \operatorname{cotg} \hat{B} = \frac{c}{b}$$

Exemple :  $\operatorname{tg} 60^\circ = \operatorname{cotg} 30^\circ = \frac{1}{\operatorname{tg} 30^\circ} = \sqrt{3}$

La cotangente est l'*inverse* de la tangente

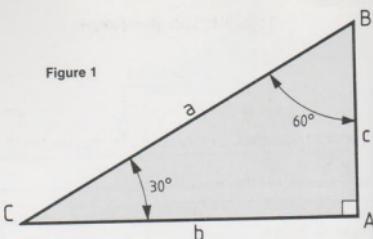


Figure 1

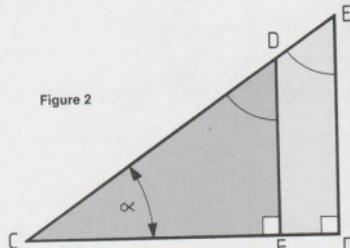


Figure 2

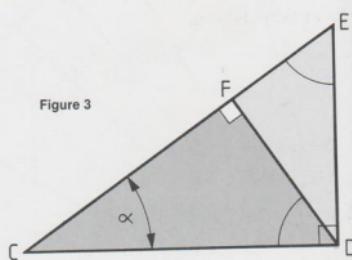


Figure 3

**Rapports trigonométriques dans les triangles semblables (fig. 2 et 3)**

Les triangles CFD et CDE sont semblables, leurs angles correspondants étant égaux. L'angle  $\alpha$  est commun aux deux triangles.

On peut donc écrire :

$$\text{Sinus } \alpha = \frac{FD}{DC} = \frac{DE}{EC}$$

$$\text{Cosinus } \alpha = \frac{CF}{DC} = \frac{CD}{EC}$$

Des rapports analogues peuvent être établis pour la tangente et la cotangente.

*Conclusion* : la grandeur du triangle n'affecte pas les valeurs trigonométriques de ses angles.

## Application pratique

Les rapports trigonométriques permettent de calculer :

- soit des dimensions linéaires,
- soit des valeurs d'angles.

### Calculs sur le chevron (fig. 1)

Angle  $A_0 = \text{arc tg } H/L$

$$\text{tg } A_0 = \frac{60}{70} = 0,8571 \quad A_0 = 40^\circ 36'$$

Angle  $A_1 = \text{arc tg } L/H$

$$\text{tg } A_1 = \frac{70}{60} = 1,1666 \quad A_1 = 49^\circ 23'$$

Cote  $V = H \times \cos A_1 \quad V = 60 \times 0,6507 = 39,04$

Cote  $I = H \times \sin A_1 \quad I = 60 \times 0,7592 = 45,55$

Longueur du chevron

$$Ch = \frac{H}{\sin A_0} \quad Ch = \frac{60}{0,6507} = 92,20$$

### Calculs sur l'arêtier (fig. 2)

Angle  $A_3 = \text{arc tg } C/L$

$$\text{tg } A_3 = \frac{50}{70} = 0,7142 \quad A_3 = 35^\circ 32'$$

$$\text{Cote } G = \frac{L}{\cos A_3} \quad G = \frac{70}{0,8137} = 86,02$$

Angle  $A_6 = \text{arc tg } H/G$

$$\text{tg } A_6 = \frac{60}{86,02} = 0,6975 \quad A_6 = 34^\circ 53'$$

Angle  $A_7 = \text{arc tg } G/H$

$$\text{tg } A_7 = \frac{86,02}{60} = 1,4337 \quad A_7 = 55^\circ 6'$$

Cote  $I_1 = H \times \sin A_7$

$$I_1 = 60 \times 0,8201 = 49,21$$

Longueur de l'arêtier

$$Ac = \frac{H}{\sin A_6}$$

$$Ac = \frac{60}{0,5721} = 104,88$$

### Calcul de la cote W (fig. 3)

Cote  $W = A \times \cos A_3$

$$W = 35 \times 0,8137 = 28,48$$

Figure 1

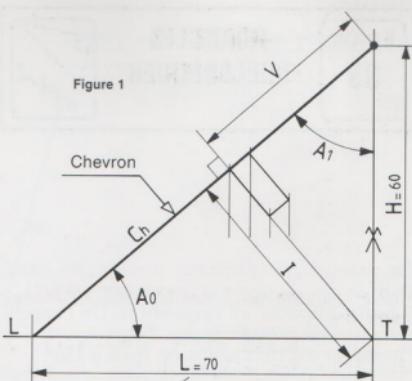


Figure 2

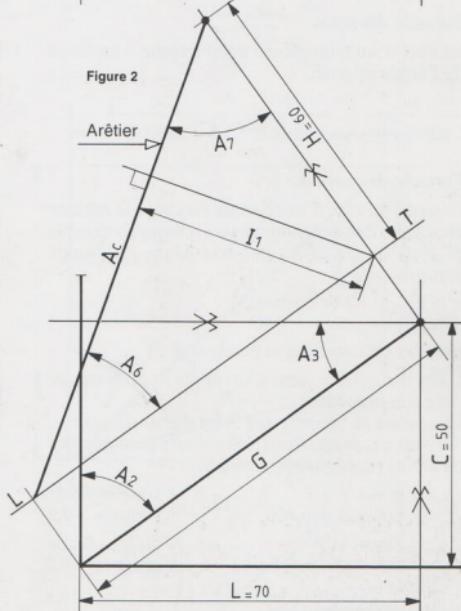
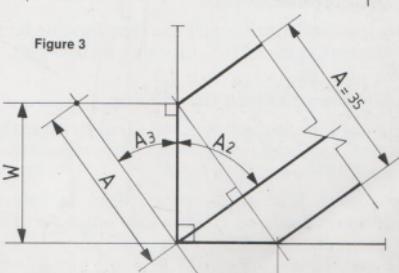
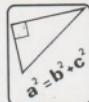


Figure 3





Un triangle peut présenter trois angles aigus. Dans ce cas, on dit qu'il est *acutangle* (fig. 1). Il peut comporter un angle obtus. On l'appelle alors triangle *obtusangle* (fig. 2). La somme des trois angles est égale à 180°.

### Formule des sinus

Le côté d'un triangle est proportionnel au sinus de l'angle opposé.

$$\frac{a}{\sinus \hat{A}} = \frac{b}{\sinus \hat{B}} = \frac{c}{\sinus \hat{C}}$$

### Formule des cosinus

Le carré du côté d'un triangle est égal à la somme des carrés des deux autres côtés, moins le double produit de ces côtés par le cosinus de l'angle compris.

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cosinus \hat{A}$$

### Sinus et cosinus dans le cercle (fig. 3)

Dans le cercle, le *sinus* d'un angle se projette sur l'axe des *ordonnées*.

Le *cosinus* se projette sur l'axe des *abscisses*.

Suivant ces projections, les valeurs peuvent être positives ou négatives. Exemples :

$$\begin{array}{ll} 30^\circ & \left\{ \begin{array}{l} \text{sinus} + 0,5 \\ \text{cosinus} + 0,866 \end{array} \right. \\ 210^\circ & \left\{ \begin{array}{l} \text{sinus} - 0,5 \\ \text{cosinus} - 0,866 \end{array} \right. \end{array} \quad \begin{array}{ll} 120^\circ & \left\{ \begin{array}{l} \text{sinus} + 0,866 \\ \text{cosinus} - 0,5 \end{array} \right. \\ 300^\circ & \left\{ \begin{array}{l} \text{sinus} - 0,866 \\ \text{cosinus} + 0,5 \end{array} \right. \end{array}$$

### Angles supplémentaires

Deux angles sont supplémentaires lorsque leur somme est égale à 180° et forme un angle plat.

### Angle obtus, plus petit que 180° (fig. 4)

Le *sinus* d'un angle obtus, dont la valeur est égale au sinus de l'angle supplémentaire, est positif.  $\sinus 120^\circ = \sinus 60^\circ = 0,866$

Le *cosinus* d'un angle obtus, dont la valeur absolue est égale au cosinus de l'angle supplémentaire, est négatif.  $\cosinus 120^\circ = -0,5$

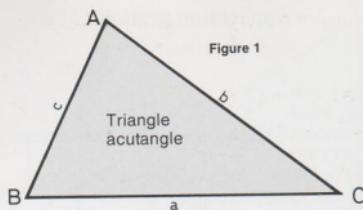


Figure 1

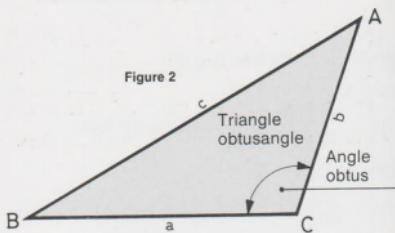


Figure 2

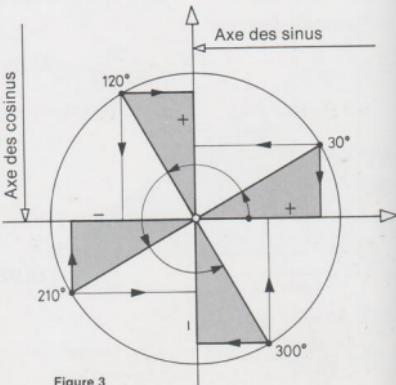


Figure 3

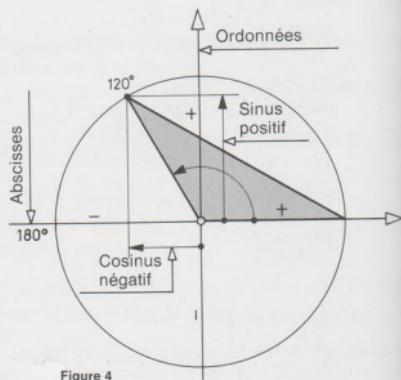


Figure 4

## Application pratique de la formule des cosinus

### Calcul de la résultante (fig. 5)

Dans le parallélogramme, les angles opposés sont égaux et la somme des quatre angles est égale à  $360^\circ$ .

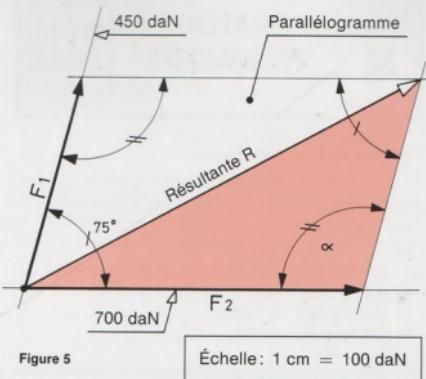
$$\text{Angle } \alpha = \frac{360^\circ}{2} - 75^\circ = 105^\circ$$

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 F_1 F_2 \cos \alpha$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2 F_1 F_2 \cos \alpha}$$

$$R = \sqrt{450^2 + 700^2 - (2 \times 450 \times 700 \times \cos 105^\circ)}$$

$$R = 925 \text{ daN (soit } 92,5 \text{ mm suivant l'échelle.)}$$



### Application de la formule des sinus

#### Valeur des angles (fig. 6)

$$\text{Angle } A_2 = \arctan \frac{L}{C}$$

$$\text{Angle } B_7 = \arctan \frac{B}{L}$$

$$\text{Angle } A_2 C = 90^\circ - (A_2 + B_7)$$

$$\text{Angle } B_9 = A_2 + A_2 C$$

$$\text{Angle } A_3 C = 90^\circ - A_2 C$$

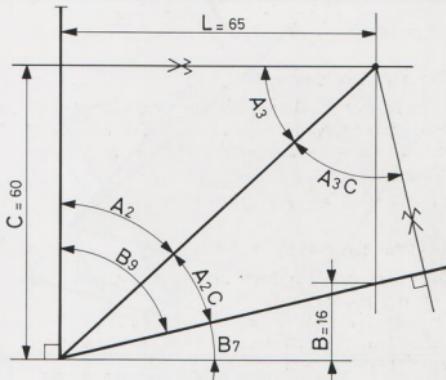
$$A_2 = 47^\circ 17'$$

$$B_7 = 13^\circ 49'$$

$$A_2 C = 28^\circ 52'$$

$$B_9 = 76^\circ 10'$$

$$A_3 C = 61^\circ 7'$$



#### Calcul de la cote W (fig. 7)

suivant la formule des sinus, on peut écrire :

$$\frac{W}{\sin A_3 C} = \frac{A}{\sin B_9}$$

$$W = \frac{A}{\sin B_9} \times \sin A_3 C = 40,58$$

L'angle  $B_9$  est complémentaire de  $B_7$ .

L'angle  $A_2 C$  est complémentaire de  $A_3 C$ .

On peut donc remplacer :

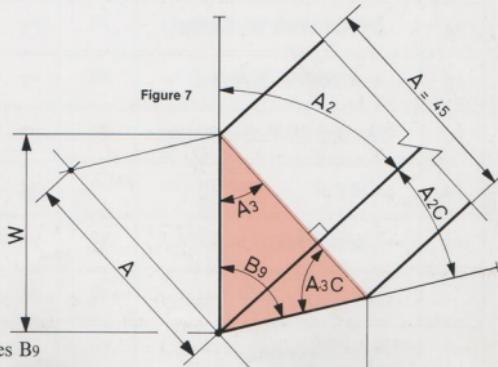
- le sinus  $B_9$  par le cosinus  $B_7$
- le sinus  $A_3 C$ , par le cosinus  $A_2 C$ .

Ce qui permet d'écrire la proportion :

$$\frac{W}{\cos A_2 C} = \frac{A}{\cos B_7}$$

$$W = \frac{A}{\cos B_7} \times \cos A_2 C = 40,58$$

Cette méthode évite de rechercher les angles  $B_9$  et  $A_3 C$ .





### Première série de programmes

Les programmes de cette première série s'appliquent à des combles réguliers qui présentent :

- des angles droits,
- des versants de même pente.

Les principales données, qui déterminent la forme du solide sont :

- la reculée des versants ..... L
- la hauteur du comble ..... H

### Deuxième série de programmes

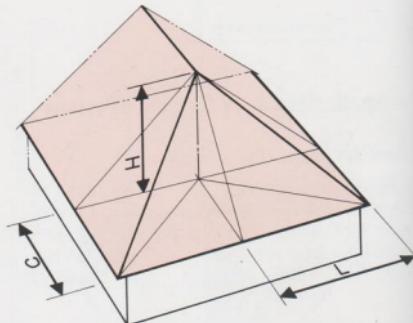
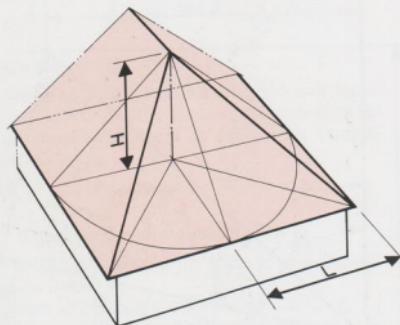
Les programmes de cette deuxième série s'appliquent à des combles irréguliers qui présentent :

- des angles droits,
- des versants de pentes différentes.

Les principales données, qui déterminent la forme du solide sont :

- la reculée de long-pan ..... L
- la reculée de croupe ..... C
- la hauteur du comble ..... H

COMBLES RÉGULIERS	C. R.	COMBLES IRRÉGULIERS	C. I.
----------------------	----------	------------------------	----------



P1	LE RECTILIGNE DU DIÈDRE	P1	LE RECTILIGNE DU DIÈDRE
P2	LA COUPE DE LA PANNE	P2	LA COUPE DE LA PANNE
P3	LA LONGUEUR DE LA PANNE	P3	LA LONGUEUR DE LA PANNE
P4	LA HERSE	P4	LES HERSES
P5	L'ARÈTIER RÉGULIER	P5	L'ARÈTIER IRRÉGULIER
		P6	SAILLIES DE TOIT
P7	PAVILLON CARRÉ	P7	COMBLES À CROUPES

### Troisième série de programmes

Les programmes de cette troisième série, s'appliquent à des combles biais réguliers qui présentent :

- des angles aigus ou obtus,
- des versants de même pente.

Les principales données, qui déterminent la forme du solide sont :

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| - le biais de la croupe .....   | B |
| - la reculée des versants ..... | L |
| - la hauteur du comble .....    | H |

### Quatrième série de programmes

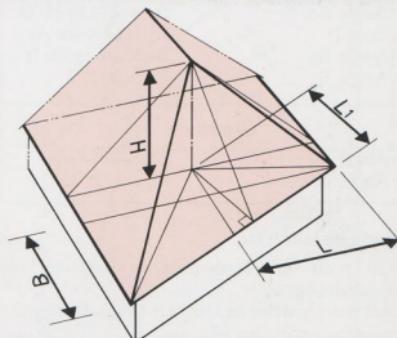
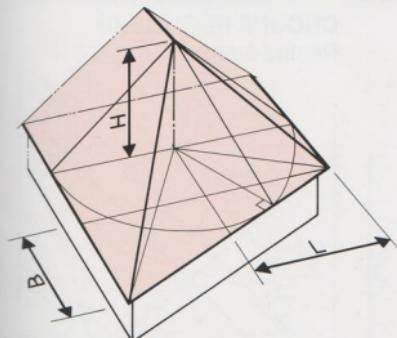
Les programmes de cette quatrième série, s'appliquent à des combles biais irréguliers qui présentent :

- des angles aigus ou obtus,
- des versants de pentes différentes.

Les principales données, qui déterminent la forme du solide sont :

- |                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| - le biais de la croupe .....  | B              |
| - la reculée de long-pan ..... | L              |
| - la reculée de croupe .....   | L <sub>1</sub> |
| - la hauteur du comble .....   | H              |

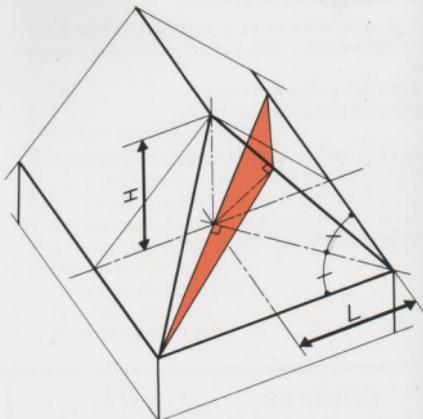
COMBLES BAIS RÉGULIERS	C. B. R.	COMBLES BAIS IRRÉGULIERS	C. B. I.
---------------------------	----------------	-----------------------------	----------------



P0	PROGRAMME PRÉLIMINAIRE	P0	PROGRAMME PRÉLIMINAIRE
P1	LE RECTILIGNE DU DIÈDRE	P1	LE RECTILIGNE DU DIÈDRE
P2	LA COUPE DE LA PANNE	P2	LA COUPE DE LA PANNE
P3	LA LONGUEUR DE LA PANNE	P3	LA LONGUEUR DE LA PANNE
P4	LES HERSES	P4	LES HERSES
P5	L'ARÊTIER BIAS RÉGULIER	P5	L'ARÊTIER BIAS IRRÉGULIER
		P6	SAILLIES DE TOIT
P7	PAVILLON TRAPÉZOÏDAL	P7	COMBLES À CROUPES BIAISES

**Sur croupe régulière**

Les versants de long-pan et de croupe présentent la même pente.  
L'arêtier en plan est la bissectrice d'un angle droit.

**Données**

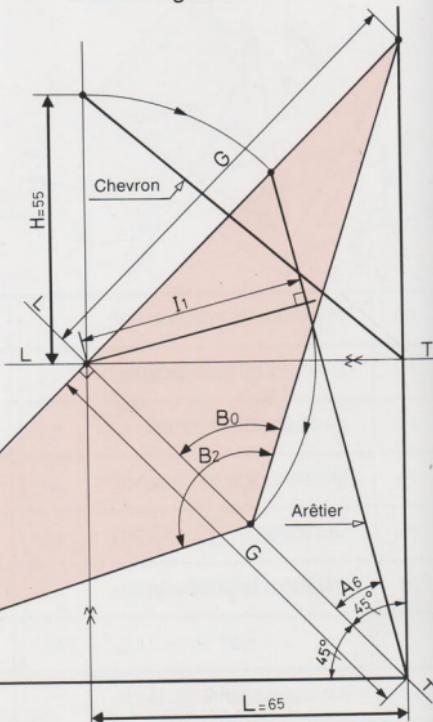
Reculée des versants       $L = 65$   
Hauteur du comble       $H = 55$

**Opérations**

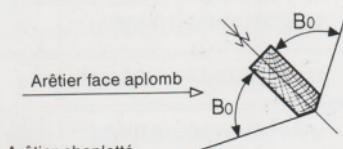
$$\begin{aligned} \text{Cote } G &= L \times \sqrt{2} \\ \text{Angle } A_6 &= \text{Arc } \operatorname{tg} H/G \\ \text{Cote } I_1 &= G \times \sin A_6 \\ \bullet \text{ Angle } B_0 &= \operatorname{arc } \operatorname{tg} G/I_1 \\ \bullet \text{ Angle } B_2 &= B_0 \times 2 \end{aligned}$$

**Résultats**

- Angle  $B_0 = 62^\circ 49'$
- Angle  $B_2 = 125^\circ 38'$

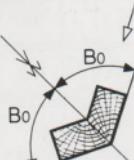
**CROUPE RÉGULIÈRE**  
**Pentes égales****L'angle  $B_0$  est utilisé :**

- soit pour le délardement de l'arêtier face aplomb (fig. 1),
  - soit pour le débit de l'arêtier chanlatté (fig. 2).
- L'angle  $B_2$  détermine l'angle saillant de l'arêtier. Il est aussi appelé *angle de corroyage*.



Arêtier face aplomb

Figure 1



Arêtier chanlatté

Figure 2

## Sur noue régulière

Les deux versants présentent la même pente.  
La noue, sur la vue en plan, est la diagonale d'un carré.

L'angle  $B_0$  est utilisé :

- soit pour le rencreusement de la noue lorsqu'elle est située face aplomb (fig. 3),
- soit pour le débit de la pièce lorsqu'il s'agit d'une noue chanlattée (fig. 4).

L'angle  $B_2$  détermine l'angle rentrant de la noue.  
Il peut aussi être appelé *angle de rencreusement*.

### Epures de contrôle

Les épures permettent de vérifier les résultats du programme P1 :

- sur l'arétier, en page de gauche,
- sur la noue, en page de droite.

Le programme P1 s'applique aux combles réguliers, c'est-à-dire quand l'arétier, ou la noue, raccorde des versants de même pente.

## NOUE RÉGULIÈRE Pentes égales

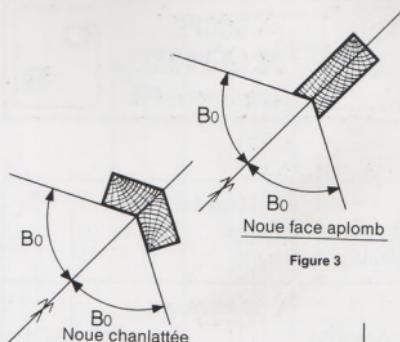
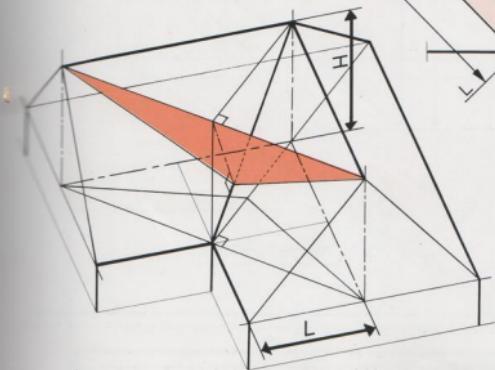
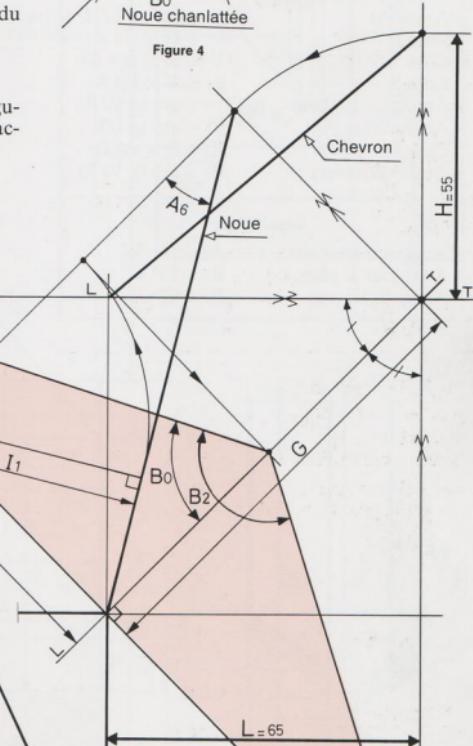


Figure 3

Figure 4



ÉTUDE  
41

**COUPE  
DE LA PANNE**  
programme P2

**C**  
**R**

Le programme P2, permet d'obtenir les angles de coupe nécessaires au taillage de la panne.

Il peut être appliqué sans modification :

- sur l'arétier, en page de gauche,
- sur la noue, en page de droite.

Dans chaque cas, il faut veiller au sens d'orientation de la coupe.

**Données**

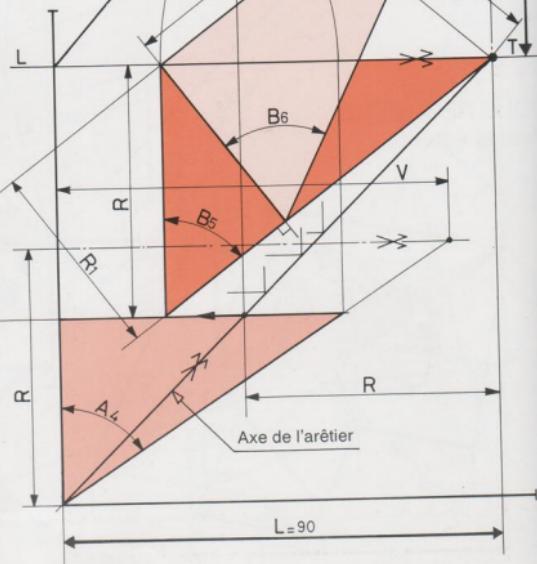
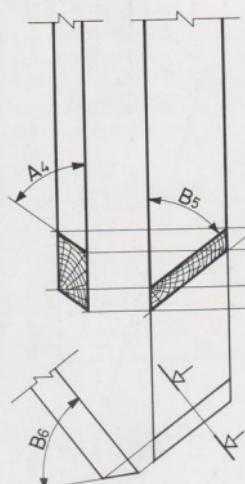
Reculée des versants       $L = 90$   
Hauteur du comble       $H = 105$

**Opérations**

Angle A1	$A_1 = \text{arc} \operatorname{tg} L/H$
Cote I	$I = H \times \sin A_1$
Cote V	$V = H \times \cos A_1$
Cote R	$R = V \times \sin A_1$
• Angle sur le chant	$A_4 = \text{arc} \operatorname{tg} V/R$
• Angle sur le plat	$B_5 = \text{arc} \operatorname{tg} I/R$
Cote R1	$R_1 = R \times \sin B_5$
• Angle de dévers	$B_6 = \text{arc} \operatorname{tg} V/R_1$

**Résultats**

- Angle sur le chant       $A_4 = 56^\circ 56'$
- Angle sur le plat       $B_5 = 52^\circ 47'$
- Angle de dévers       $B_6 = 62^\circ 36'$

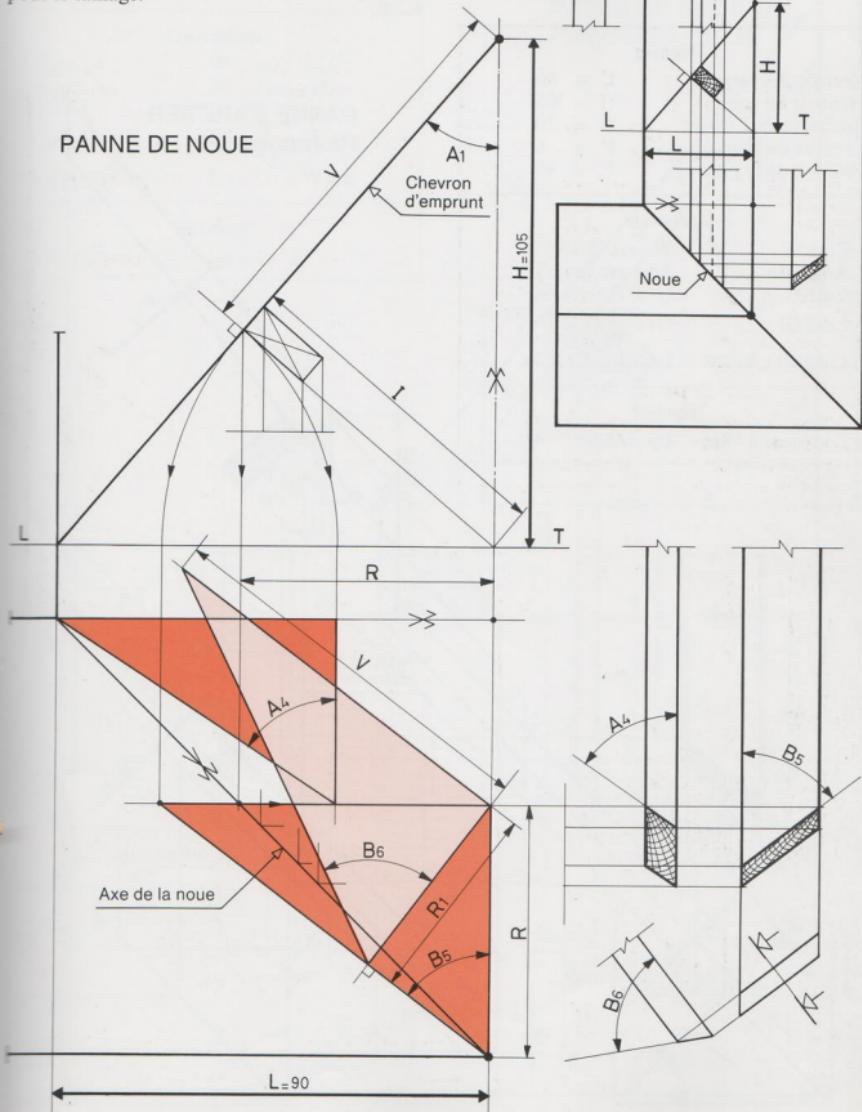


## Application des angles

Le traçage de la coupe biaise est effectué avec :

- l'angle A<sub>4</sub>, sur le chant,
- l'angle B<sub>5</sub>, sur le plat.

L'angle de dévers B<sub>6</sub>, situé perpendiculairement à la coupe, sert à déverser l'outil qui sera utilisé pour le taillage.



## Données

Reculée des versants	L = 90
Hauteur du comble	H = 105
Epaisseur de l'arêteier	A = 10
Largeur du chevron	F = 8
Position de la panne	P = 40

## Opérations

$$\begin{aligned} \text{Cote } W &= A/2 \times \sqrt{2} \\ \text{Angle } A_0 &= \text{arc tg } H/L \\ \text{Cote } U &= F \times \sin A_0 \\ \text{Cote } G_1 &= \frac{L}{H} \times P \\ \bullet \text{ Longueur à l'axe} & L_p = L - G_1 - W - U \end{aligned}$$

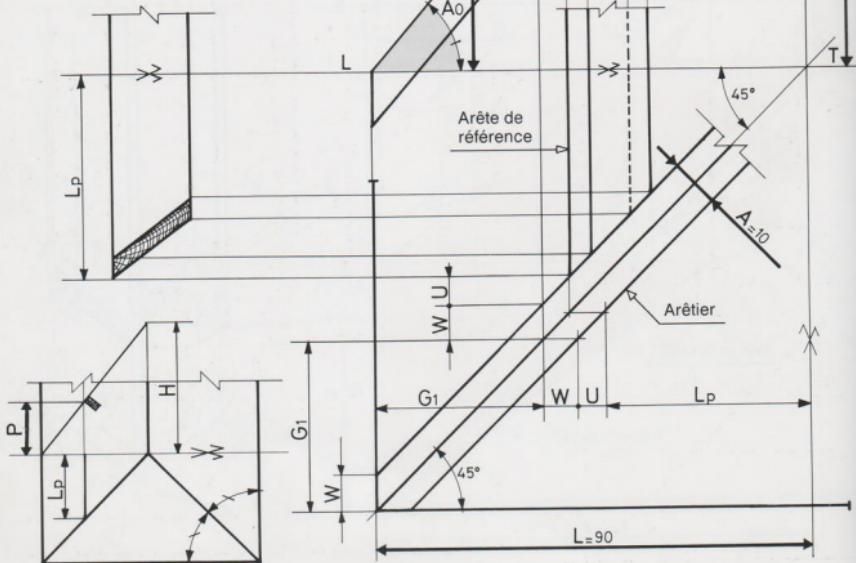
## Résultat

• Longueur à l'axe  $L_p = 42,56$

Sur la panne d'arêtier, l'arête de référence est la plus longue.

La cote  $L_p$  est la longueur totale comprise entre l'extrémité de la coupe et l'axe de la ferme.

Remarque : si la charpente ne comporte pas de chevrons (couverture en éléments autoportants) le programme reste valable, avec une donnée :  $F=0$ .

PANNE D'ARÊTIER  
Programme P3 - A

### Données

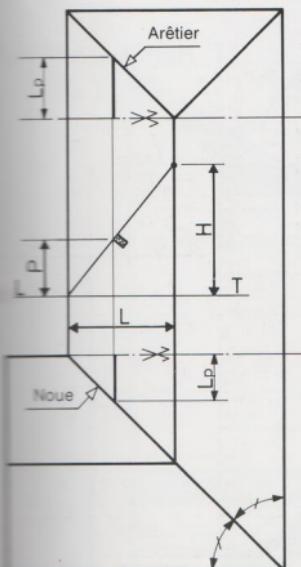
Reculée des versants	$L = 90$
Hauteur du comble	$H = 105$
Epaisseur de la noue	$A = 10$
Largeur du chevron	$F = 8$
Position de la panne	$P = 40$

### Opérations

Cote W	$W = A/2 \times \sqrt{2}$
Angle $A_0$	$A_0 = \text{arc tg } H/L$
Cote U	$U = F \times \sin A_0$
Cote $G_1$	$G_1 = \frac{L}{H} \times P$
* Longueur à l'axe	$L_p = G_1 - W + U$

### Résultat

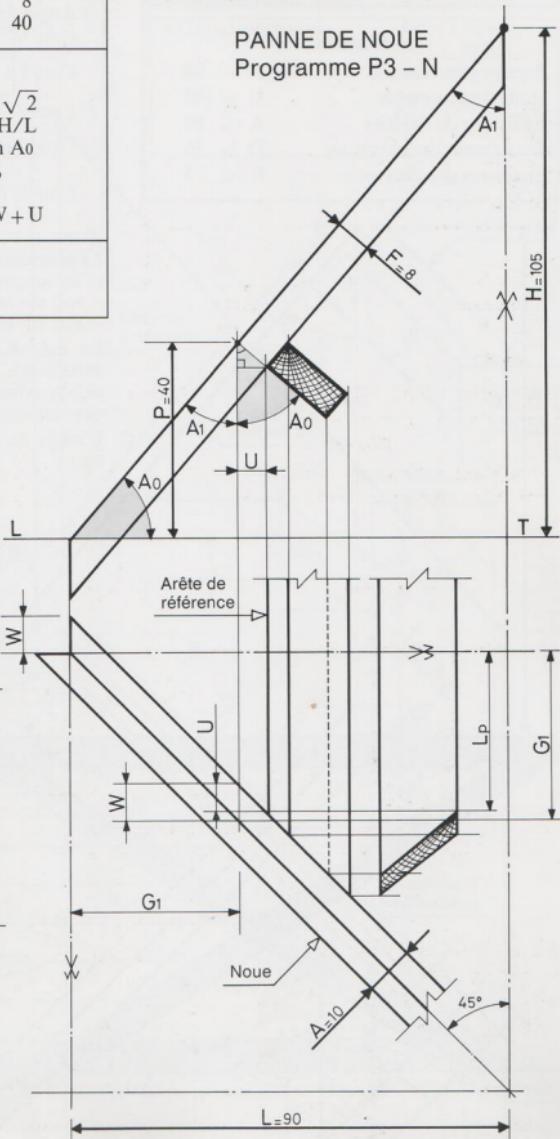
- \* Longueur à l'axe  $L_p = 33,28$



Sur la panne de noue, l'arête de référence est la plus courte.

A la cote  $L_p$ , il faut ajouter la longueur nécessaire pour la coupe.

### PANNE DE NOUE Programme P3 - N



## Données

Reculée des versants	L = 90
Hauteur du comble	H = 105
Epaisseur de l'arêteier	A = 10
Ecartement des chevrons	D = 16
Epaisseur des chevrons	E = 3

- | Opérations          |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| • Chevron d'emprunt | $Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$        |
| • Angle de niveau   | $A_0 = \text{arc tg } H/L$     |
| • Angle d'aplomb    | $A_1 = \text{arc tg } L/H$     |
| • Angle de herse    | $A_5 = \text{arc tg } L/Ch$    |
| Cote W              | $W = A/2 \times \sqrt{2}$      |
| Cote D1             | $D_1 = \frac{D - E}{2}$        |
| Cote Z1             | $Z_1 = L - W - D_1$            |
| • Grand empanon     | $Ge = \frac{Ch}{L} \times Z_1$ |
| Cote K (constante)  | $K = \frac{Ch}{L} \times D$    |

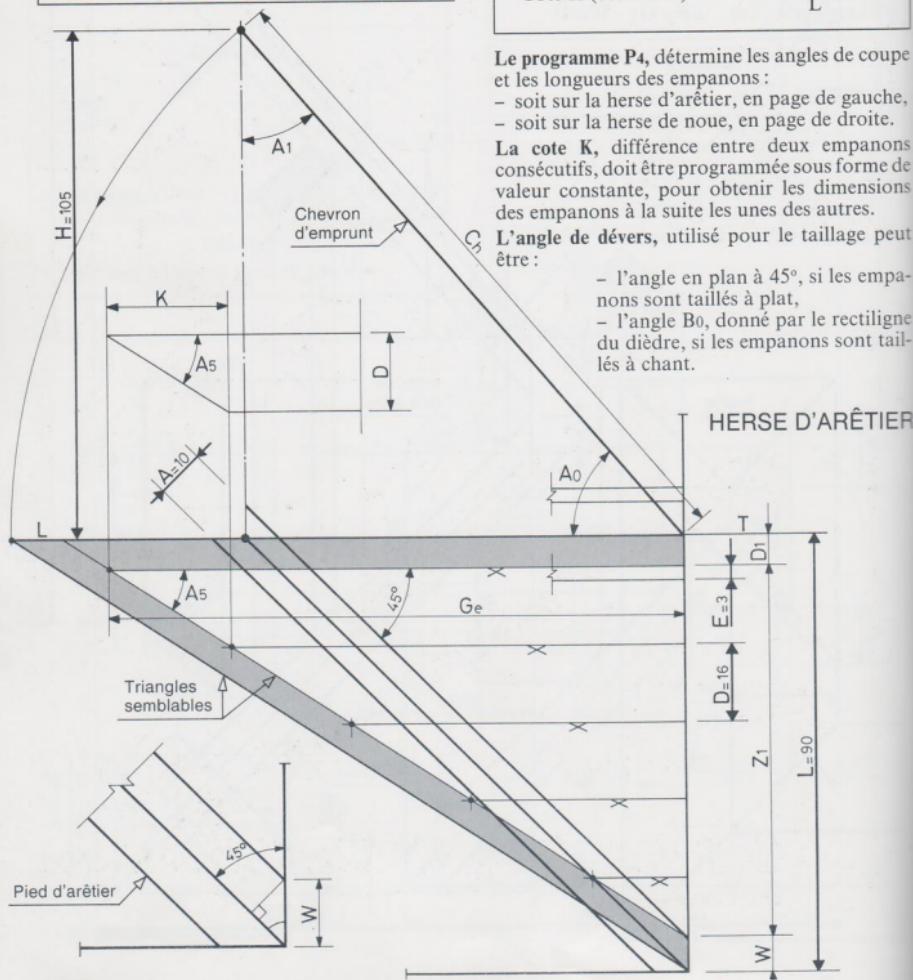
Le programme P4, détermine les angles de coupe et les longueurs des empanons :

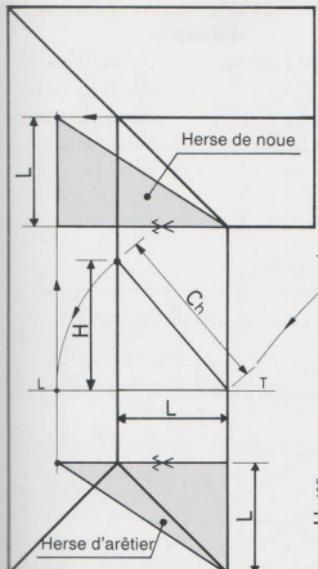
- soit sur la herse d'arrêtier, en page de gauche,
  - soit sur la herse de noue, en page de droite.

La cote K, différence entre deux empanons consécutifs, doit être programmée sous forme de valeur constante, pour obtenir les dimensions des empanons à la suite les unes des autres.

L'angle de dévers, utilisé pour le taillage peut être :

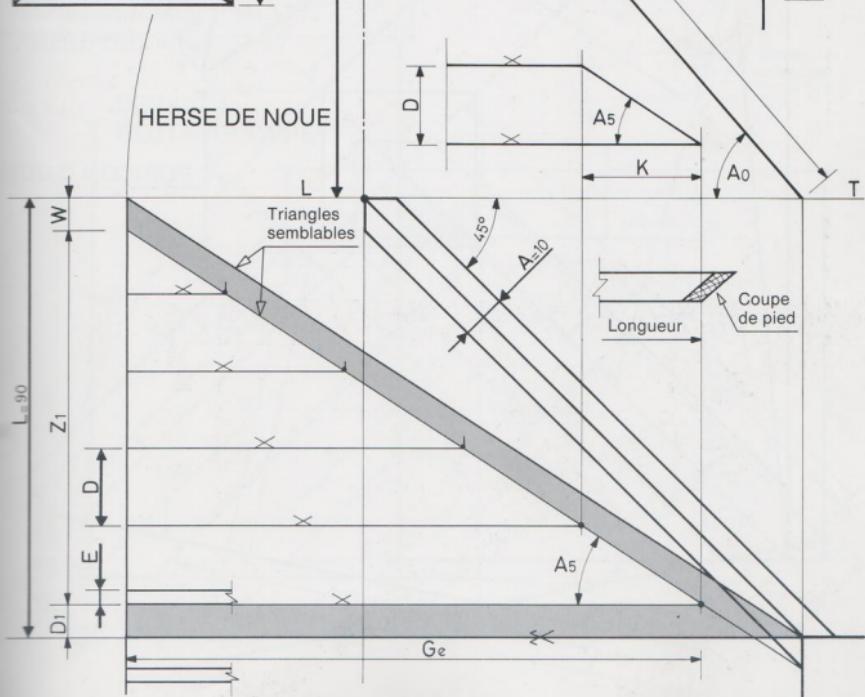
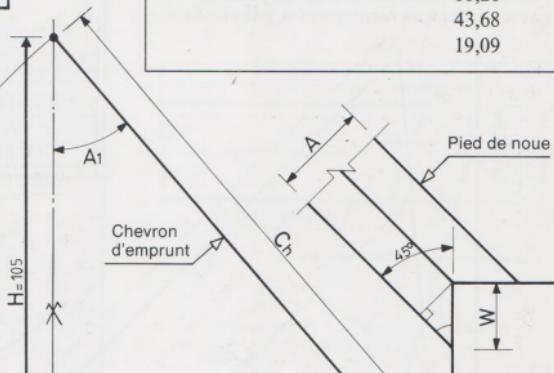
- l'angle en plan à  $45^\circ$ , si les empanons sont taillés à plat,
  - l'angle  $B_0$ , donné par le rectiligne du dièdre, si les empanons sont tailles à chant.





### Résultats

- Chevron d'emprunt  $Ch = 138,29$
- Angle de niveau  $A_0 = 49^\circ 23'$
- Angle d'aplomb  $A_1 = 40^\circ 36'$
- Angle de herse  $A_5 = 33^\circ 3'$
- Grand empanon  $Ge = 117,43$   
92,85  
68,26  
43,68  
19,09

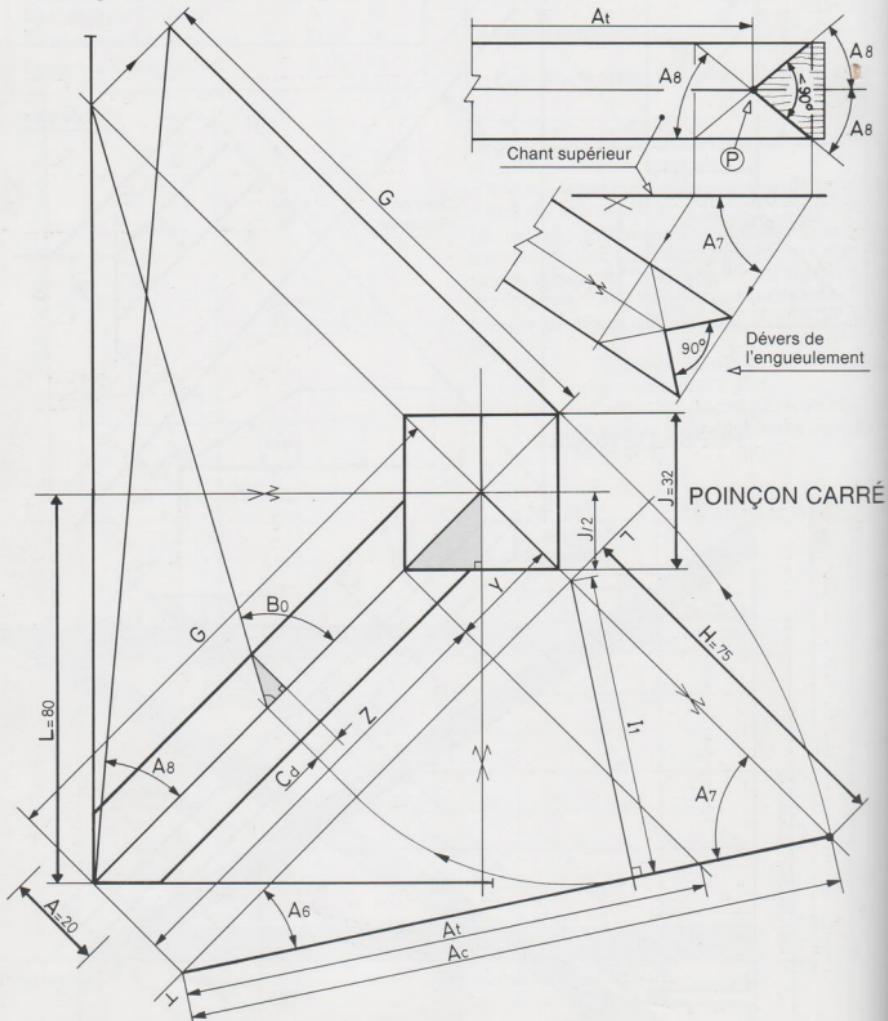


Données

Reculée des versants	$L = 80$
Hauteur du comble	$H = 75$
Epaisseur de l'arêtier	$A = 20$
Epaisseur du poinçon	$J = 32/20$

Le programme Ps s'applique à l'arêtier de croupe régulière. Il peut être employé :

- avec un *poinçon carré*, page de gauche,
- avec un *poinçon rectangulaire*, page de droite.



## Opérations

Cote G	$G = L \times \sqrt{2}$
• Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
• Angle de niveau	$A_6 = \text{arc tg } H/G$
• Angle d'aplomb	$A_7 = \text{arc tg } G/H$
• Angle sur chant brut	$A_8 = \text{arc tg } G/Ac$
Cote Y	$Y = J/2 \times \sqrt{2}$
Cote Z	$Z = G - Y$
• Arête utile	$At = \frac{Ac}{G} \times Z$
Cote I <sub>1</sub>	$I_1 = G \times \sin A_6$
• Angle de délardement	$B_0 = \text{arc tg } G/I_1$
• Cote de délardement	$Cd = \frac{A}{2 \tg B_0}$

## Résultats

• Arête au couronnement	$Ac = 135,73$
• Angle de niveau	$A_6 = 33^\circ 32'$
• Angle d'aplomb	$A_7 = 56^\circ 27'$
• Angle sur chant brut	$A_8 = 39^\circ 48'$
• Arête utile	$At = 108,59/118,77$
• Angle de délardement	$B_0 = 61^\circ 4'$
• Cote de délardement	$Cd = 5,52$

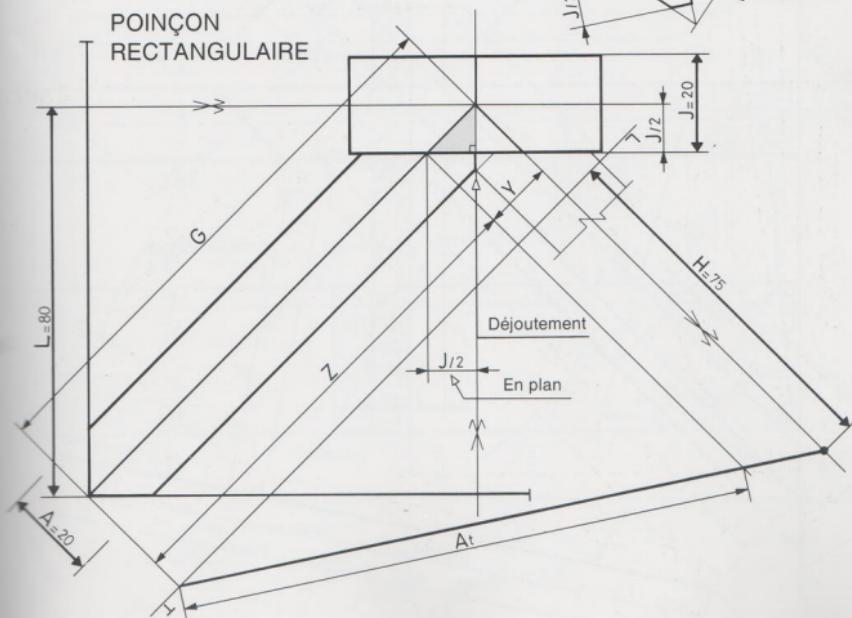
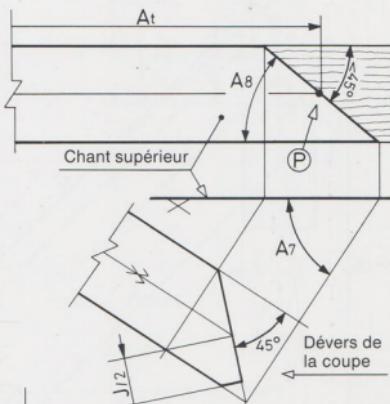
## Traçage de l'arêtier en tête

1°) Porter la cote At sur la ligne d'arête pour situer le point P.

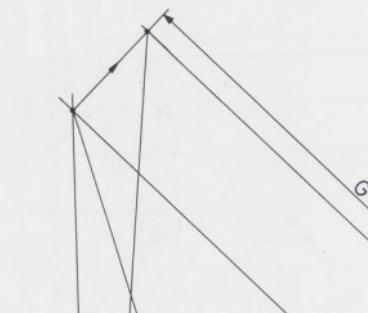
2°) A l'aide de l'angle A<sub>8</sub>, tracer :

- l'engueulement, si le poinçon est carré,
- la coupe biaise, si le poinçon est rectangulaire.

Le *déjoutement* est obtenu en portant la cote J/2 sur la coupe biaise, à partir de l'axe, suivant un trait de niveau.



La noue raccorde deux versants de même pente.  
Le programme Ps peut s'appliquer sans modification à la noue régulière.



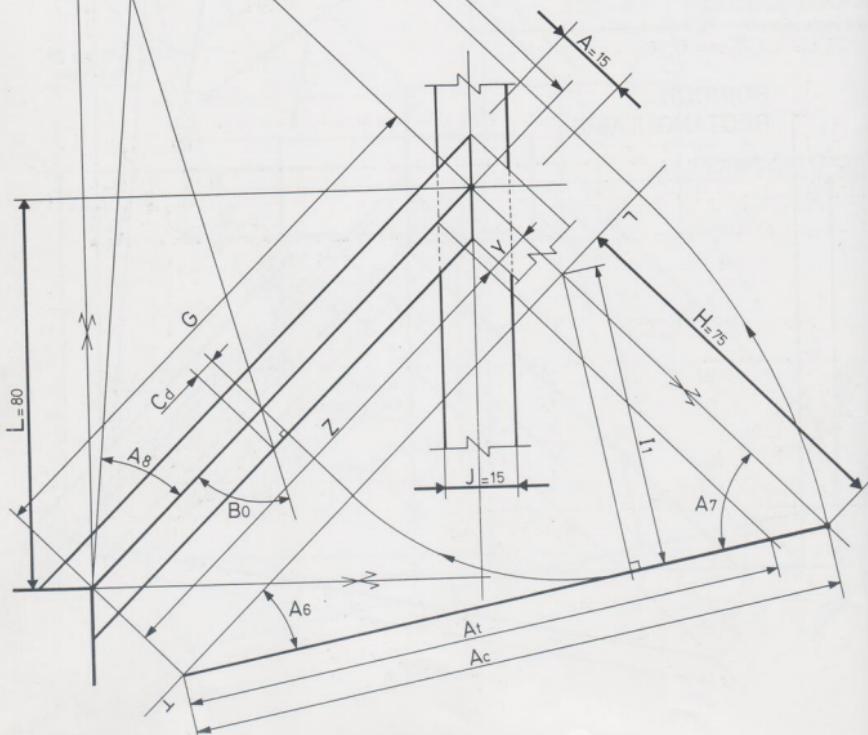
### Données

Reculée des versants  
Hauteur du comble  
Epaisseur de la noue  
Epaisseur du faîtage

L = 80  
H = 75  
A = 15  
J = 15

### Opérations

Cote G	$G = L \times \sqrt{2}$
• Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
• Angle de niveau	$A_6 = \text{arc tg } H/G$
• Angle d'aplomb	$A_7 = \text{arc tg } G/H$
• Angle sur chant brut	$A_8 = \text{arc tg } G/Ac$
Cote Y	$Y = J/2 \times \sqrt{2}$
Cote Z	$Z = G - Y$
• Arête utile	$At = \frac{Ac}{G} \times Z$
Cote I1	$I_1 = G \times \sin A_6$
• Angle de rencreusement	$B_0 = \text{arc tg } G/I_1$
• Cote de rencreusement	$Cd = \frac{A}{2 \tan B_0}$



## Résultats

• Arête au couronnement	$Ac = 135,73$
• Angle de niveau	$A6 = 33^\circ 32'$
• Angle d'aplomb	$A7 = 56^\circ 27'$
• Angle sur chant brut	$A8 = 39^\circ 48'$
• Arête utile	$At = 123,01$
• Angle de rencreusement	$B0 = 61^\circ 4'$
• Cote de rencreusement	$Cd = 4,14$

## Traçage de la noue

La coupe de tête comprend :

- la partie haute, située au-dessus du niveau N,
- la partie basse située en dessous du niveau N.

## Traçage du chant supérieur (fig. 1)

Porter :

- la cote  $Ac$ , qui situe les points 1 et 2,
- la cote  $At$ , qui situe le point 3.

Tracer les angles  $A8$  pour obtenir :

- les lignes d'égout au pied,
- les coupes sur le faîtement en tête.

## Traçage des faces (fig. 2)

Porter :

- la ligne de niveau au pied, avec l'angle  $A6$ ,
- les lignes d'aplomb en tête, avec l'angle  $A7$ .

Le rencreusement est tracé avec la cote  $Cd$ , ou à partir du point P.

## Report du niveau N (fig. 3)

Relevé sur l'épure de la ferme, le niveau du dessus de faîtement (cote a), est reporté sur les faces de la noue. Il détermine l'intersection entre les deux parties de la coupe.

Remarque : si la noue n'est pas rencreuse, les trois dernières lignes du programme deviennent inutiles.

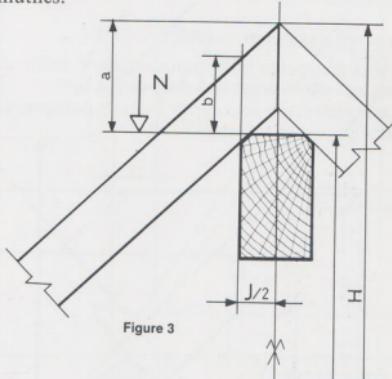


Figure 3

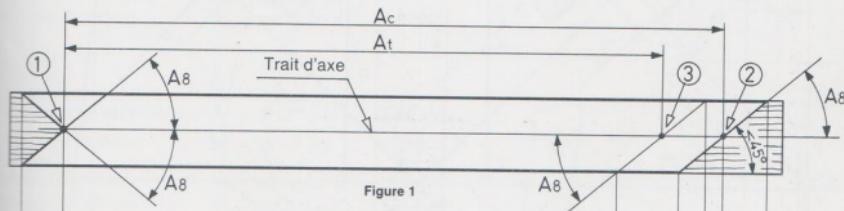


Figure 1

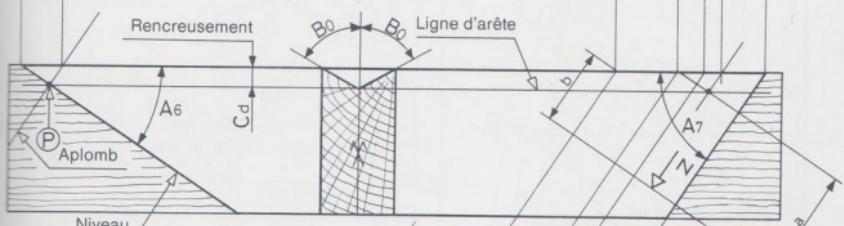
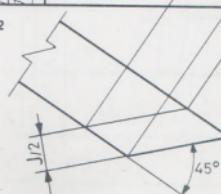


Figure 2

Section horizontale  
de la coupe



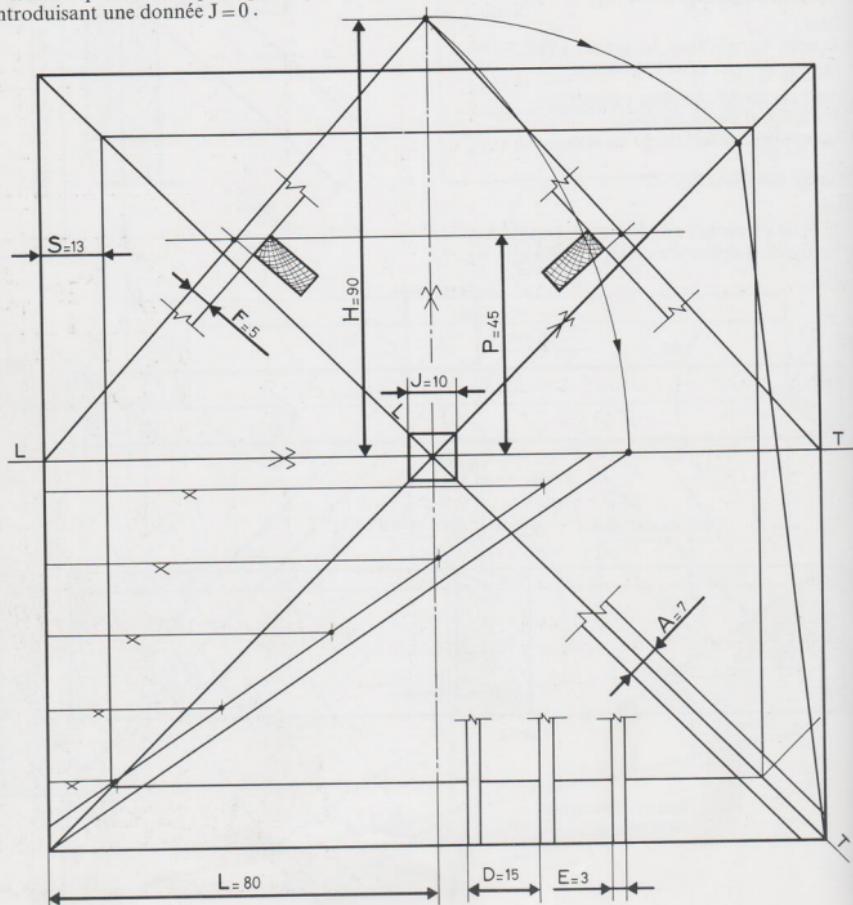
Le programme P7 permet d'obtenir les valeurs nécessaires au traçage d'un pavillon carré. Il peut aussi s'appliquer au comble à croupes régulières.

**Le programme reste valable :**

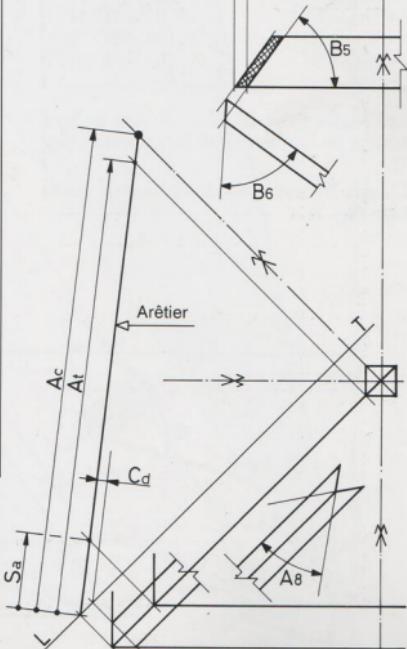
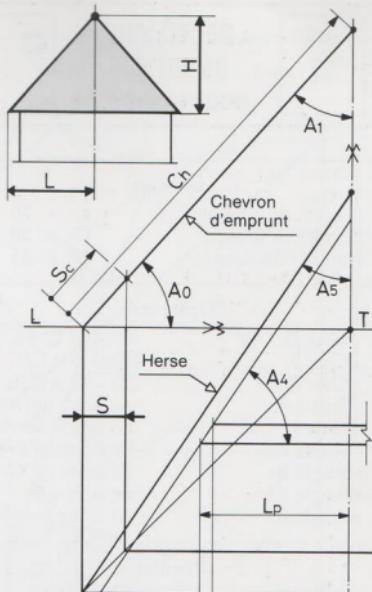
- si la charpente ne comporte pas de saillie de toit, en introduisant une donnée  $S = 0$ ,
- si la charpente ne comporte pas de poinçon, en introduisant une donnée  $J = 0$ .

**Données**

Reculée des versants	L = 80
Hauteur du comble	H = 90
Empanons	D = 15
{ Ecartement	E = 3
Epaisseur	F = 5
Largeur	G = 13
Saillie de toit	S = 13
Position de la panne	P = 45
Epaisseur des arêtiers	A = 7
Côté du poinçon	J = 10



Opérations		Résultats
<i>Empanons</i>		
* Chevron d'emprunt	$Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$	120,41
* Saillie rampante	$Sc = \frac{Ch}{L} \times S$	19,56
* Angle de niveau	$A_0 = \text{arc tg } H/L$	48° 21'
* Angle d'aplomb	$A_1 = \text{arc tg } L/H$	41° 38'
* Angle de herse	$A_5 = \text{arc tg } L/Ch$	33° 35'
Cote W	$W = A/2 \times \sqrt{2}$	
Cote D <sub>1</sub>	$D_1 = \frac{D - E}{2}$	
Cote Z <sub>1</sub>	$Z_1 = L - W - D_1$	
* Grand empanon	$Ge = \frac{Ch}{L} \times Z_1$	
Cote K (constante)	$K = \frac{Ch}{L} \times D$	
<i>Panne</i>		
Cote U	$U = F \times \sin A_0$	
Cote G <sub>1</sub>	$G_1 = \frac{L}{H} \times P$	
* Longueur à l'axe	$L_p = L - G_1 - W - U$	31,31
Cote I	$I = H \times \sin A_1$	
Cote V	$V = H \times \cos A_1$	
Cote R	$R = V \times \sin A_1$	
* Angle sur le chant	$A_4 = \text{arc tg } Ch/L$	56° 24'
* Angle sur le plat	$B_5 = \text{arc tg } I/R$	53° 13'
Cote R <sub>1</sub>	$R_1 = R \times \sin B_5$	
* Angle de dévers	$B_6 = \text{arc tg } V/R_1$	61° 58'
<i>Arêtier</i>		
Cote G	$G = L \times \sqrt{2}$	
* Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$	144,56
* Saillie rampante	$S_a = \frac{S}{L} \times Ac$	23,49
* Angle de niveau	$A_6 = \text{arc tg } H/G$	38° 30'
* Angle d'aplomb	$A_7 = \text{arc tg } G/H$	51° 29'
* Angle sur chant brut	$A_8 = \text{arc tg } G/Ac$	38° 2'
Cote Y	$Y = J/2 \times \sqrt{2}$	
Cote Z	$Z = G - Y$	
* Arête utile	$At = \frac{Ac}{G} \times Z$	135,53
Cote I <sub>1</sub>	$I_1 = G \times \sin A_6$	
* Angle de délardement	$B_0 = \text{arc tg } G/I_1$	58° 5'
* Cote de délardement	$C_d = \frac{A}{2 \tg B_0}$	2,17



Données

Reculée de long-pan	$L = 75$
Reculée de croupe	$C = 50$
Hauteur du comble	$H = 65$

Opérations

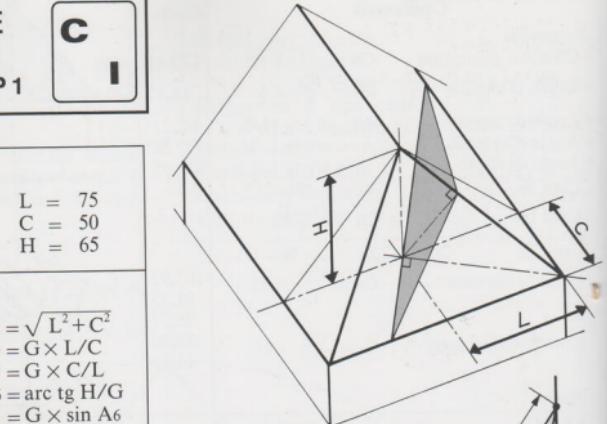
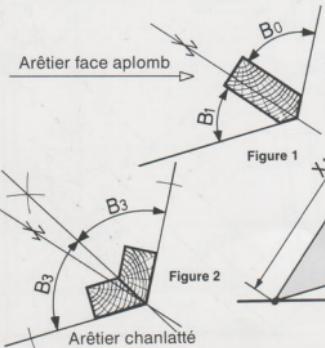
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
Cote X	$X = G \times L/C$
Cote X <sub>1</sub>	$X_1 = G \times C/L$
Angle A <sub>6</sub>	$A_6 = \text{arc tg } H/G$
Cote I <sub>1</sub>	$I_1 = G \times \sin A_6$
• Angle B <sub>0</sub>	$B_0 = \text{arc tg } X/I_1$
• Angle B <sub>1</sub>	$B_1 = \text{arc tg } X_1/I_1$
• Angle B <sub>2</sub>	$B_2 = B_0 + B_1$
• Angle B <sub>3</sub>	$B_3 = B_2/2$

Résultats

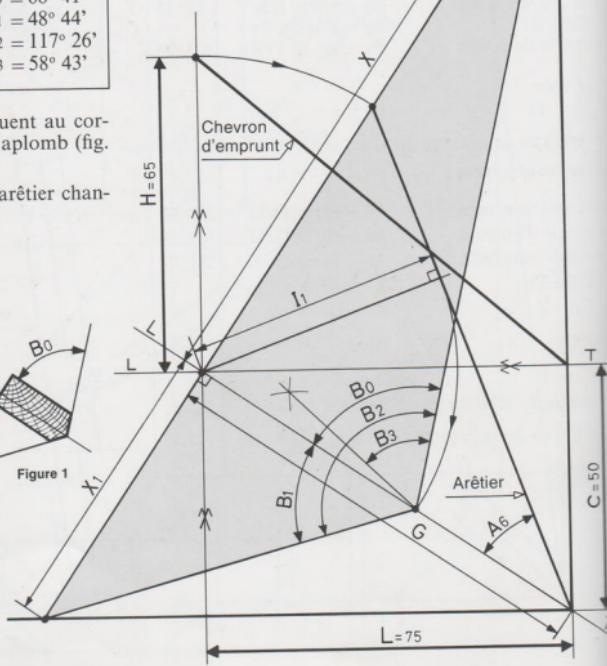
- Angle B<sub>0</sub>       $B_0 = 68^\circ 41'$
- Angle B<sub>1</sub>       $B_1 = 48^\circ 44'$
- Angle B<sub>2</sub>       $B_2 = 117^\circ 26'$
- Angle B<sub>3</sub>       $B_3 = 58^\circ 43'$

Les angles B<sub>0</sub> et B<sub>1</sub>, s'appliquent au corroyage de l'arêtier situé face aplomb (fig. 1).

L'angle B<sub>3</sub> sert au débit de l'arêtier chanlatté (fig. 2).



CROUPE IRRÉGULIÈRE  
Pentes différentes



## Sur noue irrégulière

Les versants raccordés par la noue, présentent des pentes différentes.

Les angles  $B_0$  et  $B_1$  sont utilisés pour le rencreusement de la noue (fig. 3).

L'angle  $B_3$  sert au débit de la noue chanlattée (fig. 4).

Les épures de contrôle permettent la vérification du programme :

- sur l'arêteur, en page de gauche,
- sur la noue, en page de droite.

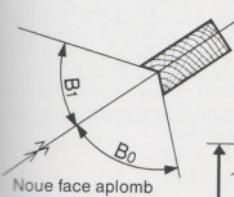


Figure 3

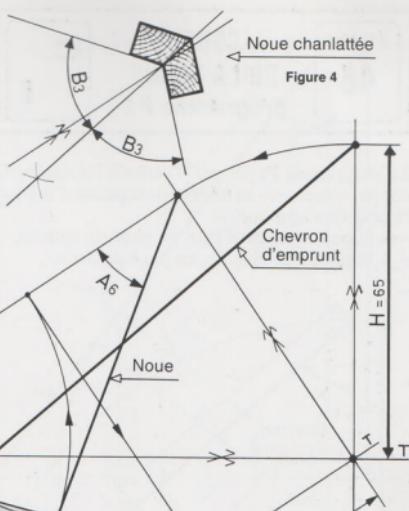
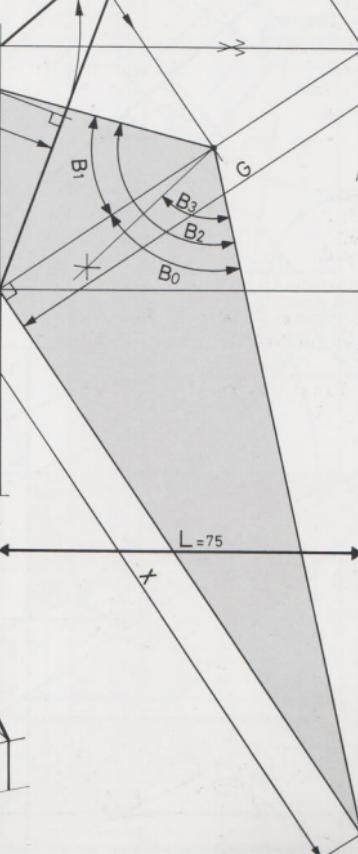
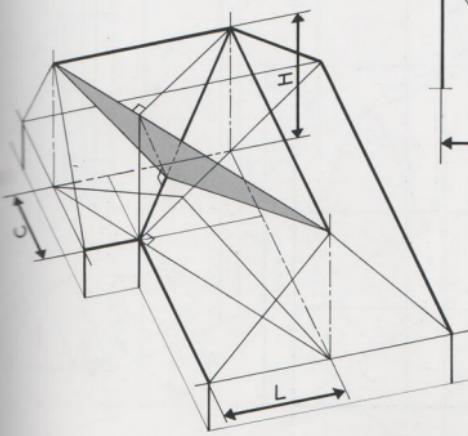


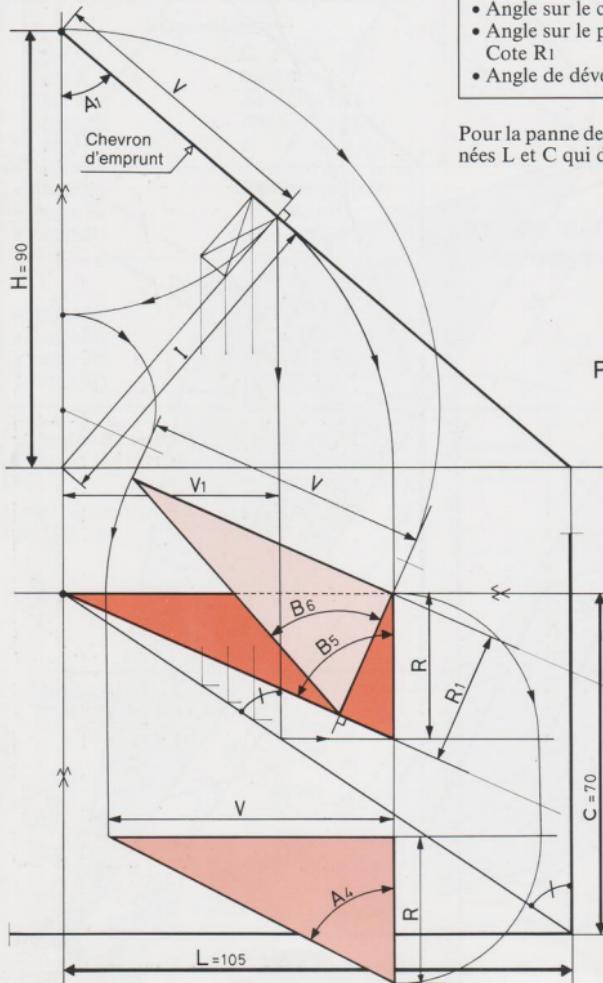
Figure 4

## NOUE IRRÉGULIÈRE Pentes différentes



Le programme P2 permet d'obtenir les angles de coupe, nécessaires au taillage de la panne d'arêtier. Il peut être appliqué :

- à la panne de long-pan, en page de gauche,
- à la panne de croupe, en page de droite.



### Données

Reculée de long-pan

$L = 105$

Reculée de croupe

$C = 70$

Hauteur du comble

$H = 90$

### Opérations

Angle A1

$A1 = \text{arc tg } L/H$

Cote I

$I = H \times \sin A1$

Cote V

$V = H \times \cos A1$

Cote V1

$V1 = V \times \sin A1$

Cote R

$R = V1 \times C/L$

- Angle sur le chant

$A4 = \text{arc tg } V/R$

- Angle sur le plat

$B5 = \text{arc tg } I/R$

- Cote R1

$R1 = R \times \sin B5$

- Angle de dévers

$B6 = \text{arc tg } V/R1$

Pour la panne de croupe, il faut inverser les données L et C qui deviennent :

$L = 70$

$C = 105$

PANNE DE LONG-PAN

Résultats		En long-pan	En croupe
• Angle sur le chant	A4 =	63° 9'	47° 21'
• Angle sur le plat	B5 =	66° 32'	40° 11'
• Angle de dévers	B6 =	65° 5'	59° 16'

La coupe biaise de la panne se trace à l'aide :

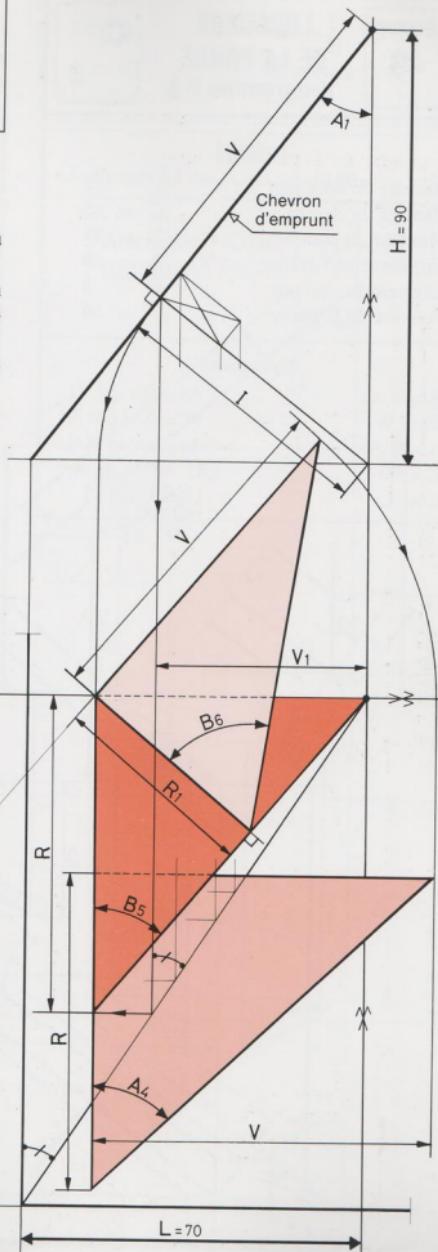
- de l'angle A4, sur le chant,
- de l'angle B5, sur le plat.

On peut remarquer que l'angle A4 est celui du pied de la herse en vraie grandeur.

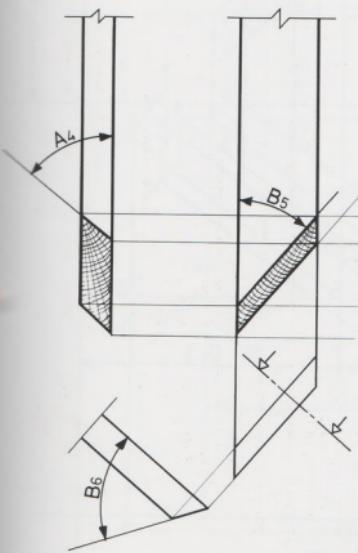
L'angle de dévers B6, qui correspond à la section droite de la coupe, sert à déverser l'outil qui sera utilisé pour le taillage.

Le programme P2 peut également s'appliquer, sans modification, aux pannes de noue.

Dans tous les cas, il faut veiller au sens d'orientation des coupes.



### PANNE DE CROUPE



**ÉTUDE  
49**

**LONGUEUR  
DE LA PANNE  
programme P 3**

**C**

**I**

**Données**

Reculée de long-pan	$L = 115$
Reculée de croupe	$C = 85$
Hauteur du comble	$H = 95$
Epaisseur de l'arêtier	$A = 10$
Largeur du chevron	$F = 8$
Position de la panne	$P = 50$

**Opérations**

Angle $A_3$	$A_3 = \text{arc tg } C/L$
Cote W	$W = A \times \cos A_3$
Angle $A_0$	$A_0 = \text{arc tg } H/L$
Cote U	$U = F \times \sin A_0$
Cote $U_1$	$U_1 = U \times C/L$

Cote  $G_1$

$$G_1 = \frac{L}{H} \times P$$

Cote  $K_1$

$$K_1 = (L - G_1) \times C/L$$

• Longueur à l'axe

$$L_p = K_1 - W - U_1$$

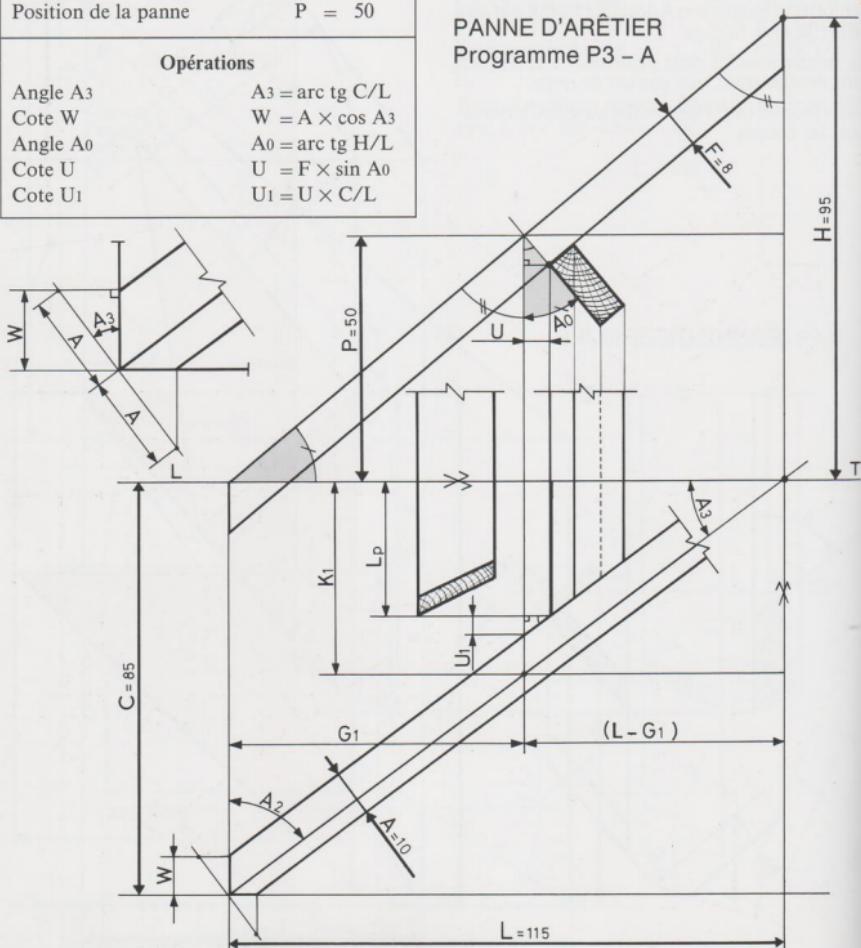
**Résultat**

- Longueur à l'axe  $L_p = 28,45$

Pour la panne de croupe, il faut inverser les données  $L$  et  $C$ .

**PANNE D'ARÊTIER**

**Programme P3 – A**



### Données

Reculée du grand versant	$L = 115$
Reculée du petit versant	$C = 85$
Hauteur du comble	$H = 95$
Epaisseur de la noue	$A = 10$
Largeur du chevron	$F = 8$
Position de la panne	$P = 50$

### Opérations

Angle $A_3$	$A_3 = \text{arc tg } C/L$
Cote $W$	$W = A \times \cos A_3$
Angle $A_0$	$A_0 = \text{arc tg } H/L$
Cote $U$	$U = F \times \sin A_0$
Cote $U_1$	$U_1 = U \times C/L$

Cote  $G_1$

$$G_1 = \frac{L}{H} \times P$$

Cote  $K_1$

$$K_1 = G_1 \times C/L$$

- Longueur à l'axe

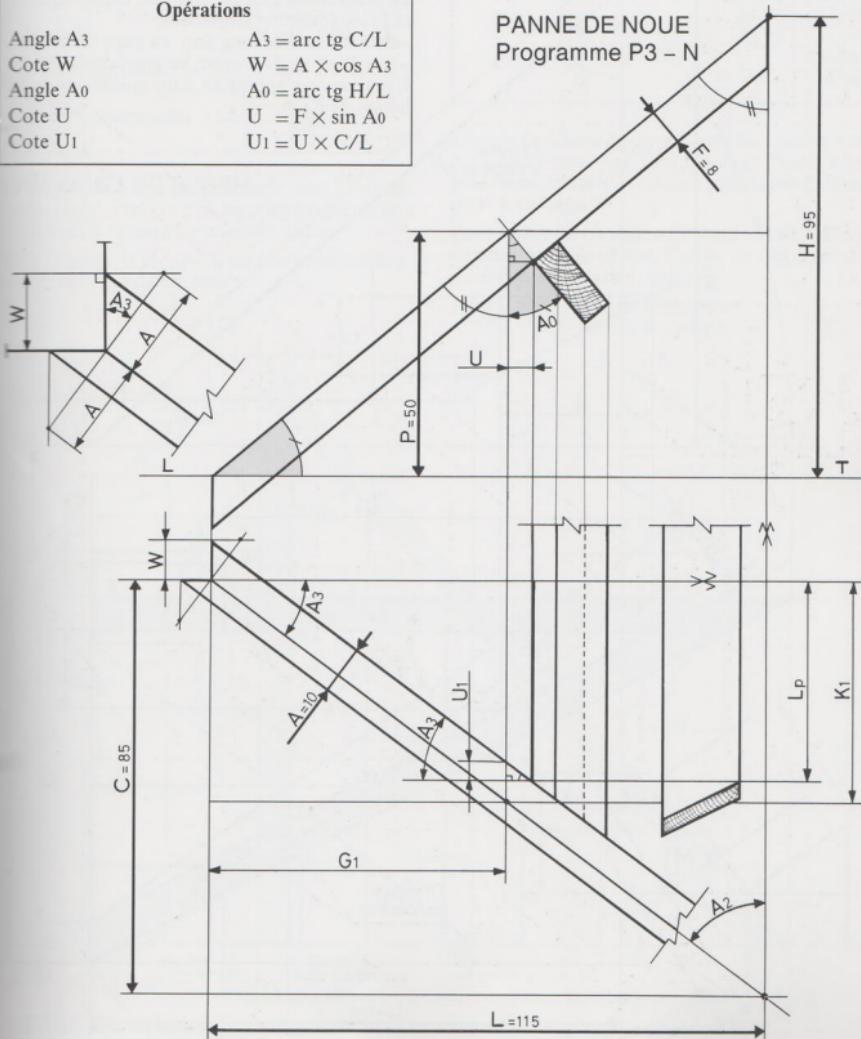
$$L_p = K_1 - W + U_1$$

### Résultat

- Longueur à l'axe  $L_p = 40,46$

### PANNE DE NOUE

Programme P3 - N

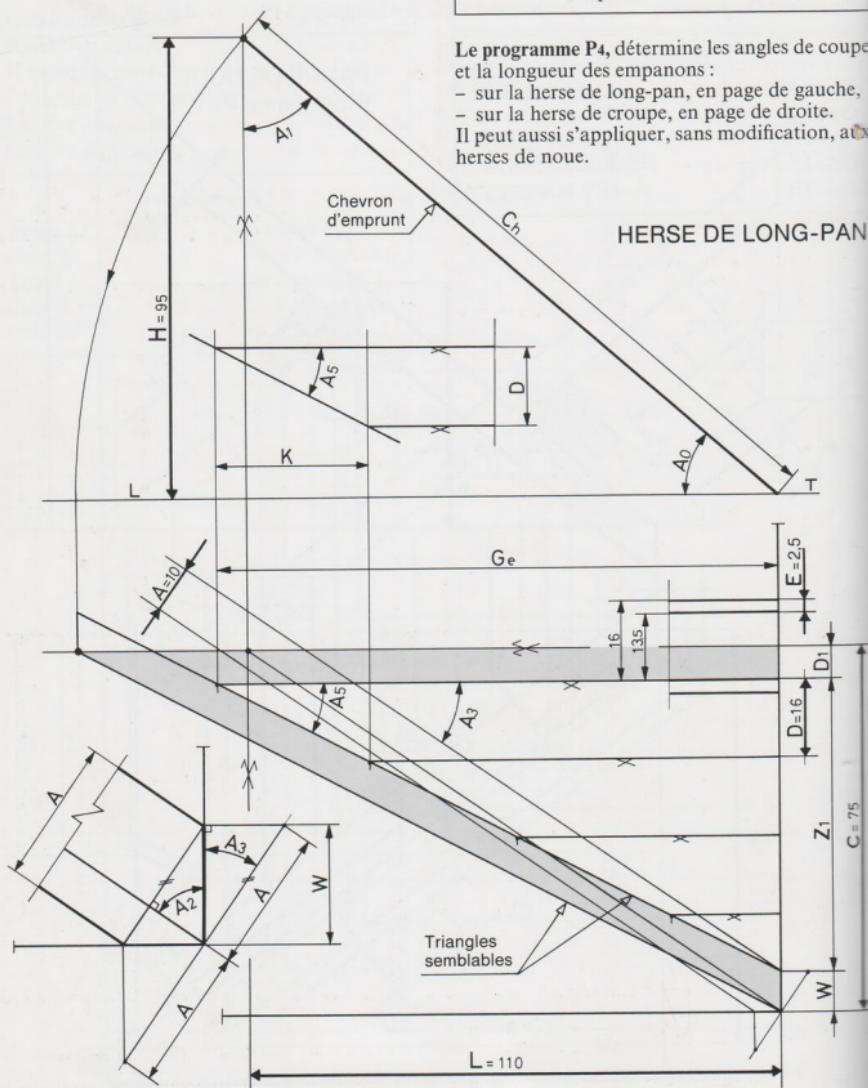


## Données

Reculée de long-pan	$L = 110$
Reculée de croupe	$C = 75$
Hauteur du comble	$H = 95$
Epaisseur de l'arêteur	$A = 10$
Chevrons { Ecartement	$D = 16$
{ Epaisseur	$E = 2,5$

Le programme P4, détermine les angles de coupe et la longueur des empanons :

- sur la herse de long-pan, en page de gauche,
  - sur la herse de croupe, en page de droite.
- Il peut aussi s'appliquer, sans modification, aux herses de noue.



### Opérations

- Chevron d'emprunt  $Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
- Angle de niveau  $A_0 = \text{arc tg } H/L$
- Angle d'aplomb  $A_1 = \text{arc tg } L/H$
- Angle de herse  $A_5 = \text{arc tg } C/Ch$
- Angle de dévers  $A_3 = \text{arc tg } C/L$
- Cote W  $W = A \times \cos A_3$
- Cote D<sub>1</sub>  $D_1 = \frac{D - E}{2}$
- Cote Z<sub>1</sub>  $Z_1 = C - W - D_1$
- Grand empanon  $Ge = \frac{Ch}{C} \times Z_1$
- Cote K (constante)  $K = \frac{Ch}{C} \times D$

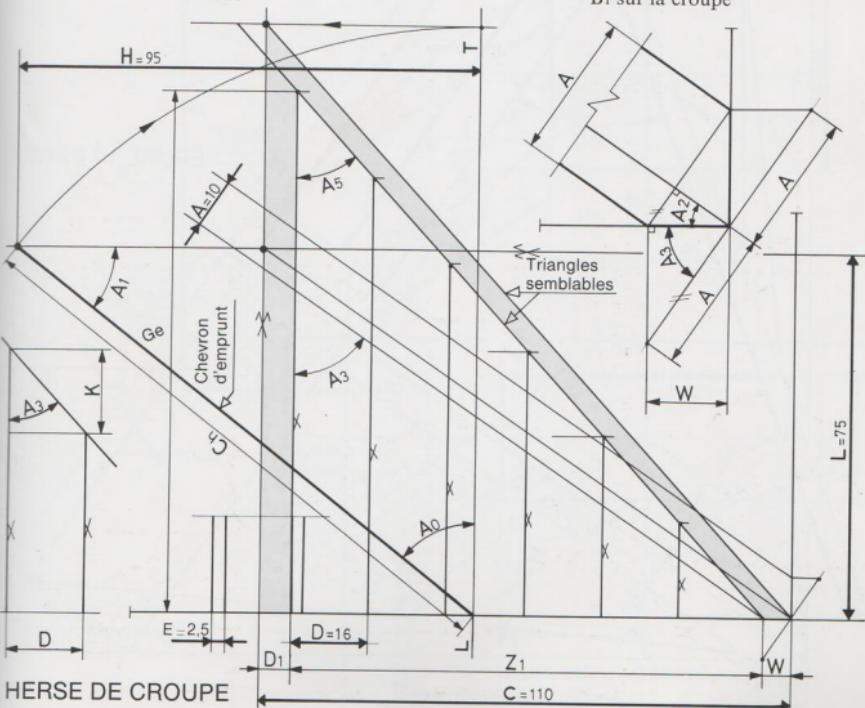
### Résultats

	<i>En long-pan</i>	<i>En croupe</i>
• Chevron d'emprunt	Ch = 145,34	121,03
• Angle de niveau	A <sub>0</sub> = 40° 48'	51° 42'
• Angle d'aplomb	A <sub>1</sub> = 49° 11'	38° 17'
• Angle de herse	A <sub>5</sub> = 27° 17'	42° 15'
• Angle de dévers	A <sub>3</sub> = 34° 17'	55° 42'
• Grand empanon	Ge = 116,25	107,41
	85,24	89,80
	54,23	72,20
	23,23	54,59
		36,98
		19,38

La cote K, doit être programmée sous forme de valeur constante, pour obtenir les longueurs des empanons à la suite les unes des autres.

Pour la herse de croupe, il faut inverser les données L et C qui deviennent :

$$\begin{aligned} L &= 75 \\ C &= 110 \end{aligned}$$



L'angle de dévers A<sub>3</sub> programmé ici, correspond à l'angle formé par l'empanon et l'arriéter en plan. Il nécessite la position à plat des empanons pour le taillage.

Pour tailler les empanons à chant, il faut utiliser comme angle de dévers, l'angle du rectiligne du dièdre correspondant, soit :

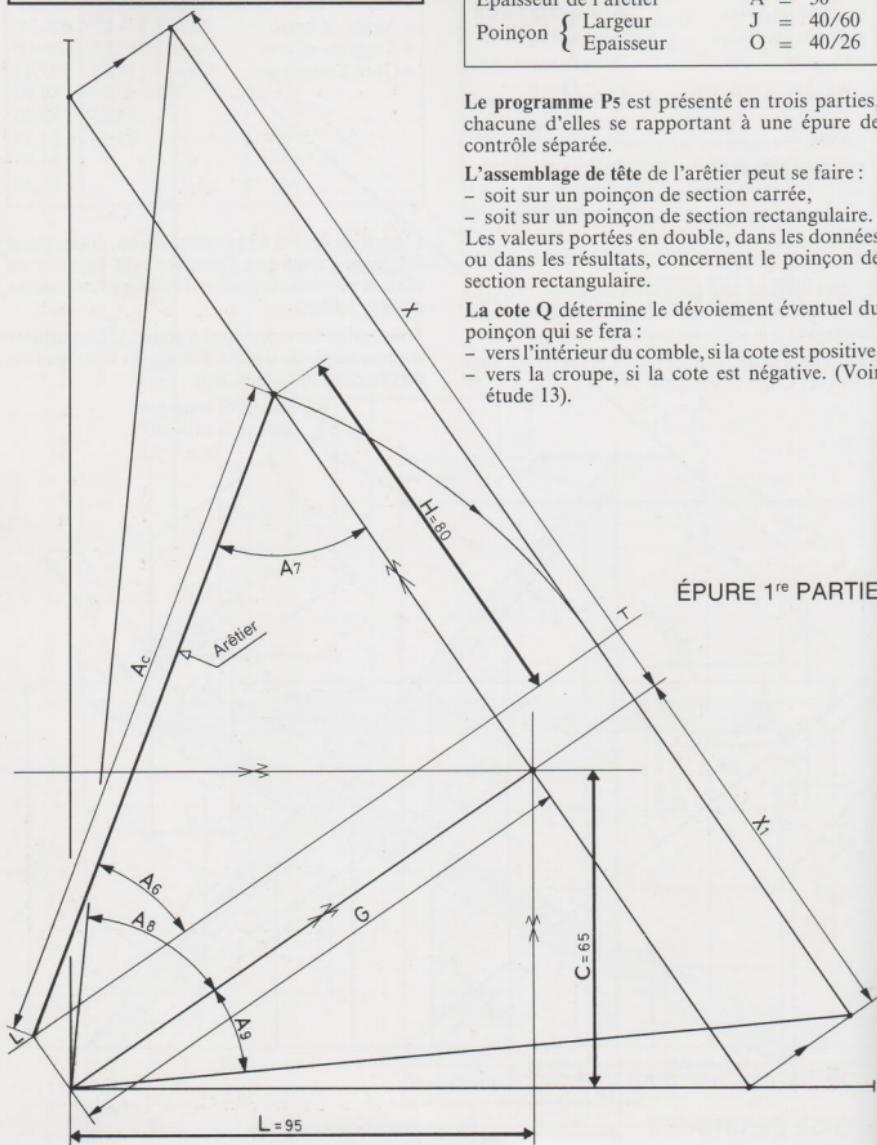
Bo sur le long-pan  
Bi sur la croupe

L=75

W

## Données

Reculée de long-pan	L = 95
Reculée de croupe	C = 65
Hauteur du comble	H = 80
Epaisseur de l'arêtier	A = 30
Poinçon { Largeur Epaisseur	J = 40/60 O = 40/26



**Opérations**

Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
• Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
• Angle de niveau	$A_6 = \arctan H/G$
• Angle d'aplomb	$A_7 = \arctan G/H$
Cote X	$X = G \times L/C$
• Angle sur chant brut	$A_8 = \arctan X/Ac$
Cote X <sub>1</sub>	$X_1 = G \times C/L$
• Angle sur chant brut	$A_9 = \arctan X_1/Ac$

**Résultats**

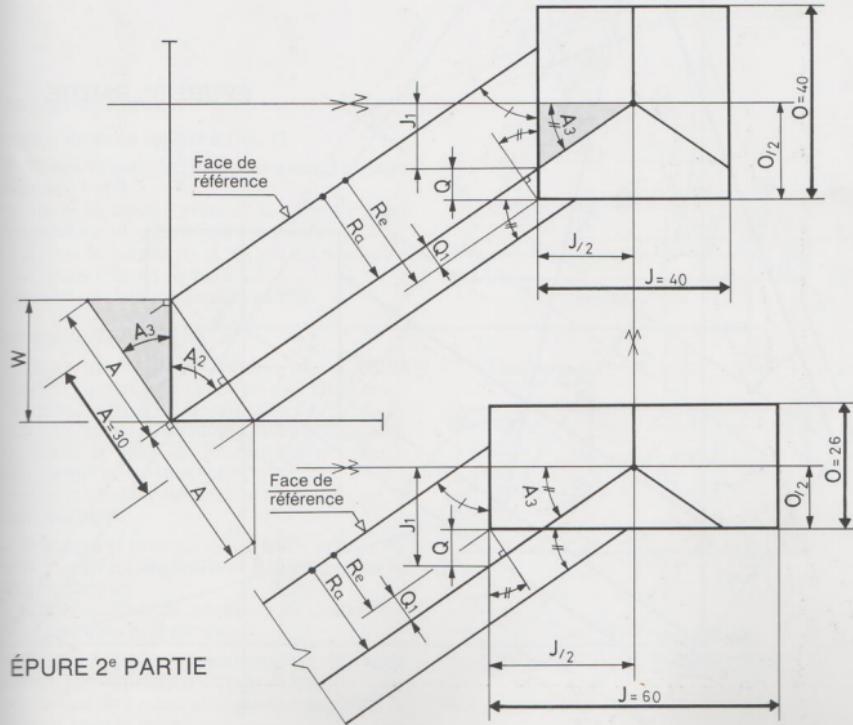
- Arête au couronnement  $Ac = 140,17$
- Angle de niveau  $A_6 = 34^\circ 47'$
- Angle d'aplomb  $A_7 = 55^\circ 12'$
- Angles sur chant brut  $\begin{cases} A_8 = 50^\circ 11' \\ A_9 = 29^\circ 19' \end{cases}$

**Opérations**

• Angle de dévers	$A_2 = \arctan L/C$
• Angle de dévers	$A_3 = \arctan C/L$
Cote W	$W = A \times \cos A_3$
• Repère d'arête	$Ra = W \times \cos A_2$
Cote J <sub>1</sub>	$J_1 = J/2 \times C/L$
• Cote Q (dévoilement poinçon)	$Q = O/2 - J_1$
Cote Q <sub>1</sub>	$Q_1 = Q \times \cos A_2$
• Repère d'engueulement	$Re = Ra + Q_1$

**Résultats**

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| • Angles de dévers      | $\begin{cases} A_2 = 55^\circ 37' \\ A_3 = 34^\circ 22' \end{cases}$ |
| • Repère d'arête        | $Ra = 20,43$   |
| • Cote Q                | $Q = 6,31/-7,52$   |
| • Repère d'engueulement | $Re = 25,64/14,22$   |

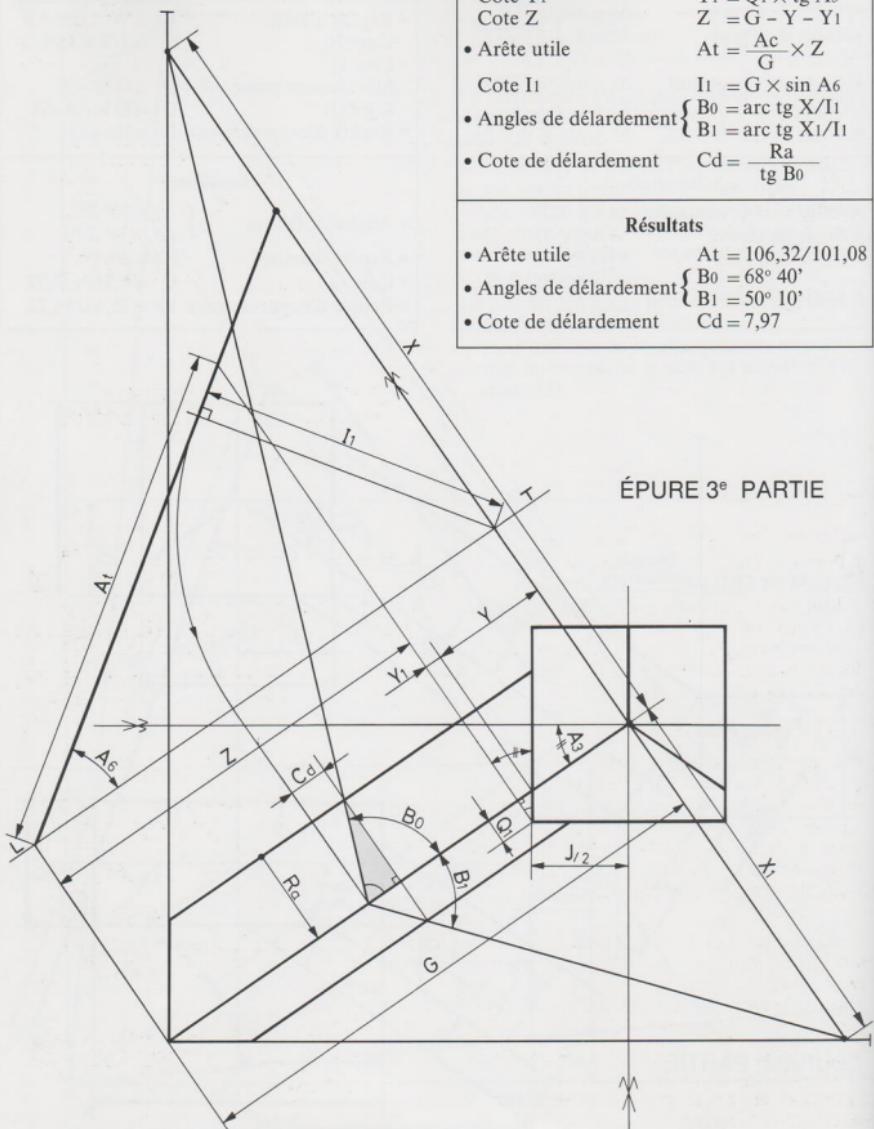


## Opérations

- Cote Y 
$$Y = \frac{J}{2 \cos A_3}$$
- Cote Y<sub>1</sub> 
$$Y_1 = Q_1 \times \operatorname{tg} A_3$$
- Cote Z 
$$Z = G - Y - Y_1$$
- Arête utile 
$$At = \frac{Ac}{G} \times Z$$
  - Cote II 
$$I_1 = G \times \sin A_3$$
  - Angles de délardement 
$$\begin{cases} B_0 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} X/I_1 \\ B_1 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} X_1/I_1 \end{cases}$$
  - Cote de délardement 
$$Cd = \frac{Ra}{\operatorname{tg} B_0}$$

## Résultats

- Arête utile 
$$At = 106,32/101,08$$
- Angles de délardement 
$$\begin{cases} B_0 = 68^\circ 40' \\ B_1 = 50^\circ 10' \end{cases}$$
- Cote de délardement 
$$Cd = 7,97$$

ÉPURE 3<sup>e</sup> PARTIE

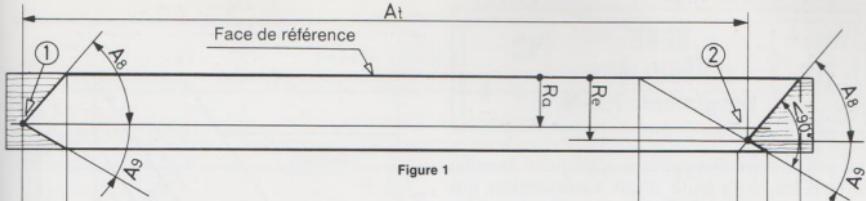


Figure 1

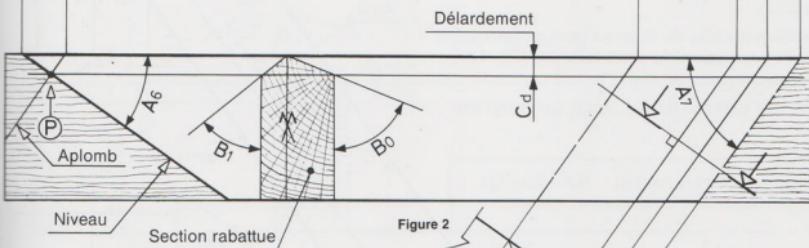


Figure 2

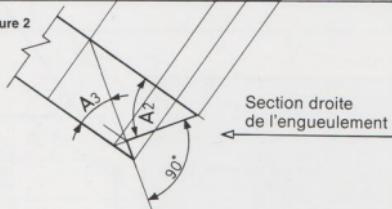


Figure 3

## Traçage de l'arêtier

### Traçage du chant supérieur (fig. 1)

- 1°) Porter la cote At, longueur comprise entre les points 1 et 2.
- 2°) Situer la ligne d'arête et la ligne du fond d'engueulement à l'aide des cotes Ra et Re.
- 3°) Tracer les angles A8 et A9, qui déterminent :
  - les lignes d'égout au pied,
  - les côtés de l'engueulement en tête.

### Traçage des faces (fig. 2)

- 1°) A partir du tracé effectué sur le chant supérieur, porter sur chaque face de l'arêtier :
  - au pied, la ligne de niveau, avec l'angle A6,
  - en tête, les lignes d'aplomb, avec l'angle A7.
- 2°) Tracer la ligne de délardement de chaque côté, au moyen de la cote Cd.

Ensuite, les traits peuvent être rembarrés sur le chant inférieur.

**Le délardement** peut aussi être tracé à partir du point P, puis les angles B0 et B1 obtenus sur la section rabattue.

Ce procédé permet de supprimer les quatre dernières lignes du programme.

Les figures 3 et 4, montrent le traçage de tête de l'arêtier sur un poinçon rectangulaire.

La position de l'engueulement change, mais la méthode reste la même.

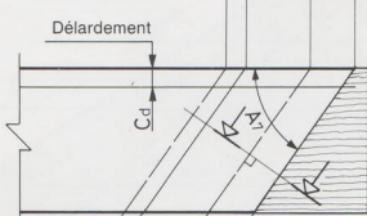
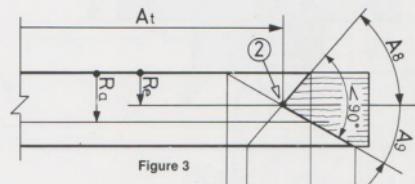


Figure 3



Figure 4

Le programme P5 peut être appliqué à la noue irrégulière, à la suite d'une modification qui concerne le calcul de la cote Re. (Repère d'engueulement).

L'assemblage de tête de la noue peut se faire :

- soit à l'intersection de deux faîtages (fig. 1),
- soit dans un poinçon (fig. 2).

Dans un cas comme dans l'autre, on programmera :

$$\bullet \text{ Repère d'engueulement } R_e = R_a - Q_1$$

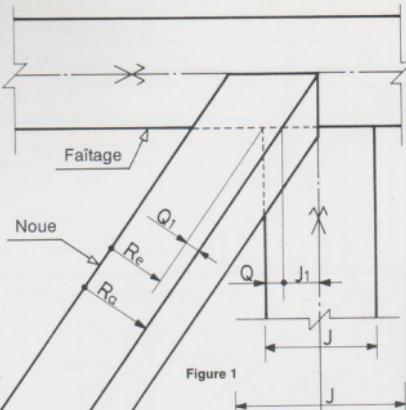
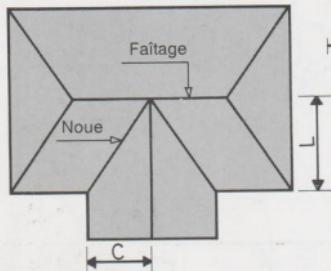


Figure 1

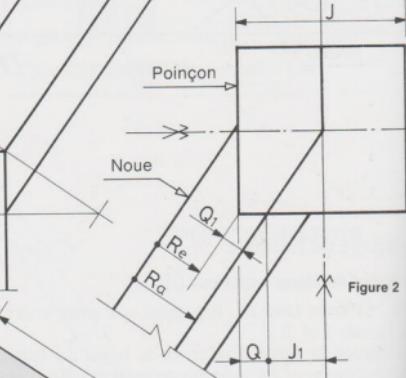
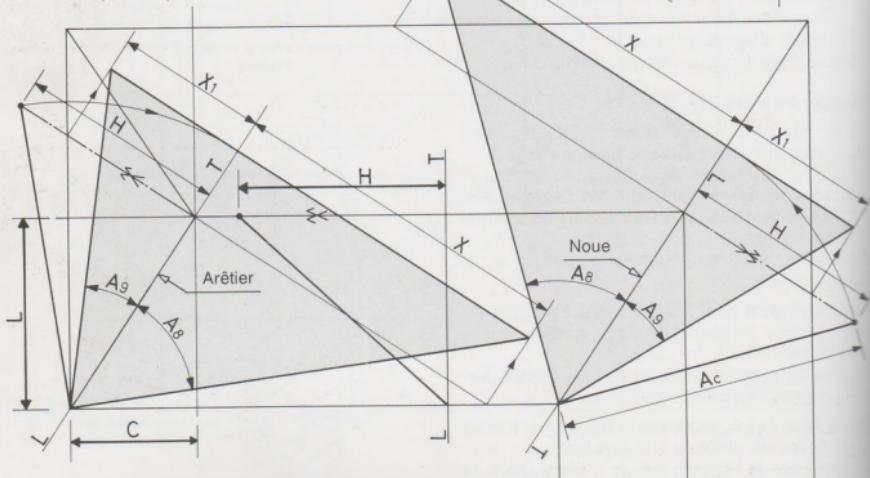


Figure 2



ÉPURE DES ANGLES A8 et A9

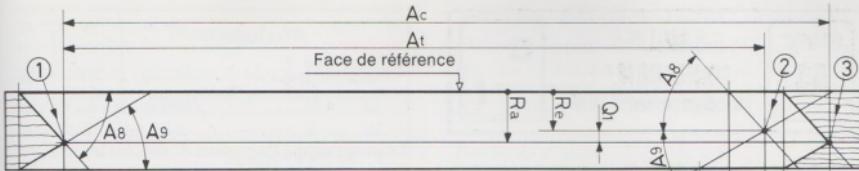


Figure 1

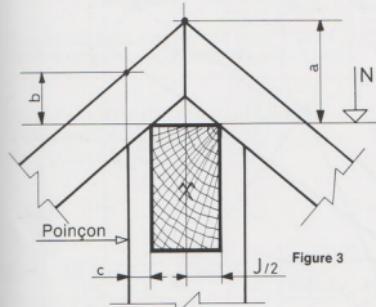
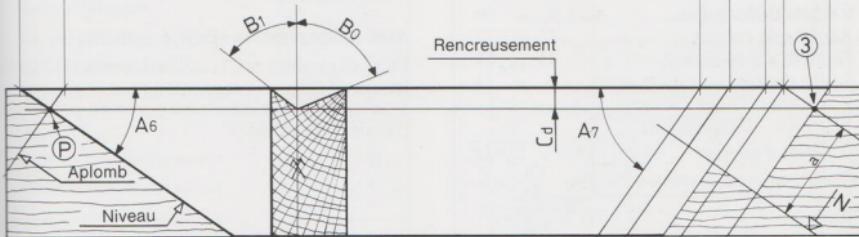
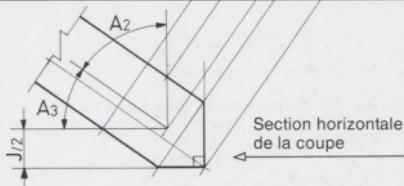


Figure 3



## Traçage de la noue

Le principe du traçage de la noue est semblable à celui de l'arêtier des pages précédentes.

### Coupe de tête

Le niveau N, situé suivant le dessus du faîtement, est déterminé par l'épure de la ferme (fig. 3).

### Assemblage sur faîtement (fig. 1)

Le niveau N est situé sur la face de la noue, par report de la cote (a), à partir du point 3.

### Assemblage sur poinçon (fig. 2)

Le niveau N est situé sur la face de la noue, par report de la cote (b), à partir du point 2.

**Les déjoutements** contre les faîtements, qui affectent la partie basse de l'enguelement, sont obtenus par la cote (c), portée horizontalement sur les joues de la coupe.

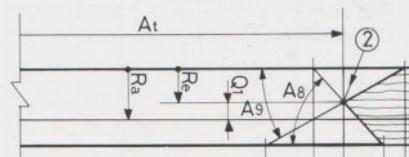
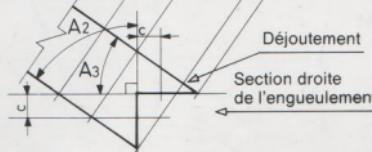
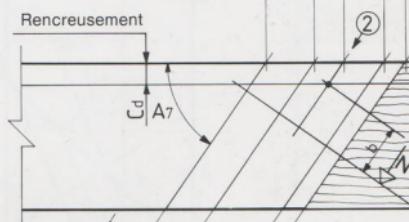


Figure 2



Déjoutement

Section droite de l'enguelement

**Résultats**

	<i>En long-pan</i>	<i>En croupe</i>
Sc =	29,41	
Sa =	45,97	33,01

Le programme P6 permet d'obtenir les saillies de toit suivant le rampant :

- sur le chevron, en long-pan et en croupe,
- sur l'arêtier.

**Avec saillie régulière (Page de gauche)**

Dans ce premier cas, la saillie de niveau (S) est la même en long-pan et en croupe.

L'arêtier en plan est situé à partir du point P, à l'angle de la saillie.

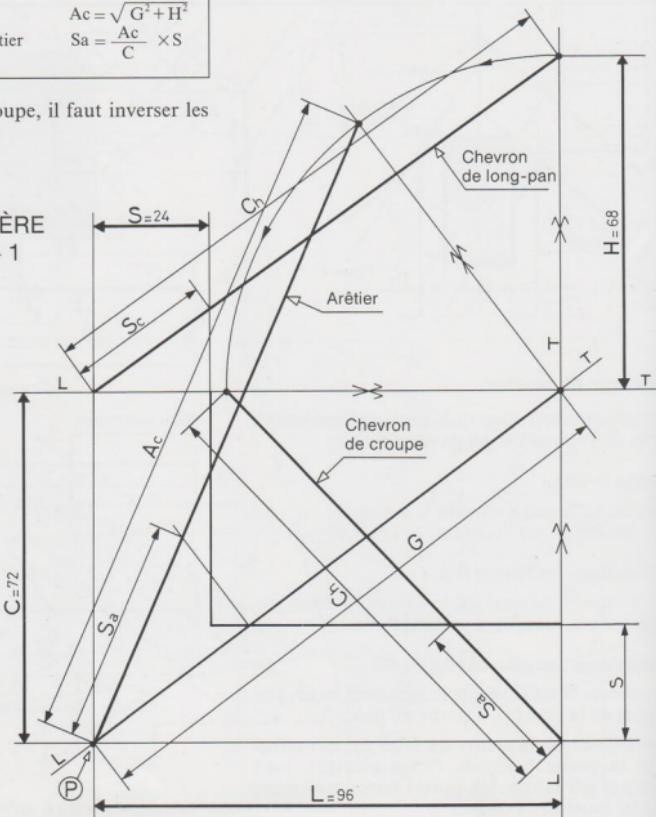
**Données**

Reculée de long-pan	L = 96
Reculée de croupe	C = 72
Hauteur du comble	H = 68
Saillie de toit	S = 24

**Opérations**

Chevron d'emprunt	$Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
• Saillie rampante du chevron	$Sc = \frac{Ch}{L} \times S$
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
• Saillie rampante de l'arêtier	$Sa = \frac{Ac}{C} \times S$

Pour le chevron de croupe, il faut inverser les données L et C.

**SAILLIE RÉGULIÈRE**  
**Programme P6 - 1**


### Données

Cotes au nu des murs	$\left\{ \begin{array}{l} M = 72 \\ N = 48 \end{array} \right.$
Hauteur du comble	H = 68
Saillie de long-pan	S = 24

### Opérations

Reculée de long-pan	$L = M + S$
Saillie de croupe	$T = \frac{N}{M} \times S$
Reculée de croupe	$C = N + T$
Chevron d'emprunt	$Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
• Saillie rampante du chevron	$Sc = \frac{Ch}{L} \times S$
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
• Saillie rampante de l'arêtier	$Sa = \frac{Ac}{L} \times S$

### Résultats

	En long-pan	En croupe
• Saillie rampante du chevron	Sc = 29,41	23,34
• Saillie rampante de l'arêtier	Sa = 33,48	

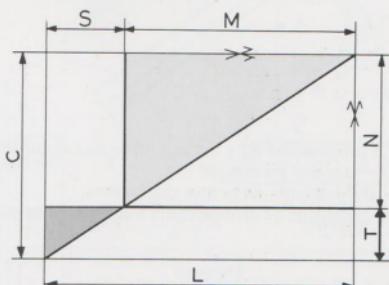
Pour le chevron de croupe, il faut :

- inverser les données M et N,
- remplacer S par T.

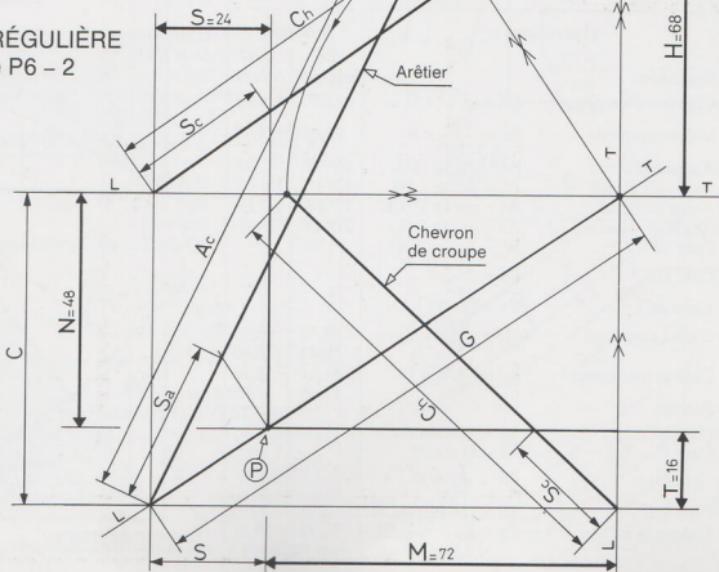
### Avec saillie irrégulière (page de droite)

Dans ce deuxième cas, la saillie (T) de la croupe est différente de celle du long-pan.  
L'arêtier en plan passe par le point P à l'angle des sablières.

$$\text{Saillie de croupe } T = \frac{N}{M} \times S$$



### SAILLIE IRRÉGULIÈRE Programme P6 - 2



Le programme P7 - 1 s'applique aux combles à croupes qui présentent :

- des versants de pentes différentes,
- une saillie de croupe égale à celle du long-pan.

**Données**

Reculée de long-pan	L = 84
Reculée de croupe	C = 64
Hauteur du comble	H = 90
Chévrone	D = 15
Epaisseur	E = 3
Largeur	F = 5
Saillie de toit	S = 14
Position de la panne	P = 47
Epaisseur des arêtiers	A = 8
Côté du poinçon	J = 10

**Opérations**

*Empanons*

- Chevron d'emprunt  $Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
- Saillie rampante  $Sc = \frac{Ch}{L} \times S$

- Angle de niveau  $A_0 = \text{arc tg } H/L$
- Angle d'aplomb  $A_1 = \text{arc tg } L/H$
- Angle de herse  $A_5 = \text{arc tg } Ch/Ch$
- Angle de dévers  $A_3 = \text{arc tg } C/L$

Cote W  $W = A \times \cos A_3$

Cote D<sub>1</sub>  $D_1 = \frac{D - E}{2}$

Cote Z<sub>1</sub>  $Z_1 = C - W - D_1$

- Grand empanon  $Ge = \frac{Ch}{C} \times Z_1$

Cote K (constante)  $K = \frac{Ch}{C} \times D$

*Pannes*

Cote U  $U = F \times \sin A_0$

Cote U<sub>1</sub>  $U_1 = U \times C/L$

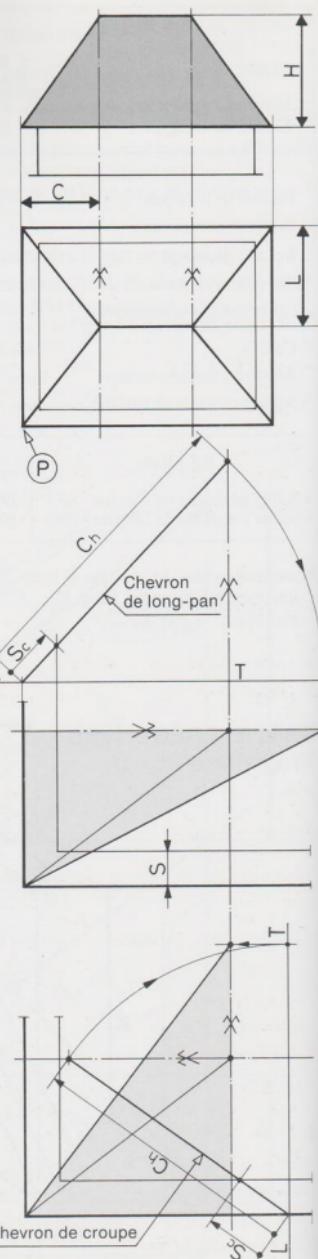
Cote G<sub>1</sub>  $G_1 = \frac{L}{H} \times P$

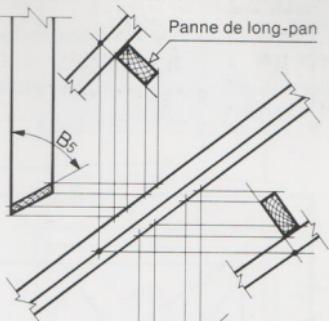
Cote K<sub>1</sub>  $K_1 = (L - G_1) \times C/L$

- Longueur à l'axe  $L_p = K_1 - W - U_1$

**Résultats**

En long-pan	En croupe
123,10	110,43
20,51	24,15
46° 58'	54° 34'
43° 1'	35° 25'
27° 28'	37° 15'
37° 18'	52° 41'
99,32	96,17
70,47	76,45
41,61	56,73
12,76	37,01
	17,29
21,42	29,93

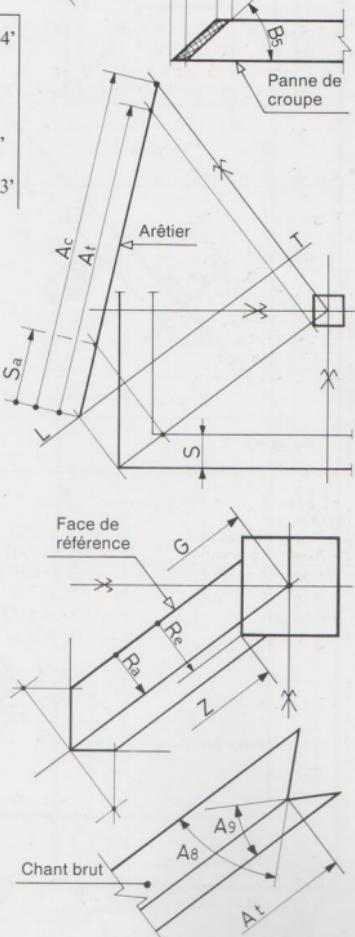




• Angle sur chant	$A_4 = \arctan \frac{Ch}{C}$	62° 31'	52° 44'
Cote I	$I = H \times \sin A_1$		
Cote V	$V = H \times \cos A_1$		
Cote V <sub>1</sub>	$V_1 = V \times \sin A_1$		
Cote R	$R = V_1 \times C/L$		
• Angle sur plat	$B_5 = \arctan \frac{I/R}{R}$	60° 52'	43° 4'
Cote R <sub>1</sub>	$R_1 = R \times \sin B_5$		
• Angle de dévers	$B_6 = \arctan \frac{V/R_1}{R_1}$	65° 34'	62° 33'

#### Arétier

• Angle de dévers	$A_2 = \arctan \frac{L/C}{C}$	<b>Résultats</b>
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$	52° 41'
• Arête au couronnement	$A_c = \sqrt{G^2 + H^2}$	138,75
• Saillie rampante	$S_a = \frac{A_c}{C} \times S$	30,35
• Angle de niveau	$A_6 = \arctan \frac{H/G}{G}$	40° 26'
• Angle d'aplomb	$A_7 = \arctan \frac{G/H}{X}$	49° 33'
Cote X	$X = G \times L/C$	
• Angle sur chant brut	$A_8 = \arctan \frac{X/A_c}{X_1}$	44° 58'
Cote X <sub>1</sub>	$X_1 = G \times C/L$	
• Angle sur chant brut	$A_9 = \arctan \frac{X_1/A_c}{A_c}$	30° 6'
• Repère d'arête	$R_a = W \times \cos A_3$	5,06
Cote J <sub>1</sub>	$J_1 = J/2 \times C/L$	
Cote Q	$Q = J/2 - J_1$	
Cote Q <sub>1</sub>	$Q_1 = Q \times \cos A_3$	
• Repère d'engueulement	$R_e = R_a + Q_1$	6,00
Cote Y	$Y = \frac{J}{2 \cos A_3}$	
Cote Y <sub>1</sub>	$Y_1 = Q_1 \times \tan A_3$	
Cote Z	$Z = G - Y - Y_1$	
• Arête utile	$A_t = \frac{A_c}{G} \times Z$	129,54
Cote I <sub>1</sub>	$I_1 = G \times \sin A_6$	
• Angle de délardement	$B_0 = \arctan \frac{X/I_1}{I_1}$	63° 42'
• Angle de délardement	$B_1 = \arctan \frac{X_1/I_1}{I_1}$	49° 35'
• Cote de délardement	$C_d = \frac{R_a}{\tan B_0}$	2,50



Pour obtenir les résultats en croupe, il faut inverser les données L et C.

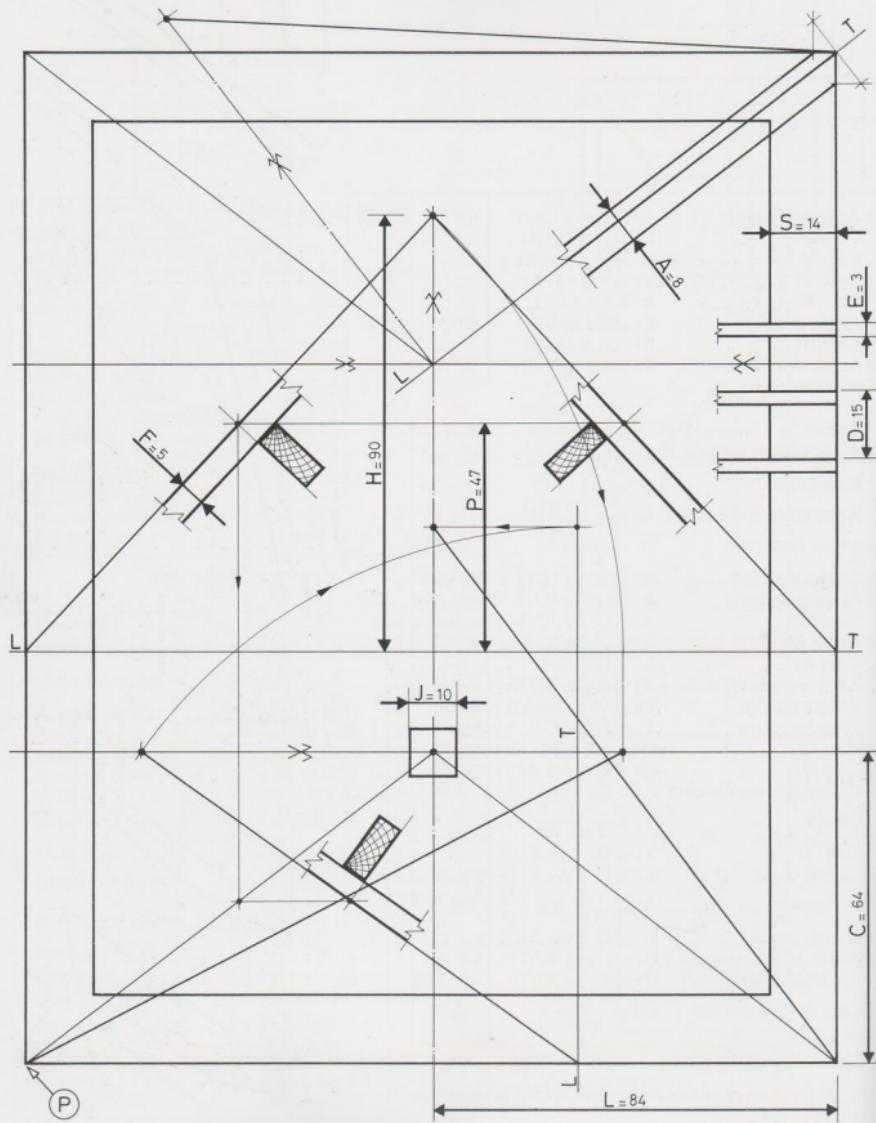
## Comble avec saillie régulière

La saillie de toit (S) est la même en croupe et en long-pan.

Les arêtiers en plan sont situés à partir du point P, à l'angle de la saillie.

Cette conception s'applique en particulier aux charpentes avec saillie en caisson.

*Remarque :* si la charpente ne comporte pas de saillie, le programme reste valable, avec une donnée :  $S = 0$ .





Le programme P7-2 s'applique aux combles à croupes qui présentent :

- des versants de pentes différentes,
- une saillie de croupe (T) inégale à celle du long-pan.

**Données**

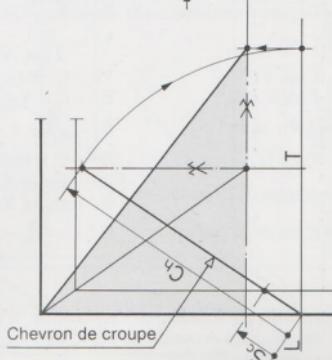
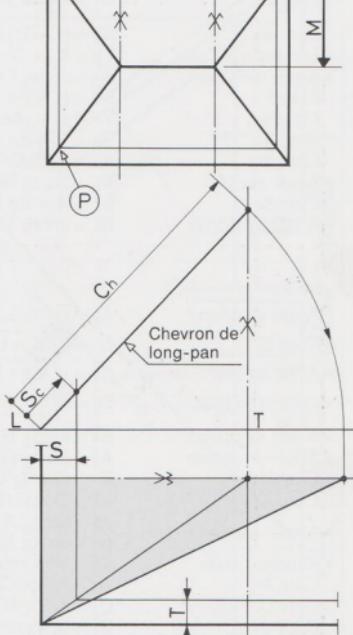
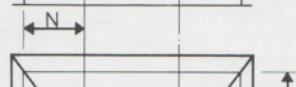
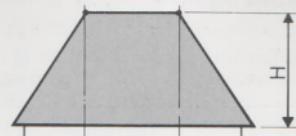
Cotes au nu des murs	$\begin{cases} M = 70 \\ N = 50 \end{cases}$
Hauteur du comble	H = 90
Ecartement	D = 15
Chévrone	E = 3
Epaisseur	F = 5
Largueur	S = 14
Saillie de long-pan	P = 47
Position de la panne	A = 8
Epaisseur de l'arêteier	J = 10
Côté du poinçon	

**Opérations**

$$\begin{aligned} \text{Reculée de long-pan} \quad L &= M + S \\ * \text{Saillie de croupe} \quad T &= \frac{N}{M} \times S \\ \text{Reculée de croupe} \quad C &= N + T \end{aligned} \quad 10$$

**Résultats**

	En long-pan	En croupe
* Chevrons d'emprunt	$Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$	123,10
* Saillie rampante	$Sc = \frac{Ch}{L} \times S$	20,51
* Angle de niveau	$A_0 = \text{arc tg } H/L$	46° 58'
* Angle d'aplomb	$A_1 = \text{arc tg } L/H$	43° 1'
* Angle de herse	$A_5 = \text{arc tg } C/Ch$	25° 58'
* Angle de dévers	$A_3 = \text{arc tg } C/L$	35° 32'
Cote W	$W = A \times \cos A_3$	54° 27'
Cote D1	$D_1 = \frac{D - E}{2}$	
Cote Z1	$Z_1 = C - W - D_1$	
* Grand empanon	$Ge = \frac{Ch}{C} \times Z_1$	97,44
Cote K (constante)	$K = \frac{Ch}{C} \times D$	94,45 66,66 35,88 5,10 17,19



### Opérations

#### Pannes

Cote U

$$U = F \times \sin A_0$$

Cote U<sub>1</sub>

$$U_1 = U \times C/L$$

Cote G<sub>1</sub>

$$G_1 = \frac{L}{H} \times P$$

Cote K<sub>1</sub>

$$K_1 = (L - G_1) \times C/L$$

- Longueur à l'axe

$$L_p = K_1 - W - U_1$$

- Angle sur chant

$$A_4 = \text{arc tg } Ch/C$$

Cote I

$$I = H \times \sin A_1$$

Cote V

$$V = H \times \cos A_1$$

Cote V<sub>1</sub>

$$V_1 = V \times \sin A_1$$

Cote R

$$R = V_1 \times C/L$$

- Angle sur plat

$$B_5 = \text{arc tg } I/R$$

Cote R<sub>1</sub>

$$R_1 = R \times \sin B_5$$

- Angle de dévers

$$B_6 = \text{arc tg } V/R_1$$

### Résultats

En long-pan

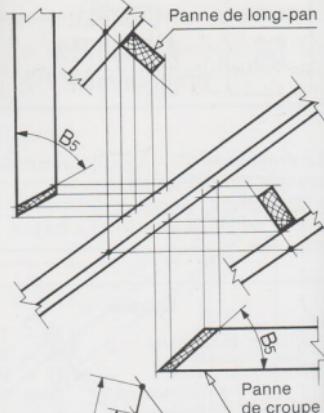
En croupe

19,54 29,65

64° 1' 52° 10'

62° 25' 40° 38'

66° 38' 63° 10'



### Arêtier

- Angle de dévers

$$A_2 = \text{arc tg } L/C$$

Cote G

$$G = \sqrt{L^2 + C^2}$$

- Arête au couronnement

$$A_c = \sqrt{G^2 + H^2}$$

- Saillie rampante

$$S_a = \frac{A_c}{L} \times S$$

- Angle de niveau

$$A_6 = \text{arc tg } H/G$$

- Angle d'aplomb

$$A_7 = \text{arc tg } G/H$$

Cote X

$$X = G \times L/C$$

Cote X<sub>1</sub>

$$X_1 = G \times C/L$$

- Angles sur chant brut

$$\left\{ \begin{array}{l} A_8 = \text{arc tg } X/A_c \\ A_9 = \text{arc tg } X_1/A_c \end{array} \right.$$

- Repère d'arête

$$R_a = W \times \cos A_3$$

Cote J<sub>1</sub>

$$J_1 = J/2 \times C/L$$

Cote Q

$$Q = J/2 - J_1$$

Cote Q<sub>1</sub>

$$Q_1 = Q \times \cos A_3$$

- Repère d'enguelement

$$R_e = R_a + Q_1$$

Cote Y

$$Y = \frac{J}{2 \cos A_3}$$

Cote Y<sub>1</sub>

$$Y_1 = Q_1 \times \tan A_3$$

Cote Z

$$Z = G - Y - Y_1$$

- Arête utile

$$A_t = \frac{A_c}{G} \times Z$$

Cote I<sub>1</sub>

$$I_1 = G \times \sin A_6$$

- Angles de délardement

$$\left\{ \begin{array}{l} B_0 = \text{arc tg } X/I_1 \\ B_1 = \text{arc tg } X_1/I_1 \end{array} \right.$$

- Cote de délardement

$$C_d = \frac{R_a}{\tan B_0}$$

### Résultats

54° 27'

136,95

22,82

41° 5'

48° 54'

46° 32'

28° 17'

5,29

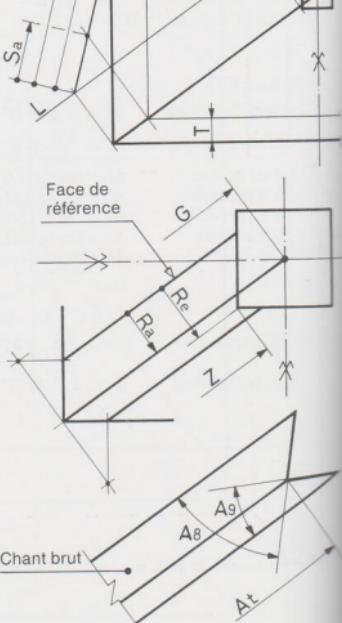
6,45

127,69

64° 51'

47° 23'

2,48



Pour obtenir les résultats en croupe, il faut :

- inverser les données M et N,
- remplacer S par T.

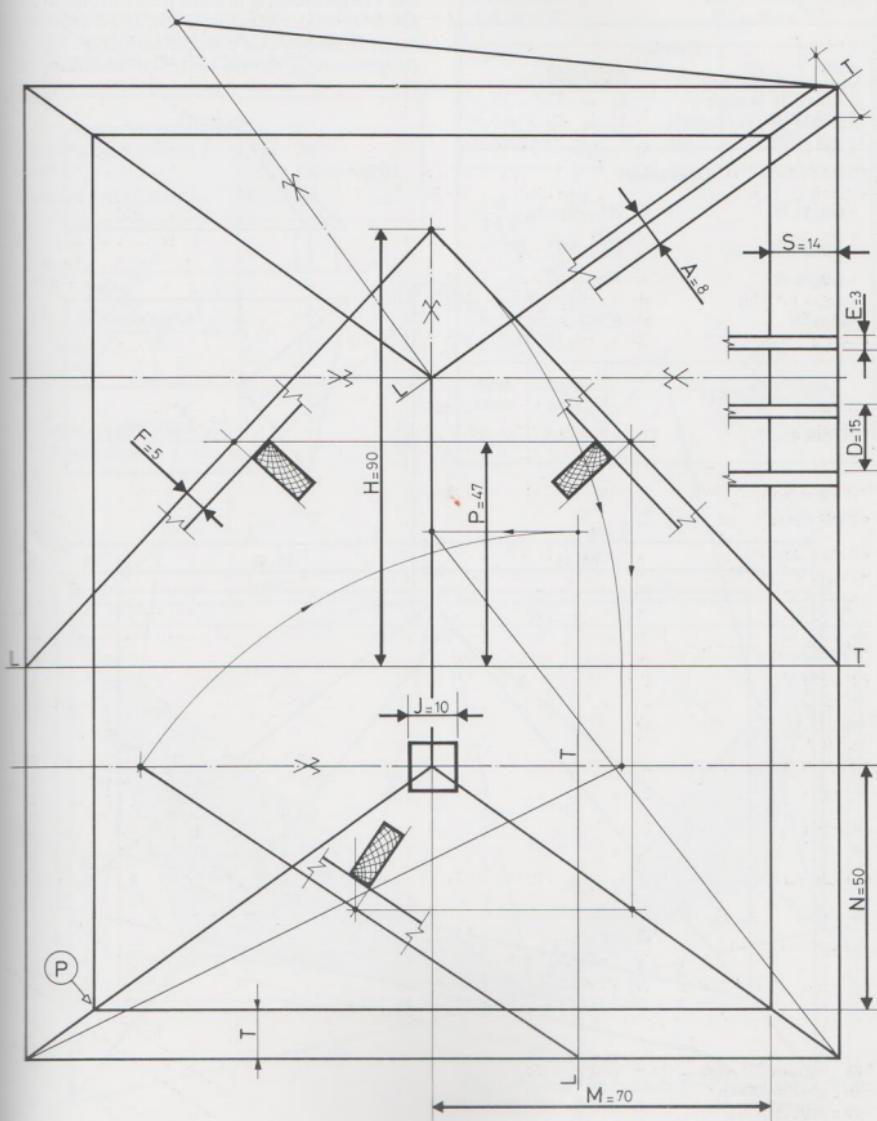
## Comble avec saillie irrégulière

La saillie ( $T$ ) de la croupe, définie par la position des arêtiers, est différente de celle du long-pan.

Les arêtiers en plan, passent par le point  $P$ , à l'angle de la sablière.

Cette conception est préférable lorsque les chevrons restent apparents en saillie.

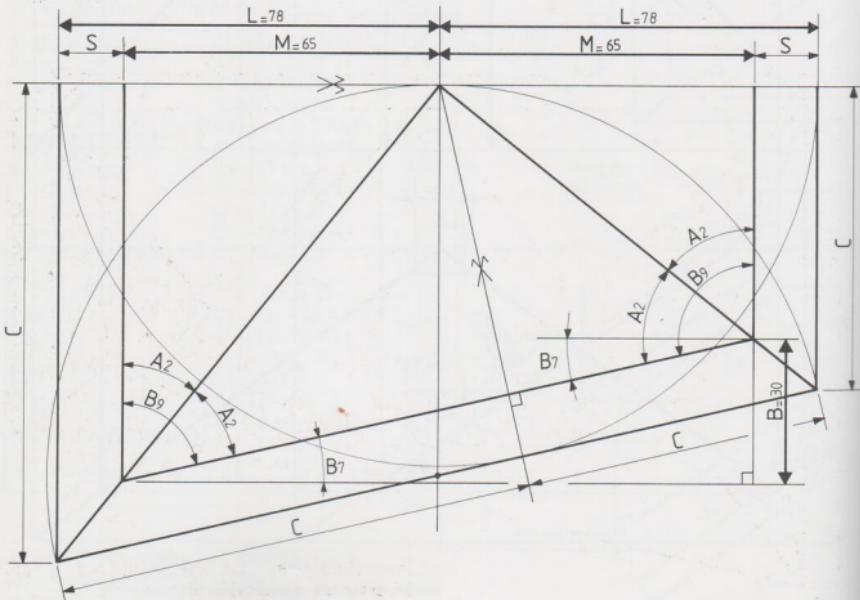
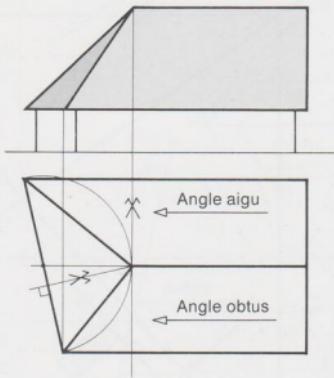
*Remarque : si la charpente ne comporte pas de saillie, le programme est encore valable, avec une donnée :  $S=0$ .*



Le programme préliminaire P0, s'applique à la croupe biaise régulière (versants de même pente). Il a pour but de déterminer la cote C, sur l'angle aigu, puis sur l'angle obtus. Ces valeurs seront ensuite prises comme données dans les programmes suivants.

Sur l'angle obtus, la donnée B est introduite sous forme de valeur négative (-30), afin d'obtenir un angle B7 négatif. Ce procédé permet d'utiliser le programme de chaque côté, sans modification.

Données	
Cote au nu du mur	M = 65
Biais de la croupe	B = 30/- -30
Reculée des versants	L = 78
Opérations	
Angle B7	$B7 = \text{arc tg } \frac{B}{2M}$
Angle B9	$B9 = 90^\circ - B7$
Angle A2	$A2 = \frac{B9}{2}$
• Cote C	$C = \frac{L}{\text{tg } A2}$
Résultats	
• Cote C	C = 98,05      Angle aigu      Angle obtus 62,05



## ÉTUDE

**58**
**RECTILIGNE  
DU DIÈDRE**  
**programme P1**
**C**  
**B**  
**R**

Le programme P1 détermine l'angle de corroyage de l'arétier. Il s'applique successivement :  
 - à l'angle aigu, puis à l'angle obtus.

**Données**

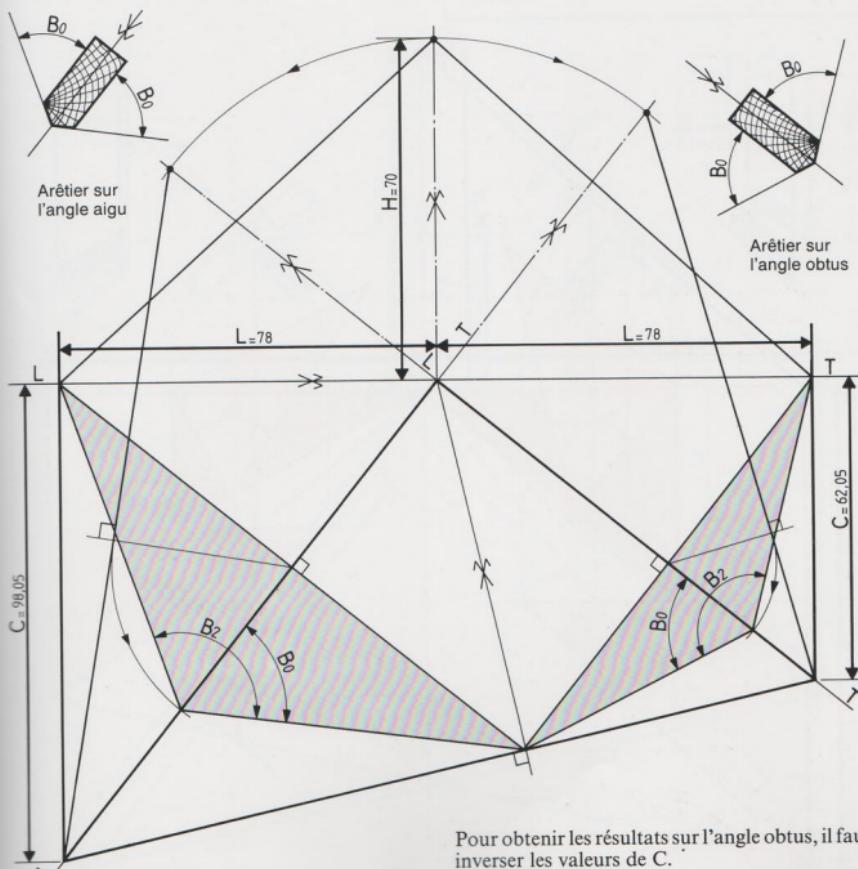
Reculée des versants      L = 78  
 Cote C                      C = 98,05/62,05  
 Hauteur du comble        H = 70

**Opérations**

$$\begin{aligned} G &= \sqrt{L^2 + C^2} \\ X &= G \times L/C \\ A_6 &= \text{arc tg } H/G \\ I_1 &= G \times \sin A_6 \\ B_0 &= \text{arc tg } X/I_1 \\ B_2 &= B_0 \times 2 \end{aligned}$$

**Résultats**

	Angle aigu	Angle obtus
• Angle B0	B0 = 58° 29'	65° 25'
• Angle B2	B2 = 116° 58'	130° 51'



Pour obtenir les résultats sur l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de C.

ÉTUDE

**59**
**LA PANNE  
D'ARÊTIER**  
 program. P2 et P3

**C**  
**B**  
**R**
**Données**

Reculée de long-pan	$L = 78$
Cote C	$C = 98,05 / 62,05$
Hauteur du comble	$H = 70$

**Opérations**

Angle A1	$A_1 = \text{arc tg } L/H$
Cote I	$I = H \times \sin A_1$
Cote V	$V = H \times \cos A_1$
Cote V1	$V_1 = V \times \sin A_1$

Cote R

- Angle sur le chant
- Angle sur le plat
- Cote R1
- Angle de dévers

$$R = V_1 \times C/L$$

$$A_4 = \text{arc tg } V/R$$

$$B_5 = \text{arc tg } I/R$$

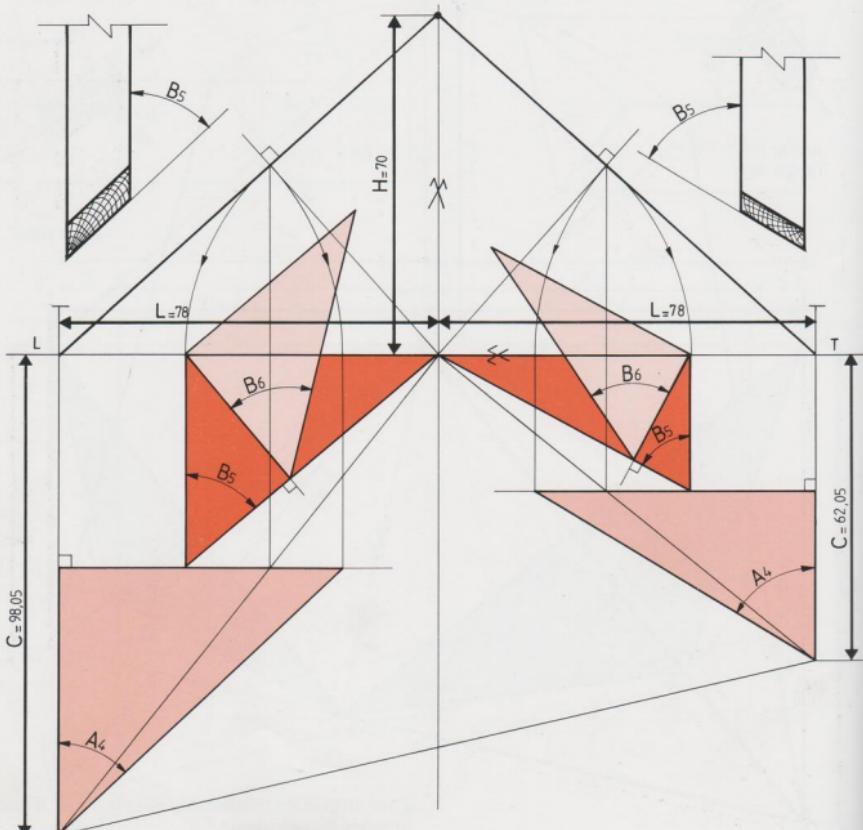
$$R_1 = R \times \sin B_5$$

$$B_6 = \text{arc tg } V_1/R_1$$

**Résultats**
*Angle  
aigu*
*Angle  
obtus*

• Angle sur le chant	$A_4 = 46^\circ 54'$	$59^\circ 22'$
• Angle sur le plat	$B_5 = 49^\circ 58'$	$62^\circ 1'$
• Angle de dévers	$B_6 = 54^\circ 22'$	$62^\circ 23'$

Pour obtenir les résultats sur l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de C.



### Données

Reculée des versants	$L = 78$
Cote C	$C = 98,05/62,05$
Hauteur du comble	$H = 70$
Epaisseur de l'arêteier	$A = 8$
Largeur du chevron	$F = 5$
Position de la panne	$P = 32$

### Opérations

Angle A <sub>3</sub>	$A_3 = \text{arc tg } C/L$
Cote W	$W = \frac{A}{2 \cos A_3}$
Angle A <sub>0</sub>	$A_0 = \text{arc tg } H/L$
Cote U	$U = F \times \sin A_0$
Cote U <sub>1</sub>	$U_1 = U \times C/L$

Cote G<sub>1</sub>

$$G_1 = \frac{L}{H} \times P$$

Cote K<sub>1</sub>

$$K_1 = (L - G_1) \times C/L$$

• Longueur à l'axe

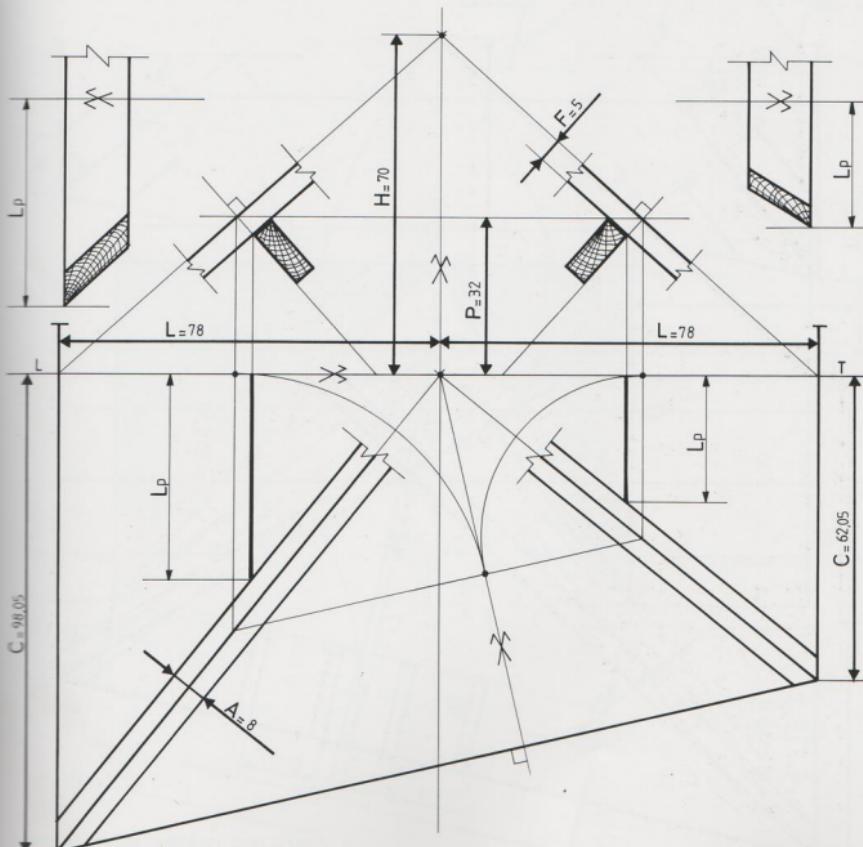
$$L_p = K_1 - W - U_1$$

### Résultats

• Longueur à l'axe       $L_p = 42,60$       Angle aigu      Angle obtus

25,91

Pour obtenir les résultats sur l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de C.



ÉTUDE  
60

LES HERSES  
programme P 4

C  
B  
R

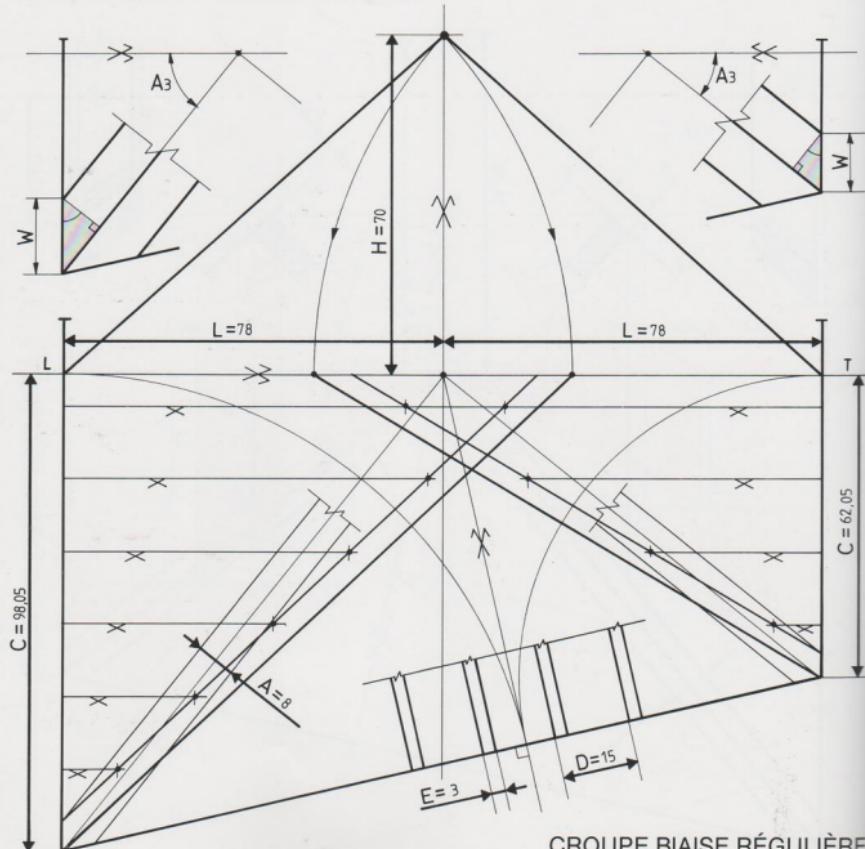
Le Programme P 4 est appliqué aux herses de la croupe biaise régulière.

Données

Reculée des versants	L = 78
Cote C	C = 98,05/62,05
Hauteur du comble	H = 70
Epaisseur des arêtiers	A = 8
Chevrons { Ecartement	D = 15
Epaisseur {	E = 3

Opérations

- Chevron d'emprunt
  - Angle de niveau
  - Angle d'aplomb
  - Angle de herse
  - Angle de dévers
- Cote W
- $$W = \frac{A}{2 \cos A_3}$$
- Cote D<sub>1</sub>
- $$D_1 = \frac{D - E}{2}$$
- Cote Z<sub>1</sub>
- $$Z_1 = C - W - D_1$$
- Grand empanon
- $$Ge = \frac{Ch}{C} \times Z_1$$
- Cote K (constante)
- $$K = \frac{Ch}{C} \times D$$



CRUPE BIAISE RÉGULIÈRE

Résultats		Angle aigu	Angle obtus
• Chevron d'emprunt	Ch =	104,80	104,80
• Angle de niveau	A0 =	41° 54'	41° 54'
• Angle d'aplomb	A1 =	48° 5'	48° 5'
• Angle de herse	A5 =	43° 5'	30° 37'
• Angle de dévers	A3 =	51° 29'	38° 30'
• Grand empanon	Ge =	91,52	86,03
		75,49	60,70
		59,45	35,36
		43,42	10,03
		27,39	
		11,35	

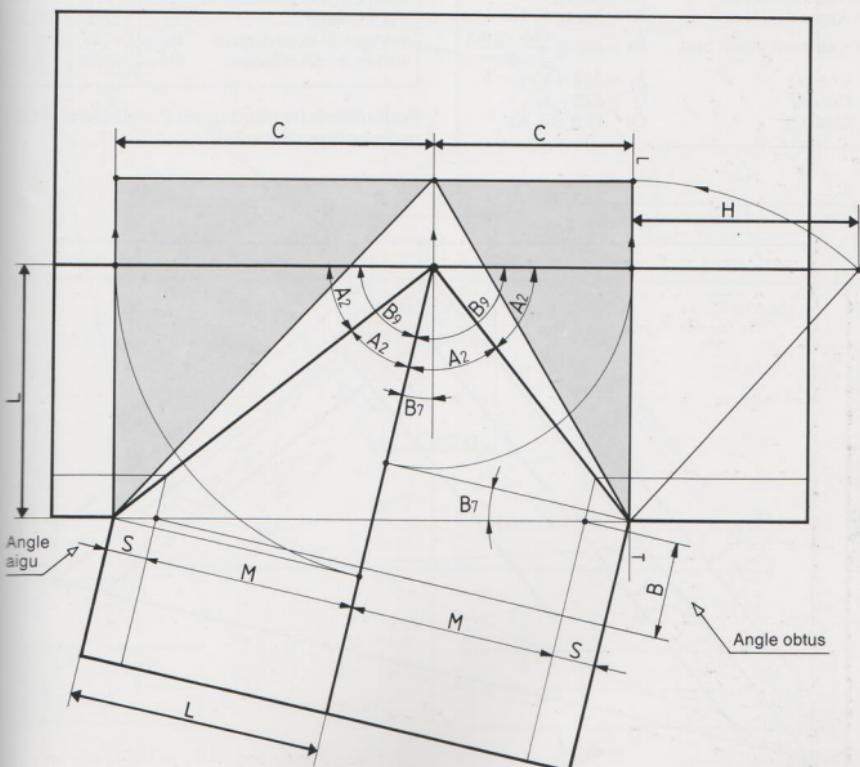
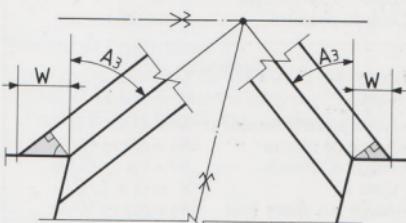
Pour obtenir les résultats sur l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de C.

### Application à la noue biaise

Le même programme peut être transposé, sans modification, aux herses des noues biaises, présentées ci-dessous.

Là encore, pour passer de l'angle aigu à l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de C.

Dans les deux cas, les versants sont de même pente. Une seule herse est donc à chercher, à chaque arêtier, ou à chaque noue.



## Données

Reculée des versants	$L = 78$
Cote C	$C = 98,05 / 62,05$
Hauteur du comble	$H = 70$
Epaisseur de l'arêteier	$A = 16$
Côté du poinçon	$J = 26$

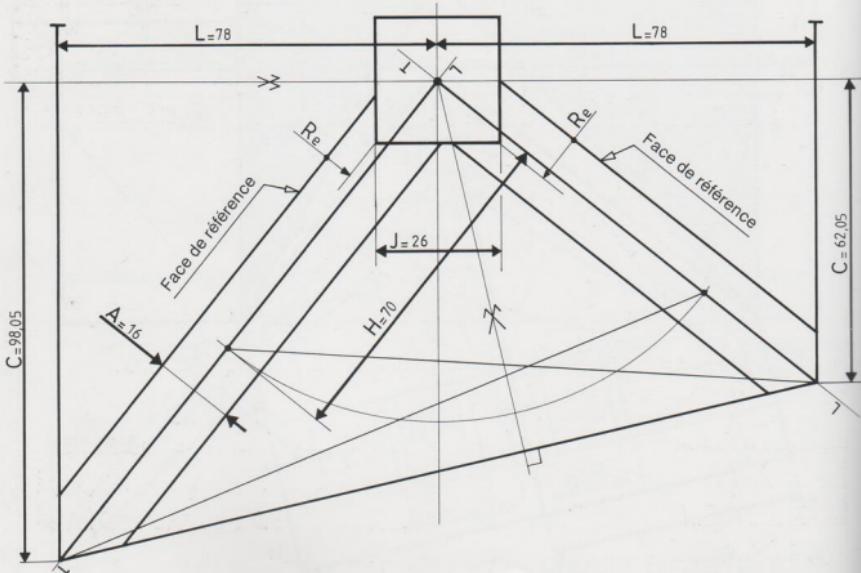
## Opérations

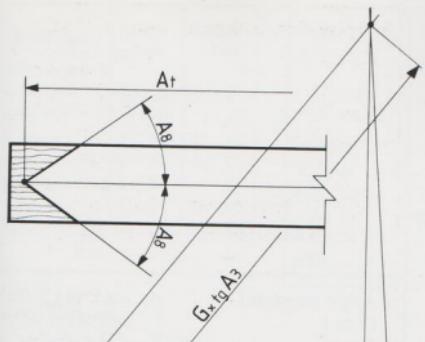
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
• Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
• Angle de niveau	$A6 = \text{arc tg } H/G$
• Angle d'aplomb	$A7 = \text{arc tg } G/H$
Cote X	$X = G \times L/C$
• Angle sur chant brut	$A8 = \text{arc tg } X/Ac$
• Angle de dévers	$A2 = \text{arc tg } L/C$
• Angle de dévers	$A3 = \text{arc tg } C/L$
• Angle sur chant brut	$B4 = \text{arc tg } \frac{G \times \text{tg } A3}{Ac}$
Cote J1	$J1 = J/2 \times C/L$
Cote Q	$Q = J/2 - J1$
Cote Q1	$Q1 = Q \times \cos A3$

• Repère d'engueulement	$Re = A/2 + Q1$
Cote Y	$Y = \frac{J}{2 \cos A3}$
Cote Y1	$Y1 = Q1 \times \text{tg } A3$
Cote Z	$Z = G - Y - Y1$
• Arête utile	$At = \frac{Ac}{G} \times Z$
Cote I1	$I1 = G \times \sin A6$
• Angle de délardement	$B0 = \text{arc tg } X/I1$
• Cote de délardement	$Cd = \frac{A}{2 \tan B0}$

Résultats	Angle aigu	Angle obtus
• Arête au couronnement	$Ac = 143,51$	$121,79$
• Angle de niveau	$A6 = 29^\circ 11'$	$35^\circ 4'$
• Angle d'aplomb	$A7 = 60^\circ 48'$	$54^\circ 55'$
• Angle sur chant brut	$A8 = 34^\circ 46'$	$45^\circ 48'$
• Angle de dévers	$A2 = 38^\circ 30'$	$51^\circ 29'$
• Angle de dévers	$A3 = 51^\circ 29'$	$38^\circ 30'$
• Angle sur chant brut	$B4 = 47^\circ 39'$	$33^\circ 3'$
• Repère d'engueulement	$Re = 5,91$	$10,08$
• Arête utile	$At = 122,59$	$99,47$
• Angle de délardement	$B0 = 58^\circ 29'$	$65^\circ 25'$
• Cote de délardement	$Cd = 4,90$	$3,65$

Pour obtenir les résultats sur l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de C.





### Recherche de l'angle B<sub>4</sub>

Sur la croupe biaise, la face du poinçon orientée vers la croupe n'est pas parallèle à la base du versant. C'est pourquoi il est nécessaire de calculer l'angle sur chant brut B<sub>4</sub>, relatif au versant de croupe :

- sur l'angle aigu,
- puis sur l'angle obtus.

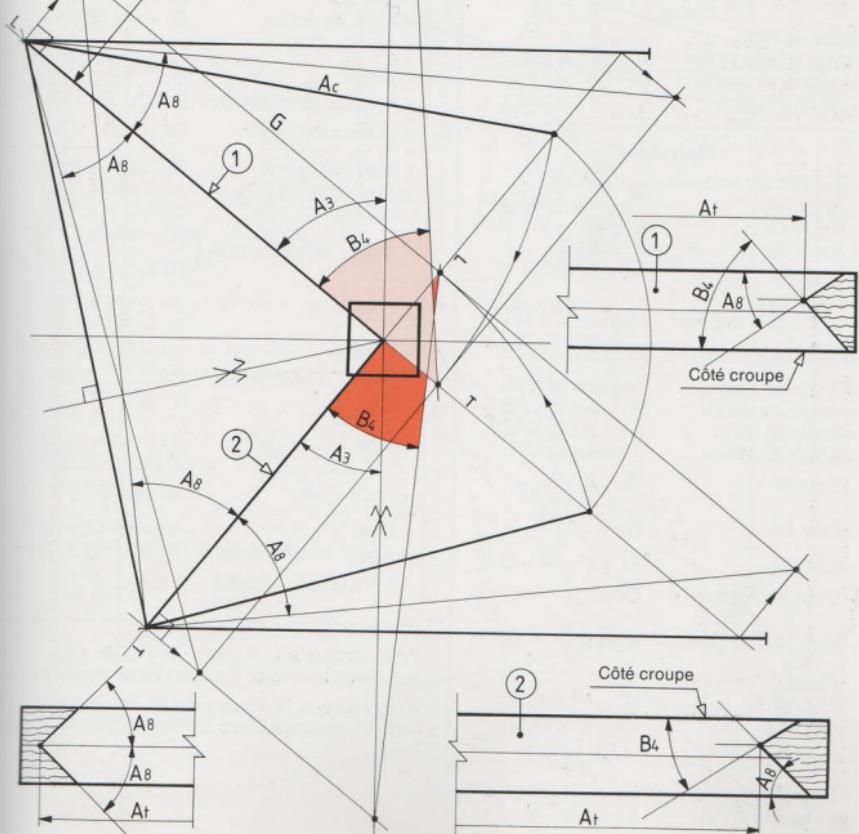
Conformément à l'épure ci-dessous, la valeur de cet angle est donnée par la formule :

$$B_4 = \text{arc tg} \frac{G \times \text{tg } A_3}{A_c}$$

### Traçage de l'engueulement

Sur le chant supérieur de l'arêtier, il faut porter :

- l'angle A<sub>8</sub>, sur le côté du long-pan,
- l'angle B<sub>4</sub>, sur le côté de la croupe.



C'est un programme général, dans lequel est inséré le programme préliminaire Po.  
Le programme P7, s'applique à des combles biais réguliers, qui présentent des versants de même pente.

**Données**

Cote au nu des murs	M = 65
Biais de la croupe	B = 30/- 30
Hauteur du comble	H = 70
Empanons	Ecartement D = 15
	Epaisseur E = 3
	Largeur F = 5
Saillie de toit	S = 13
Position de la panne	P = 32
Epaisseur des arêtes	A = 8
Côté du poinçon	J = 10

**Opérations**

Reculée des versants	L = M + S
Angle B7	B7 = arc tg B/2M
Angle B9	B9 = 90° - B7
• Angle A2	A2 = B9/2
Cote C	C = L/tg A2
<i>Empanons</i>	
• Chevron d'emprunt	Ch = $\sqrt{L^2 + H^2}$
• Saillie rampante	Sc = $\frac{Ch}{L} \times S$
• Angle de niveau	A0 = arc tg H/L
• Angle d'aplomb	A1 = arc tg L/H
• Angle de herse	A5 = arc tg C/Ch
• Angle de dévers	A3 = arc tg C/L
Cote W	W = $\frac{A}{2 \cos A_3}$
Cote D1	D1 = $\frac{D - E}{2}$
Cote Z1	Z1 = C - W - D1
• Grand empanon	Ge = $\frac{Ch}{C} \times Z_1$
Cote K (constante)	K = $\frac{Ch}{C} \times D$
<i>Panne</i>	
Cote U	U = F × sin A0
Cote U1	U1 = U × C/L
Cote G1	G1 = $\frac{L}{H} \times P$
Cote K1	K1 = (L - G1) × C/L
• Longueur à l'axe	Lp = K1 - W - U1

• Angle sur chant

$$\text{Cote I} \quad I = H \times \sin A_1$$

$$\text{Cote V} \quad V = H \times \cos A_1$$

$$\text{Cote V1} \quad V_1 = V \times \sin A_1$$

$$\text{Cote R} \quad R = V_1 \times C/L$$

$$\bullet \text{Angle sur le plat} \quad B_5 = \text{arc tg } I/R$$

$$\text{Cote R1} \quad R_1 = R \times \sin B_5$$

$$\bullet \text{Angle de dévers} \quad B_6 = \text{arc tg } V/R_1$$

*Arêtier*

$$\text{Cote G} \quad G = \sqrt{L^2 + C^2}$$

$$\bullet \text{Arête au couronnement} \quad A_c = \sqrt{G^2 + H^2}$$

$$\bullet \text{Saillie rampante} \quad S_a = \frac{A_c}{L} \times S$$

$$\bullet \text{Angle de niveau} \quad A_6 = \text{arc tg } H/G$$

$$\bullet \text{Angle d'aplomb} \quad A_7 = \text{arc tg } G/H$$

$$\text{Cote X} \quad X = G \times L/C$$

$$\bullet \text{Angles sur chant brut} \quad \begin{cases} A_8 = \text{arc tg } X/A_c \\ B_4 = \text{arc tg } \frac{G \times \tan A_3}{A_c} \end{cases}$$

$$\text{Cote J1} \quad J_1 = J/2 \times C/L$$

$$\text{Cote Q} \quad Q = J/2 - J_1$$

$$\text{Cote Q1} \quad Q_1 = Q \times \cos A_3$$

$$\bullet \text{Repère d'engueulement} \quad R_e = A/2 + Q_1$$

$$\text{Cote Y} \quad Y = \frac{J}{2 \cos A_3}$$

$$\text{Cote Y1} \quad Y_1 = Q_1 \times \tan A_3$$

$$\text{Cote Z} \quad Z = G - Y - Y_1$$

$$\bullet \text{Arête utile} \quad A_t = \frac{A_c}{G} \times Z$$

$$\text{Cote I1} \quad I_1 = G \times \sin A_6$$

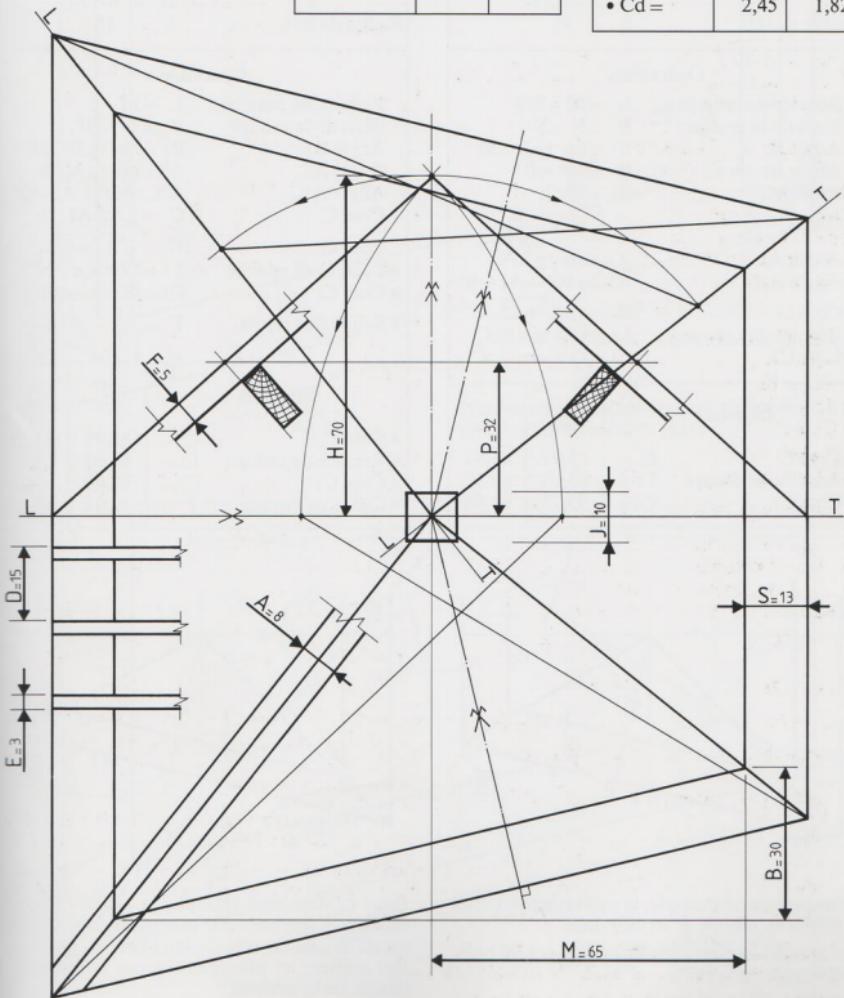
$$\bullet \text{Angle de délardement} \quad B_0 = \text{arc tg } X/I_1$$

$$\bullet \text{Cote de délardement} \quad C_d = \frac{A}{2 \tan B_0}$$

Pour obtenir les résultats sur l'angle aigu, il faut remplacer la donnée B par sa valeur négative (-30).

*Remarque :* si la charpente ne comporte pas de saillie, le programme reste valable, avec une donnée S=0.

Résultats	Angle aigu	Angle obtus			
Empanons					
• Ch =	104,80	104,80			
• Sc =	17,46	17,46			
• A <sub>0</sub> =	41° 54'	41° 54'			
• A <sub>1</sub> =	48° 5'	48° 5'			
• A <sub>5</sub> =	43° 5'	30° 37'			
• A <sub>3</sub> =	51° 29'	38° 30'			
• Ge =	91,52	86,03			
	75,49	60,70			
	59,45	35,36			
	43,42	10,03			
	27,39				
Panne		11,35			
• L <sub>p</sub> =	42,60	25,91			
• A <sub>4</sub> =	46° 54'	59° 22'			
• B <sub>5</sub> =	49° 58'	62° 1'			
• B <sub>6</sub> =	54° 22'	62° 23'			
• Arétier					
• A <sub>2</sub> =	38° 30'	51° 29'			
• A <sub>c</sub> =	143,51	121,79			
• S <sub>a</sub> =	23,91	20,29			
• A <sub>6</sub> =	29° 11'	35° 4'			
• A <sub>7</sub> =	60° 48'	54° 55'			
• A <sub>8</sub> =	34° 46'	45° 48'			
• B <sub>4</sub> =	47° 39'	33° 3'			
• R <sub>e</sub> =	3,19	4,80			
• A <sub>t</sub> =	135,47	113,20			
• B <sub>0</sub> =	58° 29'	65° 25'			
• C <sub>d</sub> =	2,45	1,82			



**Données**

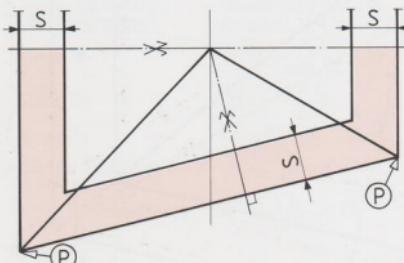
Cotes au nu des murs  $\{ M = 63$   
 $N = 67/37$   
 Saillie de toit  $S = 15$

**Opérations**

Reculée de long-pan	$L = M + S$
Biais de la croupe	$B = N - N_1$
Angle B7	$B_7 = \text{arc tg } B/2M$
Angle B9	$B_9 = 90^\circ - B_7$
Angle B8	$B_8 = B_9/2$
• Cote C	$C = N + \frac{S}{\text{tg } B_8}$
Angle A2	$A_2 = \text{arc tg } L/C$
Angle A2C	$A_2C = 90^\circ - A_2 - B_7$
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
• Reculée de croupe	$L_1 = G \times \sin A_2C$
• Cote C1	$C_1 = G \times \cos A_2C$

**Résultats**

		Angle aigu	Angle obtus
• Cote C	$C =$	85,99	48,84
• Reculée de croupe	$L_1 =$	65,58	65,58
• Cote C1	$C_1 =$	95,79	64,56



Dans ce premier exemple, la saillie de toit (S) est la même en croupe et en long-pan.

Les arêtiers en plan sont situés à partir du point P, à l'angle de la saillie.

Le programme P0 s'applique à la croupe biaise irrégulière. Suivant le système de saillie, on utilise :

- le programme P0-1, à gauche ;
- le programme P0-2, à droite.

**Données**

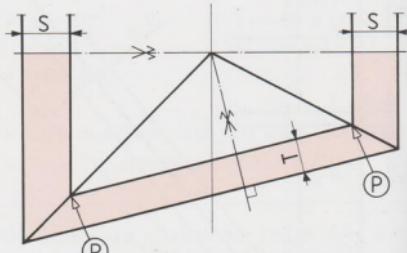
Cotes au nu des murs  $\{ M = 63$   
 $N = 67/37$   
 Saillie de toit  $S = 15$

**Opérations**

Reculée de long-pan	$L = M + S$
Biais de la croupe	$B = N - N_1$
Angle B7	$B_7 = \text{arc tg } B/2M$
Angle A2	$A_2 = \text{arc tg } M/N$
Angle A2C	$A_2C = 90^\circ - A_2 - B_7$
• Cote C	$C = L/\text{tg } A_2$
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
• Reculée de croupe	$L_1 = G \times \sin A_2C$
• Cote C1	$C_1 = G \times \cos A_2C$
• Saillie de croupe	$T = \frac{S}{L} \times L_1$

**Résultats**

	Angle aigu	Angle obtus
• Cote C	$C =$	82,95
• Reculée de croupe	$L_1 =$	62,63
• Cote C1	$C_1 =$	95,09
• Saillie de croupe	$T =$	12,04



Dans ce deuxième exemple, la saillie (T) de la croupe, déterminée par la position des arêtiers, est différente de celle du long-pan.

Les arêtiers en plan passent par le point P, à l'angle de la sablière.

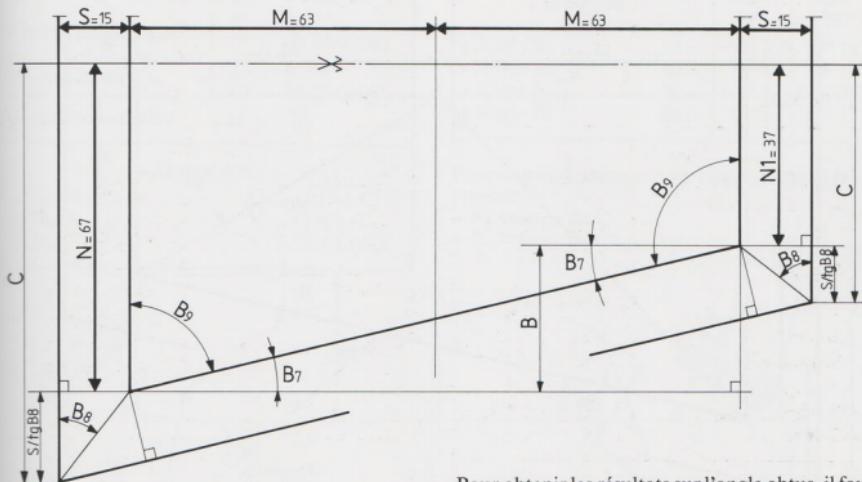
## Comble avec saillie régulière

Cette conception s'applique de préférence aux charpentes avec saillie en caisson.

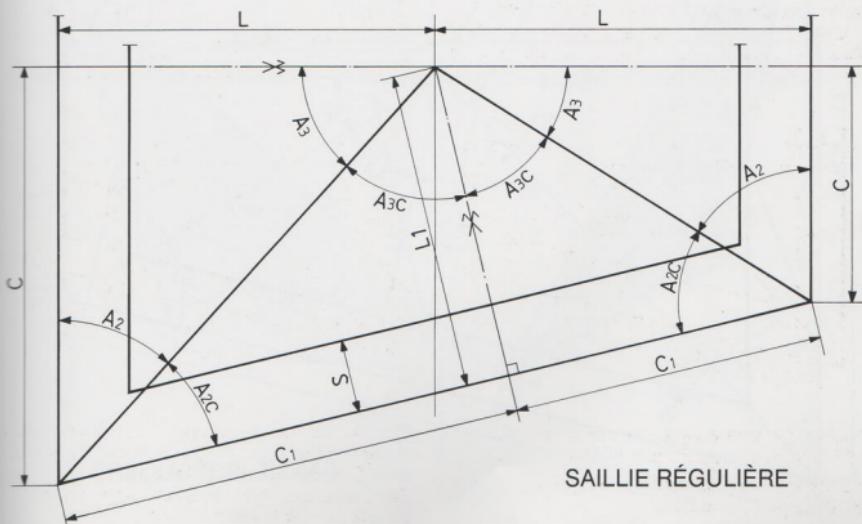
Le programme P0-1 permet d'obtenir les valeurs de C, L<sub>1</sub> et C<sub>1</sub>, qui seront reprises comme données dans les programmes suivants.

## Charpente sans saillie

Si la charpente ne comporte pas de saillie, ou si elle reçoit une *levée de coyaux* par exemple, les programmes P0-1 et P0-2 restent valables, à la condition d'introduire une donnée : S = 0.



Pour obtenir les résultats sur l'angle obtus, il faut inverser les données N et N<sub>1</sub>.



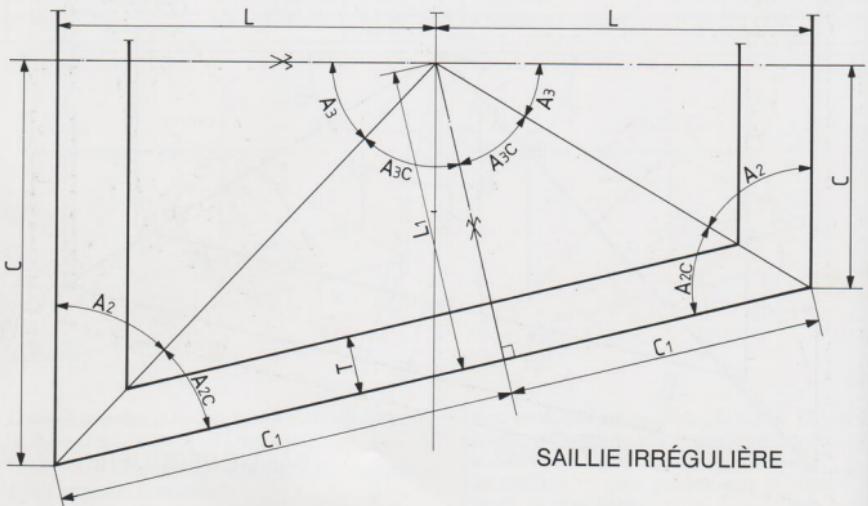
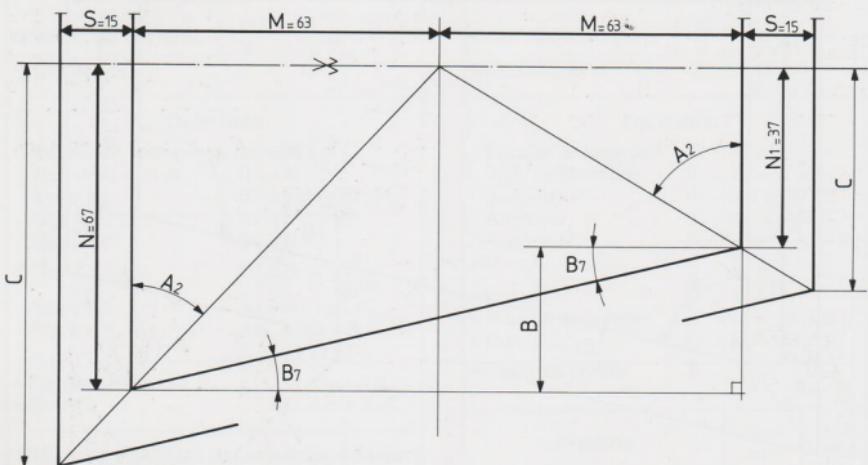
### Comble avec saillie irrégulière

Cette conception sera choisie de préférence, si la charpente garde ses chevrons apparents en saillie. Le programme P0-2 permet, comme dans le cas précédent, d'obtenir les valeurs de C, L1 et C1, qui peuvent être reprises comme données dans les programmes suivants.

Il détermine également la saillie de croupe (T).

Les programmes préliminaires P0-1 et P0-2, peuvent être utilisés pour établir les bases des programmes suivants, comme on vient de le démontrer.

Ils peuvent aussi être insérés directement dans un programme général, ce qui simplifie les données, comme on le verra plus haut.



Données

Versant de long-pan     $\begin{cases} L = 78 \\ C = 85,99/48,84 \end{cases}$   
 Versant de croupe     $\begin{cases} L_1 = 65,58 \\ C_1 = 95,79/64,56 \end{cases}$   
 Hauteur du comble     $H = 70$

Opérations

Cote G                       $G = \sqrt{L^2 + C^2}$   
 Cote X                       $X = G \times L/C$   
 Cote X<sub>1</sub>                    $X_1 = G \times L_1/C_1$

Angle A<sub>6</sub>

Cote I<sub>1</sub>

- Angle B<sub>0</sub>

- Angle B<sub>1</sub>

- Angle B<sub>2</sub>

- Angle B<sub>3</sub>

A<sub>6</sub> = arc tg H/G

I<sub>1</sub> = G × sin A<sub>6</sub>

B<sub>0</sub> = arc tg X/I<sub>1</sub>

B<sub>1</sub> = arc tg X<sub>1</sub>/I<sub>1</sub>

B<sub>2</sub> = B<sub>0</sub> + B<sub>1</sub>

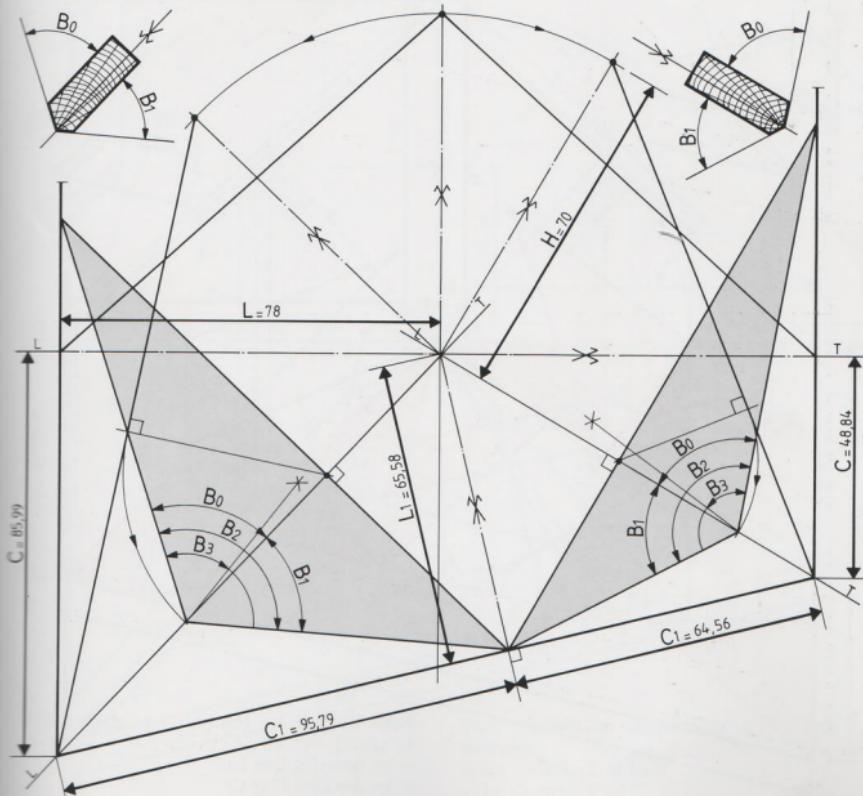
B<sub>3</sub> = B<sub>2</sub>/2

Résultats

		Angle aigu	Angle obtus
• Angle B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub> =	60° 20'	69° 14'
• Angle B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> =	52° 58'	59° 12'
• Angle B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> =	113° 19'	128° 26'
• Angle B <sub>3</sub>	B <sub>3</sub> =	56° 39'	64° 13'

Pour obtenir les résultats sur l'angle obtus, il faut inverser :

- les valeurs de C
- les valeurs de C<sub>1</sub>



Données

Versant de long-pan	$\begin{cases} L = 78 \\ C = 85,99 / 48,84 \end{cases}$
Versant de croupe	$\begin{cases} L_1 = 65,58 \\ C_1 = 95,79 / 64,56 \end{cases}$
Hauteur du comble	$H = 70$

Opérations

Angle A1	$A_1 = \arctan L/H$
Cote I	$I = H \times \sin A_1$
Cote V	$V = H \times \cos A_1$

Cote V1

Cote R

- Angle sur le chant
- Angle sur le plat
- Cote R1
- Angle à dévers

$$V_1 = V \times \sin A_1$$

$$R = V_1 \times C/L$$

$$A_4 = \arctan V/R$$

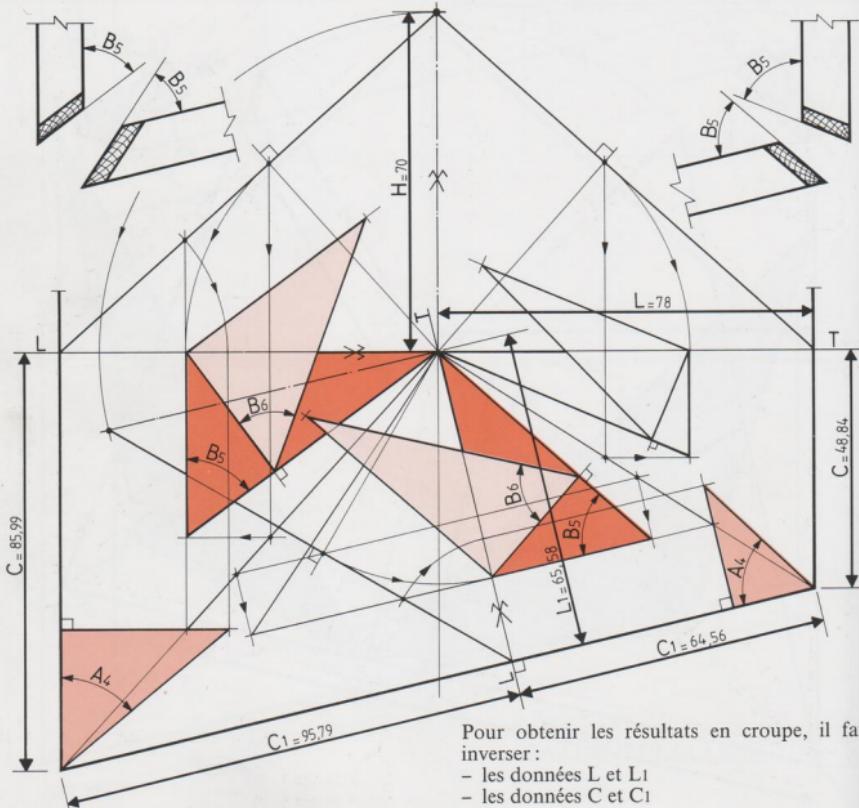
$$B_5 = \arctan I/R$$

$$R_1 = R \times \sin B_5$$

$$B_6 = \arctan V/R_1$$

Résultats

	Angle aigu	Angle obtus	
L	C	L	C
• A4 =	50° 37'	45° 2'	65° 0'
• B5 =	53° 38'	43° 10'	67° 18'
• B6 =	56° 32'	55° 39'	66° 44'



Pour obtenir les résultats en croupe, il faut inverser :

- les données L et L1
- les données C et C1

### Données

Versant de long-pan	$\left\{ \begin{array}{l} L = 78 \\ C = 85,99/48,84 \end{array} \right.$
Versant de croupe	$\left\{ \begin{array}{l} L_1 = 65,58 \\ C_1 = 95,79/64,56 \end{array} \right.$
Hauteur du comble	H = 70
Epaisseur de l'arêteur	A = 8
Largeur du chevron	F = 5
Position de la panne	P = 32

### Opérations

$$\begin{aligned} \text{Angle } A_2 &= \text{arc tg } L/C \\ \text{Angle } A_2C &= \text{arc tg } L_1/C_1 \\ \text{Angle } B_9 &= A_2 + A_2C \end{aligned}$$

Cote W

$$W = \frac{A}{\sin B_9} \times \cos A_2C$$

Angle A0

$$A_0 = \text{arc tg } H/L$$

Cote U

$$U = F \times \sin A_0$$

Cote U1

$$U_1 = U \times C/L$$

Cote G1

$$G_1 = \frac{L}{H} \times P$$

Cote K1

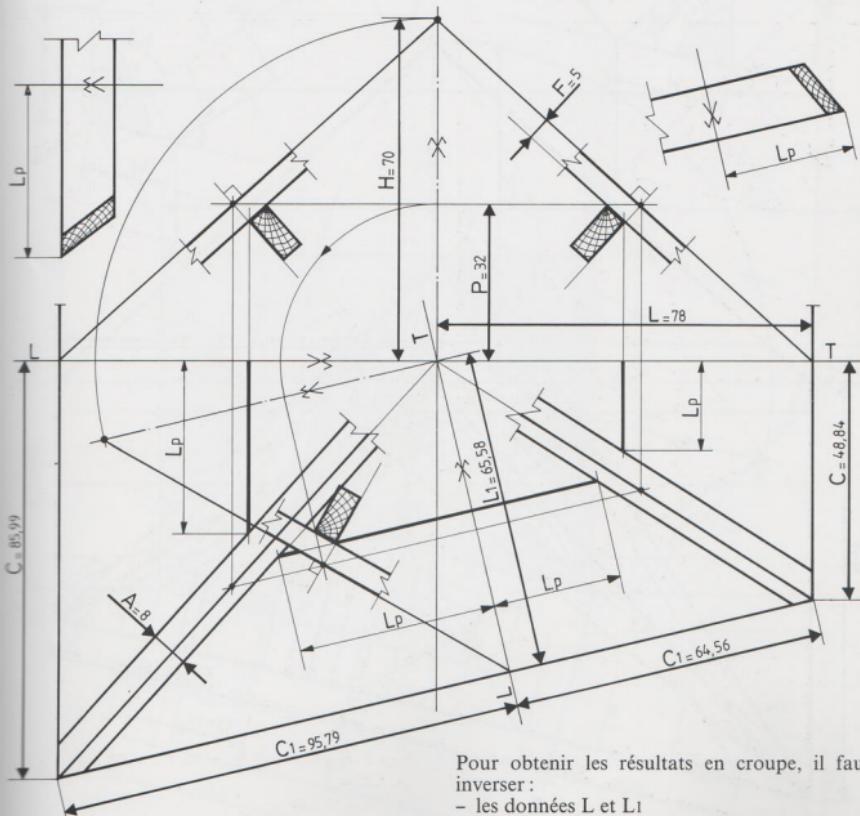
$$K_1 = (L - G_1) \times C/L$$

• Longueur à l'axe

$$L_p = K_1 - W - U_1$$

### Résultats

	Angle aigu		Angle obtus	
	L	C	L	C
• Lp =	36,21	40,57	18,65	27,09

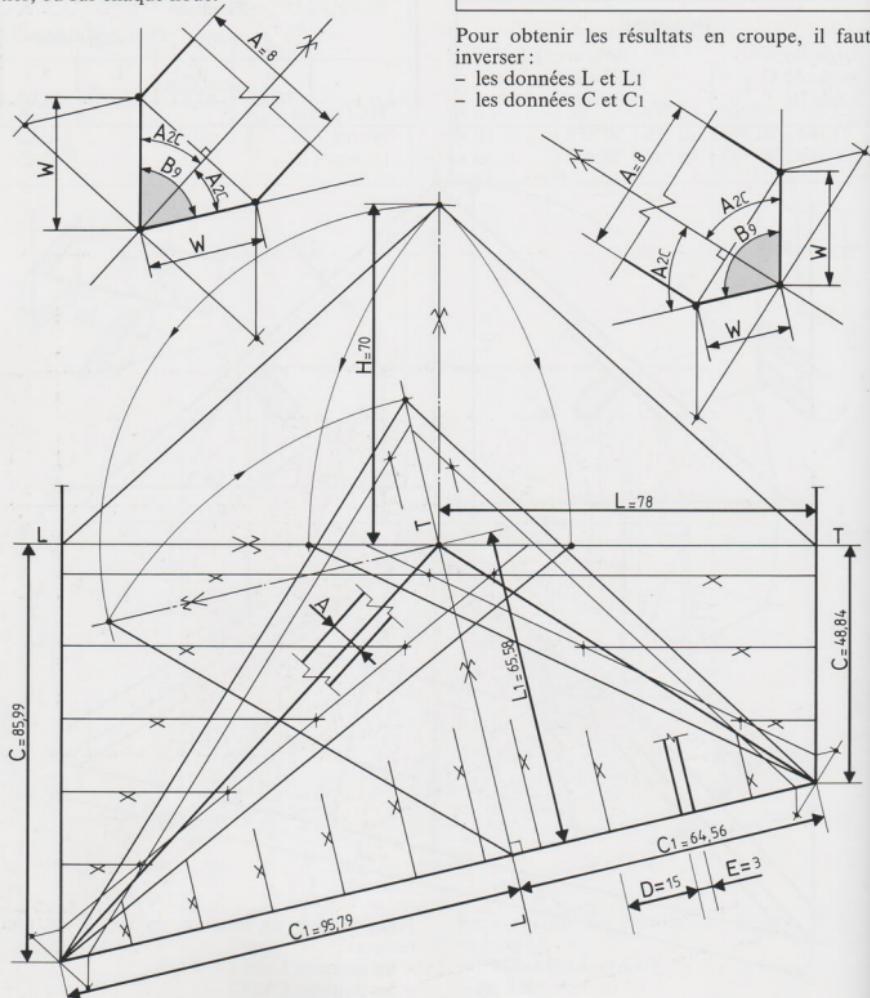


Pour obtenir les résultats en croupe, il faut inverser :

- les données L et L1
- les données C et C1

Le programme P4 est appliqu茅 aux herses de la croupe biaisee irr茅guli猫re, page de gauche. Il peut 茅tre transpos茅 aux noues biaises, page de droite.

Les versants, qui pr茅sentent des pentes diff茅rentes, n茅cessitent deux herses, sur chaque ar猫tier, ou sur chaque noeud.



## Donn茅es

Versant de long-pan	$\left\{ \begin{array}{l} L = 78 \\ C = 85,99/48,84 \end{array} \right.$
Versant de croupe	$\left\{ \begin{array}{l} L_1 = 65,58 \\ C_1 = 95,79/64,56 \end{array} \right.$
Hauteur du comble	H = 70
Epaisseur de l'ar猫tier	A = 8
Chevrons	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ecartement} \\ \text{Epaisseur} \end{array} \right. \begin{array}{l} D = 15 \\ E = 3 \end{array}$

Pour obtenir les r茅sultats en croupe, il faut inverser :

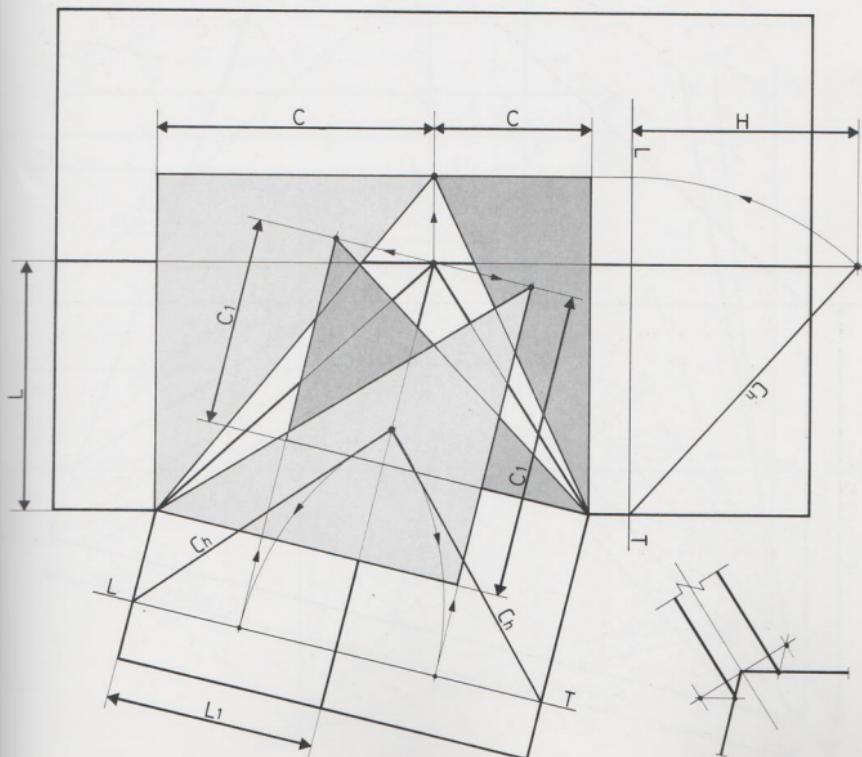
- les donn茅es L et L1
- les donn茅es C et C1

### Opérations

- Chevron d'emprunt  $Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
- Angle de niveau  $A_0 = \text{arc tg } H/L$
- Angle d'aplomb  $A_1 = \text{arc tg } L/H$
- Angle de herse  $A_5 = \text{arc tg } C/Ch$
- Angle de dévers  $A_3 = \text{arc tg } C/L$
- Angle A<sub>2</sub>  $A_2 = \text{arc tg } L/C$
- Angle A<sub>2C</sub>  $A_{2C} = \text{arc tg } L_1/C_1$
- Angle B<sub>9</sub>  $B_9 = A_2 + A_{2C}$
- Cote W  $W = \frac{A}{\sin B_9} \times \cos A_{2C}$
- Cote D<sub>1</sub>  $D_1 = \frac{D - E}{2}$
- Cote Z<sub>1</sub>  $Z_1 = C - W - D_1$
- Grand empanon  $Ge = \frac{Ch}{C} \times Z_1$
- Cote K (constante)  $K = \frac{Ch}{C} \times D$

### Résultats

	Angle aigu		Angle obtus	
	L	C	L	C
• Ch =	104,80	95,92	104,80	95,92
• A <sub>0</sub> =	41° 54'	46° 52'	41° 54'	46° 52'
• A <sub>1</sub> =	48° 5'	43° 7'	48° 5'	43° 7'
• A <sub>5</sub> =	39° 22'	44° 57'	24° 59'	33° 56'
• A <sub>3</sub> =	47° 47'	55° 36'	32° 3'	44° 33'
• Ge =	89,22	83,81	79,54	80,52
	70,93	68,79	47,36	58,23
	52,65	53,77	15,17	35,94
	34,37	38,75		
	16,09	23,73		13,66
		8,71		



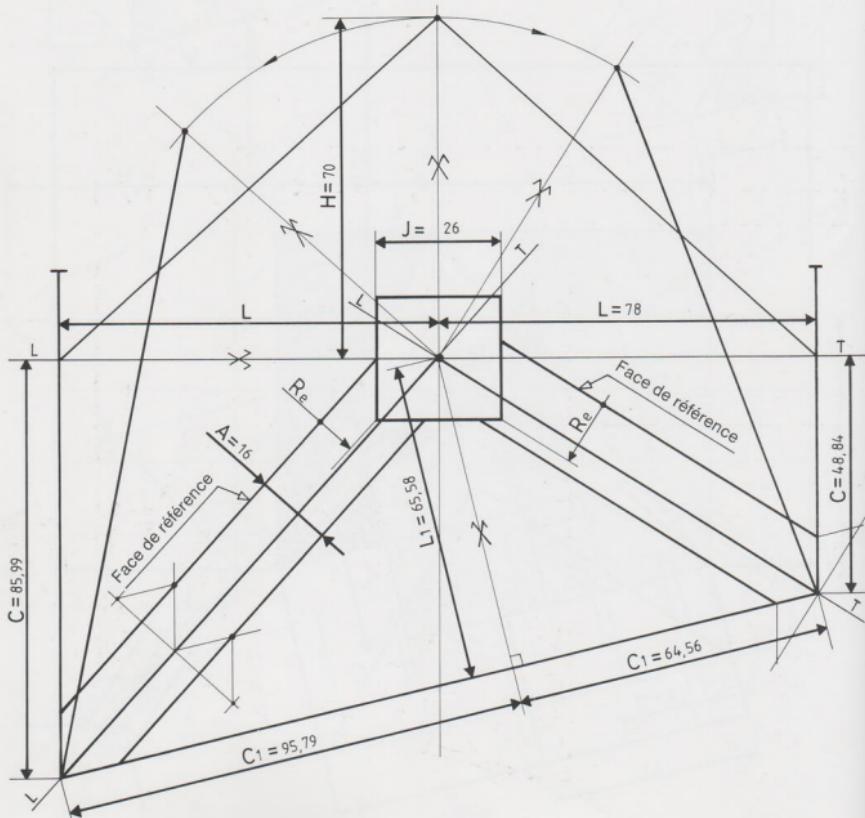
### Données

Versant de long-pan	$\left\{ \begin{array}{l} L = 78 \\ C = 85,99/48,84 \end{array} \right.$
Versant de croupe	$\left\{ \begin{array}{l} L_1 = 65,58 \\ C_1 = 95,79/64,56 \end{array} \right.$
Hauteur du comble	H = 70
Epaisseur des arétiers	A = 16
Côté du poinçon	J = 26

## Opérations

$$G = \sqrt{L^2 + C^2}$$

- Arête au couronnement       $Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
  - Angle de niveau               $A6 = \text{arc tg } H/G$
  - Angle d'aplomb               $A7 = \text{arc tg } G/H$
  - Cote X                           $X = G \times L/C$
  - Cote X1                         $X1 = G \times L1/C1$
  - Angles sur chant brut      {  
 A8 =  $\text{arc tg } X/Ac$   
 A9 =  $\text{arc tg } X1/Ac$
  - Angles de dévers              {  
 A2 =  $\text{arc tg } L/C$   
 A3 =  $\text{arc tg } C/L$
  - Angle sur chant brut       $B4 = \text{arc tg } \frac{G \times tg A3}{Ac}$
  - Angle A2C                       $A2C = \text{arc tg } L1/C1$

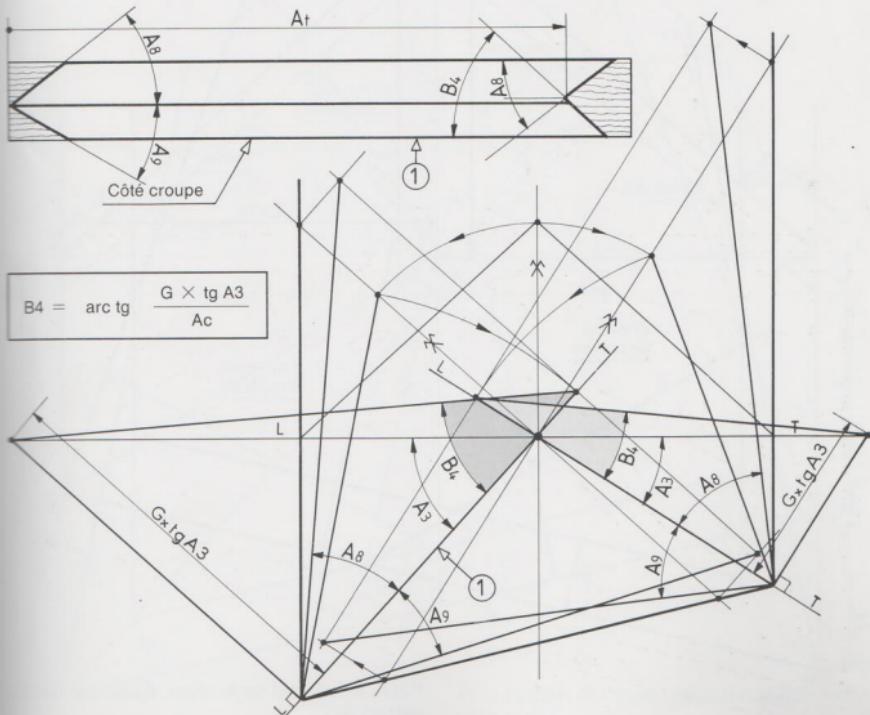


Angle B9	$B9 = A2 + A2C$
Cote W	$W = \frac{A}{\sin B9} \times \cos A2C$
• Repère d'arête	$Ra = W \times \cos A3$
Cote J1	$J1 = J/2 \times C/L$
Cote Q	$Q = J/2 - J1$
Cote Q1	$Q1 = Q \times \cos A3$
• Repère d'engueulement	$Re = Ra + Q1$
Cote Y	$Y = \frac{J}{2 \cos A3}$
Cote Y1	$Y1 = Q1 \times \tan A3$
Cote Z	$Z = G - Y - Y1$
• Arête utile	$At = \frac{Z}{\cos A6}$
Cote I1	$I1 = G \times \sin A6$
• Angles de délardement	$\begin{cases} B0 = \text{arc tg } X/I1 \\ B1 = \text{arc tg } X1/I1 \end{cases}$
• Cote de délardement	$Cd = \frac{Ra}{\tan B0}$

	Résultats	Angle aigu	Angle obtus
• Arête au couronnement	$Ac =$	135,56	115,62
• Angle de niveau	$A6 =$	31° 5'	37° 15'
• Angle d'aplomb	$A7 =$	58° 54'	52° 44'
• Angles sur chant brut	$\begin{cases} A8 = \\ A9 = \end{cases}$	37° 50' 51° 48' 30° 22' 38° 57'	
• Angles de dévers	$\begin{cases} A2 = \\ A3 = \end{cases}$	42° 12' 57° 56' 47° 47' 32° 3'	
• Angle sur chant brut	$B4 =$	43° 21'	26° 29'
• Repère d'arête	$Ra =$	9,11	9,77
• Repère d'engueulement	$Re =$	8,22	13,89
• Arête utile	$At =$	114,12	93,11
• Angles de délardement	$\begin{cases} B0 = \\ B1 = \end{cases}$	60° 20' 69° 14' 52° 58' 59° 12'	
• Cote de délardement	$Cd =$	5,19	3,70

Pour obtenir les résultats sur l'angle obtus, il faut inverser :

- les valeurs de C
- les valeurs de C1



**Avec saillie régulière**

Dans ce premier cas, la saillie de niveau (S) est la même en long-pan et en croupe.  
 Les arêtiers en plan sont situés à partir du point P à l'angle de la saillie.

**Données**

Versant de long-pan	$\left\{ \begin{array}{l} L = 78 \\ C = 85,99/48,84 \end{array} \right.$
Reculée de croupe	$L_1 = 65,58$
Hauteur du comble	$H = 70$
Saillie de toit	$S = 15$

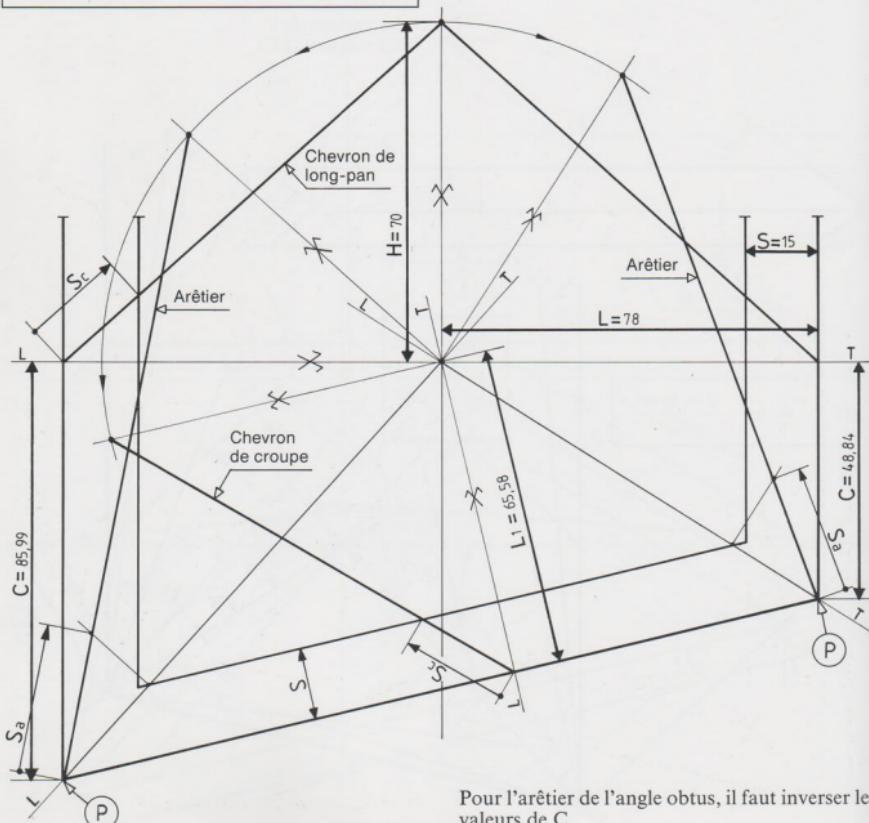
**Opérations**

Chevron d'emprunt	$Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
• Saillie rampante du chevron	$Sc = \frac{Ch}{L} \times S$
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
• Saillie rampante de l'arêtier	$Sa = \frac{Ac}{L_1} \times S$

**Résultats**

		<i>Angle aigu</i>	<i>Angle obtus</i>
• Saillie chevron	$Sc =$	20,15	21,93
• Saillie arêtier	$Sa =$	31,00	26,44

Pour le chevron de croupe, il faut inverser les données L et L<sub>1</sub>.



Pour l'arêtier de l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de C.

## Avec saillie irrégulière

Dans ce deuxième cas, la saillie (T) de la croupe est différente de celle du long-pan.

Les arêtiers en plan passent par le point P, à l'angle des sablières.

### Données

Versant de long-pan	$\left\{ \begin{array}{l} L = 78 \\ C = 82,95/45,81 \end{array} \right.$
Reculée de croupe	$L_1 = 62,63$
Hauteur du comble	$H = 70$
Saillie de long-pan	$S = 15$

Pour le chevron de croupe, il faut :

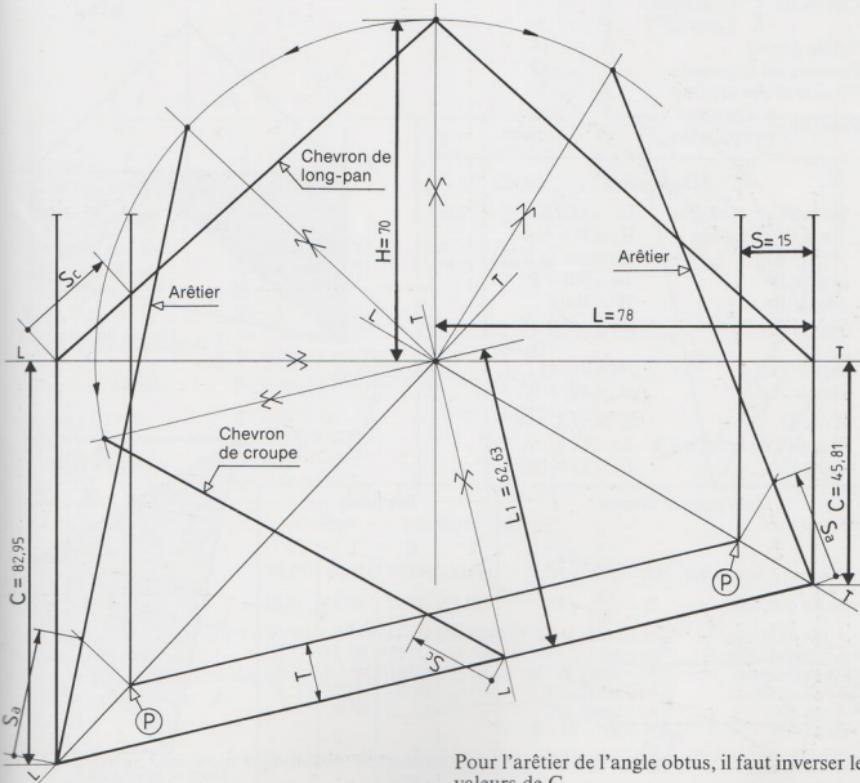
- inverser les données L et  $L_1$ ,
- remplacer S par T.

### Opérations

Saillie de croupe	$T = \frac{S}{L} \times L_1$
Chevron d'emprunt	$Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
• Saillie rampante du chevron	$Sc = \frac{Ch}{L} \times S$
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$
• Saillie rampante de l'arêtier	$Sa = \frac{Ac}{L} \times S$

### Résultats

		Angle aigu	Angle obtus
• Saillie chevron	$Sc =$	20,15	18,06
• Saillie arêtier	$Sa =$	25,70	21,99



Pour l'arêtier de l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de C.

ÉTUDE  
69

COMBLE À  
CROUPES BIAISES  
programme P 7-1

C  
B  
I

Le programme P7 - 1 s'applique à la croupe biaise avec saillie régulière.

Données

Cotes au nu des murs	$\begin{cases} M = 70 \\ N = 75 \end{cases}$	$N_1 = 45$
Hauteur du comble	H = 80	
Chevrons	D = 15	
Ecartement	E = 3	
Epaisseur	F = 5	
Largeur	S = 14	
Saillie de toit	P = 42	
Position de la panne	A = 8	
Epaisseur des arêtiers	J = 16	
Poinçon	O = 8	
Largeur		
Epaisseur		

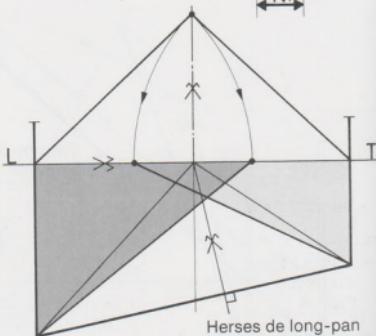
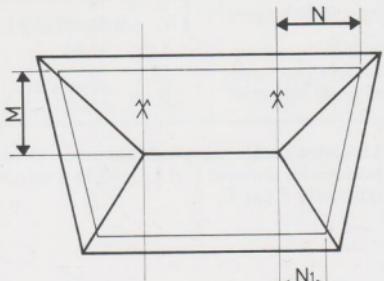
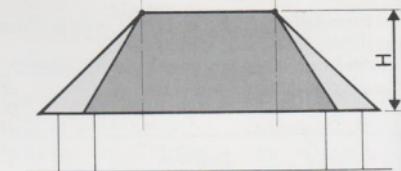
Opérations

$$\begin{aligned} \text{Reculée de long-pan} & L = M + S \\ \text{Biais de la croupe} & B = N - N_1 \\ \text{Angle } B_7 & B_7 = \arctan \frac{B}{2M} \\ \text{Angle } B_9 & B_9 = 90^\circ - B_7 \\ \text{Angle } B_8 & B_8 = B_9/2 \\ \text{Cote C} & C = N + \frac{S}{\tan B_8} \\ \text{Angle } A_2 & A_2 = \arctan \frac{L}{C} \\ \text{Angle } A_2C & A_2C = 90^\circ - A_2 - B_7 \\ \text{Cote G} & G = \sqrt{L^2 + C^2} \\ \text{Reculée de croupe} & L_1 = G \times \sin A_2C \\ \text{Cote C}_1 & C_1 = G \times \cos A_2C \end{aligned}$$

Saut pour la croupe

Empanons

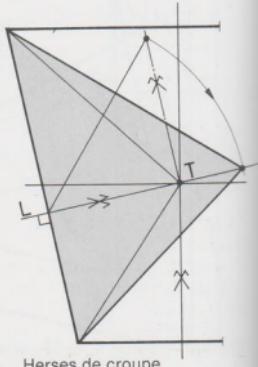
- Chevron d'emprunt  $Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
- Saillie rampante  $Sc = \frac{Ch}{L} \times S$
- Angle de niveau  $A_0 = \arctan \frac{H}{L}$
- Angle d'aplomb  $A_1 = \arctan \frac{L}{H}$
- Angle de herse  $A_5 = \arctan \frac{C}{Ch}$
- Angle de dévers  $A_3 = \arctan \frac{C}{L}$
- Angle A<sub>2</sub>  $A_2 = \arctan \frac{L}{C}$
- Angle A<sub>2C</sub>  $A_2C = 90^\circ - A_2 - B_7$
- Cote W  $W = \frac{A}{\sin B_9} \times \cos A_2C$



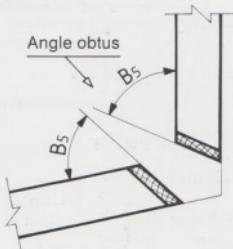
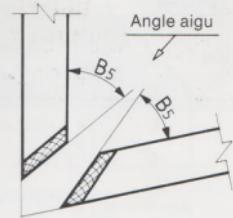
Résultats

Angle aigu		Angle obtus	
L	C	L	C
116,00	108,07	116,00	108,07
19,33	20,82	19,33	20,82

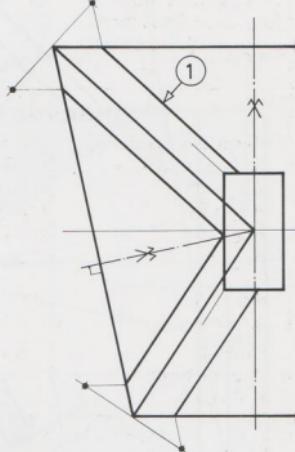
$A_0 = 43^\circ 36'$	$47^\circ 44'$	$43^\circ 36'$	$47^\circ 44'$
$A_1 = 46^\circ 23'$	$42^\circ 15'$	$46^\circ 23'$	$42^\circ 15'$
$A_5 = 38^\circ 30'$	$43^\circ 11'$	$25^\circ 53'$	$33^\circ 3'$
$A_3 = 47^\circ 42'$	$54^\circ 23'$	$33^\circ 50'$	$44^\circ 3'$
$A_2 = 42^\circ 17'$		$56^\circ 9'$	



Cote D1	$D1 = \frac{D - E}{2}$				
Cote Z1	$Z1 = C - W - D1$				
• Grand empanon	$Ge = \frac{Ch}{C} \times Z1$	100,10	95,24	91,92	91,85
	$Ge = \frac{Ch}{C} \times D$	81,25	79,26	61,02	68,81
Cote K (constante)	$K = \frac{Ch}{C} \times D$	62,40	63,29	30,13	45,76
Pannes		43,56	47,31		22,71
Cote U	$U = F \times \sin A_0$	24,71	31,34		
Cote U1	$U1 = U \times C/L$		15,36		
Cote G1	$G1 = \frac{L}{H} \times P$				
Cote K1	$K1 = (L - G1) \times C/L$				
• Longueur à l'axe	$Lp = K1 - W - U1$	33,41	36,98	18,74	25,27
• Angle sur le chant	$A4 = \text{arc tg } Ch/C$	51° 29'	46° 48'	64° 6'	56° 56'
Cote I	$I = H \times \sin A1$				
Cote V	$V = H \times \cos A1$				
Cote V1	$V1 = V \times \sin A1$				
Cote R	$R = V1 \times C/L$				
• Angle sur le plat	$B5 = \text{arc tg } I/R$	52° 50'	44° 3'	65° 11'	54° 22'
Cote R1	$R1 = R \times \sin B5$	57° 36'	56° 51'	66° 13'	62° 7'
• Angle de dévers	$B6 = \text{arc tg } V/R1$				



		Angle aigu	Angle obtus
Arêtiers			
• Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$	148,25	128,94
• Saillie rampante	$Sa = \frac{Ac}{L1} \times S$	28,56	24,84
• Angle de niveau	$A6 = \text{arc tg } H/G$	32° 39'	38° 20'
• Angle d'aplomb	$A7 = \text{arc tg } G/H$	57° 20'	51° 39'
Cote X	$X = G \times L/C$		
Cote X1	$X1 = G \times L1/C1$		
• Angles sur chant brut	$\begin{cases} A8 = \text{arc tg } X/Ac \\ A9 = \text{arc tg } X1/Ac \end{cases}$	37° 27' 31° 5'	49° 28' 39° 1'
• Angle sur chant brut	$B4 = \text{arc tg } \frac{G \times \text{tg } A3}{Ac}$	42° 46'	27° 44'
• Repère d'arête	$Ra = W \times \cos A3$	4,47	4,72
Cote J1	$J1 = J/2 \times C/L$		
Cote Q	$Q = O/2 - J1$		
Cote Q1	$Q1 = Q \times \cos A3$		



Pour passer de l'angle aigu à l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de N et N1.

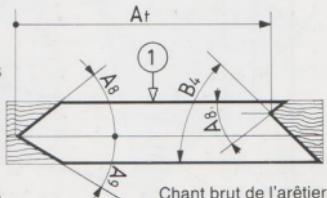
Pour obtenir les résultats sur la croupe, il faut :

1°) inverser les valeurs de :

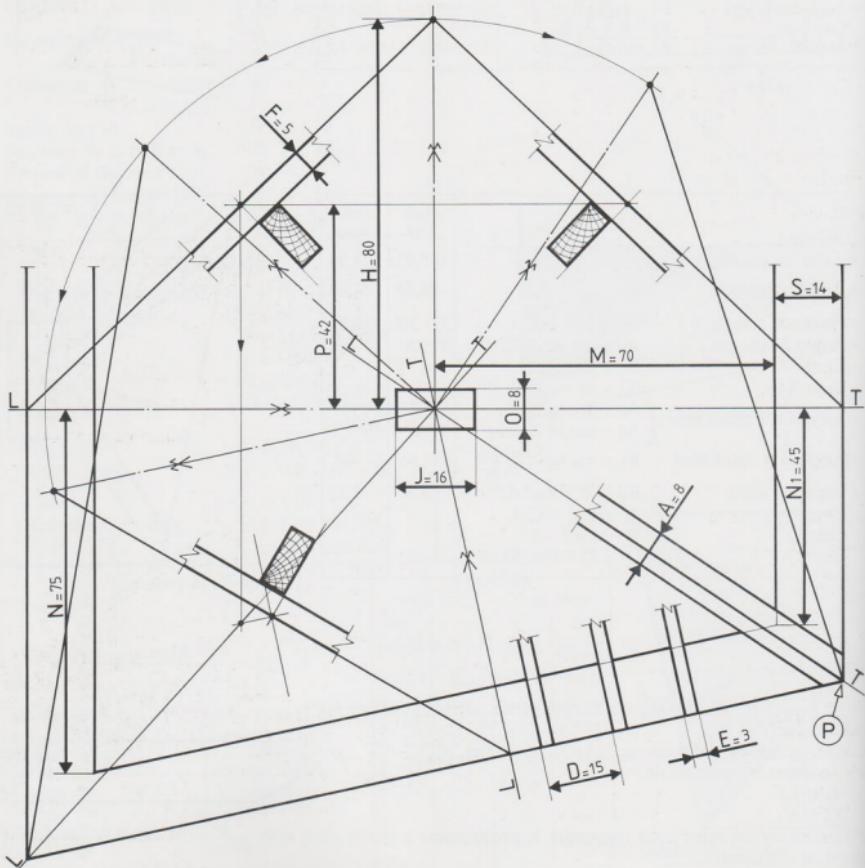
L et L1

C et C1

2°) effectuer un saut, pour reprendre le programme à partir du chevron d'emprunt.



• Repère d'engueulement	$R_e = R_a + Q_1$	1,25	3,59
Cote Y	$Y = \frac{J}{2 \cos A_3}$		
Cote $Y_1$	$Y_1 = Q_1 \times \tan A_3$		
Cote Z	$Z = G - Y - Y_1$		
• Arête utile	$A_t = \frac{A_c}{G} \times Z$	138,34	117,63
Cote $I_1$	$I_1 = G \times \sin A_6$	$59^\circ 19'$	$67^\circ 24'$
• Angles de délardement	$\begin{cases} B_0 = \text{arc tg } X/I_1 \\ B_1 = \text{arc tg } X_1/I_1 \end{cases}$	$53^\circ 0'$	$59^\circ 0'$
• Cote de délardement	$C_d = \frac{R_a}{\tan B_0}$	2,65	1,96



**ÉTUDE  
70**

**COMBLE À  
CROUPES BIAISES**  
programme P 7-2

**C  
B  
I**

Le programme P7 - 2 s'applique à la croupe biaise avec saillie irrégulière.

**Données**

Cotes au nu des murs	$\begin{cases} M = 70 \\ N = 75 \end{cases}$	$N_1 = 45$
Hauteur du comble	$H = 80$	
Chevrons	$\begin{cases} \text{Ecartement} & D = 15 \\ \text{Epaisseur} & E = 3 \\ \text{Largeur} & F = 5 \end{cases}$	
Saillie de long-pan	$S = 14$	
Position de la panne	$P = 42$	
Epaisseur des arêtiers	$A = 8$	
Poinçon	$\begin{cases} \text{Largeur} & J = 16 \\ \text{Epaisseur} & O = 8 \end{cases}$	

**Opérations**

Reculée de long-pan	$L = M + S$
Biais de la croupe	$B = N - N_1$
Angle B7	$B_7 = \text{arc tg } B/2M$
Angle A2	$A_2 = \text{arc tg } M/N$
Angle A2C	$A_2C = 90^\circ - A_2 - B_7$
Cote C	$C = L/\text{tg } A_2$
Cote G	$G = \sqrt{L^2 + C^2}$
Reculée de croupe	$L_1 = G \times \sin A_2C$
Cote C1	$C_1 = G \times \cos A_2C$
Saillie de croupe	$T = \frac{S}{L} \times L_1$

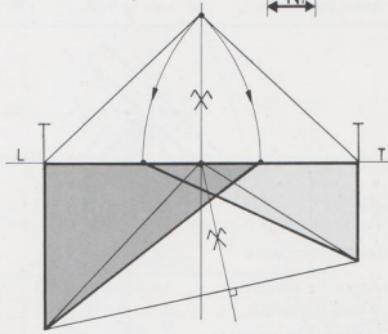
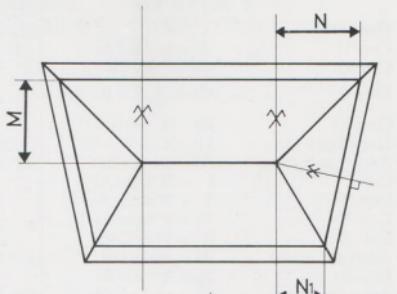
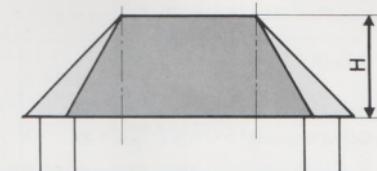
**Saut pour la croupe**

*Empanons*

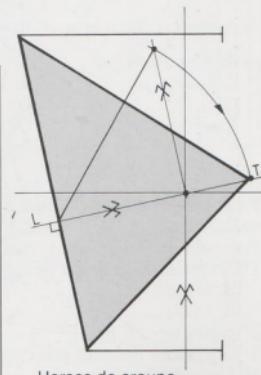
- Chevron d'emprunt  $Ch = \sqrt{L^2 + H^2}$
- Saillie rampante  $Sc = \frac{Ch}{L} \times S$
- Angle de niveau  $A_0 = \text{arc tg } H/L$
- Angle d'aplomb  $A_1 = \text{arc tg } L/H$
- Angle de herse  $A_s = \text{arc tg } C/Ch$
- Angle de dévers  $A_3 = \text{arc tg } C/L$
- Angle A2  $A_2 = \text{arc tg } L/C$
- Angle A2C  $A_2C = 90^\circ - A_2 - B_7$
- Angle B9  $B_9 = A_2 + A_2C$
- Cote W  $W = \frac{A}{\sin B_9} \times \cos A_2C$

**Résultats**

Angle aigu		Angle obtus	
L	C	L	C
116,00	106,56	116,00	106,56
19,33	17,76	19,33	17,76
43° 36'	48° 39'	43° 36'	48° 39'
46° 23'	41° 20'	46° 23'	41° 20'
37° 48'	43° 27'	24° 57'	33° 36'
46° 58'	55° 7'	32° 44'	45° 10'
43° 1'		57° 15'	

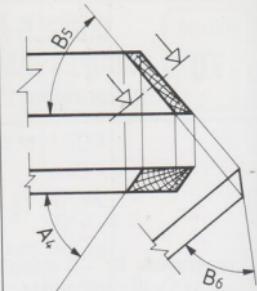


Herses de long-pan

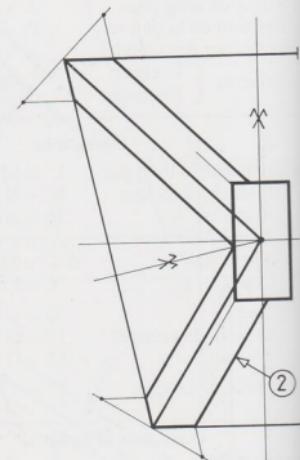


Herses de croupe

Cote D1	$D1 = \frac{D - E}{2}$				
Cote Z1	$Z1 = C - W - D1$				
• Grand empanon	$Ge = \frac{Ch}{C} \times Z1$	99,61 80,28	93,92 78,09	90,64 58,42	90,88 68,30
Cote K (constante)	$K = \frac{Ch}{C} \times D$	60,94 41,61	62,26 46,44	26,20	45,73 23,16
<i>Pannes</i>		22,28	30,61 14,78		
Cote U	$U = F \times \sin A_0$				
Cote U1	$U1 = U \times C/L$				
Cote G1	$G1 = \frac{L}{H} \times P$				
Cote K1	$K1 = (L - G1) \times C/L$				
• Longueur à l'axe	$Lp = K1 - W - U1$	32,34 52° 11'	36,60 46° 32'	17,63 65° 2'	25,43 56° 23'
• Angle sur le chant	$A4 = \text{arc tg } Ch/C$				
Cote I	$I = H \times \sin A1$				
Cote V	$V = H \times \cos A1$				
Cote V1	$V1 = V \times \sin A1$				
Cote R	$R = V1 \times C/L$				
• Angle sur le plat	$B5 = \text{arc tg } I/R$	53° 32'	42° 52'	66° 5'	52° 56'
Cote R1	$R1 = R \times \sin B5$				
• Angle de dévers	$B6 = \text{arc tg } V/R1$	58° 2'	57° 10'	66° 56'	62° 3'



		Angle aigu	Angle obtus
Arêtiers			
• Arête au couronnement	$Ac = \sqrt{G^2 + H^2}$	146,81	127,95
• Saillie rampante	$Sa = \frac{Ac}{L} \times S$	24,46	21,32
• Angle de niveau	$A6 = \text{arc tg } H/G$	33° 1'	38° 41'
• Angle d'aplomb	$A7 = \text{arc tg } G/H$	56° 58'	51° 18'
Cote X	$X = G \times L/C$		
Cote X1	$X1 = G \times L1/C1$		
• Angles sur chant brut	$\begin{cases} A8 = \text{arc tg } X/Ac \\ A9 = \text{arc tg } X1/Ac \\ B4 = \text{arc tg } \frac{G \times \text{tg } A3}{Ac} \end{cases}$	38° 2' 30° 18' 41° 56'	50° 31' 37° 48' 26° 38'
• Angle sur chant brut		4,57	4,88
• Repère d'arête	$Ra = W \times \cos A3$		
Cote J1	$J1 = J/2 \times C/L$		
Cote Q	$Q = O/2 - J1$		
Cote Q1	$Q1 = Q \times \cos A3$		



Pour passer de l'angle aigu à l'angle obtus, il faut inverser les valeurs de N et N1.

Pour obtenir les résultats sur la croupie, il faut :

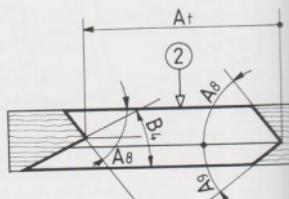
1°) inverser les valeurs de :

L et L1

C et C1

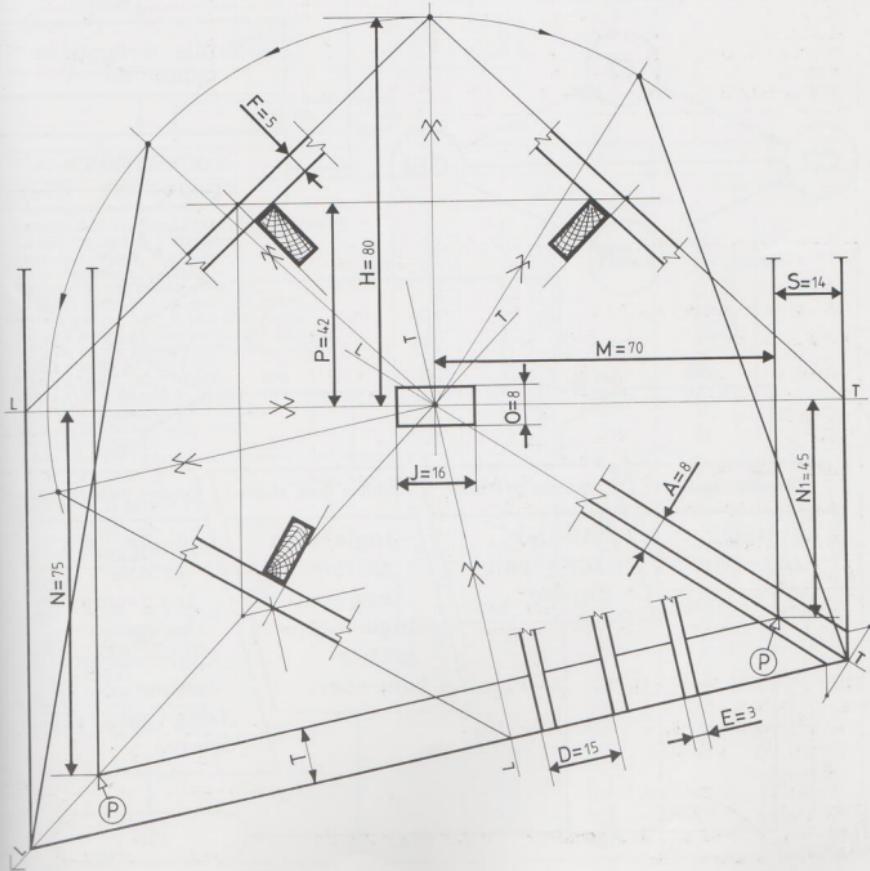
2°) remplacer S par T

3°) effectuer un saut, pour repartir le programme à partir du chevron d'emprunt.



Arêtier sur chant brut

• Repère d'engueulement	$Re = Ra + Q_1$	1,46	3,91
Cote Y	$Y = \frac{J}{2 \cos A_3}$		
Cote $Y_1$	$Y_1 = Q_1 \times \tan A_3$		
Cote Z	$Z = G - Y - Y_1$		
• Arête utile	$At = \frac{Ac}{G} \times Z$	136,82	116,55
Cote $I_1$	$I_1 = G \times \sin A_6$	$59^\circ 43'$	$68^\circ 6'$
• Angles de délardement	$\begin{cases} B_0 = \text{arc tg } X/I_1 \\ B_1 = \text{arc tg } X_1/I_1 \end{cases}$	$51^\circ 59'$	$57^\circ 49'$
• Cote de délardement	$C_d = \frac{Ra}{\tan B_0}$	2,67	1,96





Nos programmes de traçage, présentés en quatre séries, partent du plus simple pour aller vers le plus compliqué. Cette démarche, établie en ce sens dans un but pédagogique, permet d'avancer progressivement vers la difficulté.

A l'inverse, les programmes les plus compliqués, permettent d'obtenir les résultats des plus simples, comme l'indique le schéma de la figure 1.

L'organigramme ci-contre, concrétise cette démarche inverse, et nous oriente, à la suite de certaines conditions, vers les quatre tableaux de résultats.

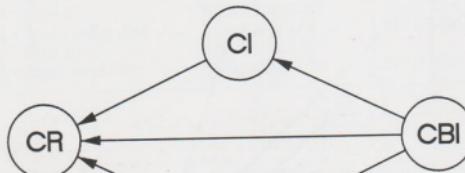
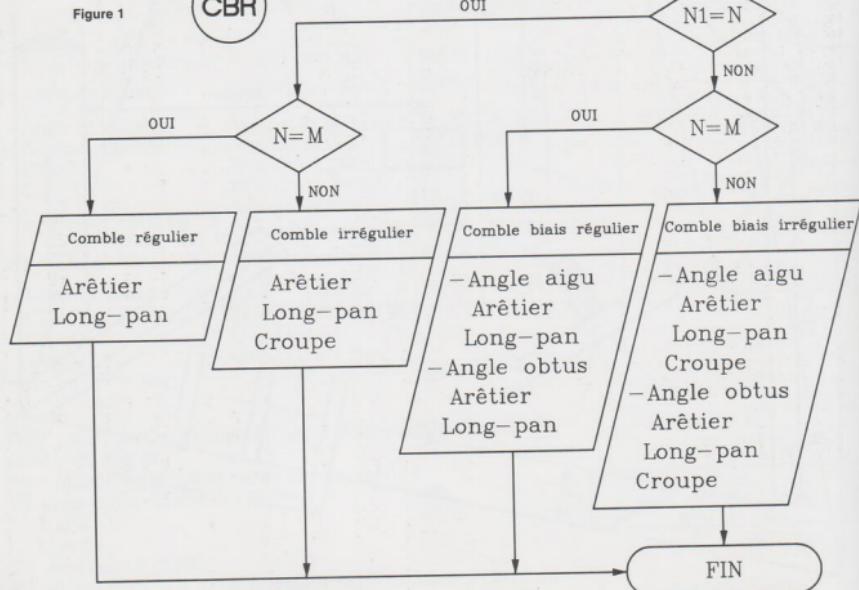


Figure 1



## TRACES DE CHARPENTE

Donner les dimensions en mètre

## programme P7-1

## DONNEES

La saillie est-elle régulière (0=oui 1=non) ?		0
Cotes au nu des murs :	Long-Pan	M = 3,20
	Croupe	N = 2,75
		N1 = 1,50
Hauteur du comble		H = 3,00
Saillie		S = ,35
Poinçon :	Largeur	J = ,20
	Epaisseur	O = ,08
Arétier :	Epaisseur	A = ,08
Panne :	Hauteur	P = 1,48
Chevron :	Ecartement	D = ,40
	Epaisseur	E = ,05
	Largeur	F = ,08

## RESULTATS

Valeur de la saillie de croupe	T =	,35	
ARETIER :		Angle aigu	Angle obtus
Longueur de l'arétier,au point de couronnement	Ac =	5,63	4,98
Saillie rampante de l'arétier	Sa =	,81	,72
Angle de niveau de l'arétier	A6 =	32° 12'	37° 2'
Angle d'aplomb de l'arétier	A7 =	57° 47'	52° 57'
Angle sur chant brut,côté long-pan	A8 =	43° 24'	57° 44'
Angle sur chant brut,au pied côté croupe	A9 =	26° 43'	31° 45'
Angle sur chant brut,en tête côté croupe	B4 =	37° 6'	21° 54'
Angle de dévers d'enqueulement,côté long-pan	A3 =	41° 48'	26° 44'
Angle de dévers d'enqueulement,côté croupe	A2 =	48° 11'	63° 15'
Repère d'arête en plan	Ra =	,05	,06
Repère d'enqueulement en plan	Re =	,02	,05
Arête utile,à l'angle du poinçon	At =	5,51	4,85
Angle de délardement,côté long-pan	Bo =	64° 30'	73° 7'
Angle de délardement,côté croupe	B1 =	48° 9'	52° 9'
Cote de délardement	Cd =	,02	,02
PANNES :		Long-pan	Croupe
Longueur de la panne à l'axe	Lp =	1,49	,82
Angle sur chant	A4 =	55° 39'	68° 57'
Angle sur plat	B5 =	60° 0'	71° 59'
Angle de dévers de la panne	B6 =	59° 23'	69° 54'
EMPANONS :		Long-pan	Croupe
Longueur du chevron d'emprunt	Ch =	4,65	4,65
Saillie rampante du chevron	Sc =	,46	,46
Angle de niveau du chevron	A0 =	40° 12'	50° 55'
Angle d'aplomb du chevron	A1 =	49° 47'	39° 4'
Angle de herse	A5 =	34° 20'	46° 38'
Angle de dévers des empansons	A3 =	41° 48'	50° 14'
Longueur du grand empanon	Ge =	4,29	4,03
Longueurs des autres empansons		3,70	3,27
		3,12	2,89
		2,53	2,51
		1,95	2,14
		1,36	1,76
		,78	1,38
		,19	1,00
			,63
			,25

## TRACES DE CHARPENTE

Donner les dimensions en mètre

programme P7-2

## DONNEES

La saillie est-elle régulière (0=oui 1=non) ?		1
Cotes au nu des murs :	Long-Pan	M = 3,20
	Croupe	N = 2,75
		N1 = 1,50
Hauteur du comble		H = 3,00
Saillie		S = ,35
Poinçon :	Largeur	J = ,20
	Epaisseur	O = ,08
Arêtier :	Epaisseur	A = ,08
Panne :	Hauteur	P = 1,48
Chevron :	Ecartement	D = ,40
	Epaisseur	E = ,05
	Largeur	F = ,08

## RESULTATS

Valeur de la saillie de croupe	T =	,23		Angle obtus
		Angle aigu		
ARETIER :				
Longueur de l'arêtier, au point de couronnement	Ac =	5,56		4,94
Saillie rampante de l'arêtier	Sa =	,55		,49
Angle de niveau de l'arêtier	A6 =	32° 39'		37° 25'
Angle d'aplomb de l'arêtier	A7 =	57° 20'		52° 34'
Angle sur chant brut, côté long-pan	A8 =	44° 24'		59° 26'
Angle sur chant brut, au pied côté croupe	A9 =	25° 34'		30° 8'
Angle sur chant brut, en tête côté croupe	B4 =	35° 53'		20° 25'
Angle de dévers d'engueulement, côté long-pan	A3 =	40° 40'		25° 6'
Angle de dévers d'engueulement, côté croupe	A2 =	49° 19'		64° 53'
Repère d'arête en plan	Ra =	,05		,06
Repère d'engueulement en plan	Re =	,02		,05
Arête utile, à l'angle du poinçon	At =	5,44		4,80
Angle de délardement, côté long-pan	Bo =	65° 7'		74° 6'
Angle de délardement, côté croupe	Bl =	46° 29'		50° 15'
Cote de délardement	Cd =	,02		,02
PANNES :		Long-pan	Croupe	Long-pan
Longueur de la panne à l'axe	Lp =	1,43	1,90	,75
Angle sur chant	A4 =	56° 43'	42° 57'	70° 18'
Angle sur plat	BS =	60° 58'	35° 40'	73° 9'
Angle de dévers de la panne	B6 =	60° 8'	57° 56'	71° 5'
EMPANONS :				Croupe
Longueur du chevron d'emprunt	Ch =	4,65	3,79	4,65
Saillie rampante du chevron	Sc =	,46	,37	,46
Angle de niveau du chevron	AO =	40° 12'	52° 21'	40° 12'
Angle d'aplomb du chevron	A1 =	49° 47'	37° 38'	49° 47'
Angle de herse	A5 =	33° 16'	47° 2'	19° 41'
Angle de dévers des empannons	A3 =	40° 40'	60° 22'	25° 6'
Longueur du grand empannon	Ge =	4,27	3,58	3,98
Longueurs des autres empannons		3,66	3,20	2,86
		3,05	2,83	1,74
		2,45	2,46	,62
		1,84	2,09	2,10
		1,23	,71	1,62
		,62	1,34	1,14
			,97	,57
			,60	,19
			,22	

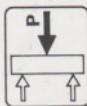
*Troisième partie*

**STATIQUE  
ET STRUCTURES  
DES COMBLES**

# *Table des matières de*

## STATIQUE ÉLÉMENTAIRE

Etudes



- |           |                          |
|-----------|--------------------------|
| <b>72</b> | LE MATERIAU BOIS         |
| <b>73</b> | LES FORCES               |
| <b>74</b> | LES MOMENTS              |
| <b>75</b> | LE FUNICULAIRE           |
| <b>76</b> | METHODE DE CREMONA       |
| <b>77</b> | METHODE DE RITTER        |
| <b>78</b> | LE MOMENT FLECHISSANT    |
| <b>79</b> | EFFORT DE FLEXION        |
| <b>80</b> | TRACTION ET CISAILLEMENT |
| <b>81</b> | EFFORT DE COMPRESSION    |

## STRUCTURES DES COMBLES



- |           |   |
|-----------|---|
| <b>82</b> | COMBLE À DEUX VERSANTS                      |
| <b>83</b> | ASSEMBLAGES DE CHARPENTE                    |
| <b>84</b> | NOEUDS D'ASSEMBLAGE                         |
| <b>85</b> | FERMES À UNE PANNE (1 <sup>re</sup> partie) |

## *troisième partie*

86	FERMES À UNE PANNE	(2 <sup>e</sup> partie)
87	FERMES À DEUX PANNES	(1 <sup>re</sup> partie)
88	FERMES À DEUX PANNES	(2 <sup>e</sup> partie)
89	ÉPURES DE CRÉMONA ASYMÉTRIQUES	
90	CRÉMONA AVEC RÉACTIONS OBLIQUES	
91	CRÉMONA AVEC TROIS INCONNUES	
92	CHARPENTE À SECTIONS I	
93	CHARPENTE LAMELLÉE COLLÉE	
94	CHARPENTE EN BOIS ET ACIER	
95	FERME À UNE PANNE	programme P1
96	FERME À UNE PANNE	programme P2
97	FERME À UNE PANNE	programme P3
98	FERME À DEUX PANNES	programme P4
99	FERME À DEUX PANNES	programme P5
100	FERME À DEUX PANNES	programme P6
101	FERME À DEUX PANNES	programme P7
102	FERME POLONCEAU	programme P8
103	FERME À DEUX PANNES	programme P9



Le bois est un matériau à structure hétérogène. Il est formé de vaisseaux qui ont canalisé la sève, au cours de la croissance de l'arbre.

#### Accroissements annuels (fig. 1)

Les cernes visibles sur la section transversale du tronc correspondent aux couches annuelles. Chaque couche annuelle comprend :

- le *bois de printemps*, composé de vaisseaux larges, qui ont canalisé une sève abondante,
- le *bois d'été*, composé de vaisseaux étroits, qui ont canalisé une sève réduite.

L'épaisseur des couches annuelles varie suivant les essences. Et pour certaines essences, comme les résineux, elle est fonction du climat sous lequel les arbres ont poussé. C'est pour cela que les sapins à croissance lente des pays nordiques, fournissent un bois de meilleure qualité.

L'épaisseur des couches annuelles, en relation avec la densité, est un facteur déterminant de la résistance mécanique des bois.

#### Anomalies de structures (fig. 2 et 3)

Les bois comportent plus ou moins de défauts, qui constituent des *amorces de rupture*, et qui diminuent la résistance du matériau.

Parmi les principaux défauts, on peut citer :

- les *nœuds*, au voisinage desquels les fibres sont déviées ;
- le *fil incliné*, qui est un défaut de parallélisme entre les fibres du bois et les traits du sciage.

#### Déformation et orientation des sciages

Le bois en séchant subit un retrait dimensionnel. Dans la région du cœur, qui contient moins d'eau, le retrait est moins important.

Il s'ensuit une déformation, qui fait rondir les bois du côté du cœur. Pour contrarier cette déformation, il faut les orienter :

- avec le cœur à l'extérieur, pour les pièces moisis (fig. 4) ;
- avec le cœur en dessus, pour les pièces fléchies (fig. 5).

*Nota* : les cernes, lorsqu'ils existent, n'indiquent pas les couches annuelles sur les bois tropicaux. Mais ils correspondent à des alternances de pousses et d'arrêts de la végétation, consécutives aux périodes de pluie et de sécheresse.

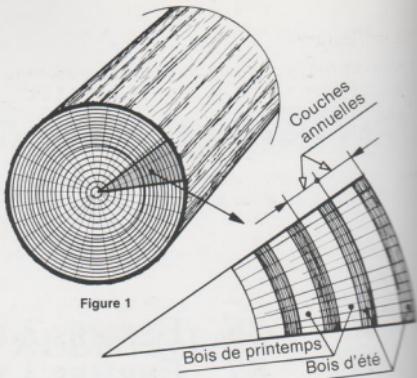


Figure 1

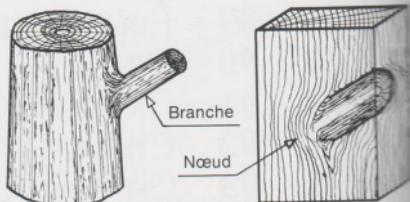
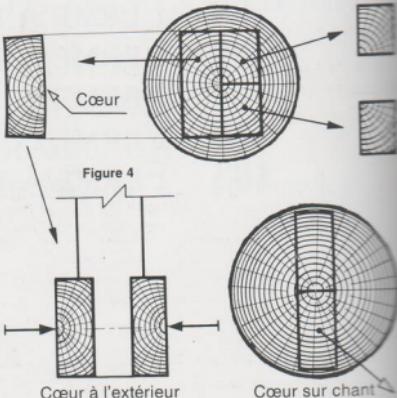


Figure 2



Figure 3

Fil incliné



## Classification

Les bois ont été classés en trois catégories suivant les prescriptions de la norme NF B 52-001. Les principaux critères de classement sont :

- Les principaux critères de classification sont :

  - (1) l'épaisseur moyenne de l'accroissement annuel.
  - (2) le diamètre des nœuds (sains et non groupés).
  - (3) le pourcentage de pente du fil incliné.

Principaux critères	Accroissement e maxi (1)	Nœud Ø maxi (2)	Fil incliné Pente maxi (3)
Catégorie I	3 mm	30 mm	7 %
Catégorie II	5 mm	40 mm	12 %
Catégorie III	10 mm	40 mm et plus	18 %

La résistance des bois est très différente, suivant que l'effort s'exerce :

- parallèlement au sens des fibres (fig. 6 et 7),
  - perpendiculairement au sens des fibres (fig. 8 et 9).

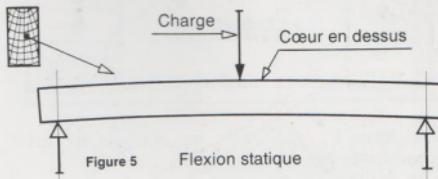
### Contraintes admissibles

Les valeurs données dans le tableau ci-dessous sont évaluées en bars ou daN/cm<sup>2</sup>.

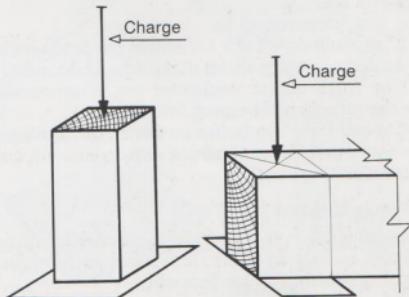
Elles ont été établies à la suite de nombreux essais mécaniques, réalisés sur des éprouvettes ayant une teneur en eau voisine de 15 %.

Ce pourcentage d'humidité est relatif à la densité du bois à l'état *anhydre*.

Un bois anhydre est totalement sec, ce qui ne peut être obtenu qu'en laboratoire. Soumis à l'air ambiant, il absorbe à nouveau l'humidité de cet air, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli.



**Figure 5** Flexion statique



### Compression axiale

#### Compression transversale

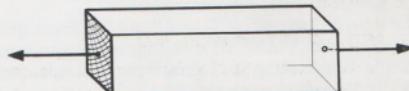


FIGURE 7

#### Traction axiale

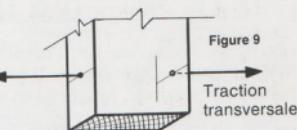
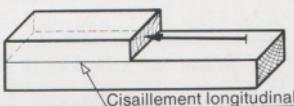


Figure 1

Traction transversale



### Cisaillement longitudinal

Contraintes admissibles en bars ou daN/cm <sup>2</sup>		Compression axiale	Traction axiale	Flexion statique	Cisaillement transversal	Cisaillement longitudinal	Traction transversale
<b>Catégorie I</b>	Chêne Résineux	136 131	164 152	147 142	49 27	22 16	13 9
	Chêne Résineux	109 103	98 87	125 109	43 22	16 13	11 7
<b>Catégorie III</b>	Chêne Résineux	98 82	- -	109 87	- -	13 11	- -

**ÉTUDE  
73**

# LES FORCES



Une force  $F$ , représentée par un vecteur, est caractérisée par :

- sa droite d'action,
- son sens,
- son intensité (fig. 1).

L'intensité de la force est définie par la longueur du vecteur, en fonction d'une échelle donnée.

Une force qui ne rencontre pas d'opposition engendre un mouvement linéaire.

Chaque force symbolise un effort, qui appliquée en un point  $P$ , peut être une *compression* ou une *traction*.

## Forces statiques (fig. 2 et 3)

Lorsque plusieurs forces, appliquées en un même point se font équilibre, le système est statique, par opposition au mouvement.

## Unité de force (fig. 4)

La *gravitation*, ou pesanteur (symbole  $g$ ) est une force en vertu de laquelle tous les corps s'attirent proportionnellement à leur *masse*.

Le newton \* (symbole N) est l'unité de force que produit une masse de 1 kilogramme, animée d'une accélération de 1 mètre par seconde, par seconde, soit :  $1 \text{ m s}^{-2}$

$$1 \text{ kg} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ s}^2 = 1 \text{ N}$$

A Paris, au niveau du sol, l'accélération d'un corps en chute libre est de 9,81 mètres par seconde, par seconde, soit :  $9,81 \text{ m s}^{-2} = 1 \text{ g}$ .

On peut en déduire que la force de pesanteur, produite par une masse de 1 kg (à Paris) est égale à 9,81 N

$$1 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m} \times 1 \text{ s}^2 = 9,81 \text{ N}$$

*Hypothèse* : si l'accélération était de  $10 \text{ m s}^{-2}$ , nous aurions :

$$1 \text{ kg} \times 10 \text{ m} \times 1 \text{ s}^2 = 10 \text{ N}$$

*Conclusion* : admettre que l'unité de masse 1 kg correspond à 10 N, comme on le fait généralement dans les calculs, par mesure de simplification, revient à prendre comme base :  $g = 10$ . Le décanewton (symbole daN) est un multiple du newton, soit :  $10 \text{ N} = 1 \text{ daN}$ .

C'est en définitive le daN que nous prendrons comme unité, étant donné sa relation avec le kg.

Newton : physicien britannique (1642-1727).

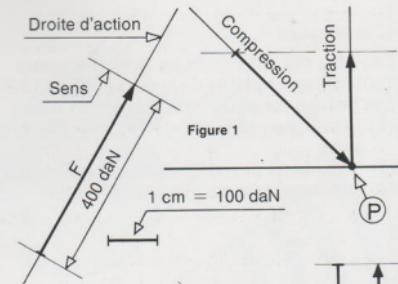


Figure 1

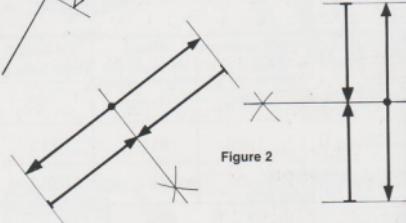


Figure 2

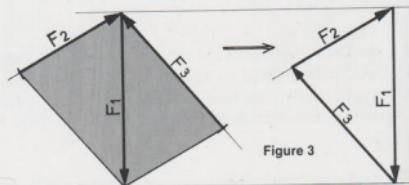
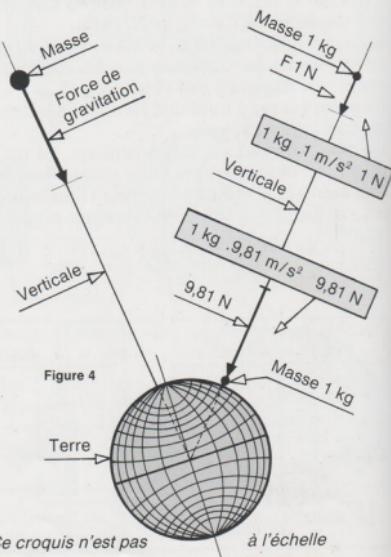


Figure 3



### Décomposition d'une force (fig. 5)

Une force  $F$  peut être décomposée en deux autres forces, si l'on connaît leurs droites d'action. Ce résultat est obtenu par la construction d'un parallélogramme. On appelle *composantes* les deux nouvelles forces ainsi obtenues, qui remplacent la première.

#### Exemple d'application :

Après glissement sur sa droite d'action, la charge  $P$  est divisée en deux autres forces :

- la force  $F_1$ , qui comprime la barre  $a$ ,
- la force  $F_2$ , qui comprime la barre  $b$ .

### Composition de deux forces (fig. 6)

Cette opération est l'inverse de la précédente. Les forces  $F_1$  et  $F_2$  sont composées en une seule force.

On appelle *résultante* cette nouvelle force qui remplace les premières.

#### Exemple d'application

Le pied d'une ferme en arc produit :

- une charge verticale  $F_V$ ,
- une poussée horizontale  $F_H$ .

La résultante des deux forces détermine l'action du pied de ferme sur l'appui  $A$ .

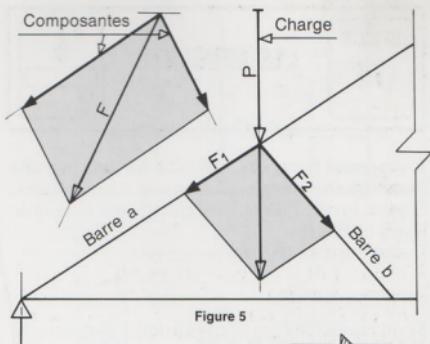


Figure 5

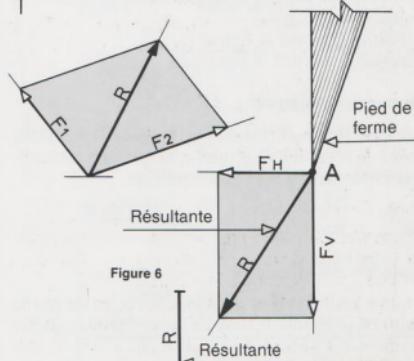


Figure 6

### Composition de deux forces parallèles (fig. 7)

La résultante est égale à la somme des deux forces. Il reste à situer sa position par rapport à  $F_1$  et  $F_2$ .

1°) Tracer les diagonales dont l'intersection  $P$  détermine les cotes  $a$  et  $b$ .

2°) Inverser les deux cotes en  $a'$  et  $b'$ , pour situer la résultante.

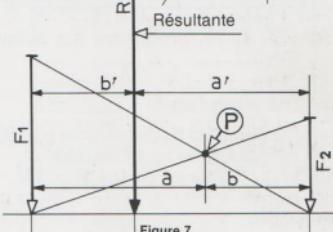


Figure 7

### Décomposition d'une force en deux forces parallèles (fig. 8)

Soit une poutre sur deux appuis  $A$  et  $B$ , qui reçoit une charge  $P$ .

Les cotes  $a$  et  $b$  étant connues, déterminer :

- la force  $F_1$ , sur l'appui  $A$ ,
- la force  $F_2$ , sur l'appui  $B$ .

1°) Inverser les cotes  $a$  et  $b$  en  $a'$  et  $b'$  pour situer le point  $P$ .

2°) Tracer les diagonales  $d$  et  $d'$ , puis à partir du point  $P$ :

- la parallèle à  $d$  pour obtenir  $F_1$ ,
- la parallèle à  $d'$  pour obtenir  $F_2$ .

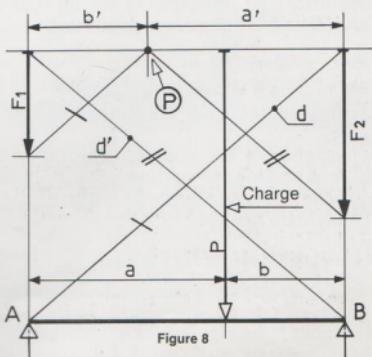
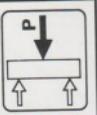


Figure 8

ÉTUDE  
74

# LES MOMENTS



Un **moment** (symbole  $M_t$ ) est constitué par une force qui agit à angle droit sur un bras de levier. C'est le produit de la force en daN par le bras de levier en mètres.

Il s'exprime en daNm.

### Sens conventionnel

Si on choisit le sens conventionnel ci-contre, le moment sera :

- *positif*, suivant la figure 1,
- *négatif*, suivant la figure 2.

### Moments statiques (fig. 3)

Lorsque plusieurs moments, appliqués au même point de rotation s'annulent, le système est statique et par conséquent en équilibre.

$$(F_1 \times D_1) - (F_2 \times D_2) = 0 \\ F_1 \times D_1 = F_2 \times D_2$$

### Moments nuls (fig. 4)

Quand la droite d'action de la force passe par le point de rotation, le bras de levier est égal à 0. Le moment est donc nul  $F \times 0 = 0$ .

Les forces  $F_1$  et  $F_2$ , produisent des moments nuls.

### Moment d'un couple (fig. 5)

Un couple se compose de deux forces parallèles, de même intensité et de sens contraire. Le moment du couple est égale à  $F \times D$ .

### Forces obliques

Si une force agit obliquement sur un bras de levier, il faut déterminer le moment réel.

#### Première méthode (fig. 6)

En décomposant la force  $F$ , on obtient :

- la composante  $C_1$ , perpendiculaire au bras de levier,
- la composante  $C_2$ , dont la droite d'action passe par le point de rotation, ce qui donne un moment nul, sans effet sur le système.

Le moment est donc :  $C_1 \times D$

#### Deuxième méthode (fig. 7)

A partir du point de rotation, on trace la perpendiculaire à la droite d'action de la force. On obtient ainsi le bras de levier  $D_1$ .

Le moment est :  $F \times D_1$ .

Figure 1

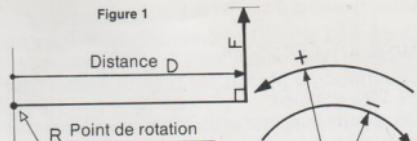


Figure 2

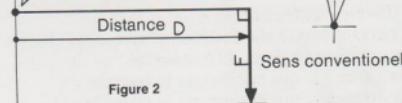


Figure 3

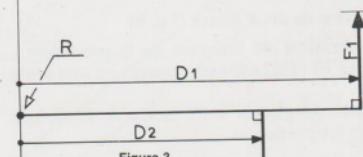


Figure 4

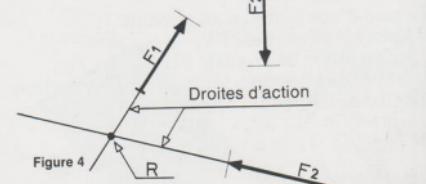


Figure 5

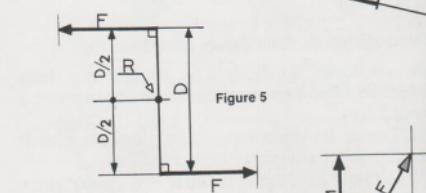


Figure 6

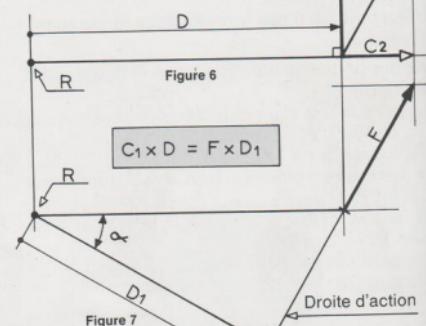


Figure 7

## Application pratique

### Premier exemple (fig. 8)

Une poutre sur deux appuis reçoit deux charges ponctuelles :  $P_1 = 500 \text{ daN}$ ,  $P_2 = 800 \text{ daN}$ .

Leurs distances de l'appui A sont de 3 m et 6 m. La distance entre appuis est de 7 m.

Imaginons le point de rotation en A

- la réaction d'appui RA, produit un moment nul,
- la réaction d'appui RB, un moment positif,
- les forces  $P_1$  et  $P_2$ , des moments négatifs.

### Calculs de RB et de RA

$$(RB \times D_3) - (P_1 \times D_1) - (P_2 \times D_2) = 0$$

$$RB = \frac{(P_1 \times D_1) + (P_2 \times D_2)}{D_3}$$

$$RB = \frac{(500 \times 3) + (800 \times 6)}{7} = 900 \text{ daN}$$

La somme des réactions d'appui est égale à la somme des charges.

$$RA + RB = P_1 + P_2 \quad RA = (P_1 + P_2) - RB$$

$$RA = (500 + 800) - 900 = 400 \text{ daN}$$

La résultante R est égale à la somme des charges.

On peut calculer la distance  $D_4$ .

$$-(R \times D_4) + (RB \times D_3) = 0 \quad D_4 = \frac{RB \times D_3}{R}$$

$$D_4 = \frac{900 \times 7}{1300} = 4,846 \text{ m}$$

### Deuxième exemple (fig. 9)

La poutre reçoit également deux charges ponctuelles :

$$P_1 = 400 \text{ daN}, P_2 = 900 \text{ daN}.$$

Leurs distances de l'appui A sont 3 m et 7 m.

La charge  $P_2$  située en dehors de l'appui, produit un *porté-à-faux*.

La distance entre appuis est de 5 m.

### Calcul de RB et de RA

$$(RB \times D_3) - (P_1 \times D_1) - (P_2 \times D_2) = 0$$

$$RB = \frac{(400 \times 3) + (900 \times 7)}{5} = 1500 \text{ daN}$$

$$RA = (P_1 + P_2) - RB$$

$$RA = (400 + 900) - 1500 = -200 \text{ daN}.$$

*Remarque*: Un moment qui ne rencontre pas d'opposition engendre un mouvement circulaire.

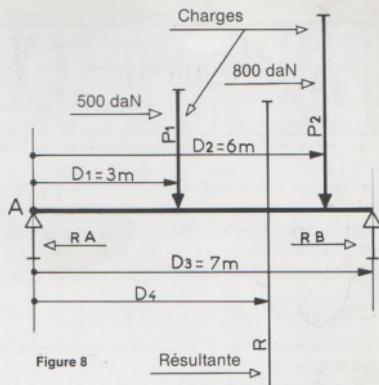


Figure 8

1 cm = 200 daN  
Echelles  
1 cm = 1 m

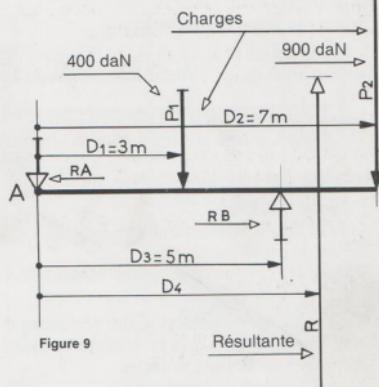


Figure 9

La réaction d'appui RA est négative, ce qui nécessite un *ancrage* de la poutre en A. Sans quoi il y aurait soulèvement et mouvement de bascule. La résultante R est égale à la somme des réactions d'appui.

On peut calculer la distance  $D_4$ .

$$(R \times D_4) - (P_1 \times D_1) - (P_2 \times D_2) = 0$$

$$D_4 = \frac{(400 \times 3) + (900 \times 7)}{(1500 - 200)} = 5,769 \text{ m}$$

La résultante des réactions d'appui est de même intensité que la résultante des charges, mais de sens contraire.

**ÉTUDE  
75**

**LE FUNICULAIRE**



Le funiculaire est une méthode graphique suivant une échelle donnée. La construction comprend deux tracés, A et B, réalisés simultanément.

**Recherche des réactions d'appui (fig. 1)**

1°) Sur le tracé A :

- Construire le dynamique des forces qui comprend la charge  $P$  et la somme des réactions d'appui.
- Situer le point polaire, lequel est placé au jugé, sans données imposées.
- Tracer les rayons polaires 1 et 2.

2°) Sur le tracé B :

- Reporter chaque rayon polaire, parallèlement à sa position du tracé A.
- Mener la ligne de fermeture.

3°) Reporter cette ligne en A, parallèlement à sa position en B, pour obtenir les valeurs de  $RA$  et  $RB$ .

Dans ce cas simple, il n'y a pas lieu de rechercher la résultante, qui se confond avec la charge  $P$ .

**Recherche des réactions d'appui (fig. 2)**

1°) Sur le tracé A :

- Construire le dynamique des forces.
- Situer le point polaire.
- Tracer les rayons polaires numérotés de 1 à 4.

2°) Sur le tracé B :

- Tracer les droites d'action des réactions d'appui, parallèlement à la résultante du tracé A.
- Reporter les rayons polaires.
- Mener la ligne de fermeture.

3°) Reporter en A la ligne de fermeture pour obtenir les valeurs de  $RA$  et de  $RB$ .

**Position de la résultante**

Sur le tracé B, prolonger le premier et le dernier rayon polaire (1 et 4) jusqu'à leur intersection au point  $P$ .

La résultante qui passe par ce point, peut être :

- la résultante des charges, lorsqu'elle est dirigée vers le bas,
- la résultante des réactions d'appui, lorsqu'elle est dirigée vers le haut.

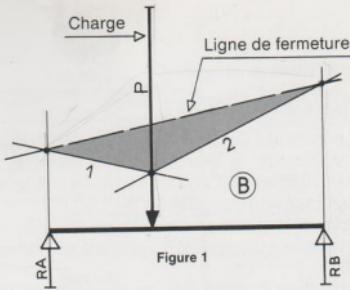


Figure 1

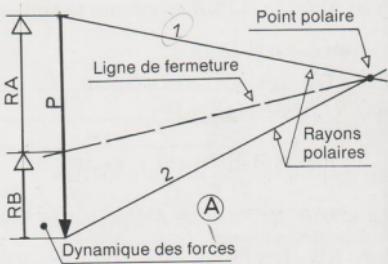
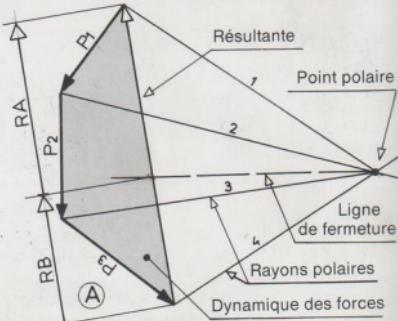
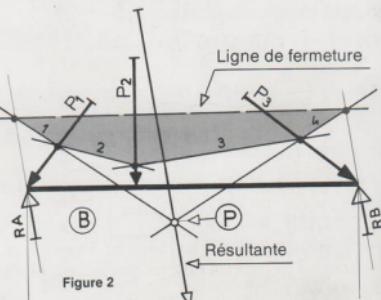


Figure 2



## Application pratique

### Détermination des résultats (fig. 3)

En fonction des échelles, on obtient :

$$\begin{array}{ll} RB = 4,5 \text{ cm} \times 200 \text{ daN} & RB = 900 \text{ daN} \\ RA = 2 \text{ cm} \times 200 \text{ daN} & RA = 400 \text{ daN} \end{array}$$

### Position de la résultante :

On peut évaluer la cote  $x$  à 4,85 cm, soit 4,85 m. Le funiculaire est d'autant plus précis que les échelles sont plus grandes.

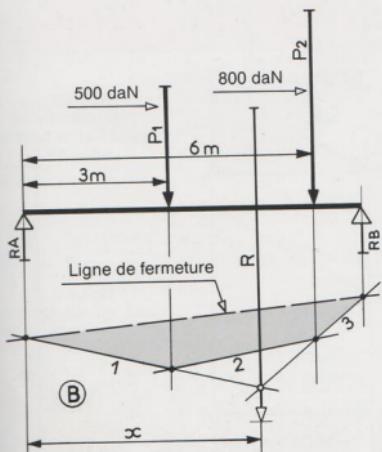
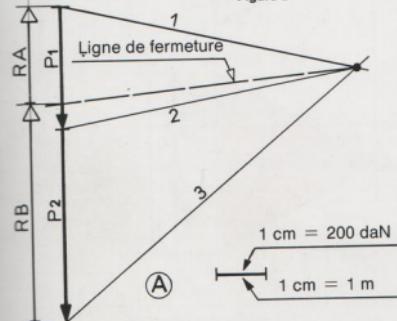


Figure 3



### Détermination des résultats (fig. 4)

$$\begin{array}{ll} RB = 7,5 \text{ cm} \times 200 \text{ daN} & RB = 1500 \text{ daN} \\ RA = 1 \text{ cm} \times 200 \text{ daN} & RA = 200 \text{ daN} \end{array}$$

*Remarque :* la ligne de fermeture sur le tracé A, coupe la droite d'action de la résultante en dehors des rayons polaires. Elle détermine :

- une force RB, égale à la somme des charges + RA.
- une force RA dirigée vers le bas, pour fermer le dynamique.

RA est donc une force qui agit sur la poutre pour maintenir l'équilibre.

### Position de la résultante :

La cote  $x$  mesure 5,75 cm environ, soit 5,75 m.

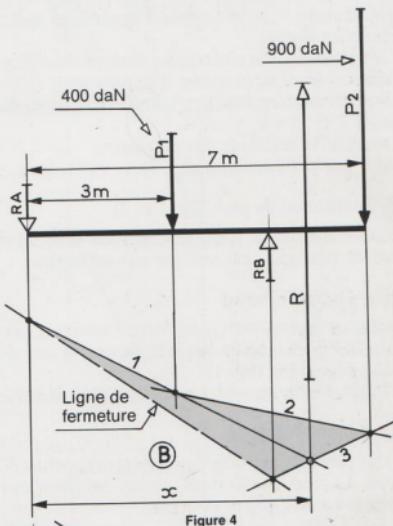
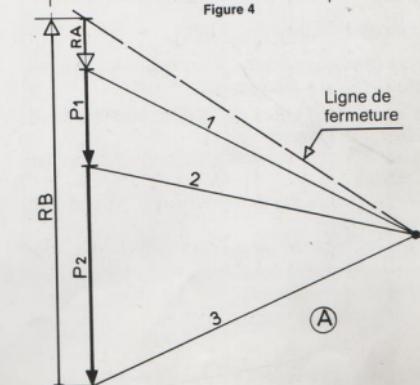
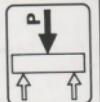


Figure 4



Nous reprenons ici les exemples déjà traités dans l'étude précédente, pour montrer que les résultats peuvent être obtenus :

- soit par les moments, méthode mathématique,
- soit par le funiculaire, méthode graphique.



Le Crémona est un tracé géométrique qui permet de déterminer les efforts sur les barres d'un système triangulé, soumis à des forces extérieures. Les forces extérieures comprennent les *charges* et les *réactions d'appui*, dont la somme est égale à celle des charges.

### Réactions d'appui

Lorsque le système est symétrique, comme dans l'application A, les réactions d'appui sont égales entre elles (fig. 1).

Si le système est asymétrique, comme dans l'application B, les réactions d'appuis sont différentes. Il faut rechercher leurs valeurs respectives :

- soit par la méthode des moments,
- soit par le funiculaire (fig. 3).

### Régionalisation du plan (fig. 1 et 3)

Chaque région du plan, dans lequel se situe le système triangulé, est indiqué par un repère.

### Repérage d'un élément

Chaque élément, barre ou force extérieure, est désigné par les repères du plan, suivant le sens de lecture. Exemple (fig. 1) :

La barre *a d* du nœud 1, s'appelle *d a* au nœud 2.

### Dynamiques des nœuds

Ils représentent les forces qui agissent sur chaque nœud. La construction se fait en commençant par la première valeur connue.

### Epure du Crémona (fig. 2 et 4)

Ce graphique regroupe et remplace les dynamiques construits séparément.

La *nature de l'effort* est définie par le sens de lecture, sur l'épure.

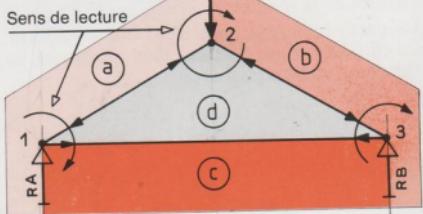
- c'est une *compression*, si la force se dirige vers le nœud ;
- c'est une *traction*, si la force s'éloigne du nœud.

L'*intensité de l'effort* est évaluée d'après la longueur du segment donné par l'épure, en fonction de l'échelle des forces.

### APPLICATION A

750 daN

Figure 1



Sens de lecture  
Dynamiques  
Nœud 1  
Valeur connue *ca*  
Valeurs découvertes  
*ad* et *dc*

Nœud 2  
Toutes valeurs connues

Nœud 3  
Toutes valeurs connues

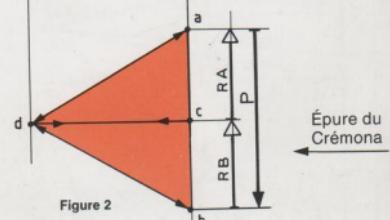


Figure 2

Épure du  
Crémona

### Tableau des résultats

Repère de la barre	Nature de l'effort	Intensité de l'effort
Barre <i>a d</i>	Compression	750 daN
Barre <i>d c</i>	Traction	650 daN
Barre <i>b d</i>	Compression	750 daN

<sup>(1)</sup> Crémona : mathématicien italien (1830-1903).

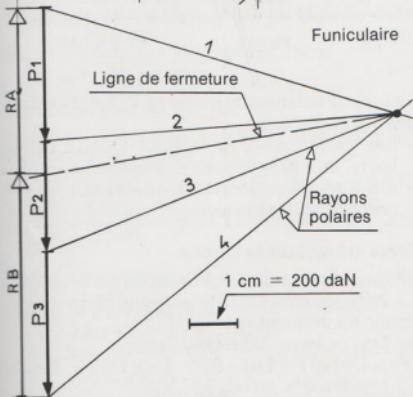
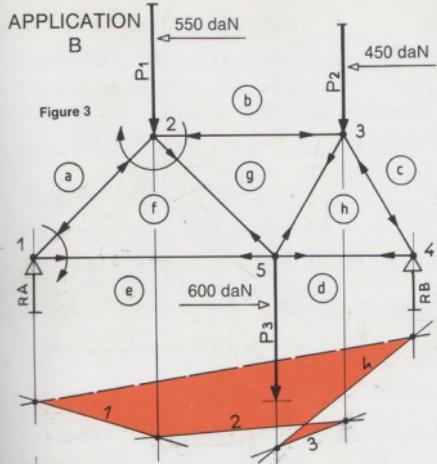


Tableau des résultats

Repère de la barre	Nature de l'effort	Intensité de l'effort
Barre a f	Compression	960 daN
Barre f e	Traction	680 daN
Barre b g	Compression	810 daN
Barre g f	Traction	190 daN
Barre c h	Compression	1 070 daN
Barre h g	Traction	550 daN
Barre d h	Traction	540 daN

#### Exemples sur l'application B

- la barre a f =  $4,8 \text{ cm} \times 200 = 960 \text{ daN}$
- la barre d h =  $2,7 \text{ cm} \times 200 = 540 \text{ daN}$

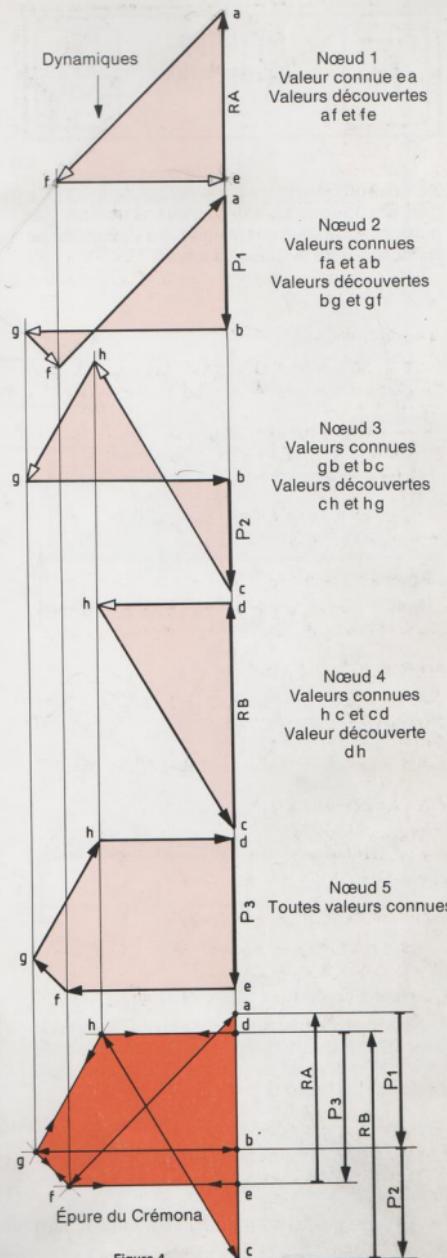
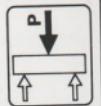


Figure 4



La méthode de Ritter est une application pratique des moments. Elle permet d'obtenir par mathématiques les contraintes qui s'exercent sur les barres d'un système triangulé.

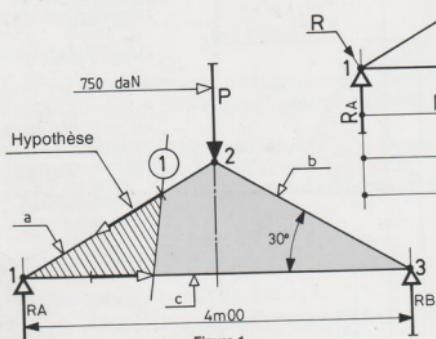


Figure 1

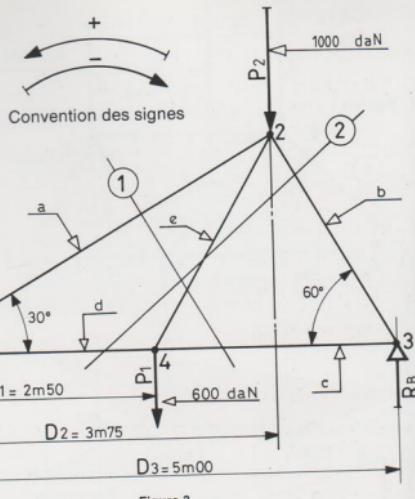


Figure 3

Le sens de rotation du moment, définit la nature de l'effort qui sera :

- une *compression*, si la force pousse sur la barre, en son point de sectionnement ;
- une *traction*, si la force tire sur la barre, en son point de sectionnement.

#### Force qui agit sur la barre a

Situons le point de rotation au nœud 3. La barre c, concourante au point de rotation, donne un moment nul.

$$\text{Le bras de levier } Da = D_1 = 2 \text{ m.} \\ (Fa \times Da) + (P \times D_1) = 0 \quad Fa \times Da = -P \times D_1 \\ Fa = -\frac{750 \times 2}{2} = -750 \text{ daN Compression}$$

Le moment est négatif et la force Fa pousse sur la barre.

#### Force qui agit sur la barre c

Situons le point de rotation au nœud 2. Cette fois, c'est la barre a qui donne un moment nul.

$$D_c = 2 \text{ m} \times \tan 30^\circ = 1,154 \text{ m} \\ (Fc \times D_c) + (RB \times D_1) = 0 \quad Fc \times D_c = -RB \times D_1 \\ Fc = -\frac{650 \times 2}{1,154} = -570 \text{ daN Traction}$$

Le moment est encore négatif, mais la force Fc tire sur la barre.

#### Exemple d'application (fig. 1 et 2)

Si on coupait les barres a et c suivant la ligne 1, pour ôter la partie hachurée, l'équilibre serait rompu. On peut en déduire que des forces agissent dans les barres a et c.

#### Hypothèse

Ces forces produisent des moments positifs.

#### Résultat

Le résultat, positif ou négatif, détermine le sens réel de rotation du moment.  
Ainsi, il confirme ou infirme l'hypothèse.

### Calcul des réactions d'appui (fig. 3)

$$(RB \times D_3) - (P_1 \times D_1) - (P_2 \times D_2) = 0$$

$$RB \times D_3 = (P_1 \times D_1) + (P_2 \times D_2)$$

$$RB = \frac{(600 \times 2,5) + (1\,000 \times 3,75)}{5} = 1\,050 \text{ daN}$$

$$RA = (600 + 1\,000) - 1\,050 = 550 \text{ daN}$$

### Force sur la barre a (fig. 4)

Coupe suivant la ligne 1 Point de rotation en 4

$$Da = 2,50 \text{ m} / 2 = 1,25 \text{ m}$$

$$(Fa \times Da) - (RA \times D_1) = 0 \quad Fa \times Da = RA \times D_1$$

$$Fa = \frac{550 \times 2,5}{1,25} = 1\,100 \text{ daN} \text{ Compression}$$

### Force sur la barre d (fig. 5)

Coupe suivant la ligne 2 Point de rotation en 2

$$Dd = 3,75 \text{ m} \times \tan 30^\circ = 2,165 \text{ m}$$

$$(Fd \times Dd) - (RA \times D_2) = 0 \quad Fd \times Dd = RA \times D_2$$

$$Fd = \frac{550 \times 3,75}{2,165} = 953 \text{ daN Traction}$$

### Force sur la barre b (fig. 6)

Coupe suivant la ligne 2 Point de rotation en 4

$$Db = 2,50 \text{ m} \times \cos 30^\circ = 2,165 \text{ m}$$

$$(Fb \times Db) + (RB \times D_4) = 0 \quad Fb \times Db = -RB \times D_4$$

$$Fb = -\frac{1\,050 \times 2,5}{2,165} = -1\,212 \text{ daN Compression}$$

### Forces sur la barre c (fig. 7)

Coupe suivant la ligne 1 Point de rotation en 2

$$Dc = 2,50 \text{ m} \times \cos 30^\circ = 2,165 \text{ m}$$

$$(Fc \times Dc) + (RB \times D_5) = 0 \quad Fc \times Dc = -RB \times D_5$$

$$Fc = -\frac{1\,050 \times 1,25}{2,165} = -606 \text{ daN Traction}$$

### Force sur la barre e (fig. 6)

Coupe suivant la ligne 2 Point de rotation en 3

$$De = 2,165 \text{ m}$$

$$(Fe \times De) + (P_1 \times D_4) = 0 \quad Fe \times De = -P_1 \times D_4$$

$$Fe = -\frac{600 \times 2,5}{2,165} = -693 \text{ daN Traction}$$

<sup>(1)</sup> Ritter physicien allemand (1779-1859).

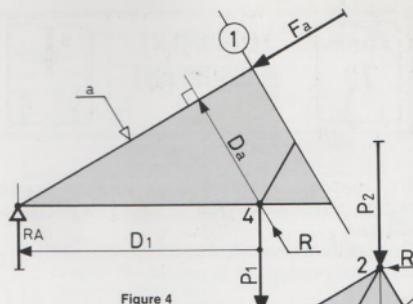


Figure 4

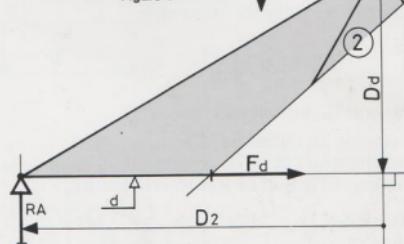


Figure 5

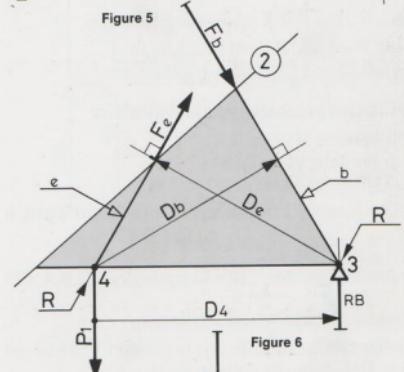


Figure 6

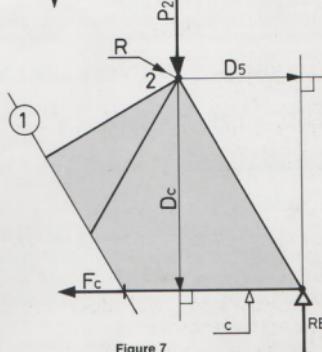


Figure 7

**ÉTUDE  
78**

**LE MOMENT  
FLÉCHISSANT**



Une poutre sur deux appuis, soumise à une charge, a tendance à fléchir sous l'action de la charge.

On appelle *moment fléchissant* (symbole  $M_f$ ) l'effort ainsi produit sur la poutre.

### Charge ponctuelle au centre

$$RA = RB = \frac{P}{2}$$

### Moment fléchissant maximal

Il se situe au milieu de la poutre.

Imaginons un point de rotation  $R$  au droit de la charge, et l'action de  $RA$  sous la poutre.

$$M_f = RA \times D \quad M_f = \frac{P}{2} \times \frac{L}{2} \quad M_f = \frac{P \times L}{4}$$

$M_f = 0,25 \times P \times L$  après simplification.

Pour  $P = 1\,000$  daN et  $L = 5,00$  m  
 $M_f = 0,25 \times 1\,000 \times 5 = 1\,250$  daNm

### Résolution graphique par le funiculaire

Soit suivant les échelles :

- la hauteur  $H$  en daN
- la distance  $D$  en mètres.

Si on donne à la distance  $D$  une valeur égale à  $\frac{L}{2}$ , la hauteur  $H$  sera égale à  $RA$

On obtiendra :  $M_f = H \times D$  équivalent de  $RA \times D$

### Moment fléchissant quelconque

Le diagramme montre que le moment fléchissant varie linéairement dans la poutre.

Il est calculable en tout point situé à une distance  $x$  de A.

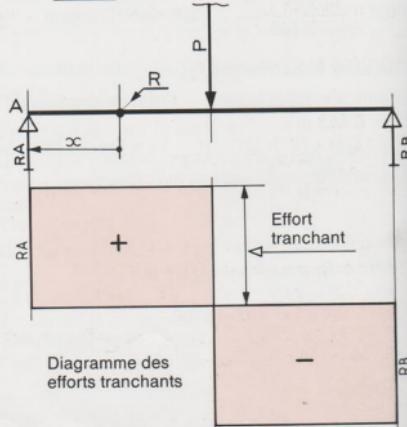
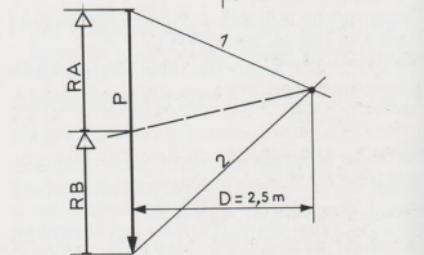
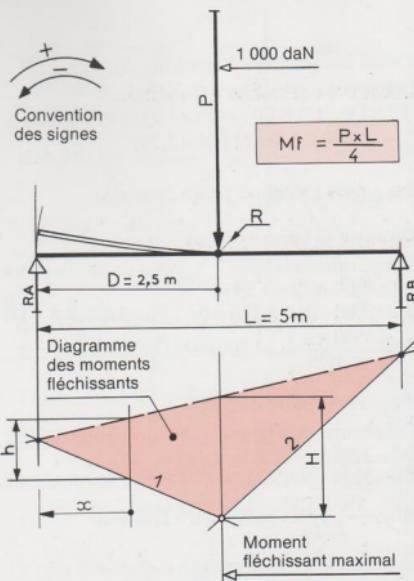
$$M_f = RA \times x \quad \text{ou} \quad \frac{P}{2} \times x \quad \text{Si } x \text{ vaut } 1,25 \text{ m}$$

$$M_f = \frac{1\,000}{2} \times 1,25 = 625 \text{ daNm}$$

Graphiquement le résultat sera :  $M_f = h \times D$

### Effort tranchant ( $T$ )

Une poutre fléchie subit également un effort de cisaillement transversal, appelé effort tranchant. Cet effort est largement absorbé, lorsqu'il s'agit d'une poutre en bois massive à *profil constant*.



## Charge uniformément répartie

$$RA = RB = \frac{P}{2} = \frac{p \times L}{2}$$

### Charge unitaire (symbole p)

Lorsque la charge est uniformément répartie, on désigne par petit p la charge au mètre linéaire.

### Moment fléchissant maximal

Il faut tenir compte du moment  $\frac{P}{2} \times \frac{L}{4}$  qui est négatif.

$$M_f = (RA \times D) - \left( \frac{P}{2} \times \frac{L}{4} \right)$$

$$M_f = \left( \frac{P}{2} \times \frac{L}{2} \right) - \left( \frac{P}{2} \times \frac{L}{4} \right)$$

$$M_f = \left( \frac{P \times L}{4} \right) - \left( \frac{P \times L}{8} \right)$$

Réduisons au même dénominateur

$$M_f = \left( \frac{2 P \times L}{8} \right) - \left( \frac{P \times L}{8} \right) \quad M_f = \frac{P \times L}{8}$$

$$M_f = 0,125 \times P \times L \text{ ou } 0,125 \times p \times L^2$$

Pour  $P = 1\,000 \text{ daN}$  et  $L = 5,00 \text{ m}$

$$M_f = 0,125 \times 1\,000 \times 5 = 625 \text{ daNm}$$

*Remarque :* en comparant les deux exemples, on constate que le moment fléchissant maximal varie du simple au double.

A charge égale, la poutre est donc deux fois plus sollicitée dans le premier cas.

### Moment fléchissant quelconque

Comme dans l'exemple de la page de gauche, le moment fléchissant peut être calculé en tout point situé à une distance x de A.

$$M_f = (RA \times x) - \left( p \times x \times \frac{x}{2} \right)$$

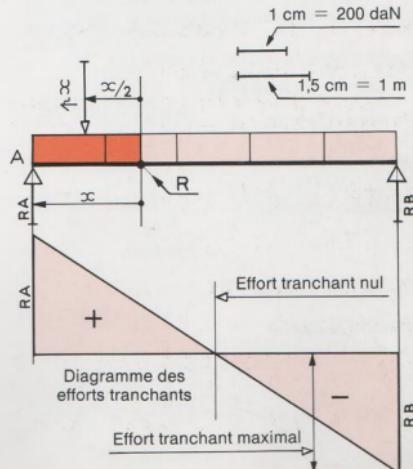
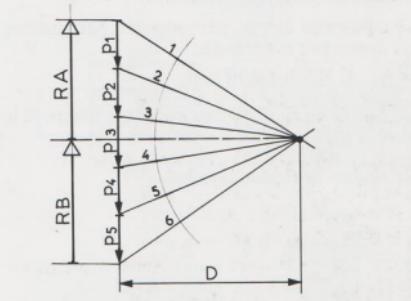
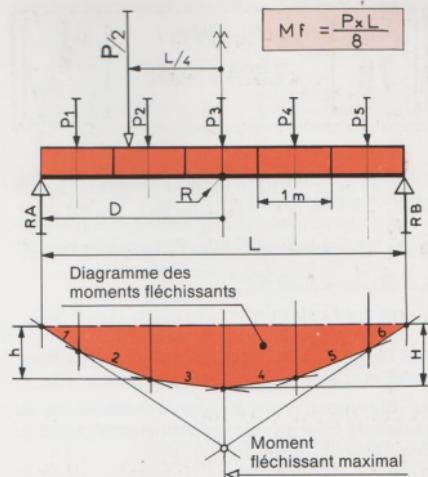
$$M_f = (RA \times x) - \left( \frac{p \times x^2}{2} \right)$$

Si  $p = 200 \text{ daN}$  et  $x = 1,50 \text{ m}$

$$M_f = (500 \times 1,5) - \left( \frac{200 \times 1,5^2}{2} \right) = 525 \text{ daNm}$$

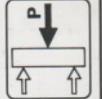
L'effort tranchant progresse dans la poutre à l'inverse du moment fléchissant.

- il est maximal au droit des appuis, là où le moment fléchissant est nul ;
- il est nul au milieu, là où le moment fléchissant est maximal.



**ÉTUDE  
79**

**EFFORT  
DE FLEXION**



L'effort de flexion tend à faire plier la pièce. On peut observer : (fig. 1)

- les actions, forces qui agissent sur la poutre,
- les réactions, forces de résistance de la poutre.

**La flexion produit (fig. 2)**

- une zone comprimée, à la partie supérieure,
  - une zone tendue, à la partie inférieure.
- Les fibres du bois sont d'autant plus sollicitées, qu'elles sont plus éloignées de la fibre neutre.

La fibre neutre, située approximativement au milieu de la pièce, est le lieu où ne s'exerce ni compression, ni traction.

**Le moment d'inertie (symbole I)**

Le moment d'inertie, par rapport à l'axe neutre, est donné par la formule :

$$\frac{b h^3}{12} \text{. Il s'exprime en cm}^4.$$

La cote V est la distance entre l'axe neutre et la fibre la plus éloignée  $V = h/2$ .

**Le module de flexion (symbole  $\frac{I}{V}$ )**

$$\frac{I}{V} = \frac{\frac{b h^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{b h^3}{6 h} = \frac{b h^2}{6}$$

Le module de flexion s'exprime en  $\text{cm}^3$ .

**Application à la section ci-contre (fig. 3)**

1°) Suivant l'axe des XX

$$\begin{aligned} \text{Moment d'inertie } I &= \frac{b h^3}{12} = \frac{14 \times 24^3}{12} \\ &= 16\,128 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Module de flexion } \frac{I}{V} &= \frac{b h^2}{6} = \frac{14 \times 24^2}{6} \\ &= 1\,344 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

2°) Suivant l'axe des YY

$$\begin{aligned} \text{Moment d'inertie } I &= \frac{b h^3}{12} = \frac{24 \times 14^3}{12} \\ &= 5\,488 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Module de flexion } \frac{I}{V} &= \frac{b h^2}{6} = \frac{24 \times 14^2}{6} \\ &= 784 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

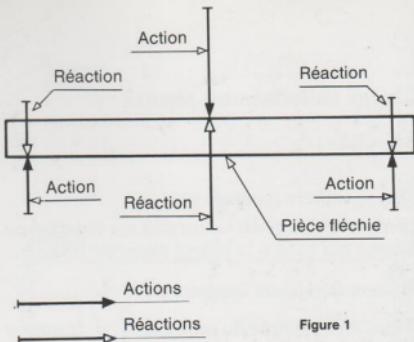


Figure 1

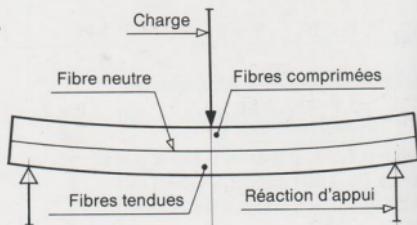


Figure 2

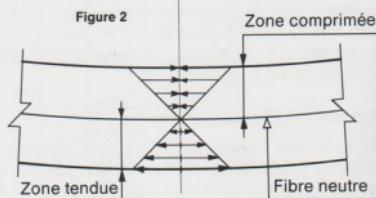


Figure 3

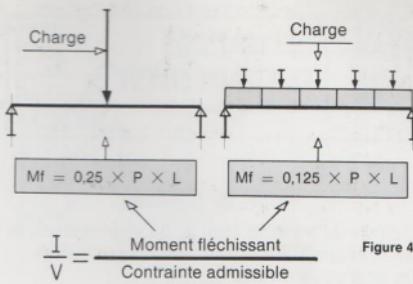


Figure 4

### Formule fondamentale (fig. 4)

Suivant le besoin, cette formule permet :

- de déterminer la section, à partir de  $\frac{I}{V}$
- de calculer la charge P
- de vérifier la contrainte admissible  $\sigma$  (sigma)

### Application pratique (fig. 5)

Prenons comme exemple cette poutre sur deux appuis avec :

- une portée de 5 m (500 cm)
- une charge P de 1 172 daN
- une contrainte admissible de 109 daN/cm<sup>2</sup>

#### 1°) Calcul du module de flexion $\frac{I}{V} = \frac{M_f}{\sigma}$

- avec charge ponctuelle au centre

$$\frac{I}{V} = \frac{0,25 \times 1\,172 \times 500}{109} = 1\,344 \text{ cm}^3$$

- avec charge uniformément répartie

$$\frac{I}{V} = \frac{0,125 \times 1\,172 \times 500}{109} = 672 \text{ cm}^3$$

#### 2°) Calcul de la charge

$$P = \frac{I}{V} \times \frac{\sigma}{0,25 \times L} \quad P = \frac{I}{V} \times \frac{\sigma}{0,125 \times L}$$

- avec charge ponctuelle au centre

$$P = 1\,344 \times \frac{109}{0,25 \times 500} = 1\,172 \text{ daN}$$

- avec charge uniformément répartie

$$P = 1\,344 \times \frac{109}{0,125 \times 500} = 2\,344 \text{ daN}$$

#### 3°) Calcul de la contrainte admissible $\sigma = \frac{M_f}{\frac{I}{V}}$

- avec charge ponctuelle au centre

$$\sigma = \frac{0,25 \times 1\,172 \times 500}{1\,344} = 109 \text{ daN/cm}^2$$

- avec charge uniformément répartie

$$\sigma = \frac{0,125 \times 2\,344 \times 500}{1\,344} = 109 \text{ daN/cm}^2$$

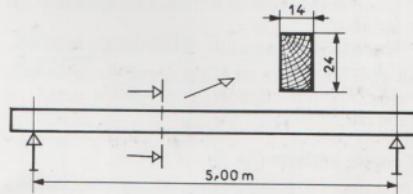
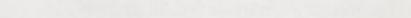
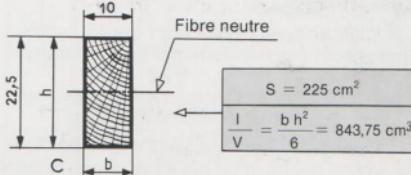
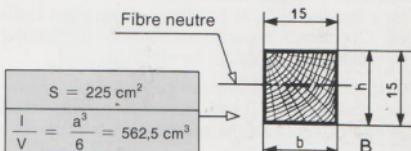
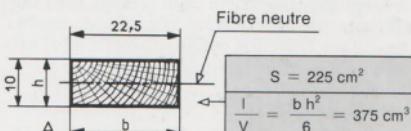


Figure 5



A surface égale :

- la pièce carrée, est plus résistante que la pièce rectangulaire placée à plat ;
- la pièce rectangulaire, placée à chant, est plus résistante que la pièce carrée.

### Forme de la section

Les trois pièces A, B, C, ci-dessus présentent :

- une même surface S de section ;
- un module de flexion qui va croissant.

Donc la résistance à la flexion, proportionnelle à  $\frac{I}{V}$ , varie suivant la forme de la section.

V

ÉTUDE  
80

TRACTION  
ET CISAILLEMENT

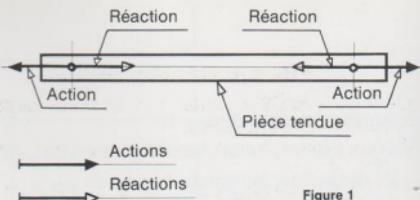


Figure 1

### Effort de traction

L'effort de traction tend à l'allongement de la pièce, et contribue ainsi à assurer sa rigidité.

On peut observer (fig. 1) :

- les *actions*, forces de sollicitation qui tirent sur la pièce ;
- les *réactions*, forces de résistance de la pièce.

La résistance à la traction d'une pièce de bois s'exprime, par rapport à sa *section nette*, en daN/cm<sup>2</sup>.

### Exemple pratique (fig. 2)

Dans un pied de ferme, l'entrait qui s'oppose à la poussée de l'arbalétrier est soumis à la traction. La longueur et la forme de la section, sont sans influence sur la résistance d'une pièce tendue. Cependant, la section rectangulaire facilite l'exécution des assemblages.

### Assemblages (fig. 3)

La résistance à la traction d'une pièce dépend de la solidité de ses assemblages.

Dans cet exemple, le boulonnage est tout indiqué. La traction produit un effort de *cisaillement longitudinal* au droit des boulons.

Pour conserver une résistance suffisante, le premier boulon ne doit jamais être placé à moins de 6 d de l'extrémité de la pièce (d Ø du boulon).

### Section nette (fig. 4)

Les trous de boulons, de même que les entailles, sont autant d'*affaiblissements* dont il faut tenir compte.

Chaque élément de l'entrait ci-contre présente :

- une section brute de  $20 \times 8 = 160 \text{ cm}^2$
- une section nette de  $(20 - 3 - 2) \times 8 = 120 \text{ cm}^2$

Le second boulon n'est pas à prendre en compte s'il est écarté de plus de 6 d du premier.

### Traction transversale (fig. 5)

Le bois est un matériau qui, étant donné sa structure, résiste très mal à ce genre d'effort.

Un assemblage réalisé de la sorte provoquerait l'écartellement de la pièce verticale.

Il est donc à proscrire impérativement.

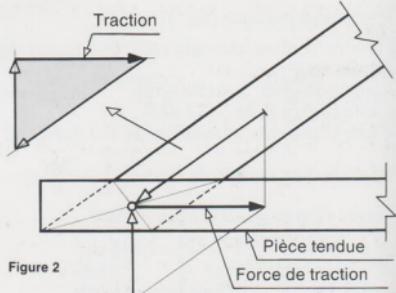


Figure 2

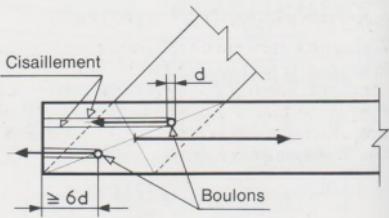


Figure 3

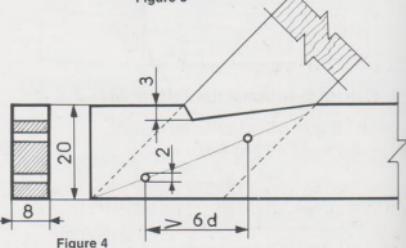


Figure 4

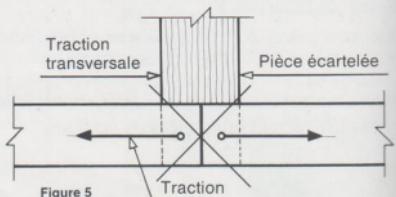


Figure 5

## Effort de cisaillement

L'effort de cisaillement tend au sectionnement de la pièce. On distingue :

- le *cisaillement transversal*, perpendiculaire aux fibres du bois ;
- le *cisaillement longitudinal*, parallèle aux fibres du bois.

La résistance au cisaillement s'exprime en daN/cm<sup>2</sup>. Le cisaillement est aussi appelé effort tranchant (T).

### Cisaillement transversal (fig. 6)

Cette poutre reçoit, au droit de l'appui, une charge de 1 172 daN.

$$\text{Surface de la section } S = 24 \times 14 = 336 \text{ cm}^2$$

$$\text{Effort tranchant } T = \frac{P}{S} = \frac{1\,172}{336} = 3,5 \text{ daN/cm}^2$$

Si on admet une résistance au cisaillement transversal de 22 daN/cm<sup>2</sup>, on constate que l'effort est largement absorbé, ce qui est pratiquement toujours le cas avec une poutre massive.

### Poutre amincie (fig. 7)

Si la poutre présente un affaiblissement au droit de l'appui, il faut vérifier sa résistance à l'effort tranchant. Surtout s'il s'agit d'une pièce courte, chargée au maximum de son moment fléchissant. La vérification s'impose également, dans le cas d'une poutre évidée.

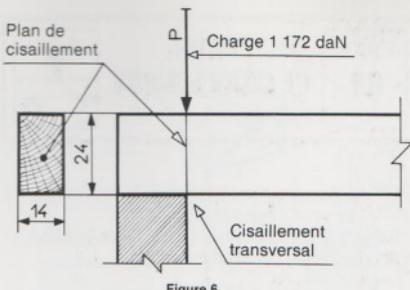


Figure 6

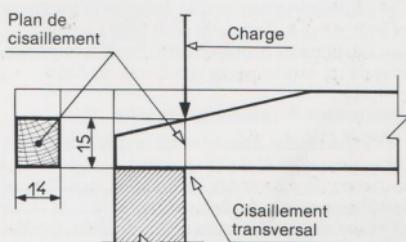


Figure 7

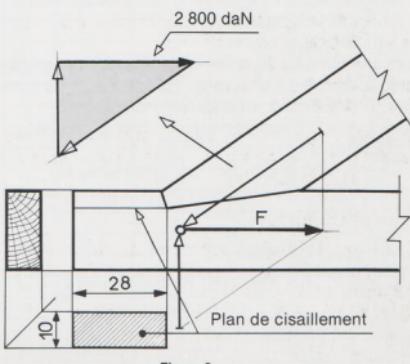


Figure 8

### Cisaillement longitudinal (fig. 8)

Le plan de cisaillement est  $10 \times 28 = 280 \text{ cm}^2$ . Si  $F$  vaut 2 800 daN, l'effort tranchant sera :

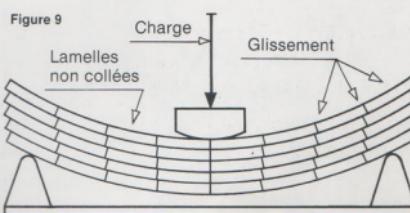
$$T = \frac{F}{S} = 10 \text{ daN/cm}^2$$

En admettant une résistance au cisaillement longitudinal de 13 daN/cm<sup>2</sup>, l'effort est absorbé.

### Effort de glissement (fig. 9)

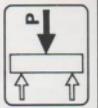
C'est un effort tranchant longitudinal, qui se produit dans les poutres soumises à la flexion. Nul au centre, il augmente progressivement pour devenir maximal au droit des appuis.

Dans tous les cas courants, il est largement absorbé. La figure ci-contre représente une maquette expérimentale, qui a pour but de mettre cet effort en évidence.



## ÉTUDE 81

# EFFORT DE COMPRESSION



L'effort de compression tend à raccourcir la pièce. On peut observer (fig. 1) :

- les actions, forces qui compriment la pièce,
- les réactions, forces de résistance.

### Compression des pièces courtes (fig. 2)

C'est la *compression simple*, lorsque la longueur est inférieure à dix fois le petit côté C.

La contrainte de rupture, lors d'essais à la presse, produit un affaissement des fibres du bois.

### Compression des pièces longues (fig. 3)

La longueur des éléments est supérieure à dix fois le petit côté C de la section.

La contrainte de rupture produit une flexion latérale, appelée *flambement*.

La résistance au flambement diminue rapidement avec l'allongement de la pièce.

### Longueur de flambement (symbole Lf) (fig. 4)

L'assemblage à l'extrémité d'une pièce peut être :

- soit une *articulation*,
- soit un *encastrement*.

Ces systèmes de fixation influencent la longueur de flambement qui sera :

$L_f = L$  pour deux articulations (a)

$L_f = L \times 0,8$  pour une articulation et un encastrement (b)

$L_f = L \times 0,65$  pour deux encastrements (c)

$L_f = L \times 2$  pour un encastrement et une extrémité non assemblée (d).

### Elancement (symbole $\lambda$ )

$$\text{Elancement} = \frac{\text{longueur de flambement}}{\text{rayon de giration}}$$

$$\text{soit } \lambda = \frac{L_f}{i}$$

Le rayon de giration (symbole i) s'exprime en cm.

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} \quad \text{soit} \quad \sqrt{\frac{\frac{b h^3}{12}}{b h}}$$

Ce qui donne après simplification :

$$i = \sqrt{\frac{b h^3}{12 b h}} \quad i = \sqrt{\frac{h^2}{12}} \quad i = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

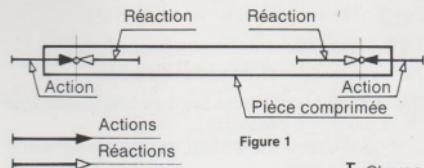
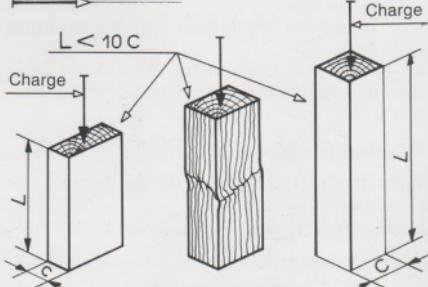


Figure 1



Contrainte de rupture

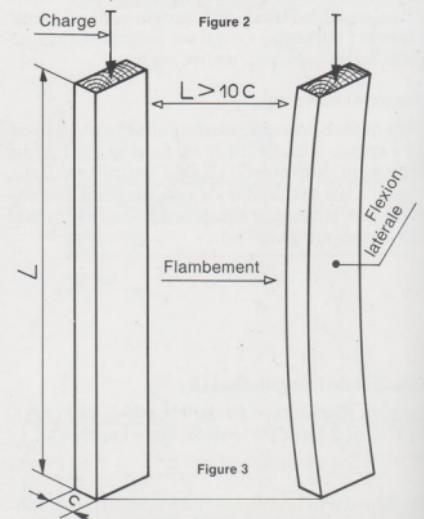


Figure 3

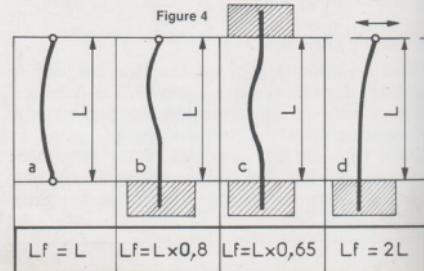


Figure 4

$L_f = L$	$L_f = L \times 0,8$	$L_f = L \times 0,65$	$L_f = 2L$
-----------	----------------------	-----------------------	------------

## Application au poteau de ferme (fig. 5)

Ce poteau d'une longueur réelle de 4 m, est articulé au pied et encastré en tête.

Longueur de flambement  $L_f = 400 \times 0,8 = 320$  cm.  
Contrainte admissible 103 daN/cm<sup>2</sup> par exemple.

### 1<sup>e</sup> hypothèse

Le poteau affecte la section rectangulaire A.

Charge admissible en compression courte :  
 $P = 22,5 \times 10 \times 103 = 23\,175$  daN

$$\text{Rayon de giration : } i = \frac{10}{\sqrt{12}} = 2,88 \text{ cm}$$

$$\text{Elancement : } \lambda = \frac{320}{2,88} = 110,85$$

Pour  $\lambda = 110$ , le tableau donne  $K = 0,256$ .

Charge admissible sur le poteau :

$$P = 23\,175 \times 0,256 = 5\,932 \text{ daN.}$$

### 2<sup>e</sup> hypothèse

Le poteau affecte la section carrée B.

Charge admissible en compression courte :  
 $P = 15^2 \times 103 = 23\,175$  daN

$$\text{Rayon de giration : } i = \frac{15}{\sqrt{12}} = 4,33 \text{ cm}$$

$$\text{Elancement : } \lambda = \frac{320}{4,33} = 73,90$$

Pour  $\lambda = 74$ , le tableau donne  $K = 0,562$ .

Charge admissible sur le poteau :

$$P = 23\,175 \times 0,562 = 13\,024 \text{ daN.}$$

On peut aussi, à l'aide du tableau, déterminer la valeur de K à partir de  $L_f/h$ . Exemple :

$$\frac{L_f}{h} = \frac{320}{10} = 32 \text{ d'où } K = 0,256$$

$$\frac{L_f}{h} = \frac{320}{15} = 21,33 \text{ d'où } K = 0,562$$

Ce procédé évite de rechercher la valeur de  $\lambda$ .

Le coefficient K, plus petit que 1, est un coefficient réducteur, qui s'applique aux pièces longues.

A surface égale, 225 cm<sup>2</sup>, le poteau carré résiste mieux au flambement que le poteau rectangulaire.

Calcul du coefficient K :

$$\text{Lorsque } 37,5 < \lambda < 75 \quad K = 1,45 - \frac{1,2 \lambda}{100}$$

$$\text{Lorsque } 75 < \lambda < 120 \quad K = \frac{3\,100}{\lambda^2}$$

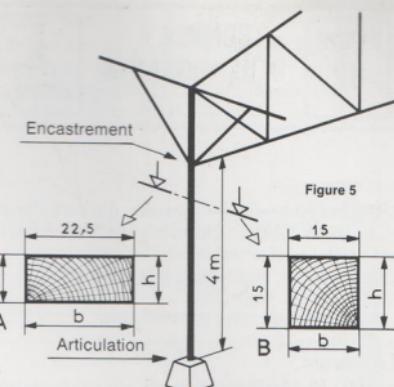


Figure 5

$\lambda$	$L_f/h$	K	$\lambda$	$L_f/h$	K
37,5	10,80	1	75	21,68	0,550
40	11,56	0,970	76	21,96	0,537
41	11,85	0,958	77	22,25	0,523
42	12,14	0,948	78	22,54	0,510
43	12,43	0,934	79	22,83	0,497
44	12,72	0,922	80	23,12	0,484
45	13	0,910	81	23,41	0,472
46	13,29	0,898	82	23,70	0,461
47	13,58	0,886	83	23,99	0,450
48	13,87	0,874	84	24,28	0,439
49	14,16	0,862	85	24,57	0,428
50	14,45	0,850	86	24,85	0,419
51	14,74	0,838	87	25,14	0,409
52	15,03	0,826	88	25,43	0,400
53	15,32	0,814	89	25,72	0,391
54	15,61	0,802	90	26,01	0,383
55	15,89	0,790	91	26,30	0,374
56	16,18	0,778	92	26,59	0,366
57	16,47	0,766	93	26,88	0,358
58	16,76	0,754	94	27,17	0,351
59	17,05	0,742	95	27,46	0,342
60	17,34	0,730	96	27,74	0,336
61	17,63	0,718	97	28,03	0,329
62	17,92	0,707	98	28,32	0,323
63	18,21	0,694	99	28,61	0,316
64	18,50	0,682	100	28,90	0,310
65	18,79	0,670	102	29,48	0,298
66	19,07	0,658	104	30,06	0,287
67	19,36	0,646	106	30,63	0,276
68	19,65	0,634	108	31,21	0,266
69	19,94	0,622	110	31,79	0,256
70	20,23	0,610	112	32,37	0,247
71	20,52	0,598	114	32,95	0,239
72	20,81	0,586	116	33,52	0,230
73	21,10	0,574	118	34,10	0,223
74	21,39	0,562	120	34,60	0,216

Méthode d'Euler, mathématicien suisse (1707-1783).

**La ferme**

La ferme est un *élément porteur*, qui sert d'appui aux pannes. Sa conception triangulaire en fait un ensemble indéformable.

Dans le cas le plus simple elle comprend :

- le poinçon, l'entrait,
- les arbalétriers, les contre-fiches.

**Le faitage**

Le faitage et ses liens assurent, par triangulation, la stabilité de la ferme, et le *contreventement* de la charpente, dans le sens longitudinal.

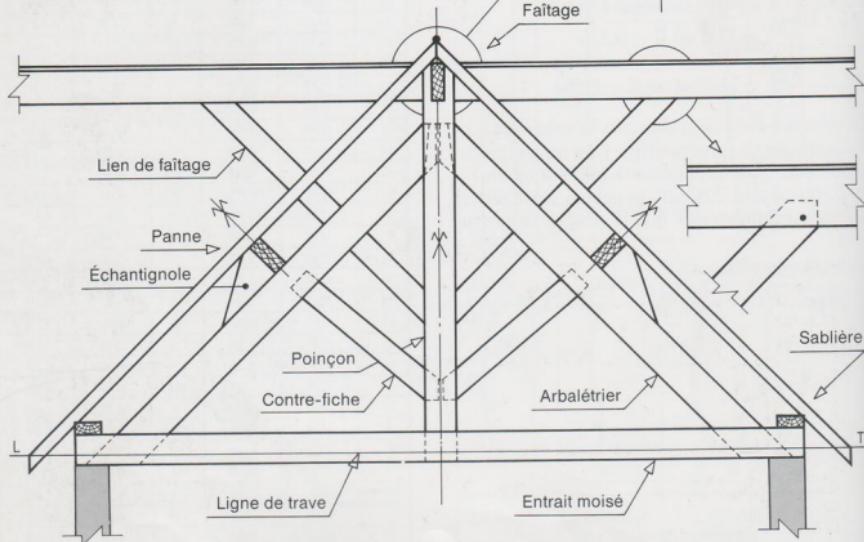
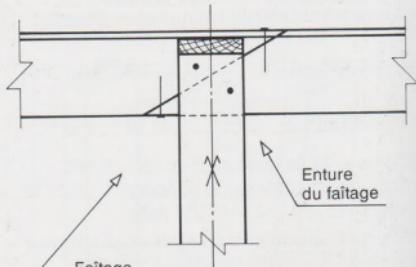
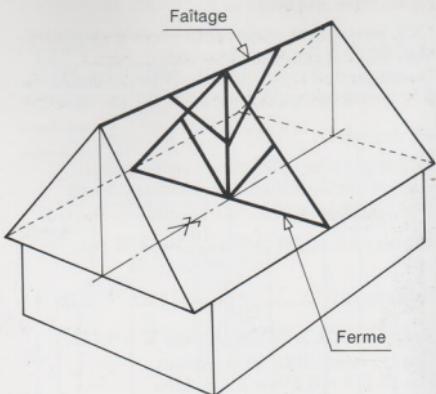
**Plancher du comble (page de droite)**

Le solivage du comble est généralement constitué de bastings ou de madriers refendus sur chant.

Les solives sont assemblées par clouage oblique, avec entaille sur lambourde.

**Des entretoises** placées au milieu de chaque travée ont pour rôle :

- de maintenir l'écartement des solives,
- de donner de la rigidité à l'ensemble.



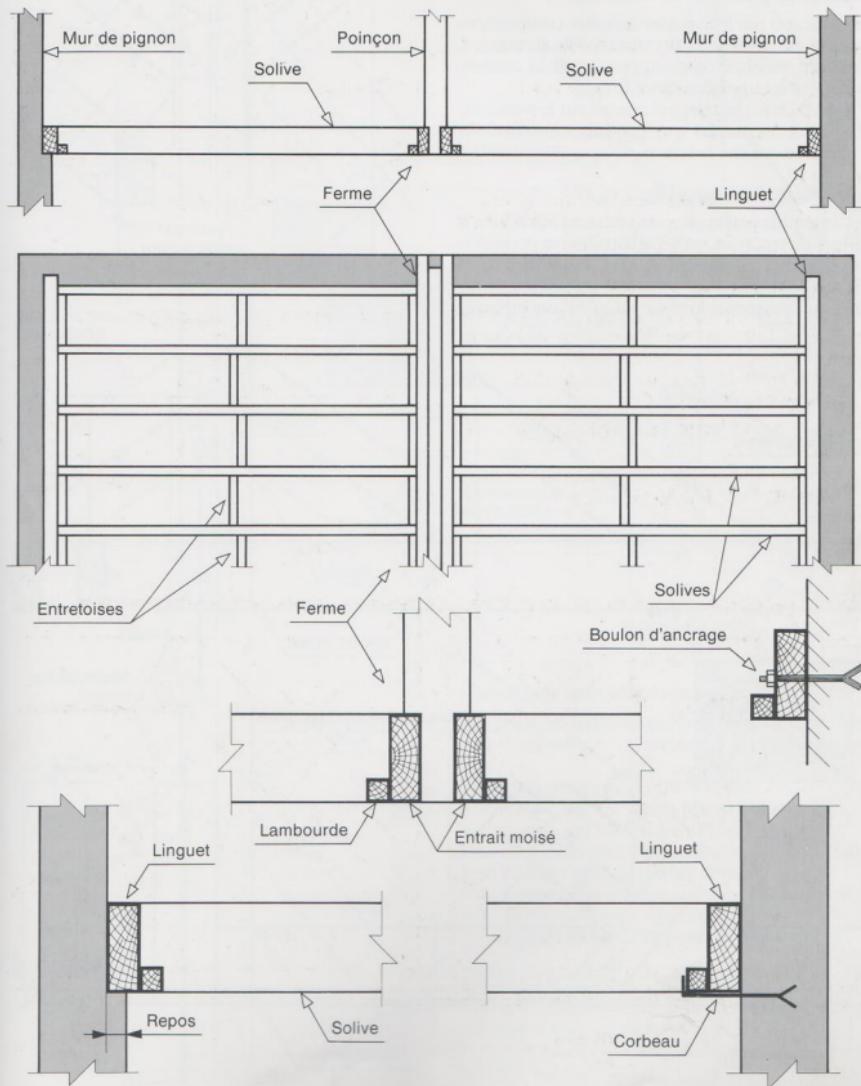
### Linguet avec repos

Le linguet, qui reçoit les solives contre le mur de pignon, peut prendre appui sur un repos. On obtient ce repos lorsque la partie haute du mur est moins épaisse que la partie sous-jacente.

### Linguet scellé

Si le mur ne comporte pas de repos, la liaison du linguet peut être assurée :

- soit par des corbeaux métalliques de scellement,
- soit par des boulons d'ancrage.





### Assemblage à tenon et mortaise (fig. 1)

La pièce qui porte le tenon doit être comprimée. Dans le cas contraire, il y aurait déboîtement. Dans cet exemple, la compression de la contre-fiche se décompose en deux forces :

- la force horizontale, qui appuie sur le poinçon,
- la force verticale, qui produit un effort de cisaillement sur le tenon.

### Assemblages boulonnés (fig. 2 et 3)

Les assemblages boulonnés résistent aussi bien à l'effort de traction, qu'à l'effort de compression. Des grandes rondelles, placées sous la tête et l'écrou des boulons, permettent un serrage énergique qui augmente la résistance de l'assemblage.

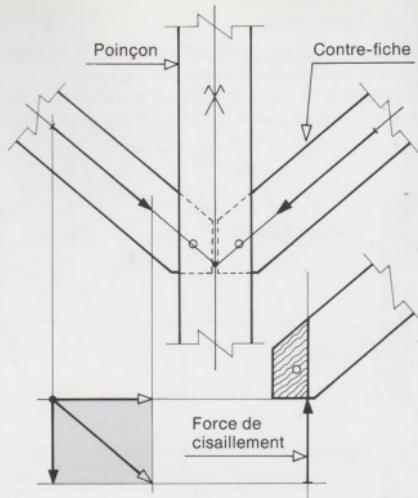


Figure 1

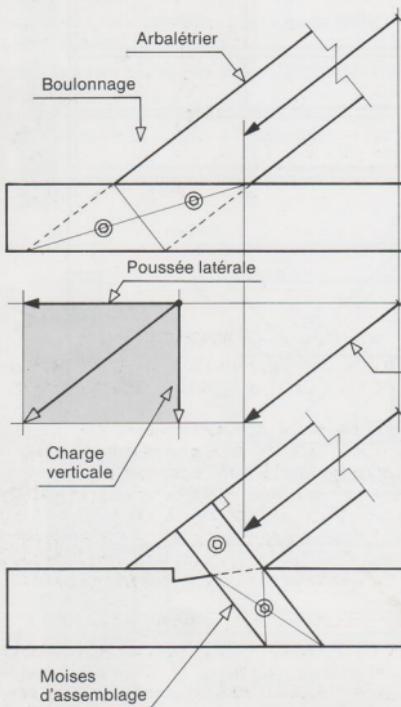
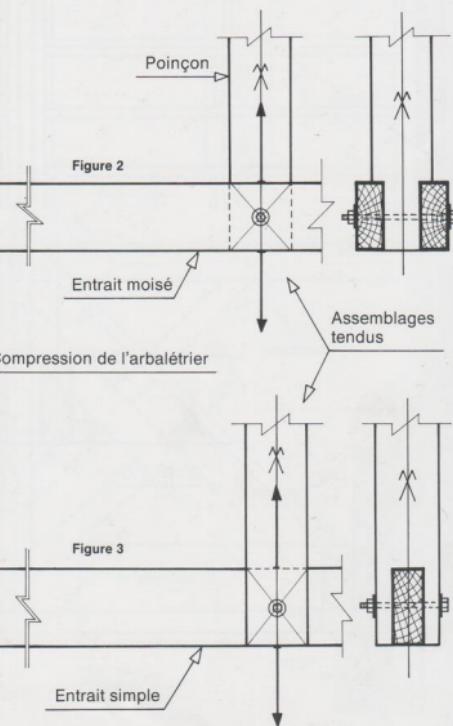


Figure 2



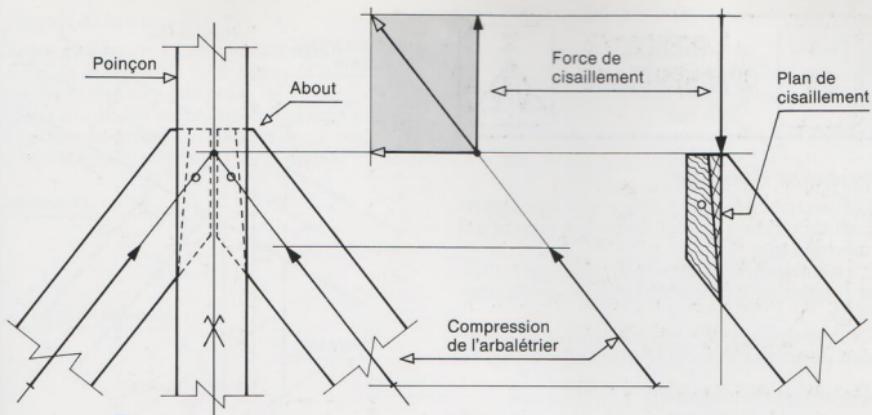


Figure 4

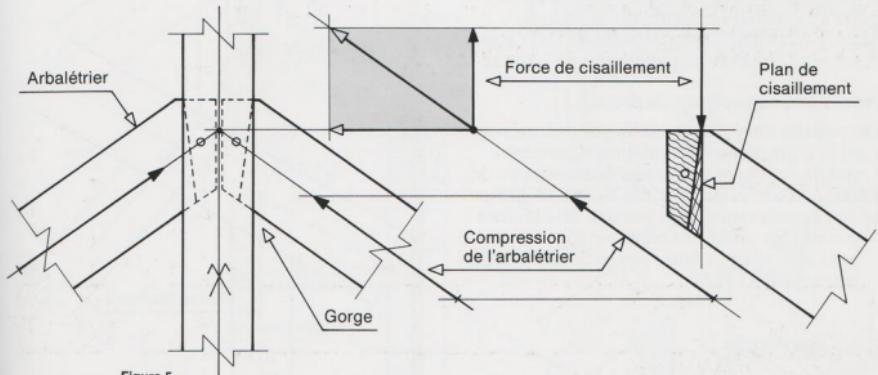


Figure 5

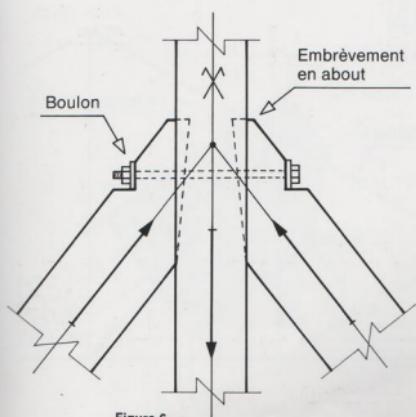


Figure 6

### Assemblage avec embrèvement

Le tenon est renforcé par un embrèvement, lorsque l'assemblage est soumis à un effort important.

L'embrèvement peut être exécuté :

- *en about*, sur les fortes pentes (fig. 4),
- *en gorge*, sur les faibles pentes (fig. 5).

Dans les deux cas, la compression de l'arbalétrier se décompose en deux forces :

- la force horizontale, qui pousse sur le poinçon,
- la force verticale, qui détermine l'effort de cisaillement sur la tête de l'arbalétrier.

### Embrèvements avec boulonnage (fig. 6)

Cet assemblage, avec embrèvements en about, est réalisé sans tenons.

Il est consolidé par un boulon qui traverse et relie les trois pièces.



### Nœuds avec excentricité

Les assemblages comportent une excentricité lorsque les *fibres neutres* des barres, ne sont pas concourantes.

L'excentricité déséquilibre les forces en présence, et produit un moment de rotation sur l'assemblage.

Ce moment, appelé *effort secondaire*, est le produit de la force  $F$  par le bras de levier  $D$  (fig. 1).

### Assemblages boulonnés (fig. 2 et 3)

Les surfaces d'assemblages, nécessaires au boulonnage, ne permettent pas toujours d'obtenir le point de concours entre les fibres neutres.

Mais, l'excentricité trop importante de la figure 2, peut être diminuée, comme le montre la figure 3.

### Nœuds canoniques (page de droite)

On appelle ainsi des assemblages exécutés suivant la règle d'une triangulation rigoureuse.

Le point de concours entre les fibres neutres des barres, assure l'équilibre des forces en présence. Les nœuds canoniques peuvent être réalisés :

- par superposition des éléments (fig. 4),
- par assemblages sur goussets de contreplaqué, (fig. 5 et 6).

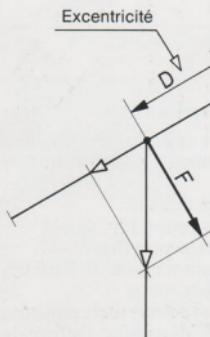


Figure 1

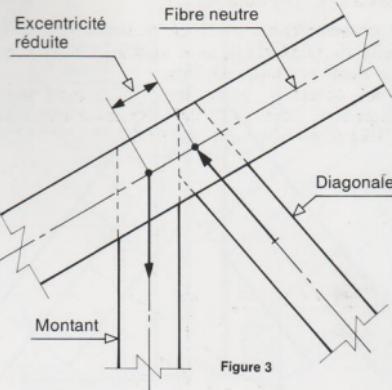


Figure 3

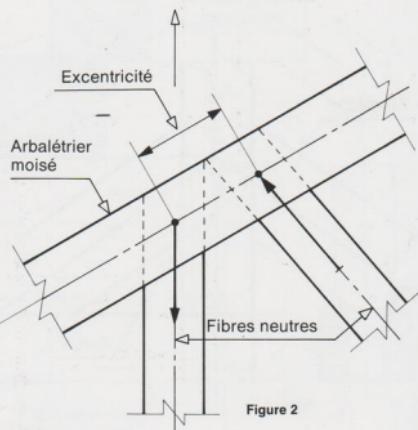
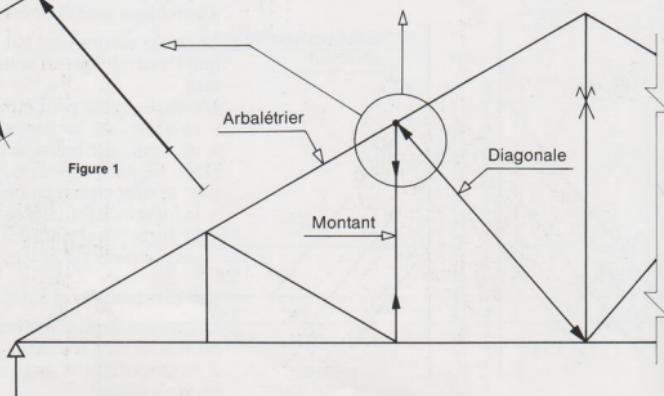


Figure 2



### Support de la panne (fig. 7)

Les assemblages avec excentricité réduite, comme celui de la figure 3, sont admis et de pratique courante en charpente bois.

Dans ce cas, les montants de la ferme peuvent dépasser au-dessus des arbalétriers, et remplacer l'échantignole, pour recevoir la panne.

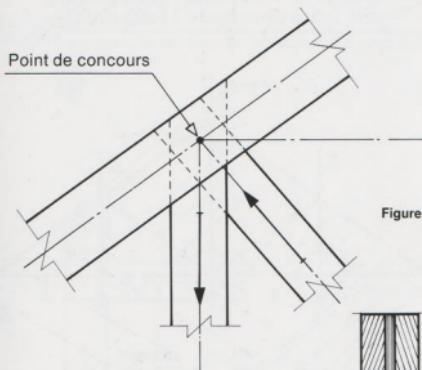
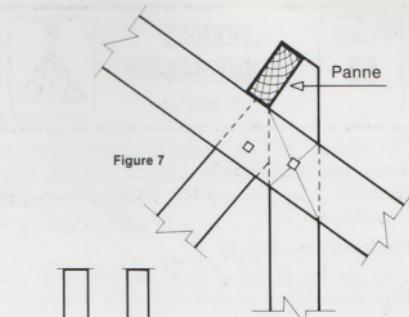
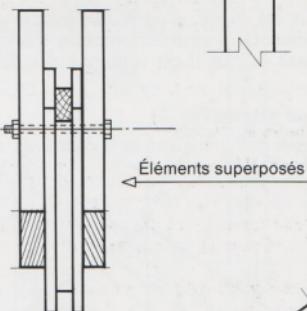


Figure 4



Point de concours

Figure 5

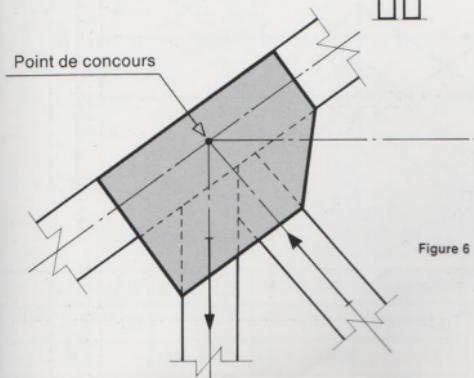


Figure 6

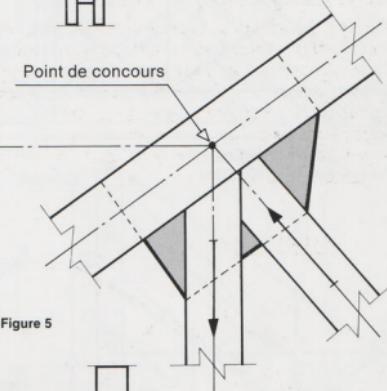
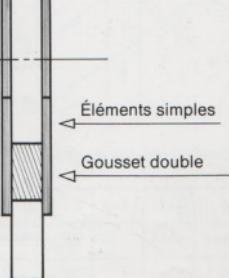


Figure 5



# FERMES À UNE PANNE

## 1<sup>re</sup> partie



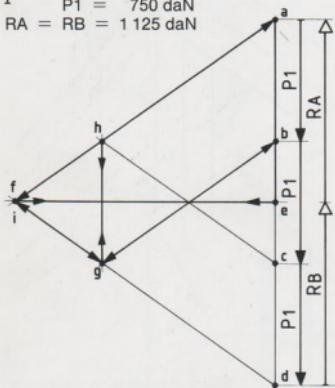
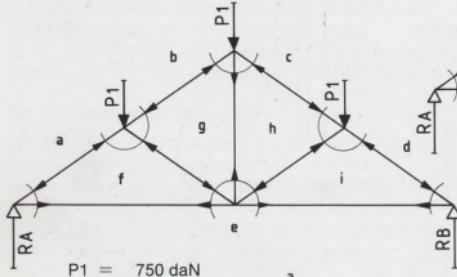
Ces fermes, qui ne comportent qu'une seule panne intermédiaire sur chaque versant, conviennent pour des portées relativement peu importantes.

### Ferme sur murs (fig. 1)

L'entrant est *moisé*, c'est-à-dire composé par deux éléments. Il peut être porteur d'un plancher, dans ce cas, il est soumis à des *flexions locales*.

### Ferme sur poteaux (fig. 2)

Les jambes de force assurent le *contreventement transversal*.



Les résultats sont donnés en daN

Échelle: 1 cm = 300 daN

Résultats en daN

Barres	a-f	f-e	b-g	g-f	h-g
Comprimées	1960		1307	663	
Tendues		1609			750

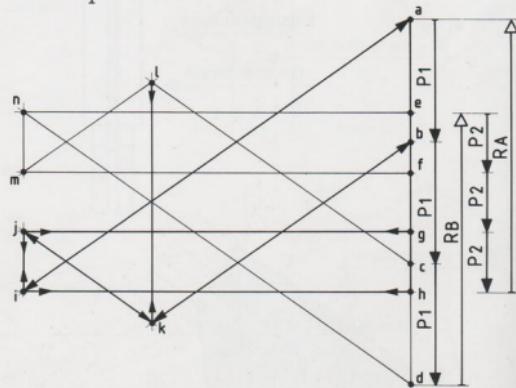
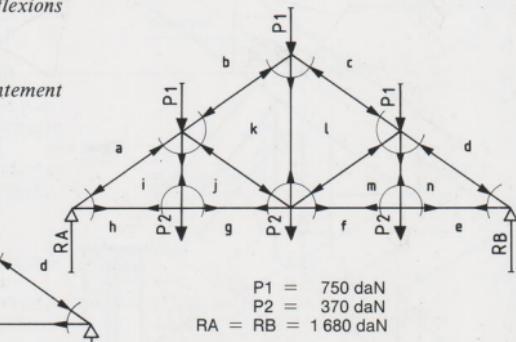
Les poteaux travaillent en *compression* sous la charge de la ferme, et en *flexion latérale*, sous l'action des jambes de force.

### Ferme avec montants (fig. 3)

Le rôle des montants est de soutenir l'entrant pour augmenter sa résistance à la flexion. L'entrant peut être constitué par un élément simple.

Les épures de Crémone ci-dessous s'appliquent :

- à la ferme de la figure 1 (côté gauche),
- à la ferme de la figure 3 (côté droit).



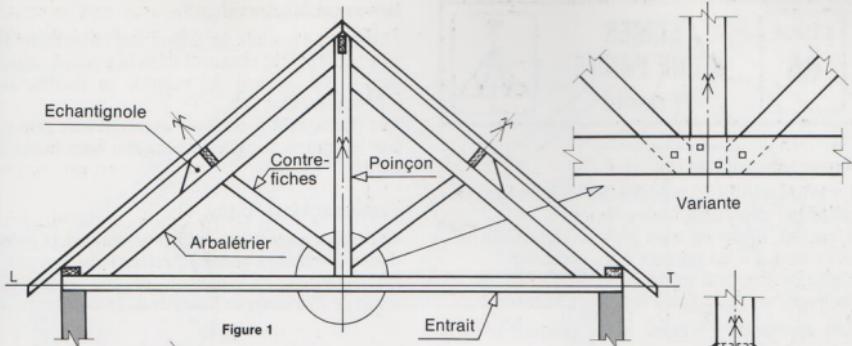


Figure 1

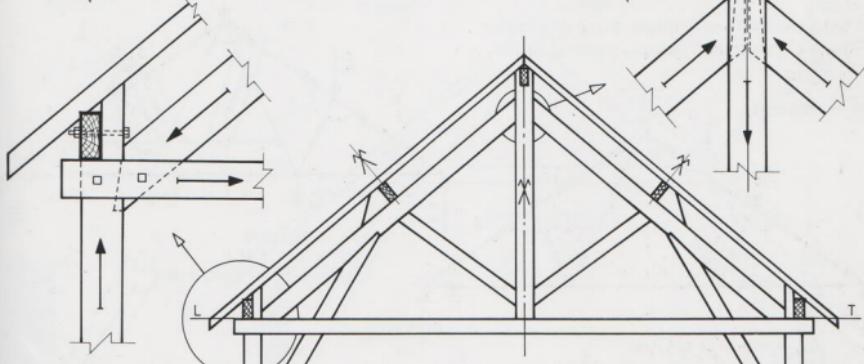


Figure 2

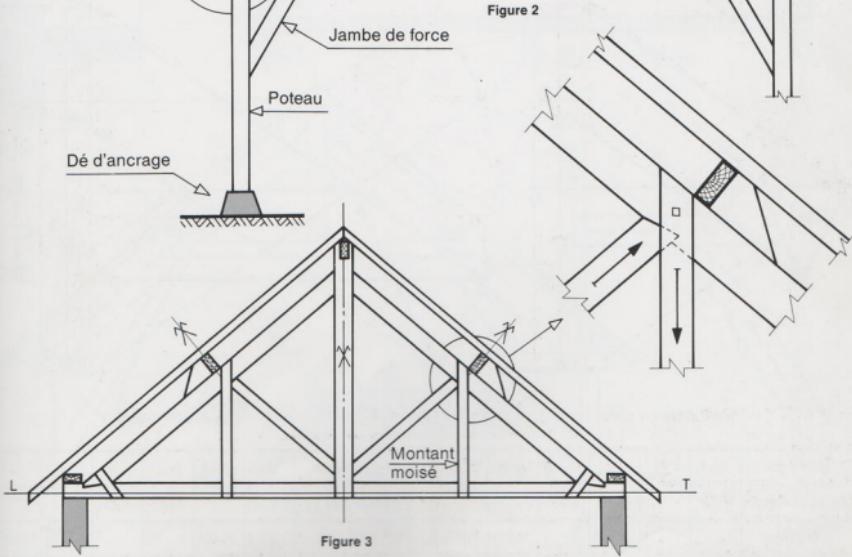


Figure 3

# FERMES À UNE PANNE

## 2<sup>e</sup> partie



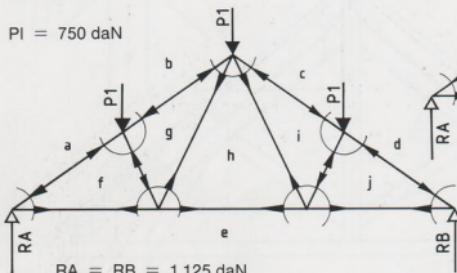
### Ferme sans poinçon (fig. 4)

Le poinçon des fermes traditionnelles est remplacé par deux diagonales obliques. L'entrait, divisé en trois parties, résiste mieux à la flexion, s'il est porteur d'un plancher. Cette conception présente aussi l'avantage de ménager un passage au milieu de la ferme.

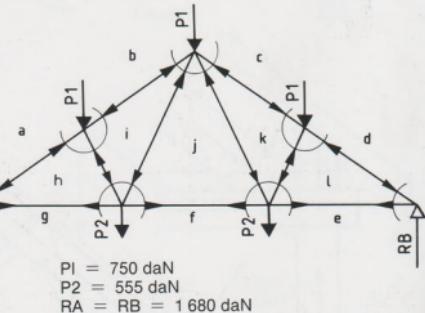
**Les épures de Crémone** se rapportent à cette ferme :

- sans charges sur l'entrait, tracé de gauche,
- avec charges sur l'entrait, tracé de droite.

$$P_1 = 750 \text{ daN}$$



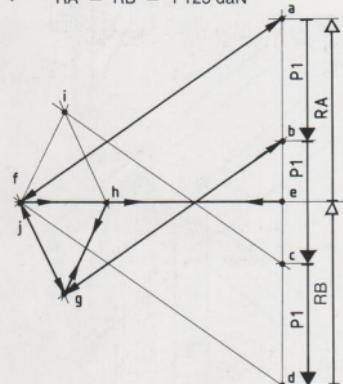
$$RA = RB = 1125 \text{ daN}$$



$$P_1 = 750 \text{ daN}$$

$$P_2 = 555 \text{ daN}$$

$$RA = RB = 1680 \text{ daN}$$



Résultats en daN

Échelle: 1 cm = 300 daN

Résultats en daN

Barres	a-f	f-e	b-g	g-f	g-h	h-e
Comprimées	1962		1635	623		
Tendues		1607			623	1071

Barres	a-h	h-g	b-i	i-h	i-j	j-f
Comprimées	2930		2603	623		
Tendues		2400			1238	1600

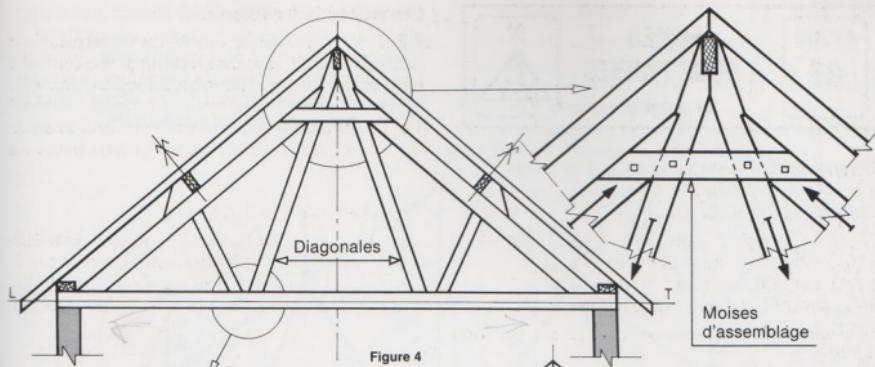


Figure 4

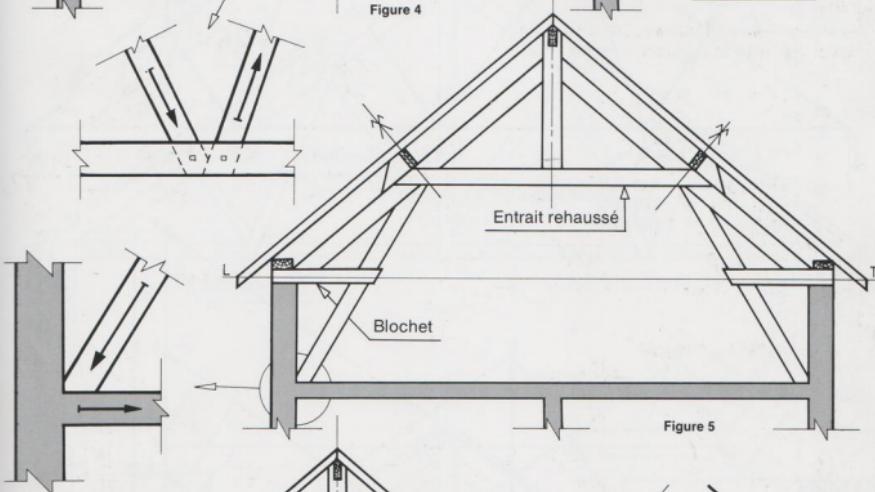


Figure 5

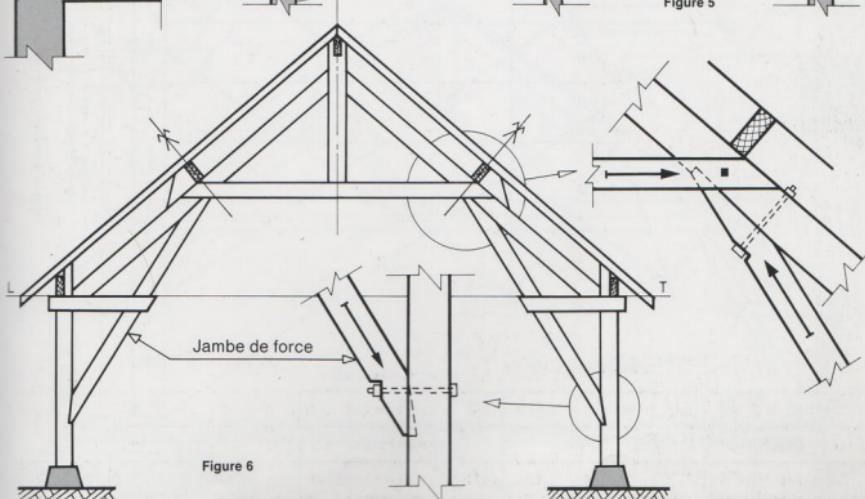
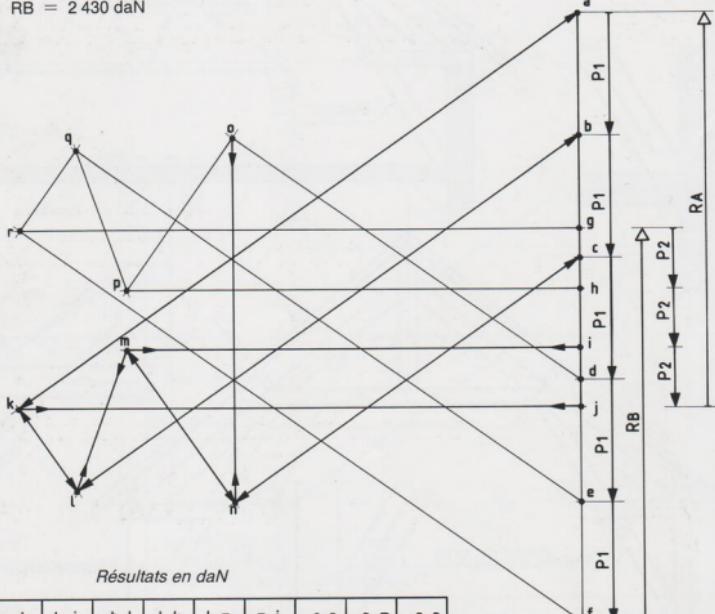
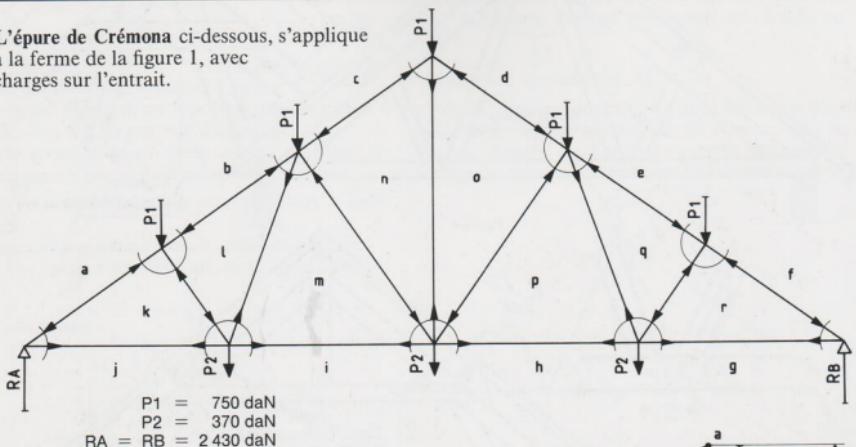


Figure 6

ÉTUDE

**87**
**FERMES  
À DEUX PANNES**  
 1<sup>re</sup> partie


L'épure de Crémone ci-dessous, s'applique à la ferme de la figure 1, avec charges sur l'entrant.



Résultats en daN

Barres	a-k	k-j	b-l	l-k	l-m	m-i	c-n	n-m	o-n
Comprimées	4237		3801	614			2606	1149	
Tendues		3470			923	2803			2240

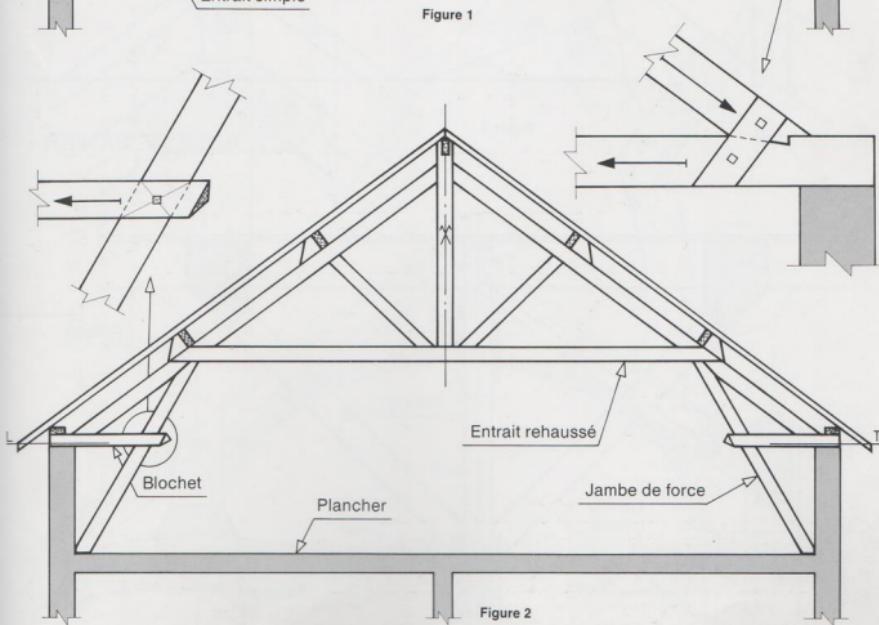
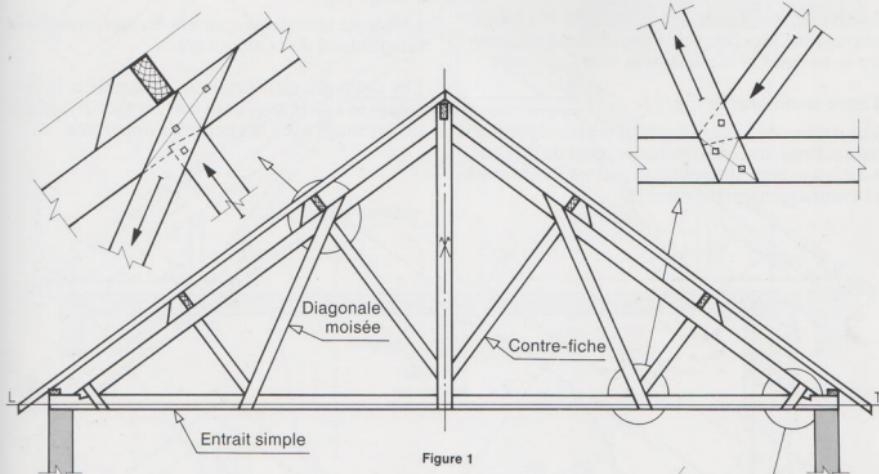
Échelle: 1 cm = 300 daN

### Ferme avec entrat à la base (fig. 1)

Cette ferme peut recevoir le plancher du comble, l'entrant est alors soumis à des *flexions locales*. Les diagonales, qui relient les contre-fiches, sont nécessaires pour assurer une *triangulation* correcte et éviter la déformation de la ferme.

### Ferme avec entrat rehaussé (fig. 2)

Ce type de construction facilite l'utilisation et l'aménagement du comble. L'entrant rehaussé, peut recevoir un solivage léger, support du plafond. Les contre-fiches, sous les pannes hautes, évitent l'effort de flexion sur les arbalétriers.



# FERMES À DEUX PANNES

## 2<sup>e</sup> partie



**Le plancher du comble**, situé suivant l'arasement des murs, est un *plancher porteur*.

Le **chainage** à la base des fermes, est réalisé par *ancrage* des blochets sur le plancher, afin d'annuler la poussée et le glissement vers l'extérieur.

### Ferme traditionnelle (fig. 3)

Les jambes de force et l'entrait rehaussé forment un arc brisé, qui constitue le support de la ferme. Le dégagement ainsi obtenu, permet l'utilisation et l'aménagement du comble.

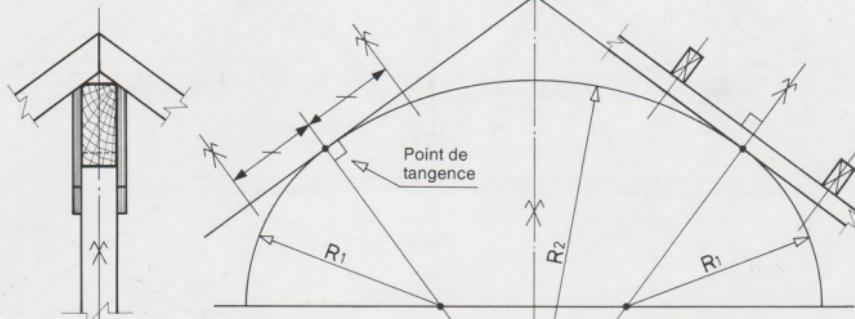


Figure 5

ANSE DE PANIER

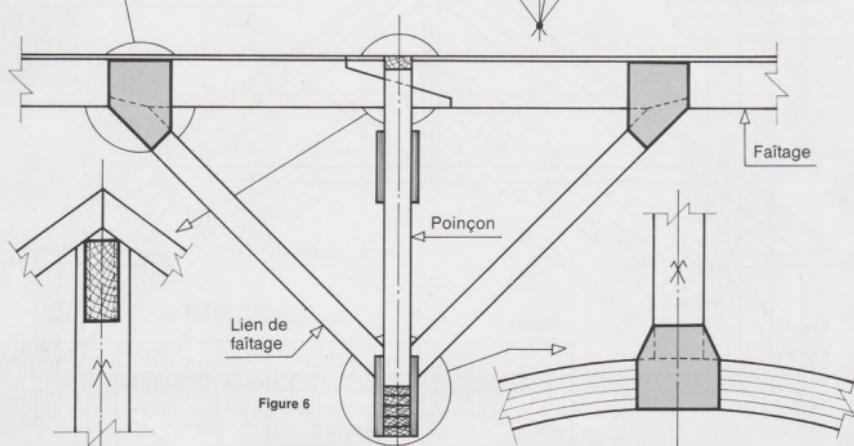


Figure 6

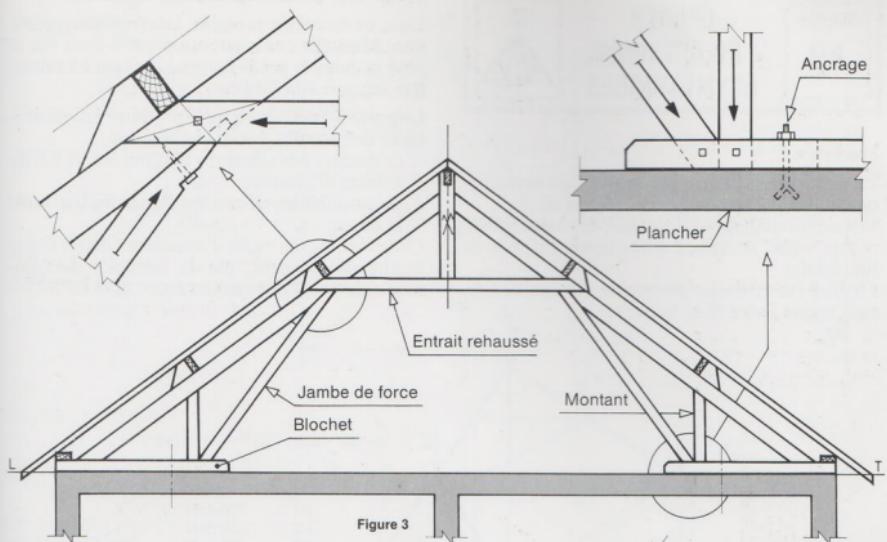


Figure 3

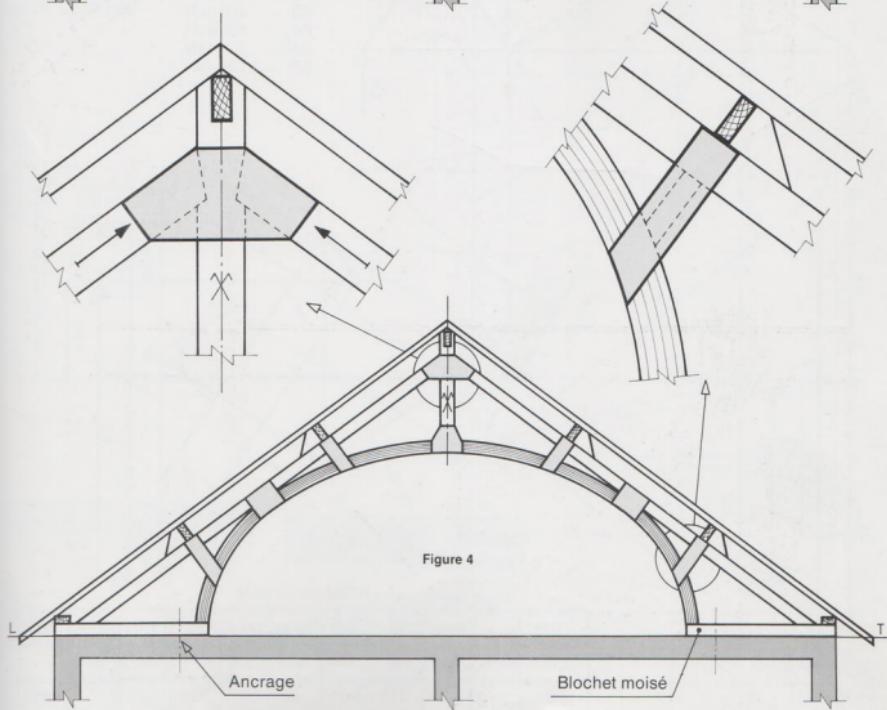


Figure 4

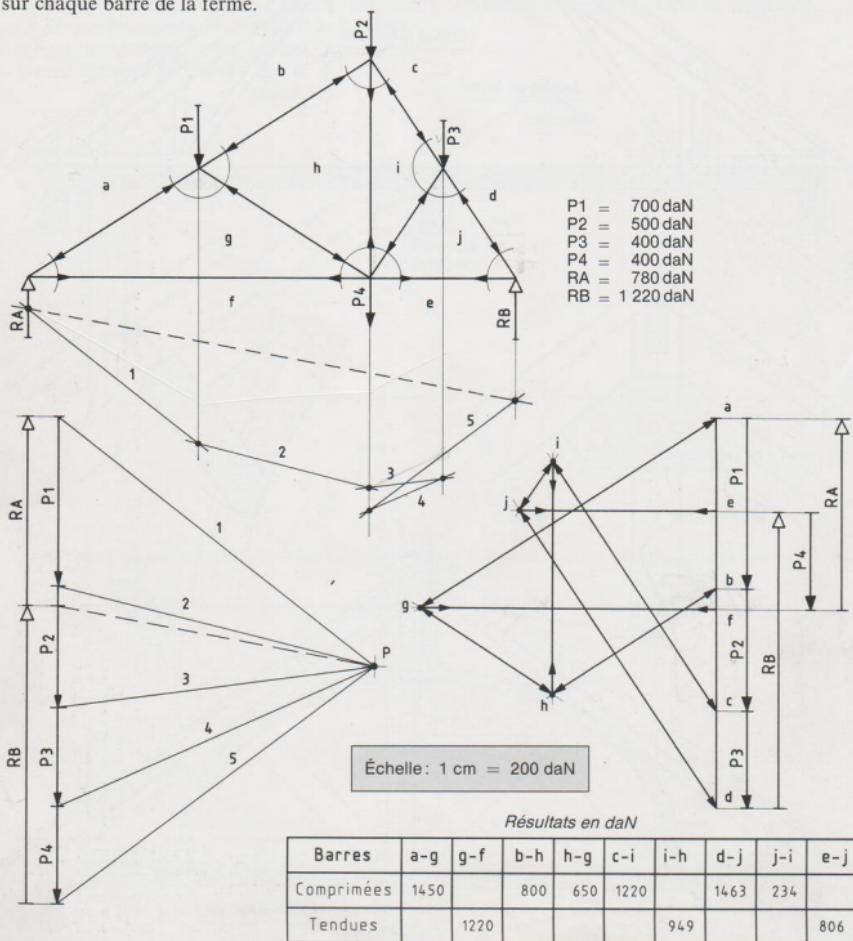
**ÉTUDE  
89**

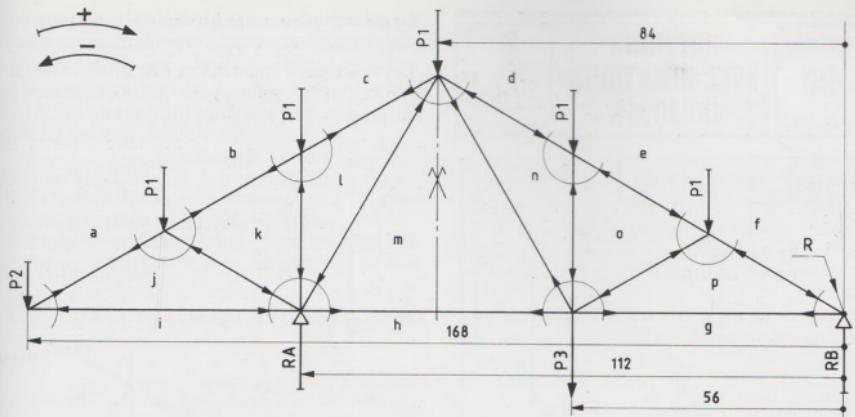
**ÉPURÉS  
DE CRÉMONA  
ASYMÉTRIQUES**



**Ferme shed**

La ferme shed présentée ci-dessous est asymétrique, ainsi que les charges qu'elle reçoit. Les réactions d'appui RA et RB, de valeurs différentes, sont obtenues graphiquement par le funiculaire. L'épure du crémona détermine ensuite l'effort sur chaque barre de la ferme.





$$R_A + R_B = 5250 \text{ daN}$$

$$(R_A \times 112) - (5P_1 \times 84) - (P_2 \times 168) - (P_3 \times 56) = 0$$

$$R_A = \frac{(5P_1 \times 84) + (P_2 \times 168) + (P_3 \times 56)}{112}$$

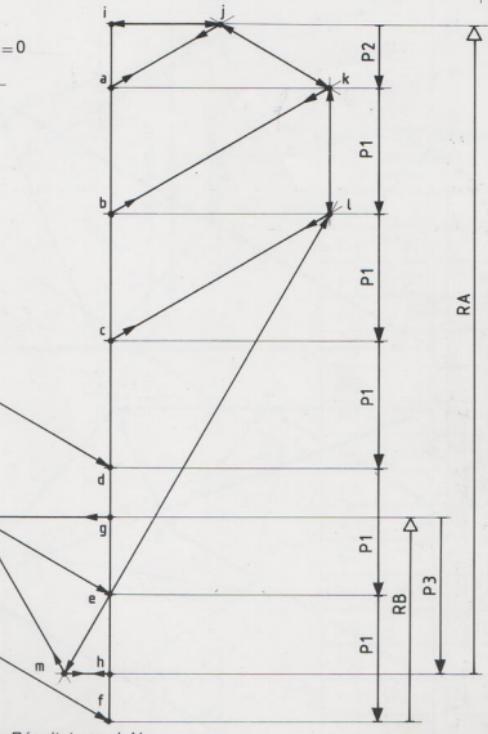
$$R_A = 3990 \text{ daN}$$

$$R_B = 1260 \text{ daN}$$

$$P_1 = 780 \text{ daN}$$

$$P_2 = 390 \text{ daN}$$

$$P_3 = 960 \text{ daN}$$



Échelle: 1 cm = 300 daN

Résultats en daN

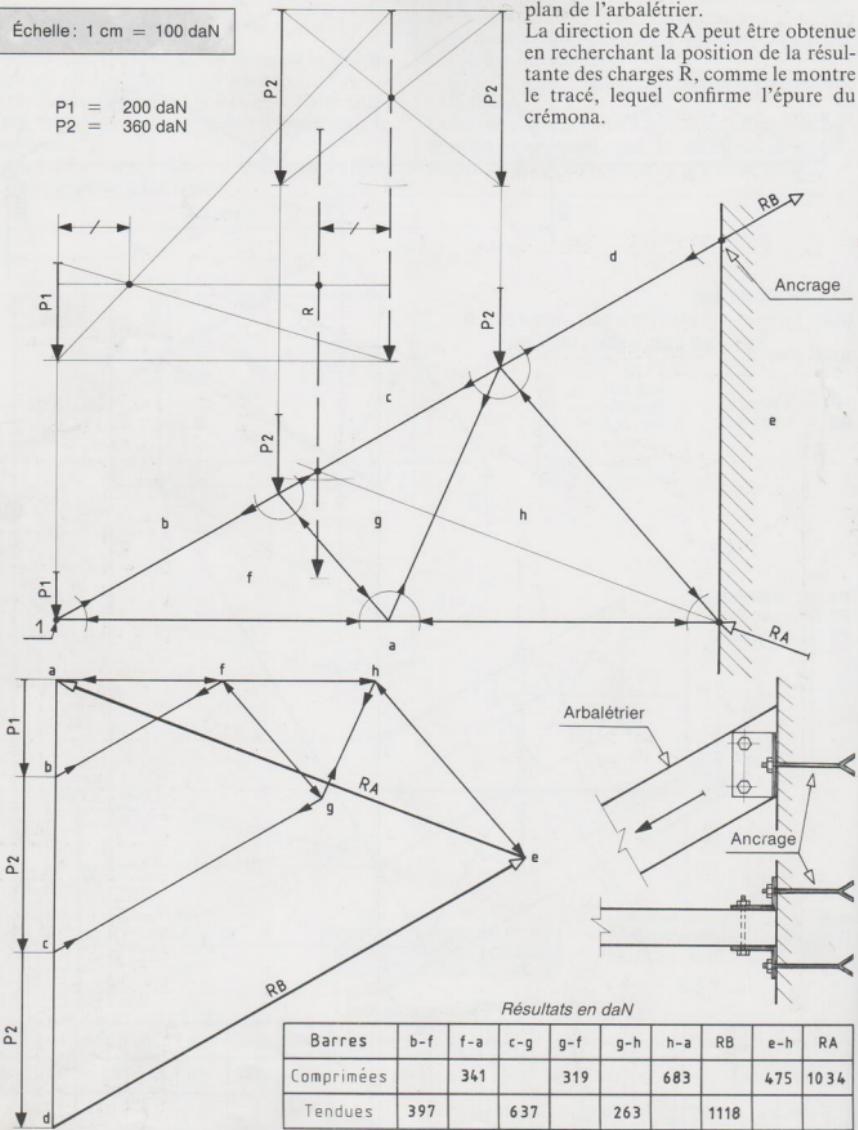
Barres	a-j	i-j	b-k	k-j	c-l	l-k	d-n	n-m	m-l	e-o	o-n	o-p	p-g	h-m	p-f
Comprimées	675		780		780	1736		3256	1736	780	780				2520
Tendues	780		1560		1560		2467					2184	273		

ÉTUDE

**90**
**CRÉMONA  
AVEC RÉACTIONS  
OBLIQUES**


Échelle: 1 cm = 100 daN

$$\begin{aligned} P_1 &= 200 \text{ daN} \\ P_2 &= 360 \text{ daN} \end{aligned}$$



Le crémona de cet auvent est construit à partir du nœud 1, qui ne comporte que deux inconnues. Les réactions d'appui RA et RB, situées obliquement, sont déterminées par l'épure, aussi bien en ce qui concerne leur intensité que leur direction.

La direction de RB, se situe dans le plan de l'arbalétrier.

La direction de RA peut être obtenue en recherchant la position de la résultante des charges R, comme le montre le tracé, lequel confirme l'épure du crémona.

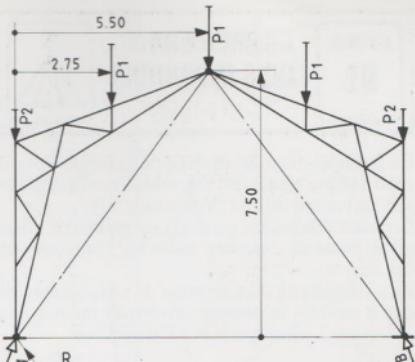
Cette ferme triangulée, à trois articulations, se compose de deux demi-fermes symétriques. Le crémonea de l'une des demi-fermes est construit à partir du noeud 1, situé au sommet. L'intensité et la direction de la réaction d'appui RA, sont données par l'épure du crémonea.

### Calcul de la force FH

Auparavant, il faut déterminer la force FH produite par la poussée de la demi-ferme opposée. Cette valeur peut être obtenue par le calcul des moments, en situant le point de rotation en A.

$$(2,75 \times P_1) + (5,50 \times \frac{P_1}{2}) - (7,50 \times F_H) = 0$$

$$F_H = \frac{(2,75 \times 800) + (5,50 \times 400)}{7,50} = 587 \text{ daN}$$



Échelle: 1 cm = 200 daN

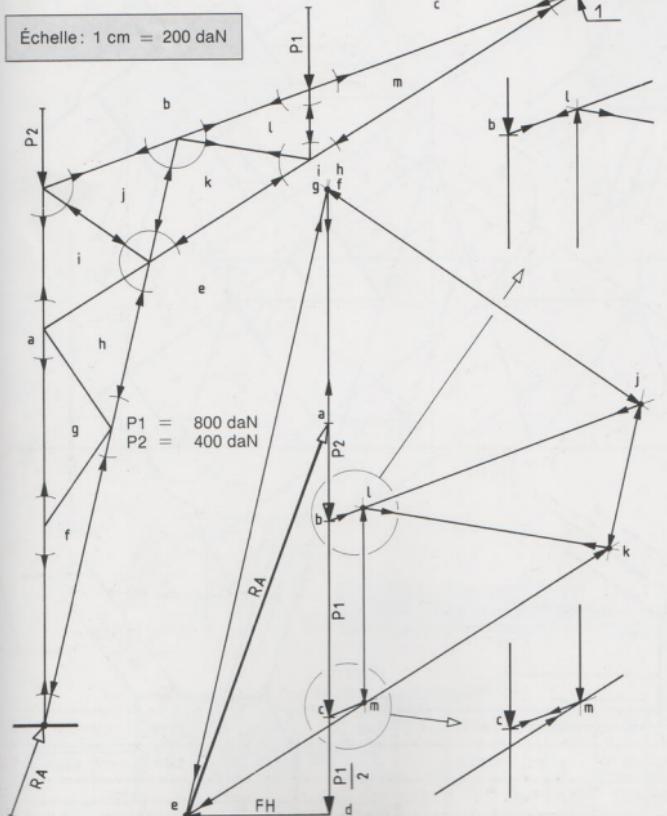


TABLEAU DES RÉSULTATS  
C compression  
T traction

Barres	C	T
e-m	865	
m-c		156
m-l	800	
l-b		156
e-k	2054	
k-l		1014
k-j	605	
j-b		1372
e-h	2639	
h-i		0
j-i	1573	
i-a		962
h-g		0
e-f	2639	
f-g		0
a-g		962
f-a		962
RA	1716	



La ferme ci-dessous, dérivée de la ferme Poloncau à triple bielles, est assemblée avec des goussets de contre-plaqué (Voir étude 94).

Les assemblages sur goussets permettent d'obtenir le *point de concours*, entre les fibres neutres des barres.

La particularité du Crémone de cette ferme, est que le nœud 4 se présente avec trois inconnues :  
– soit sur l'entrait, soit sur l'arbalétrier.

Il existe deux solutions pour résoudre le problème.

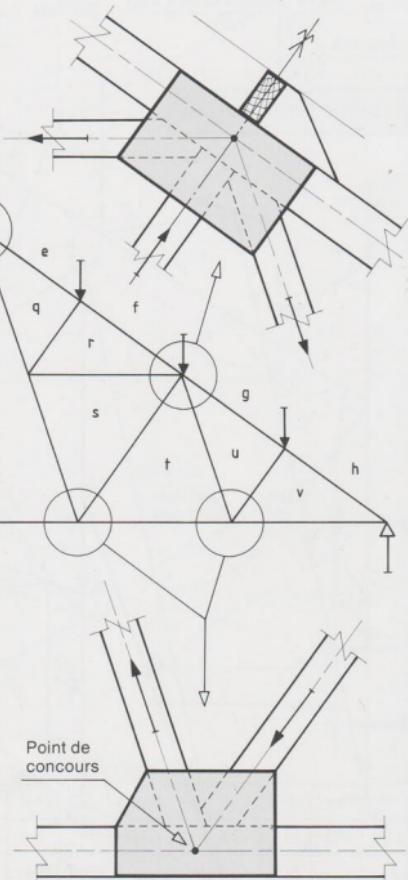
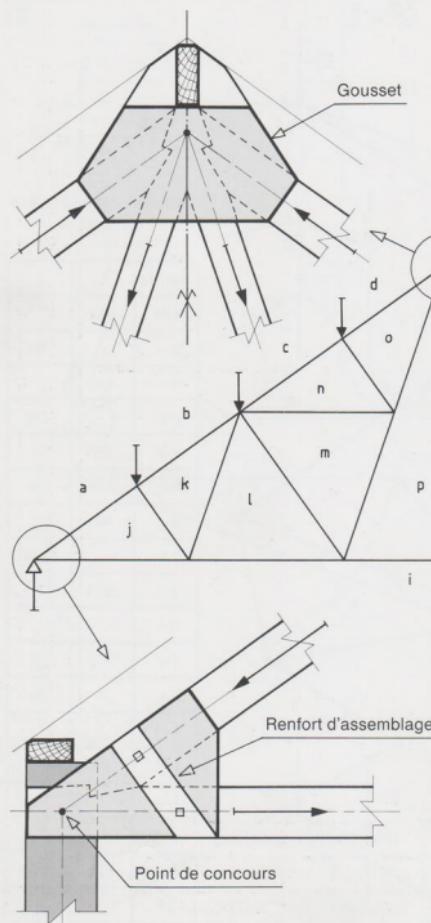
### 1°) Méthode de Ritter (fig. 1)

Le nœud 4 est situé sur l'entrait, et le point de rotation R au sommet de la ferme.

Le calcul des moments détermine l'intensité et la nature de l'effort sur la barre p – i.

### 2°) Méthode graphique (fig. 2)

Le nœud 4 est alors situé sur l'arbalétrier. Les décompositions successives, de la charge P, puis de la composante C1, déterminent la valeur de la barre n – m. La demi-charge P/2, permet de situer le point m, sur l'épure du crémone.



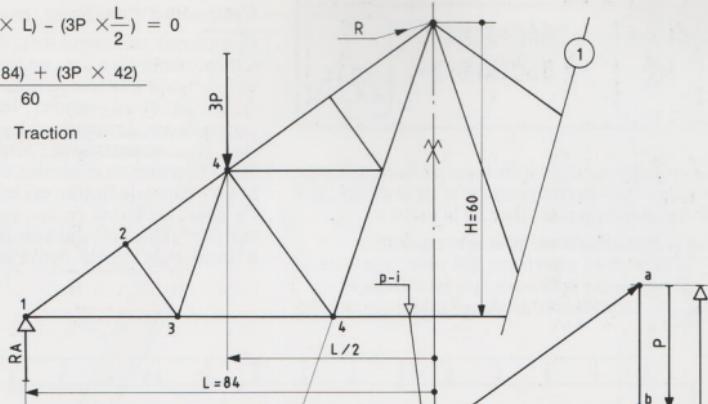
$$(p,i) \times H + (RA \times L) - (3P \times \frac{L}{2}) = 0$$

$$(p,i) = \frac{-(RA \times 84) + (3P \times 42)}{60}$$

$(p,i) = -1400 \text{ daN}$  Traction



Figure 1



$$P = 500 \text{ daN}$$

$$RA = RB = 1750 \text{ daN}$$

P

R<sub>A</sub>

Figure 2

Échelle: 1 cm = 200 daN

Résultats en daN

Barres	a-j	j-i	b-k	k-j	k-l	l-i	c-n	n-m	m-l	m-p	p-i	d-o	o-n	o-p
Comprimées	3011		2720	407			2430		814			2139	407	
Tendues		2450			350	2100		350		700	1400			1050



Le principe consiste à éloigner de la fibre neutre les éléments de compression et de traction, afin d'augmenter la résistance de la section.

La composition d'une poutre comprend :

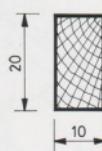
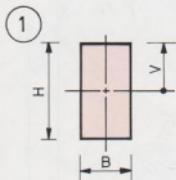
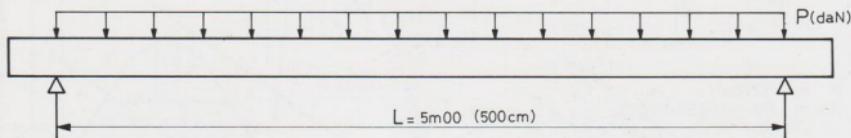
- la membrure supérieure, qui est comprimée,
- la membrure inférieure, qui est tendue,
- l'âme, dont le rôle est de relier les membrures.

### Composition d'une ferme (page de droite)

Cette ferme comprend deux demi-fermes. Chaque demi-ferne est un ensemble indéformable, formant à la fois poteau et arbalétrier. A la base et au sommet, les membrures sont rapprochées, de manière à les rendre le plus possible concourantes avec l'articulation.

Dans la crosse au contraire, elles sont éloignées, là où l'effort de flexion est le plus important.

Ce genre de ferme en arc, peut être monté sur trois articulations, qui constituent les sommets d'un triangle isocèle, figure indéformable.



$$I = \frac{B H^3}{12}$$

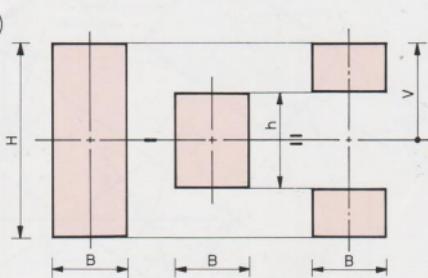
$$\frac{I}{V} = \frac{B H^2}{6}$$

$$\frac{I}{V} = \frac{M f}{\sigma}$$

$$\sigma = 109 \text{ daN/cm}^2$$

$$P = \frac{B H^2 \times 8 \times \sigma}{6 \times L}$$

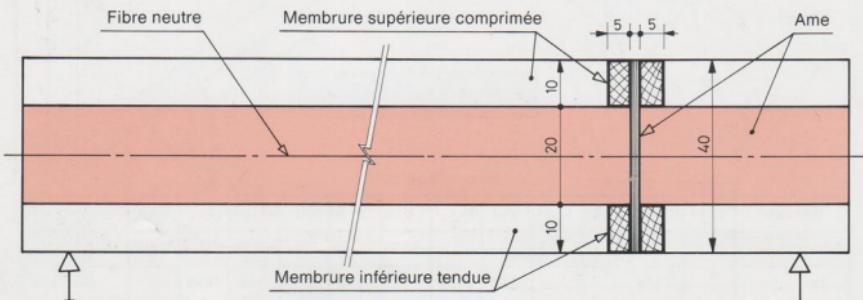
$$P = \frac{10 \times 20^2 \times 8 \times 109}{6 \times 500} = 1163 \text{ daN}$$

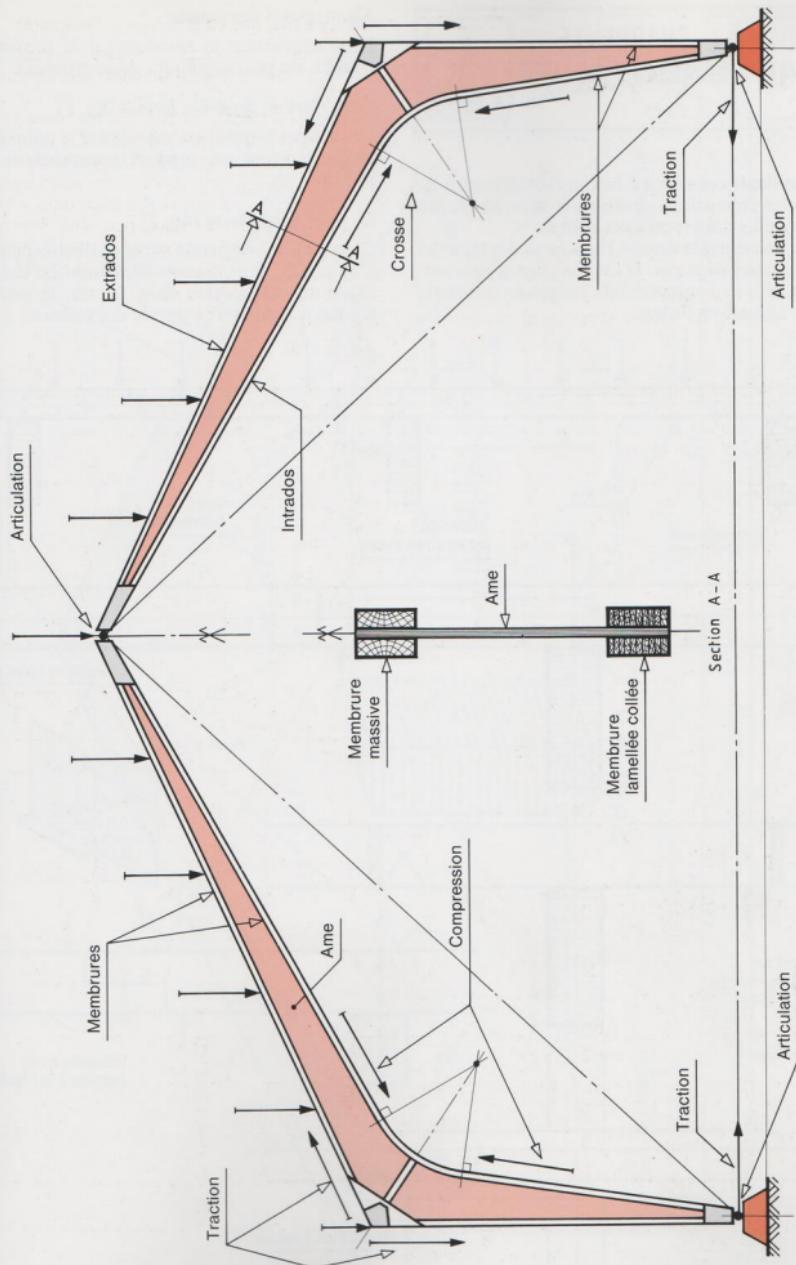


$$I = \frac{B H^3}{12} - \frac{B h^3}{12} = \frac{B (H^3 - h^3)}{12}$$

$$\frac{I}{V} = \frac{B (H^3 - h^3)}{12} \times \frac{2}{H} = \frac{B (H^3 - h^3)}{6 H}$$

$$P = \frac{10 \times (40^3 - 20^3) \times 8 \times 109}{6 \times 40 \times 500} = 4069 \text{ daN}$$







**La méthode** consiste à fabriquer des éléments de grandes dimensions, droits ou cintrés, au moyen de lamelles superposées et collées.

Pour les éléments cintrés, l'épaisseur des lamelles ne doit pas dépasser  $1/150^{\circ}$  du rayon de courbure, afin de conserver une souplesse suffisante pour la mise en forme.

### Aboutements des pannes

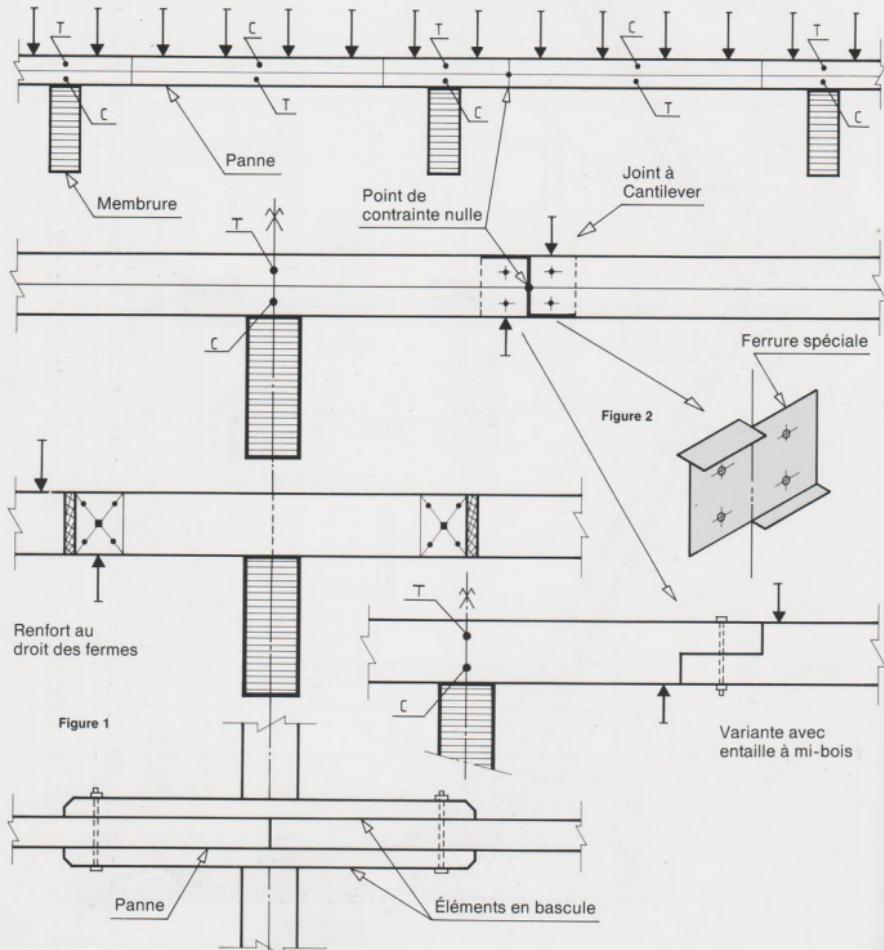
Pour augmenter la résistance à la flexion des pannes, on peut appliquer deux procédés.

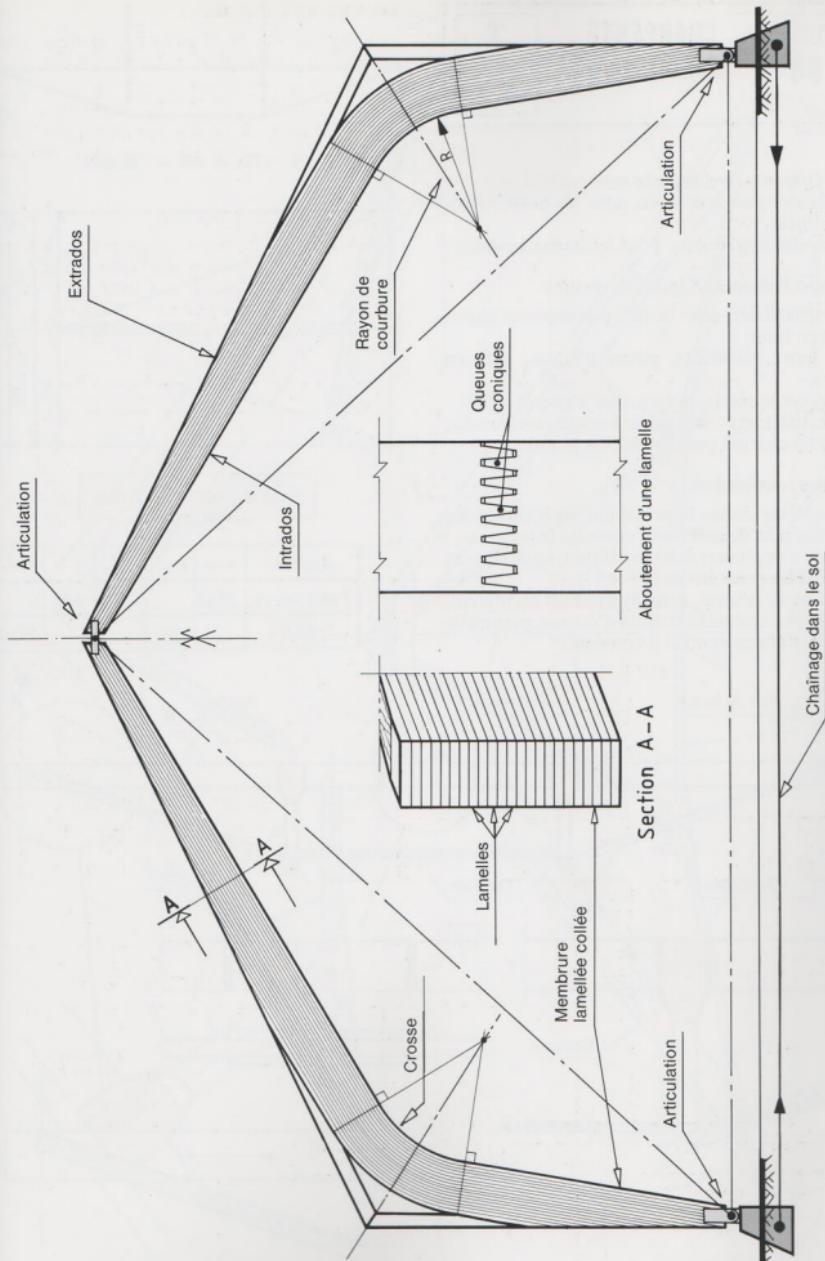
#### Le renfort au droit des fermes (fig. 1)

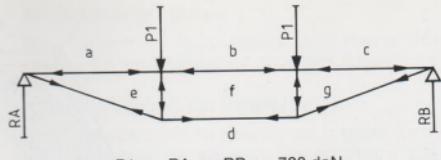
Des éléments posés en bascule sur le point d'appui, apportent un support intermédiaire aux pannes.

#### Le joint à cantilever (fig. 2)

C'est un joint suspendu, situé en dehors du point d'appui, là où le moment fléchissant est nul. Dans un cas comme dans l'autre, le principe revient à diminuer la portée des pannes.







Les éléments de charpente sont constitués :

- par des pièces de bois, pour les barres compressées,
- par des aciers plats, pour les barres tendues.

#### Fermes Polonceau\* (page de droite)

Les arbalétriers et les bielles, pièces comprimées, sont en bois.

Les autres éléments, pièces tendues, sont en acier.

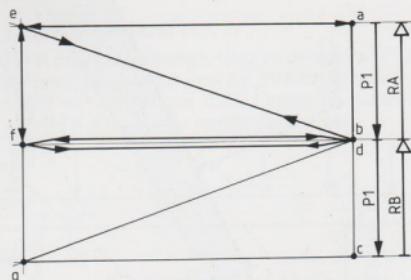
Dans cet exemple, la ferme est à *simple bielle*. Les arbalétriers sont soumis à des *flexions locales*, sous les charges ponctuelles des pannes.

#### Pannes sous-tendues

Ce système donne la possibilité de franchir des portées plus importantes, entre les fermes.

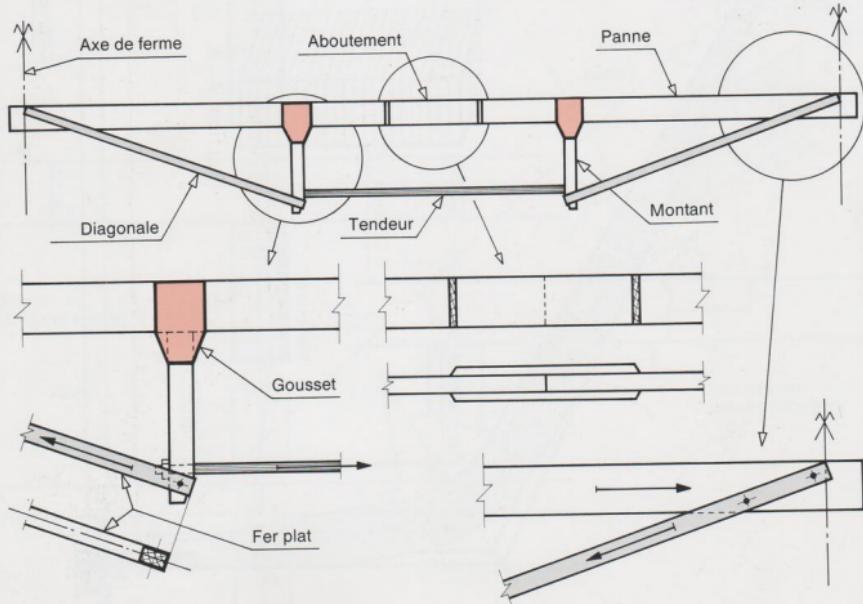
Il peut s'appliquer à des portiques, comme ceux des études précédentes (92 et 93).

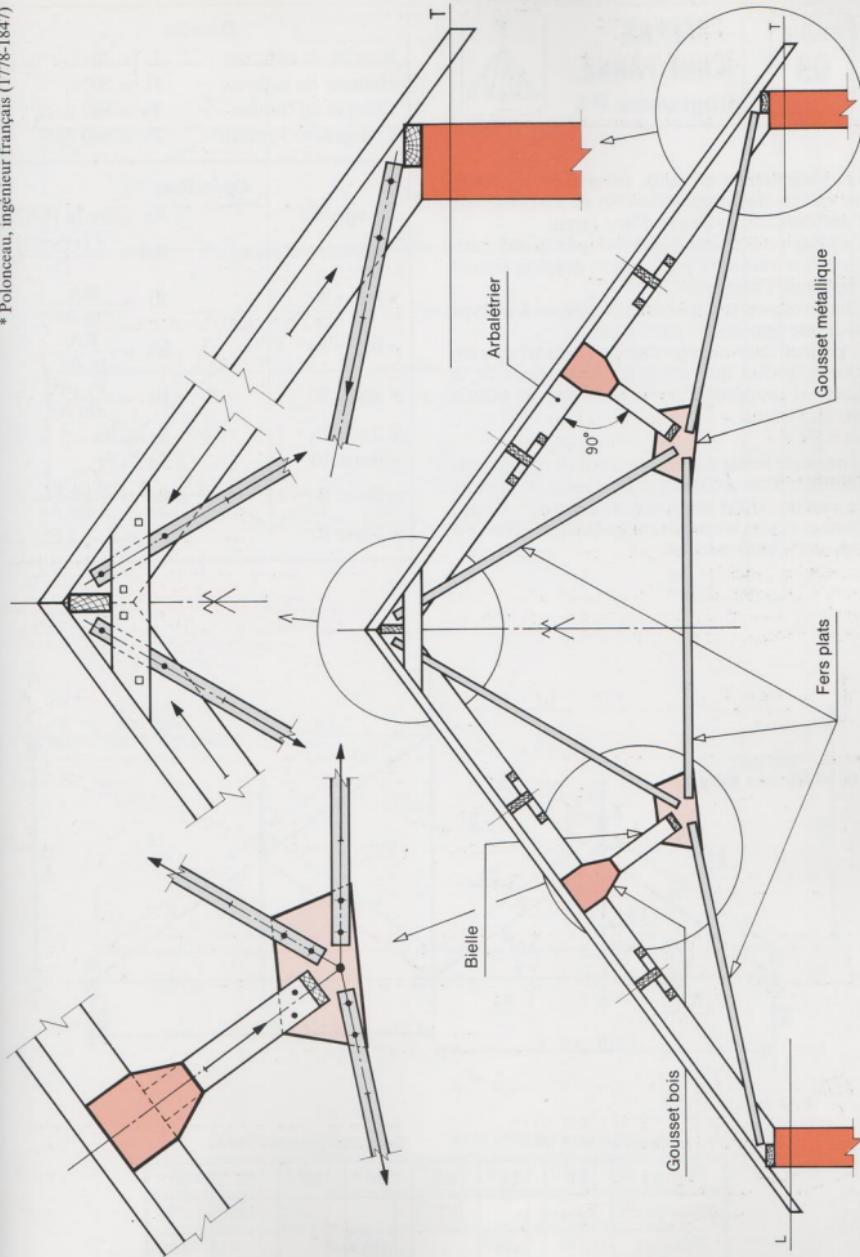
Le tendeur central, constitué par un acier rond, fileté aux extrémités et muni d'écrous, permet de raidir la panne comme il convient.



Échelle : 1 cm = 300 daN

Barres	a-e	e-d	b-f	f-e	f-d
Comprimées	2043		2043	720	
Tendues		2166			2043





ÉTUDE

**95**
**FERME  
À UNE PANNE**  
**programme P 1**


Les programmes suivants, permettent d'obtenir les efforts de compression ou de traction, qui s'exercent sur les barres d'une ferme.

Le principe consiste à chercher par mathématiques, les résultats que donne graphiquement l'épure de Crémona.

Chacun de ces programmes s'applique à un type de ferme symétrique particulier.

Il permet dans chaque cas de résoudre le problème, quelles que soient les dimensions de la ferme et la valeur des charges  $P_1$  et  $P_2$  qu'elle reçoit.

Lorsque la ferme ne comporte pas de charges sur l'entrail, comme l'indique le schéma de la page de gauche, il faut introduire une donnée :  $P_2 = 0$ . Dans ce cas les barres  $B_5$  sur lesquelles l'effort est nul, sont *surabondantes*.

**Données**

Reculée de la ferme

 $L = 70$ 

Hauteur de la ferme

 $H = 50$ 

Charges en toiture

 $P_1 = 800 \text{ daN}$ 

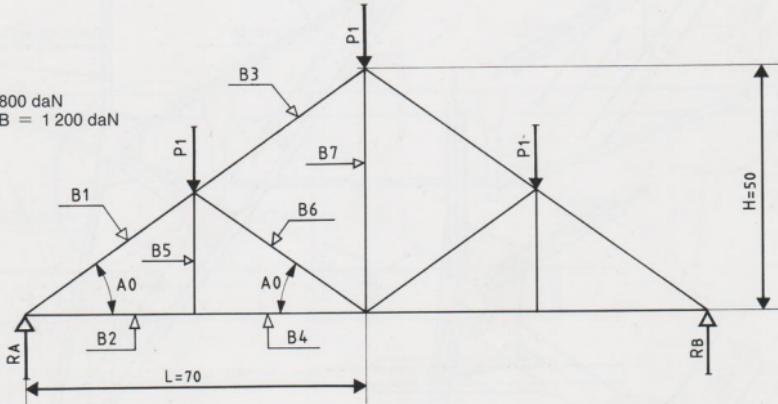
Charges sur l'entrail

 $P_2 = 500 \text{ daN}$ **Opérations**

Angle $A_0$	$A_0 = \arctg H/L$
Réaction d'appui	$RA = \frac{3(P_1 + P_2)}{2}$
• Barre $B_1$	$B_1 = \frac{RA}{\sin A_0}$
• Barre $B_2$	$B_2 = \frac{RA}{\operatorname{tg} A_0}$
• Barre $B_3$	$B_3 = \frac{P_1 + P_2}{\sin A_0}$
• Barre $B_4$	$B_4 = B_2$
• Barre $B_5$	$B_5 = P_2$
• Barre $B_6$	$B_6 = \frac{P_1 + P_2}{2 \sin A_0}$
• Barre $B_7$	$B_7 = P_1 + 2 P_2$

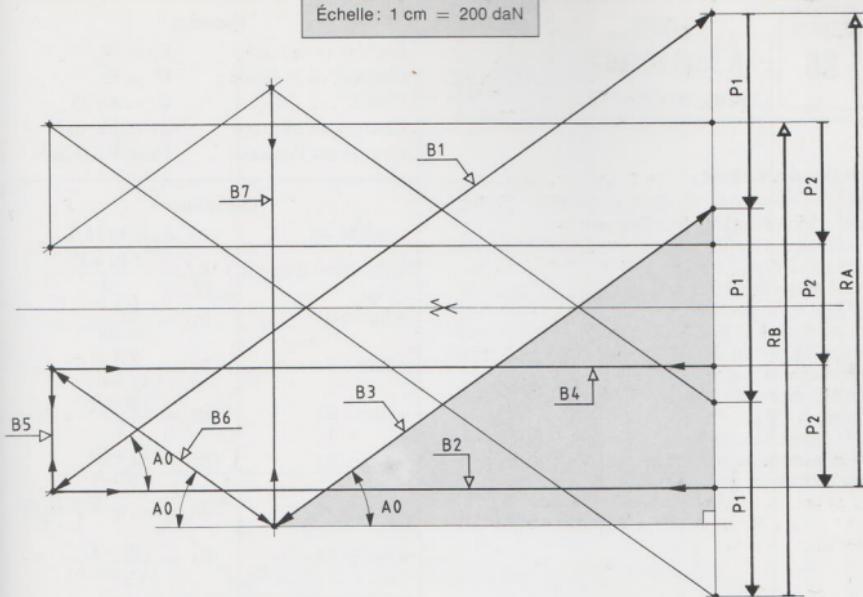
$$P_1 = 800 \text{ daN}$$

$$RA = RB = 1200 \text{ daN}$$

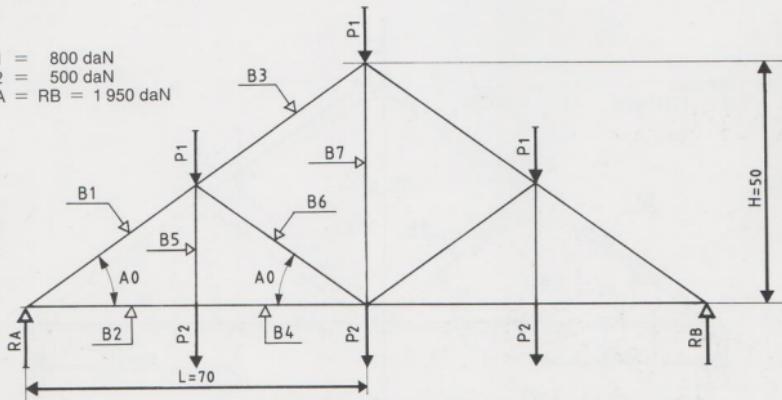
*Résultats en daN**Sans charges sur l'entrail*

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Comprimées	2065		1376		0	688	
Tendues		1680		1680			800

Échelle: 1 cm = 200 daN



$$\begin{aligned} P_1 &= 800 \text{ daN} \\ P_2 &= 500 \text{ daN} \\ R_A = R_B &= 1950 \text{ daN} \end{aligned}$$



Résultats en daN

Avec charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Comprimées	3355		2237			1118	
Tendues		2730		2730	500		1800

ÉTUDE  
96

**FERME  
À UNE PANNE**  
programme P 2



**Position de la panne**

Dans cet exemple, la charge produite par la panne intermédiaire peut être située :

- soit au milieu du rampant, comme l'indique le schéma ci-dessous.

Dans ce cas la cote C est égale à  $L/2$  et l'angle  $A_1$  est égal à l'angle  $A_0$  ;

- soit dans une position différente, au-dessous ou au-dessus du point de milieu, comme sur le schéma de la page de droite.

Cette position de la panne, nécessite le calcul de l'angle  $A_1$ .

Si la ferme ne comporte pas de charge sur l'entrait, comme le montre le schéma de gauche, il faut introduire une donnée :  $P_2 = 0$ .

**Données**

Reculée de la ferme	$L = 70$
Hauteur de la ferme	$H = 50$
Cote C	$C = 40/35$
Charges en toiture	$P_1 = 800 \text{ daN}$
Charge sur l'entrait	$P_2 = 1200 \text{ daN}$

**Opérations**

$$\text{Angle } A_0 \quad A_0 = \arctan H/L$$

$$\text{Réaction d'appui} \quad R_A = \frac{3P_1 + P_2}{2}$$

- Barre B1  $B_1 = \frac{R_A}{\sin A_0}$

- Barre B2  $B_2 = \frac{R_A}{\tan A_0}$

- Barre B5  $B_5 = \frac{2P_1 \times C}{L} + P_2$

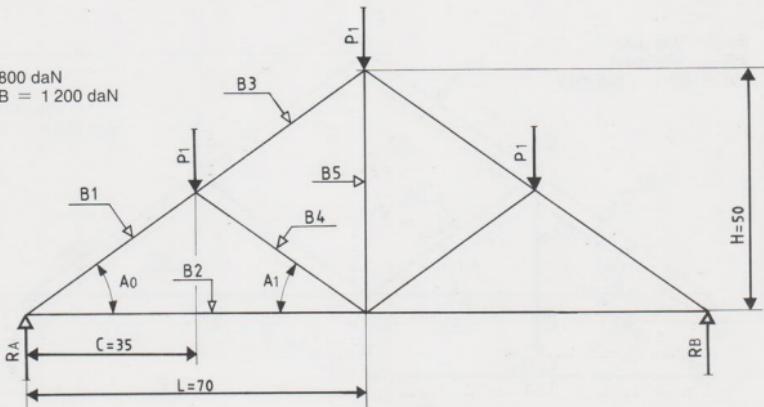
- Barre B3  $B_3 = \frac{P_1 + B_5}{2 \sin A_0}$

$$\text{Angle } A_1 \quad A_1 = \arctan \frac{C \times \tan A_0}{L - C}$$

- Barre B4  $B_4 = \frac{P_1 \times C}{L \times \sin A_1}$

$$P_1 = 800 \text{ daN}$$

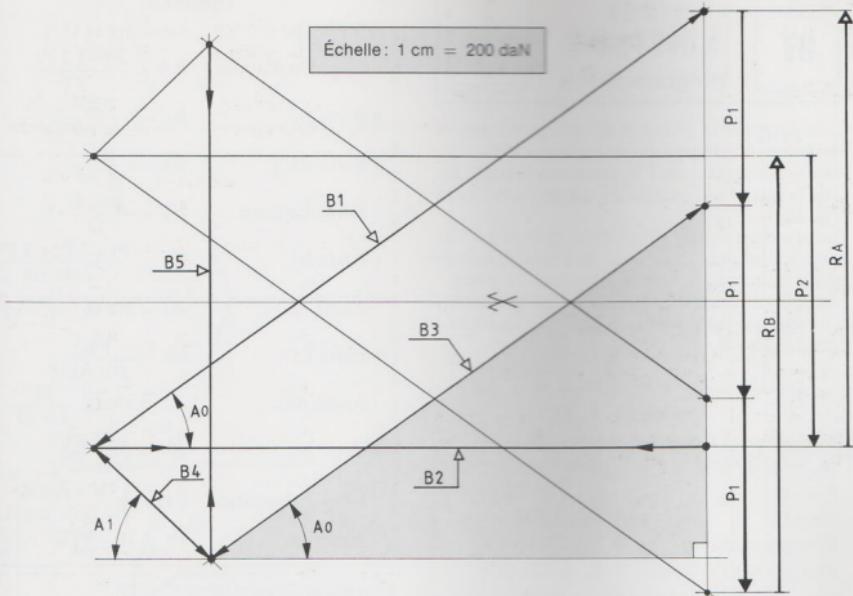
$$R_A = R_B = 1200 \text{ daN}$$



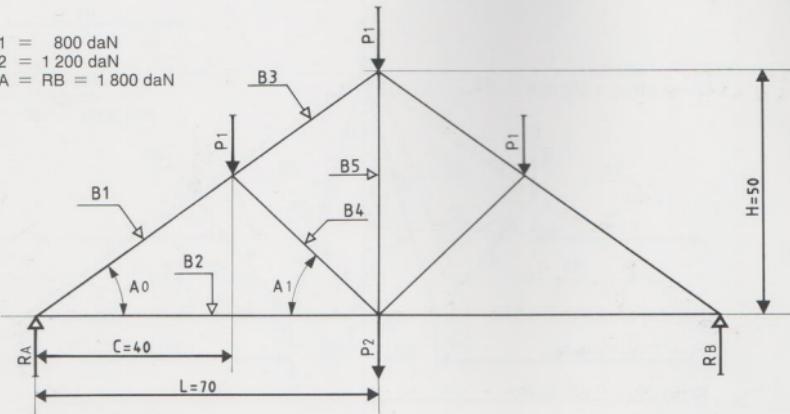
Résultats en daN

Sans charge sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5
Comprimées	2065		1376	688	
Tendues		1680			800



$P_1 = 800 \text{ daN}$   
 $P_2 = 1200 \text{ daN}$   
 $R_A = R_B = 1800 \text{ daN}$



Résultats en daN

Avec charge sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5
Comprimées	3097		2507	663	
Tendues		2520			2114

## ÉTUDE

97

**FERME  
À UNE PANNE**  
 programme P 3


Cette ferme sans poinçon ne comporte pas de barre verticale, ce qui nécessite le calcul :

- de la force verticale  $F_V$ , relative à la barre  $B_5$ .
- de la force horizontale  $F_H$ , relative aux barres  $B_5$  et  $B_6$ .

Comme dans l'étude précédente, la charge  $P_1$  de la panne intermédiaire peut être située, soit au milieu du rampant, soit en dehors de ce point. Pour obtenir les résultats de la ferme ci-dessous, sans charges sur l'entrant, il faut introduire une donnée :  $P_2 = 0$ .

## Données

Reculée de la ferme	$L = 70$
Hauteur de la ferme	$H = 50$
Cote D	$D = 52/55$
Cote C	$C = 40/35$
Charges en toiture	$P_1 = 800 \text{ daN}$
Charges sur l'entrant	$P_2 = 700 \text{ daN}$

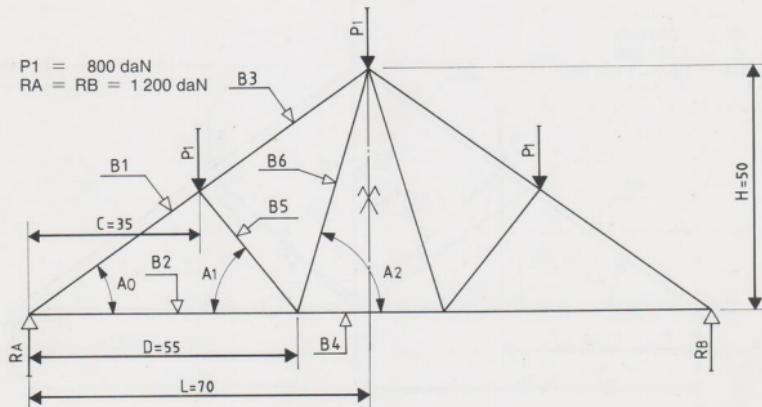
## Opérations

$$\text{Angle } A_0 = \arctan \frac{H}{L}$$

$$\text{Réaction d'appui } R_A = \frac{3P_1 + 2P_2}{2}$$

- Barre  $B_1$   $B_1 = \frac{R_A}{\sin A_0}$
- Barre  $B_2$   $B_2 = \frac{R_A}{\tan A_0}$
- Force verticale  $F_V = \frac{P_1 \times C}{D}$
- Barre  $B_3$   $B_3 = \frac{P_1 + 2P_2 + 2F_V}{2 \sin A_0}$
- Angle  $A_1$   $A_1 = \arctan \frac{C \times \tan A_0}{D - C}$
- Barre  $B_5$   $B_5 = \frac{F_V}{\sin A_1}$
- Angle  $A_2$   $A_2 = \arctan \frac{H}{L - D}$
- Barre  $B_6$   $B_6 = \frac{P_2 + F_V}{\sin A_2}$
- Force horizontale  $F_H = \begin{cases} B_6 \times \cos A_2 \\ + B_5 \times \cos A_1 \end{cases}$
- Barre  $B_4$   $B_4 = B_2 - F_H$

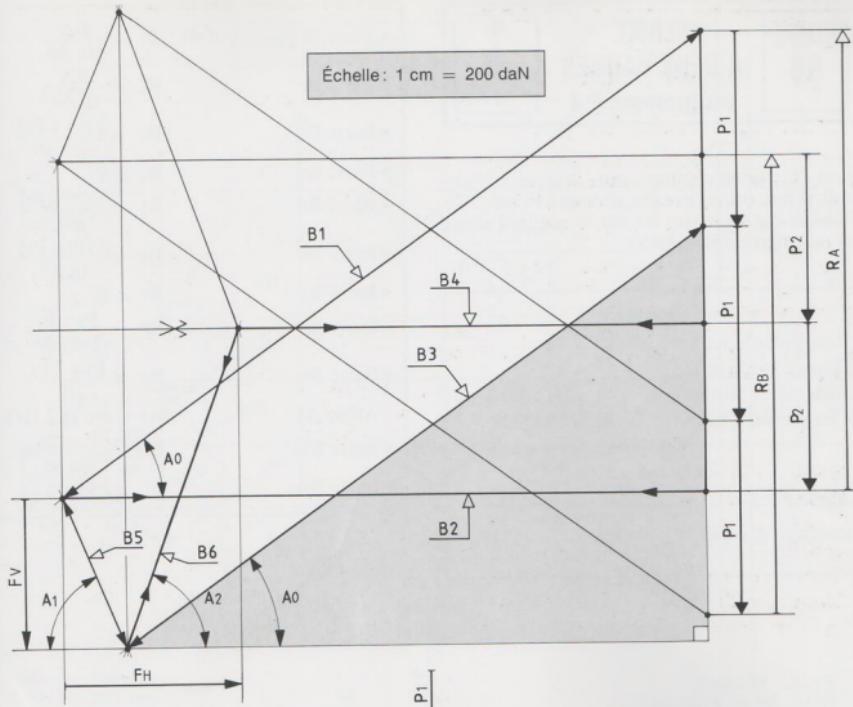
Condition de possibilité  $C < D$



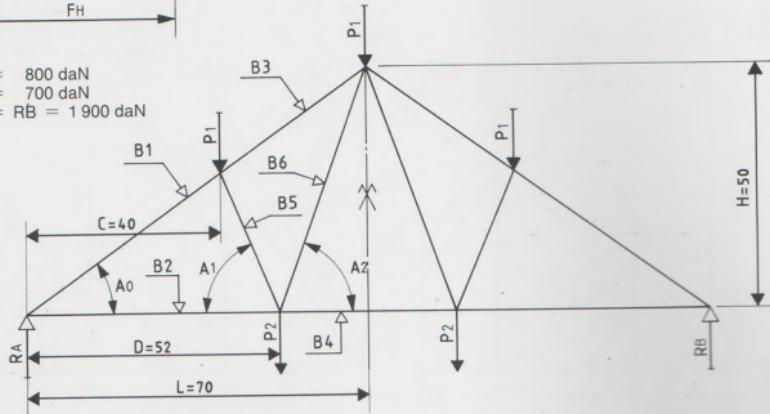
Résultats en daN

Sans charges sur l'entrant

Barres	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$
Comprimées	2065		1564		652	
Tendues		1680		1120		532



$P_1 = 800 \text{ daN}$   
 $P_1 = 700 \text{ daN}$   
 $RA = RB = 1900 \text{ daN}$



Résultats en daN

Avec charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Comprimées	3269		2951		667	
Tendues		2660		1928		1398

ÉTUDE

**98**

# FERME À DEUX PANNES

programme P 4



Pour obtenir les résultats, sans charges sur l'entrait, il faut introduire une donnée :  $P_2 = 0$ . Dans ce cas les barres B7, sur lesquelles l'effort est nul, sont *surabondantes*.

### Données

Reculée de la ferme	$L = 84$
Hauteur de la ferme	$H = 60$
Charges en toiture	$P_1 = 840 \text{ daN}$
Charges sur l'entrait	$P_2 = 390 \text{ daN}$

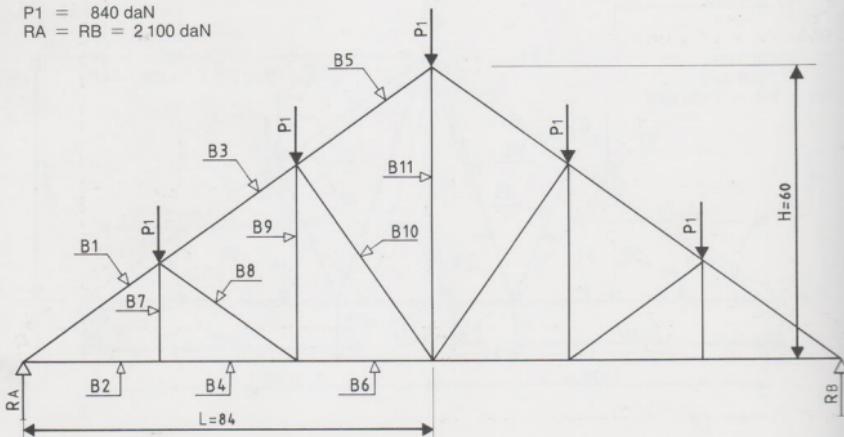
### Opérations

Angle $A_0$	$A_0 = \arctg H/L$
Réaction d'appui	$RA = \frac{5(P_1 + P_2)}{2}$

- Barre B1  $B_1 = \frac{RA}{\sin A_0}$
- Barre B2  $B_2 = \frac{RA}{\tan A_0}$
- Barre B3  $B_3 = \frac{2(P_1 + P_2)}{\sin A_0}$
- Barre B4  $B_4 = B_2$
- Barre B5  $B_5 = \frac{3(P_1 + P_2)}{2 \sin A_0}$
- Barre B6  $B_6 = \frac{2(P_1 + P_2)}{\tan A_0}$
- Barre B7  $B_7 = P_2$
- Barre B8  $B_8 = \frac{P_1 + P_2}{2 \sin A_0}$
- Barre B9  $B_9 = \frac{P_1 + 3P_2}{2}$
- Angle  $A_1$   $A_1 = \arctg 2H/L$
- Barre B10  $B_{10} = \frac{P_1 + P_2}{\sin A_1}$
- Barre B11  $B_{11} = 2P_1 + 3P_2$

$$P_1 = 840 \text{ daN}$$

$$RA = RB = 2100 \text{ daN}$$

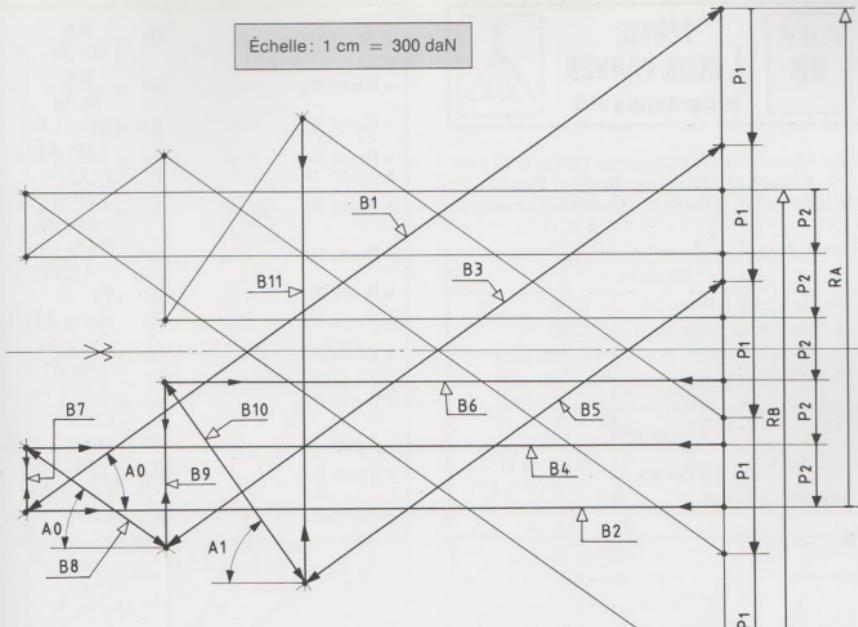


Résultats en daN

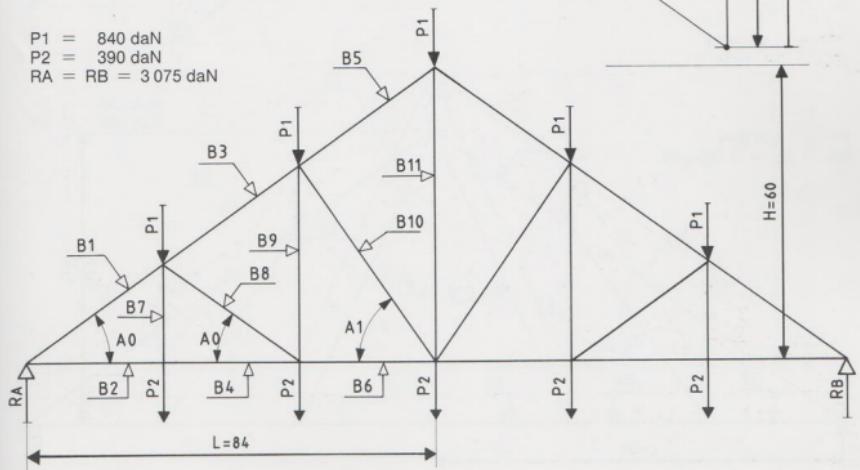
Sans charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
Comprimées	3613		2890		2168			723		1025	
Tendues		2940		2940		2352	0		420		1680

Échelle: 1 cm = 300 daN



$$\begin{aligned}P_1 &= 840 \text{ daN} \\P_2 &= 390 \text{ daN} \\R_A &= R_B = 3075 \text{ daN}\end{aligned}$$



Résultats en daN

Avec charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
Comprimées	5290		4232		3174			1058		1501	
Tendues		4305		4305		3444	390		1005		2850

ÉTUDE

**99**
**FERME  
À DEUX PANNEES**  
 programme P 5


Pour obtenir les résultats, sans charges sur l'entrait, il faut introduire une donnée :  $P_2 = 0$ .  
 Cette fois, c'est la barre  $B_{11}$  qui est *surabondante*.

**Données**

Reculée de la ferme	$L = 84$
Hauteur de la ferme	$H = 60$
Charges en toiture	$P_1 = 840 \text{ daN}$
Charges sur l'entrait	$P_2 = 390 \text{ daN}$

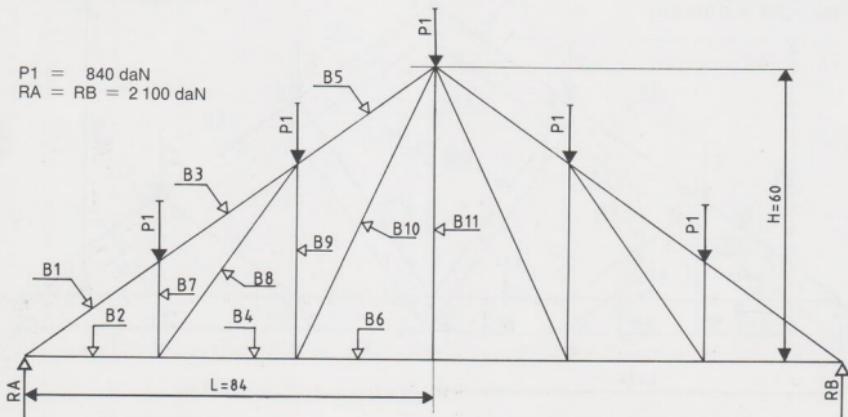
**Opérations**

Angle $A_0$	$A_0 = \text{arc tg } H/L$
Réaction d'appui	$RA = \frac{5(P_1 + P_2)}{2}$

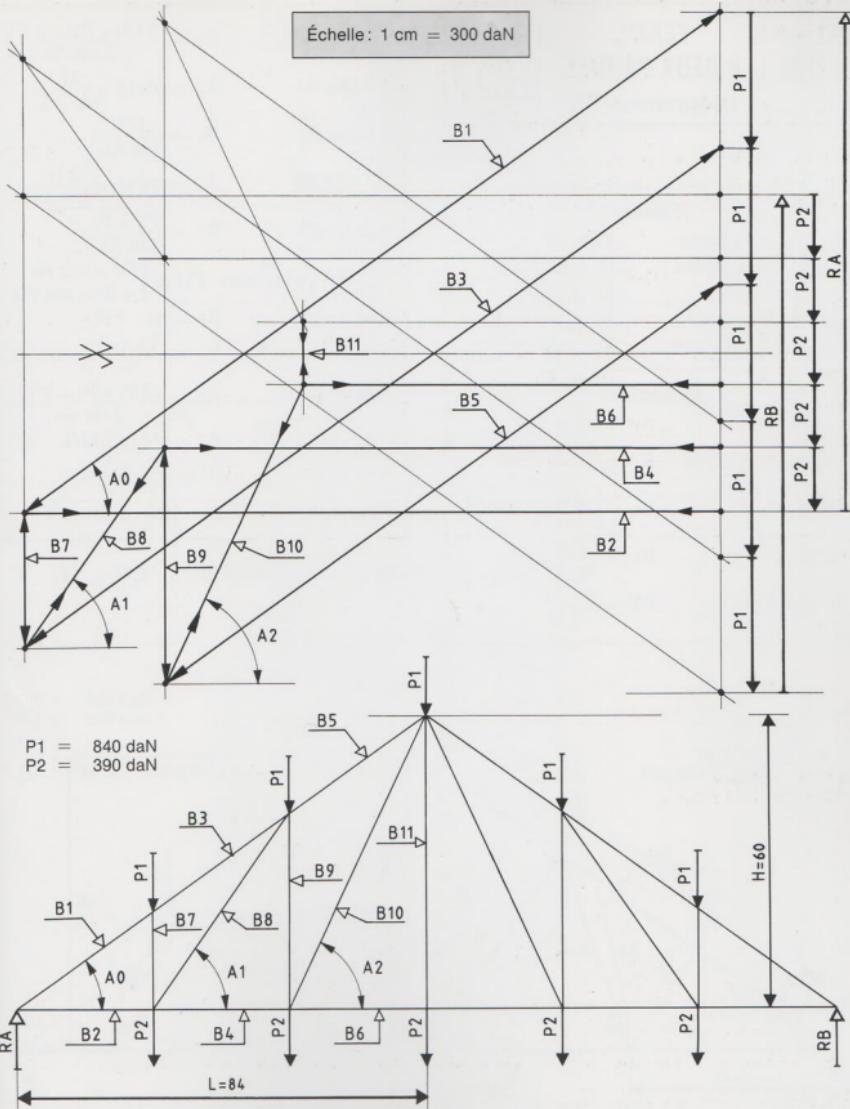
- Barre  $B_1$   $B_1 = \frac{RA}{\sin A_0}$
- Barre  $B_2$   $B_2 = \frac{RA}{\tan A_0}$
- Barre  $B_3$   $B_3 = B_1$
- Barre  $B_4$   $B_4 = \frac{2(P_1 + P_2)}{\tan A_0}$
- Barre  $B_5$   $B_5 = \frac{2(P_1 + P_2)}{\sin A_0}$
- Barre  $B_6$   $B_6 = \frac{3(P_1 + P_2)}{2 \tan A_0}$
- Barre  $B_7$   $B_7 = P_1$
- Angle  $A_1$   $A_1 = \text{arc tg } 2H/L$
- Barre  $B_8$   $B_8 = \frac{P_1 + P_2}{\sin A_1}$
- Barre  $B_9$   $B_9 = \frac{3P_1 + P_2}{2}$
- Angle  $A_2$   $A_2 = \text{arc tg } 3H/L$
- Barre  $B_{10}$   $B_{10} = \frac{3(P_1 + P_2)}{2 \sin A_2}$
- Barre  $B_{11}$   $B_{11} = P_2$

$$P_1 = 840 \text{ daN}$$

$$RA = RB = 2100 \text{ daN}$$

*Résultats en daN**Sans charges sur l'entrait*

Barres	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$	$B_9$	$B_{10}$	$B_{11}$
Comprimées	3613		3613		2890		840		1260		0
Tendues		2940		2352		1764		1025		1390	



Résultats en daN

Avec charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
Comprimées	5290		5290		4232		840		1455		
Tendues		4305		3444		2583		1501		2036	390

ÉTUDE  
100

**FERME  
À DEUX PANNEES**  
programme P 6



**Données**

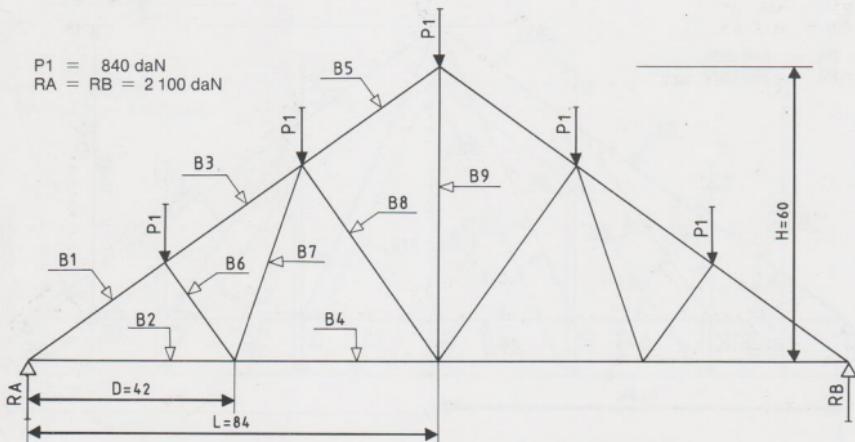
Reculée de la ferme	$L = 84$
Hauteur de la ferme	$H = 60$
Cote D	$D = 46/42$
Charges en toiture	$P_1 = 840 \text{ daN}$
Charges sur l'entrait	$P_2 = 600 \text{ daN}$

**Opérations**

Angle $A_0$	$A_0 = \text{arc tg } H/L$
Réaction d'appui	$RA = \frac{5P_1 + 3P_2}{2}$
• Barre B1	$B_1 = \frac{RA}{\sin A_0}$
• Barre B2	$B_2 = \frac{RA}{\text{tg } A_0}$
Force verticale	$FV = \frac{P_1 \times L}{3D}$

- Barre B3  $B_3 = \frac{3(P_1 + P_2) + 2FV}{2 \sin A_0}$
- Angle  $A_1$   $A_1 = \text{arc tg } \frac{H}{3D - L}$
- Barre B6  $B_6 = \frac{FV}{\sin A_1}$
- Angle  $A_2$   $A_2 = \text{arc tg } \frac{2H}{2L - 3D}$
- Barre B7  $B_7 = \frac{FV + P_2}{\sin A_2}$
- Force horizontale  $FH = \begin{cases} B_6 \times \cos A_1 \\ + B_7 \times \cos A_2 \end{cases}$
- Barre B4  $B_4 = B_2 - FH$
- Variable de  $P_2$   $V = \frac{P_2 \times D}{L}$
- Barre B5  $B_5 = \frac{3P_1 + P_2 + 2V}{2 \sin A_0}$
- Angle  $A_3$   $A_3 = \text{arc tg } 2H/L$
- Barre B8  $B_8 = \frac{P_1 + V}{\sin A_3}$
- Barre B9  $B_9 = 2P_1 + P_2 + 2V$

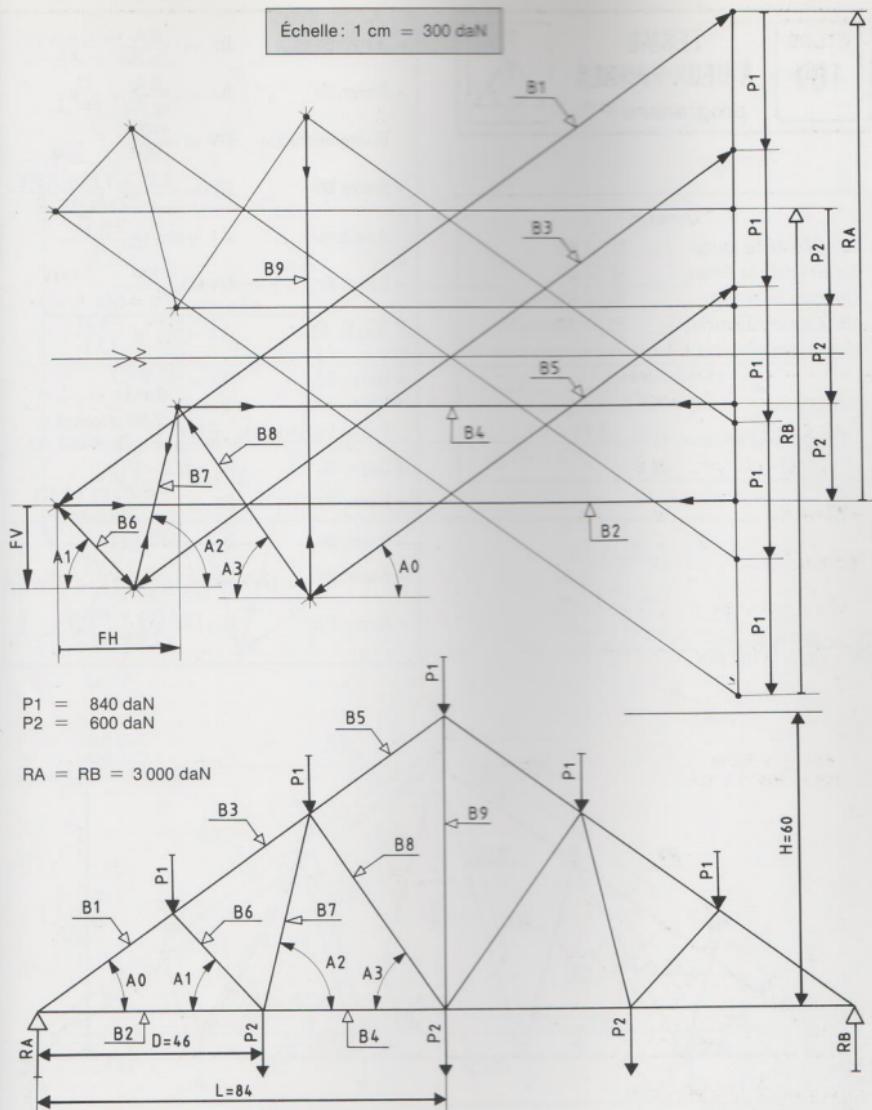
Condition de possibilité  $\frac{L}{3} < D < \frac{2L}{3}$



Résultats en daN

Sans charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Comprimées	3613		3131		2168	684		1025	
Tendues		2940		2352			593		1680



Résultats en daN

Avec charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Comprimées	5161		4596		3249	688		1426	
Tendues		4200		3462			1145		2937

ÉTUDE  
101

**FERME  
À DEUX PANNES**  
programme P 7



**Données**

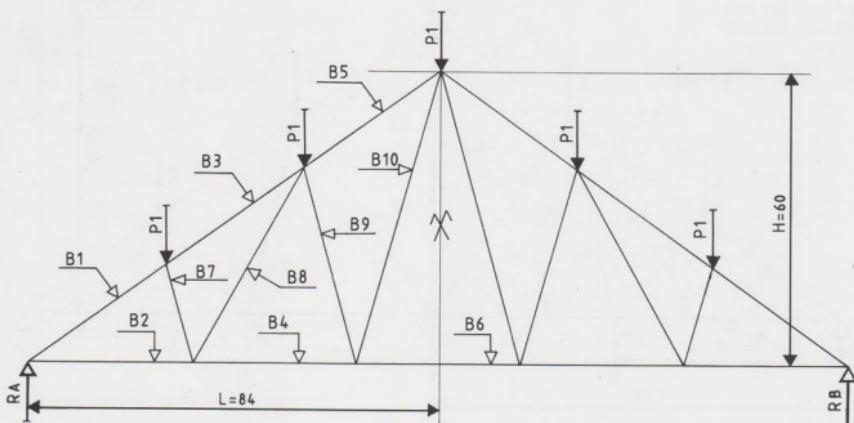
Reculée de la ferme	L = 84
Hauteur de la ferme	H = 60
Charges en toiture	P1 = 840 daN
Charges sur l'entrait	P2 = 480 daN

**Opérations**

Angle A0      A0 =  $\text{arc tg } H/L$   
 Réaction d'appui      RA =  $\frac{5P_1 + 4P_2}{2}$

P1 = 840 daN  
 RA = RB = 2100 daN

- Barre B1       $B_1 = \frac{RA}{\sin A_0}$
- Barre B2       $B_2 = \frac{RA}{\tan A_0}$
- Force verticale      FV =  $\frac{5P_1}{6}$
- Barre B3       $B_3 = \frac{3P_1 + 4P_2 + 2FV}{2 \sin A_0}$
- Angle A1       $A_1 = \text{arc tg } \frac{5H}{L}$
- Barre B7       $B_7 = \frac{FV}{\sin A_1}$
- Angle A2       $A_2 = \text{arc tg } \frac{5H}{2L}$
- Barre B8       $B_8 = \frac{P_2 + FV}{\sin A_2}$
- Force horizontale      FH =  $\begin{cases} B_7 \times \cos A_1 \\ + B_8 \times \cos A_2 \end{cases}$
- Barre B4       $B_4 = B_2 - FH$
- Barre B5       $B_5 = \frac{P_1 + 3(P_2 + FV)}{2 \sin A_0}$
- Barre B6       $B_6 = B_4 - FH$
- Barre B9       $B_9 = \frac{P_2 + 3FV}{2 \sin A_1}$
- Barre B10       $B_{10} = \frac{3(P_2 + FV)}{2 \sin A_1}$

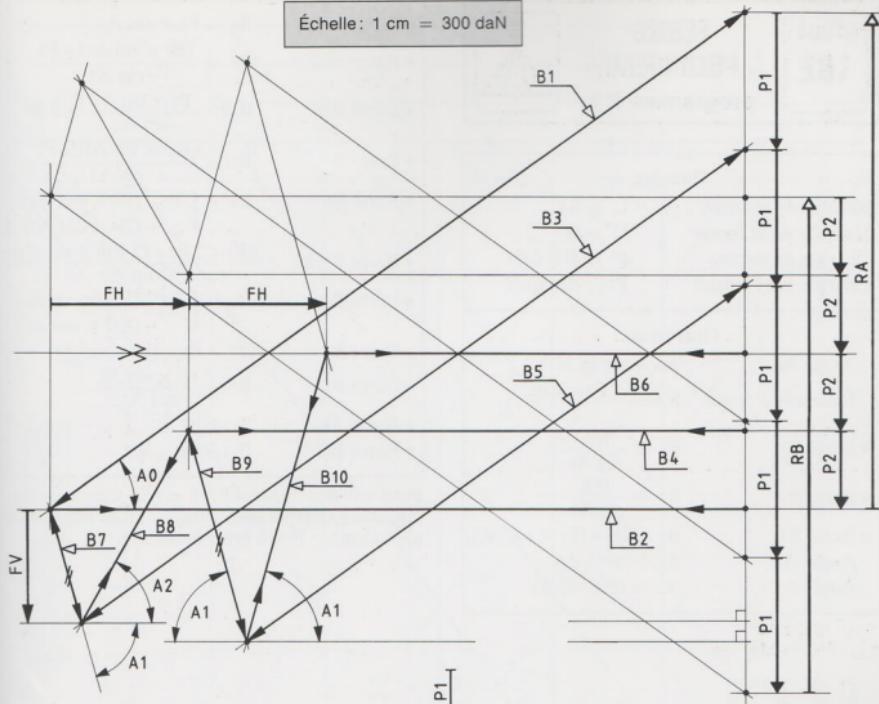


*Résultats en daN*

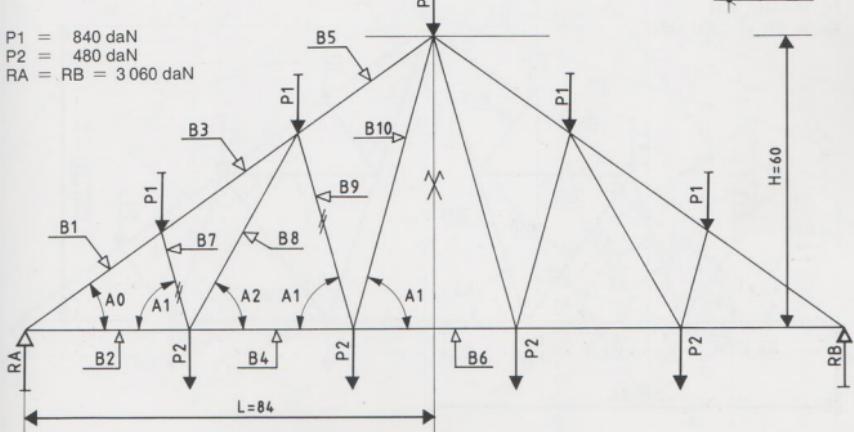
*Sans charges sur l'entrait*

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Comprimées	3613		3372		2529		727		1090	
Tendues		2940		2352		1764		802		1090

Échelle : 1 cm = 300 daN



$$\begin{aligned}P_1 &= 840 \text{ daN} \\P_2 &= 480 \text{ daN} \\RA &= RB = 3060 \text{ daN}\end{aligned}$$



Résultats en daN

Avec charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Comprimées	5265		5024		3768		727		1340	
Tendues		4284		3427		2570		1352		1838



Données

Reculée de la ferme	$L = 84$
Hauteur de la ferme	$H = 60$
Charges en toiture	$P_1 = 500 \text{ daN}$
Charges sur l'entrait	$P_2 = 466 \text{ daN}$

Opérations

$$\text{Angle } A_0 = \text{arc tg } H/L$$

$$\text{Réaction d'appui } RA = \frac{7P_1 + 4P_2}{2}$$

- Barre B1       $B_1 = \frac{RA}{\sin A_0}$

- Barre B2       $B_2 = \frac{RA}{\text{tg } A_0}$

- Barre B3       $B_3 = B_1 - (P_1 \times \sin A_0)$

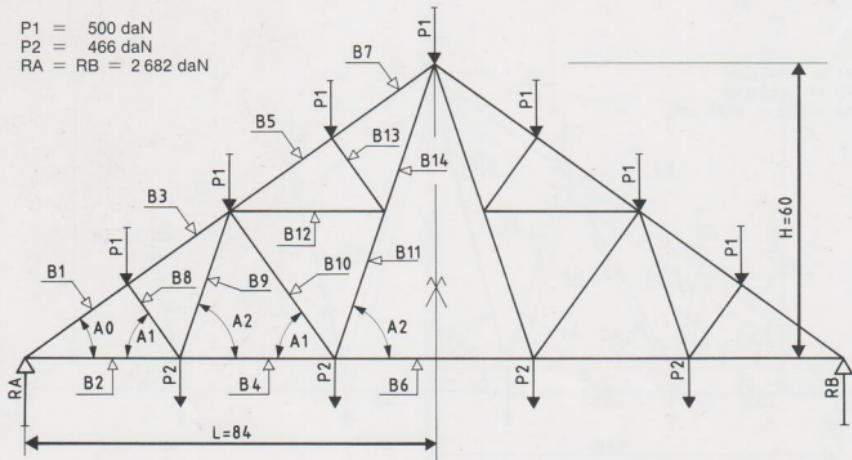
$$\text{Angle } A_1 = 90^\circ - A_0$$

$$\text{Angle } A_2 = 180^\circ - 2A_1$$

- Barre B8       $B_8 = P_1 \times \cos A_0$
- Barre B9       $B_9 = \frac{(B_8 \times \sin A_1) + P_2}{\sin A_2}$
- Barre B10       $B_{10} = \frac{P_2 \times \sin A_0}{\sin A_2} + 2B_8$
- Barre B11       $B_{11} = \frac{(B_{10} \times \sin A_1) + P_2}{\sin A_2}$
- Barre B4       $B_4 = \begin{cases} B_2 - (B_8 \times \cos A_1) \\ - (B_9 \times \cos A_2) \end{cases}$
- Barre B5       $B_5 = \frac{3P_1 + 2P_2 + (2B_{10} \times \sin A_1)}{2 \sin A_0}$
- Barre B6       $B_6 = \begin{cases} B_4 - (B_{10} \times \cos A_1) \\ - (B_{11} \times \cos A_2) \end{cases}$
- Barre B7       $B_7 = B_5 - (P_1 \times \sin A_0)$
- Barre B12       $B_{12} = \frac{B_8 \times \sin A_1}{\sin A_2}$
- Barre B13       $B_{13} = B_8$
- Barre B14       $B_{14} = B_{11} + B_{12}$

Pour obtenir les résultats sur la même ferme, mais sans charges sur l'entrait, il faut introduire une donnée :  $P_2 = 0$  (voir étude 91).

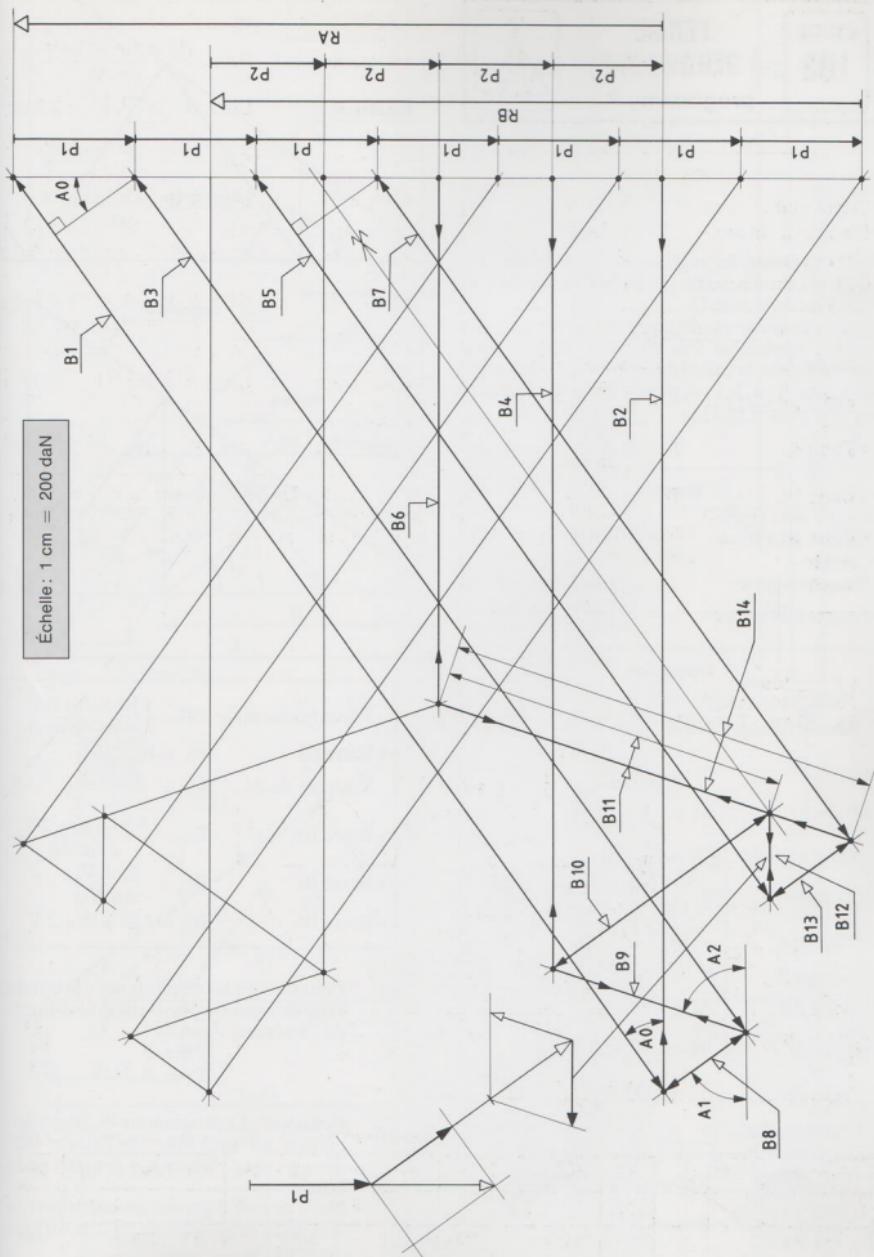
$$\begin{aligned} P_1 &= 500 \text{ daN} \\ P_2 &= 466 \text{ daN} \\ RA &= RB = 2682 \text{ daN} \end{aligned}$$



Résultats en daN

Avec charges sur l'entrait

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
Comprimées	4614		4324		3632		3342	407		1100			407	
Tendues		3755		3245		2139			843		1439	350		1789



ÉTUDE

103

# FERME À DEUX PANNEAUX

programme P9



Sur cette ferme, les angles  $A_1$  et  $A_2$  peuvent être aigus ou droits, voire même obtus, suivant la grandeur de la cote  $D$ .

Leurs valeurs sont obtenues par la *formule des cosinus*, applicable aux triangles quelconques. Cela nécessite le calcul des dimensions linéaires des segments  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , présentés sur les schémas ci-contre (fig. 1 et 2).

## Données

Reculée de la ferme	$L = 84$
Hauteur de la ferme	$H = 60$
Cote D	$D = 28$
Charges en toiture	$P_1 = 840 \text{ daN}$
Charges sur l'entrait	$\begin{cases} P_2 = 960 \text{ daN} \\ P_3 = 540 \text{ daN} \end{cases}$

## Opérations

- Angle  $A_0$   $A_0 = \arctan H/L$
- Réaction d'appui  $R_A = \frac{5P_1 + P_2 + 2P_3}{2}$
- Barre  $B_1$   $B_1 = \frac{RA}{\sin A_0}$
- Barre  $B_2$   $B_2 = \frac{RA}{\tan A_0}$
- Force verticale  $FV = \frac{P_1 \times L}{3D}$
- Barre  $B_3$   $B_3 = \frac{3P_1 + P_2 + 2P_3 + 2FV}{2 \sin A_0}$
- Segment a  $a = \sqrt{\frac{L^2 + H^2}{3}}$
- Segment b  $b = \sqrt{a^2 + D^2 - (2 \times a \times D \times \cos A_0)}$
- Angle  $A_1$   $A_1 = \arccos \frac{b^2 + D^2 - a^2}{2 \times b \times D}$
- Barre  $B_6$   $B_6 = \frac{FV}{\sin A_1}$
- Angle  $A_3$   $A_3 = \arctan \frac{2H}{L}$
- Segment c  $c = \sqrt{a^2 + H^2 - (2 \times a \times H \times \sin A_0)}$
- Segment d  $d = \sqrt{c^2 + (L-D)^2 - (2 \times c \times (L-D) \times \cos A_3)}$
- Angle  $A_2$   $A_2 = \arccos \frac{d^2 + (L-D)^2 - c^2}{2 \times d \times (L-D)}$
- Barre  $B_7$   $B_7 = \frac{FV + P_3}{\sin A_2}$

Figure 1

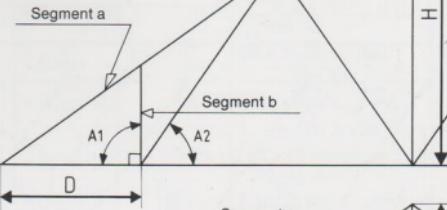
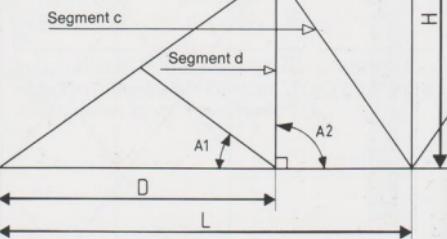


Figure 2



$$\text{Force horizontale } FH = \begin{cases} B_7 \times \cos A_2 \\ + B_6 \times \cos A_1 \end{cases}$$

- Barre  $B_4$   $B_4 = B_2 - FH$
- Variable de  $P_3$   $V = \frac{P_3 \times D}{L}$
- Barre  $B_5$   $B_5 = \frac{3P_1 + P_2 + 2V}{2 \sin A_0}$
- Barre  $B_8$   $B_8 = \frac{P_1 + V}{\sin A_3}$
- Barre  $B_9$   $B_9 = 2P_1 + P_2 + 2V$

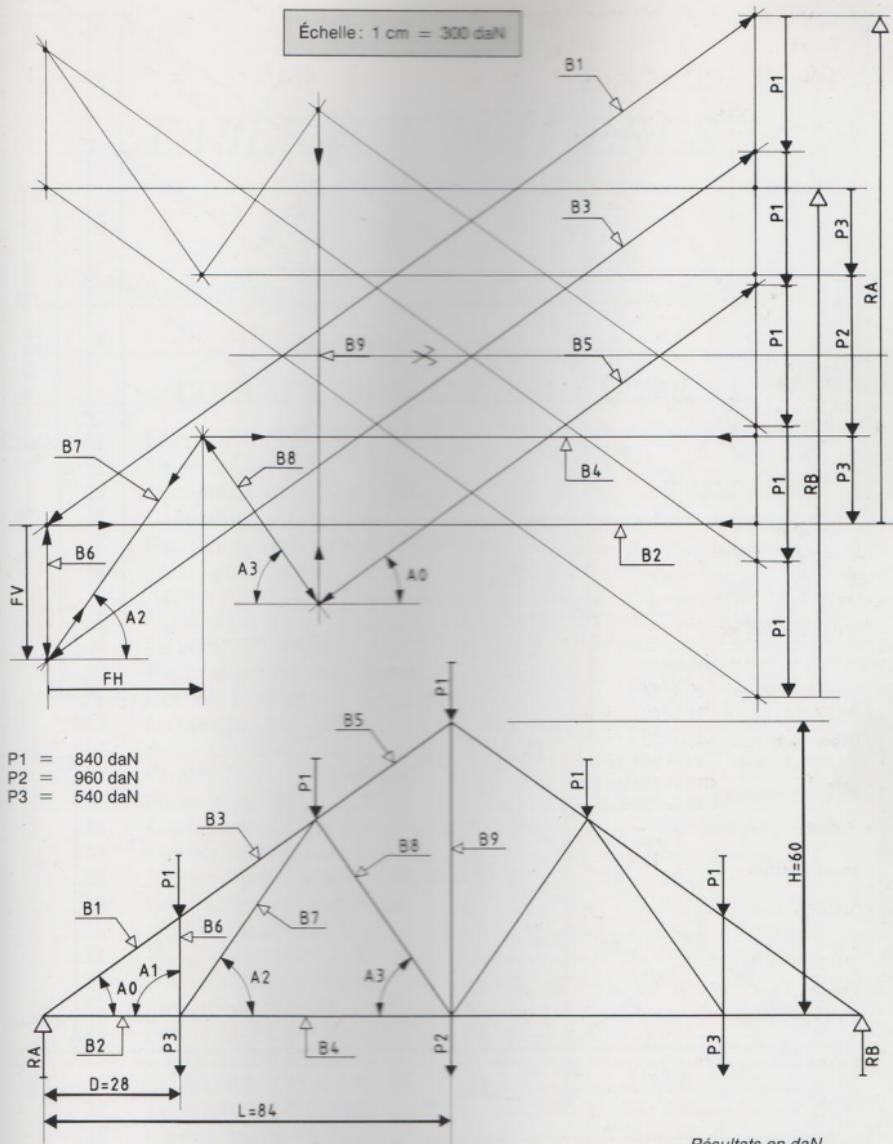
Pour obtenir les résultats sur des fermes sans charges sur l'entrait, il faut introduire comme données :

$$P_2 = 0$$

$$P_3 = 0$$

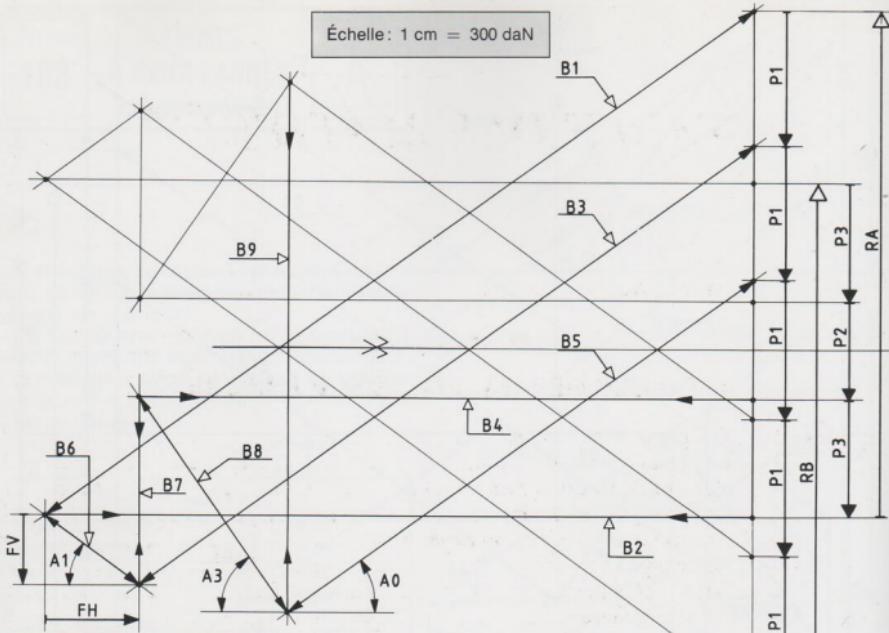
*Remarque :* Le programme P9, peut s'appliquer au problème de l'étude 100, avec ou sans charges sur l'entrait de la ferme.

Dans ce cas, il permet de supprimer la condition de possibilité, relative au programme P6.



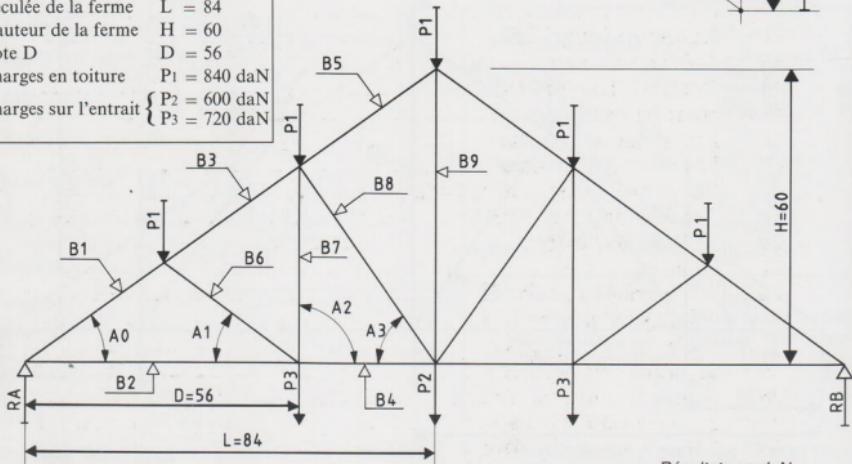
Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Comprimées	5368		5368		3303	840		1245	
Tendues		4368		3402			1685		3000

Échelle: 1 cm = 300 daN



#### Données

Reculée de la ferme	$L = 84$
Hauteur de la ferme	$H = 60$
Cote D	$D = 56$
Charges en toiture	$P_1 = 840 \text{ daN}$
Charges sur l'entrait	$\begin{cases} P_2 = 600 \text{ daN} \\ P_3 = 720 \text{ daN} \end{cases}$



Résultats en daN

Barres	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Comprimées	5368		4645		3510	723		1611	
Tendues		4368		3780			1140		3240

# TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos .....	Pages 4
--------------------	------------

## Première partie

### TRACÉS DE CHARPENTE SUR L'ÉPURE

Etudes		10
1	Les plans dans l'espace .....	12
2	Le versant de toit .....	14
3	Versant de toit ( <i>Cas particuliers</i> ) .....	16
4	Le rectiligne du dièdre .....	18
5	Rectiligne du dièdre ( <i>Cas particuliers</i> ) .....	20
6	La croupe régulière .....	22
7	Arêtier régulier .....	24
8	Noue régulière .....	26
9	La panne d'arêtier .....	28
10	Panne d'arêtier avec barbe .....	30
11	Comble avec aile .....	32
12	La croupe irrégulière .....	34
13	Arêtier irrégulier .....	36
14	Contre-fiche d'arêtier .....	38
15	Noue irrégulière .....	40
16	Les herses sur l'arêtier .....	42
17	Les herses sur la noue .....	44
18	Empanons de noue avec barbe .....	46
19	Comble avec avant-corps .....	48
20	Arêtier chanlatté .....	50
21	Noue chanlattée .....	52
22	Noue-arêtier chanlattée .....	54
23	Noulets de lucarne .....	56
24	Saillie de toit irrégulière .....	58
25	Saillie de toit régulière .....	60
26	Saillie de toit avec coyaux .....	62
27	Ferme et saillie biaises .....	64
28	Croupe biaise régulière .....	66
29	Croupe biaise irrégulière .....	68
30	Liens de faîteage .....	70
31	Lien Mansart .....	72
32	Croix de Saint-André .....	74
33	Noues sur aile oblique .....	

*Deuxième partie*

**TRACÉS DE CHARPENTE PAR PROGRAMMATION**

		Pages
	<b>MATHÉMATIQUES ÉLÉMENTAIRES</b>	
Etudes	34 Théorème de Pythagore .....	80
	35 Rapports et proportions .....	82
	36 Cercle trigonométrique .....	84
	37 Rapports trigonométriques .....	86
	38 Triangles quelconques .....	88
	<b>CHARPENTE PROGRAMMÉE</b> .....	90
40	Rectiligne du dièdre      Programme P1 .....	92
41	Coupe de la panne      Programme P2 .....	94
42	Longueur de la panne      Programme P3 .....	96
43	La herse      Programme P4 .....	98
44	Arêtier régulier      Programme P5 .....	100
45	Noue régulière      Programme P5 .....	102
46	Pavillon carré      Programme P7 .....	104
47	Rectiligne du dièdre      Programme P1 .....	106
48	Coupe de la panne      Programme P2 .....	108
49	Longueur de la panne      Programme P3 .....	110
50	Les herses d'arêtier      Programme P4 .....	112
51	Arêtier irrégulier      Programme P5 .....	114
52	Arêtier - Traçage      Programme P5 .....	116
53	Noue irrégulière      Programme P5.N .....	118
54	Saillies de toit      Programme P6 .....	120
55	Comble à croupes (avec saillie régulière)      Programme P7.1 .....	122
56	Comble à croupes (avec saillie irrégulière)      Programme P7.2 .....	125
57	Programme préliminaire      Programme P0 .....	128
58	Rectiligne du dièdre      Programme P1 .....	129
59	La panne d'arêtier      Programmes P2 et P3 .....	130
60	Les herses      Programme P4 .....	132
61	Les arêtiers      Programme P5 .....	134
62	Pavillon trapézoïdal      Programme P7 .....	136
63	Programme préliminaire      Programme P0 .....	138
64	Rectiligne du dièdre      Programme P1 .....	141
65	La panne d'arêtier      Programmes P2 et P3 .....	142
66	Les herses      Programme P4 .....	144
67	Les arêtiers      Programme P5 .....	146
68	Saillies de toit      Programme P6 .....	148
69	Comble à croupes biaises (avec saillie régulière)      Programme P7.1 .....	150
70	Comble à croupes biaises (avec saillie irrégulière)      Programme P7.2 .....	153
71	Organigramme .....	156

*Troisième partie*

**STATIQUE ET STRUCTURES DES COMBLES**

	Pages
<b>STATIQUE ÉLÉMENTAIRE</b>	
Etudes	
72 Le matériau bois .....	162
73 Les forces .....	164
74 Les moments .....	166
75 Le funiculaire .....	168
76 Méthode de Crémone .....	170
77 Méthode de Ritter .....	172
78 Le moment fléchissant .....	174
79 Effort de flexion .....	176
80 Traction et cisaillement .....	178
81 Effort de compression .....	180
<b>STRUCTURE DES COMBLES</b>	
82 Comble à deux versants .....	182
83 Assemblages de charpente .....	184
84 Nœuds d'assemblage .....	186
85 Fermes à une panne (1 <sup>re</sup> partie) .....	188
86 Fermes à une panne (2 <sup>e</sup> partie) .....	190
87 Fermes à deux pannes (1 <sup>re</sup> partie) .....	192
88 Fermes à deux pannes (2 <sup>e</sup> partie) .....	194
89 Épures de Crémone asymétriques .....	196
90 Crémona avec réactions obliques .....	198
91 Crémona avec trois inconnues .....	200
92 Charpente à sections I .....	202
93 Charpente lamellée collée .....	204
94 Charpente en bois et acier .....	206
95 Ferme à une panne Programme P1 .....	208
96 Ferme à une panne Programme P2 .....	210
97 Ferme à une panne Programme P3 .....	212
98 Ferme à deux pannes Programme P4 .....	214
99 Ferme à deux pannes Programme P5 .....	216
100 Ferme à deux pannes Programme P6 .....	218
101 Ferme à deux pannes Programme P7 .....	220
102 Ferme Polonceau Programme P8 .....	222
103 Ferme à deux pannes Programme P9 .....	224



I.S.B.N. 2-85101-022-0

9 782851010223