

SKAT



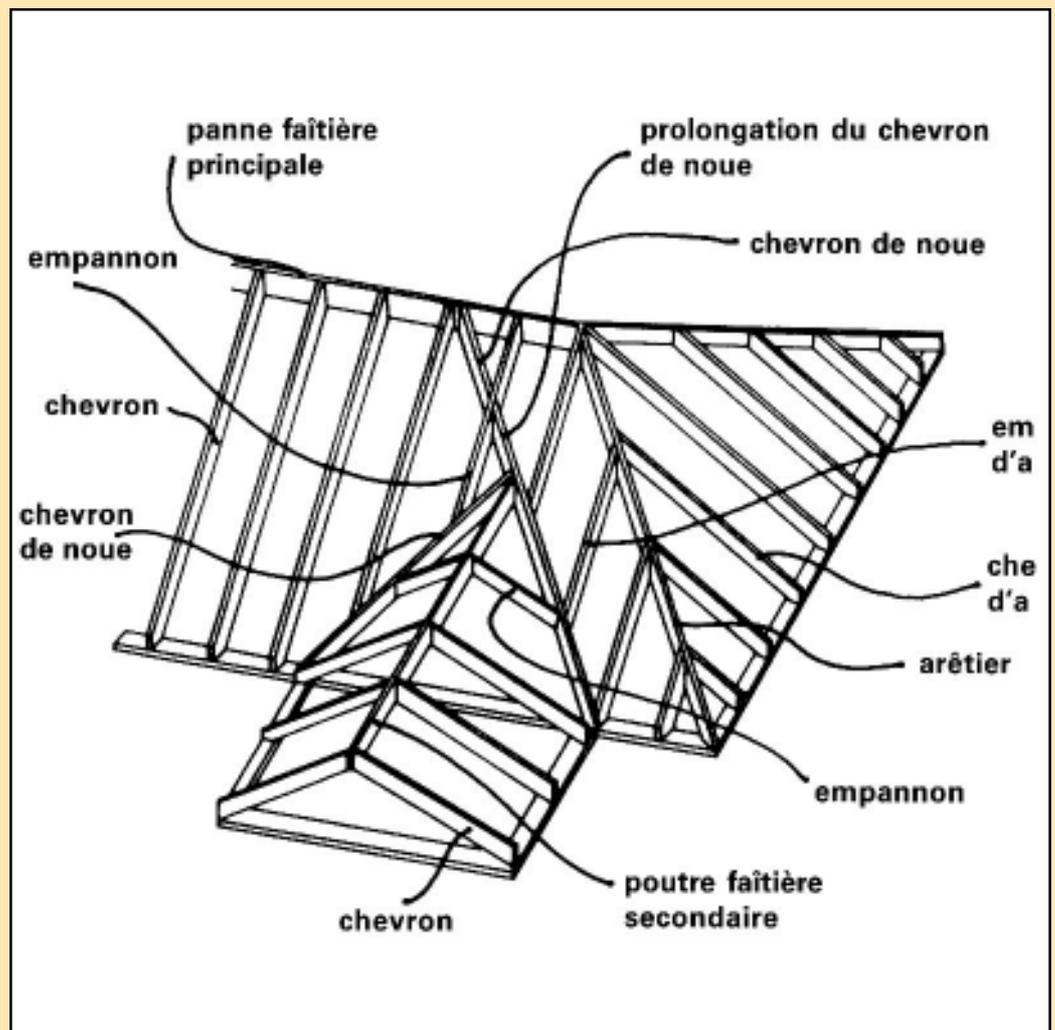
Centre de Coopération Suisse
pour la Technologie et le Management

Bureau International du Travail

La Charpente

*Éléments de base
pour la conception et la construction
de charpentes légères pour toitures à pans inclinés*

Paul Gut



*Centre de Coopération Suisse
pour la Technologie et le Management*

Bureau International du Travail

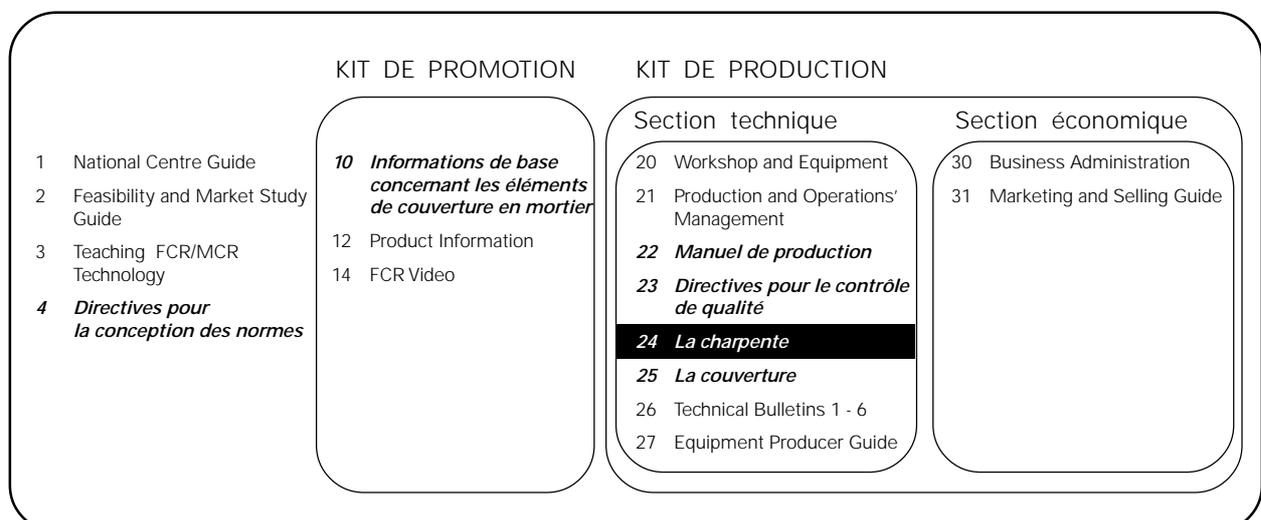
La Charpente

*Eléments de base pour la conception et la construction
de charpentes simples et légères, et procédure d'aide au
dimensionnement des membrures et détails constructifs*

Une copublication du Centre Suisse pour la Technologie et le Management (SKAT) et du Bureau International du Travail (BIT), produite avec le soutien de la Direction de la Coopération au Développement et de l'Aide Humanitaire Suisse (DDA)

DIAGRAMME DE LA SERIE PEDAGOGIQUE TFM / TVM:

KIT DU CENTRE DE REFERENCE NATIONAL



Auteur : Paul Gut, Intep AG, Zurich, Suisse

Traduit de l'anglais par : Michel Klein, Wittenbach, Suisse, en collaboration avec Mia et Claude Brasseur, Haverenne, Belgique et Gabrielle Thévenon du BIT, Genève, Suisse

Comité d'édition : SKAT : Karl Wehrle, Heini Müller, Olivier Scheurer
Gilbert Brys, BIT
Roland Stulz, Intep AG

Copublié par : SKAT, Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management, en collaboration avec
le BIT, Bureau International du Travail, INSTEAD

Première édition : 1993 par SKAT, Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management, en collaboration avec
le BIT, Bureau International du Travail

Mise en page : P. Gut, Intep AG
C. Dia, SKAT

Illustrations : Mathias Staehli, Lachen, Suisse

Photos : Heini Müller, SKAT, T. Moncrieff, P. Gut

Couverture : SKAT

Copyright : SKAT, St. Gallen, Suisse et
BIT, Genève, Suisse

Commentaires : Veuillez envoyer vos commentaires relatifs à cette publication au SKAT ou au BIT

Imprimé par : Niedermann Druck AG, St. Gallen, Suisse

ISBN : 3-908001-79-X (SKAT), 92-2-209005-5 (BIT)

Distribué par : IT Publications Ltd
103-105 Southampton Row
London WC1B 4HH, UK
tél. : +44 171 / 436 96 61 , fax : +44 171 / 436 20 13
e-mail : orders@itpubs.org.uk

BIT / INSTEAD
Route des Morillons 4
CH - 1211 Genève, Suisse
tél. : +41 22 / 799 83 19, fax : +41 22 / 798 86 85
e-mail : pubvente@ilo.org

Janvier 1998, 500 exemplaires

Les désignations utilisées dans les publications du BIT, qui sont conformes à la pratique des Nations Unies et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de le part du Bureau International du Travail aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays, zone ou territoire, ou de ses autorités, ni quant au tracé de ses frontières.

Les articles, études et autres textes signés n'engagent que leurs auteurs et leur publication ne signifie pas que le Bureau International du Travail souscrit aux opinions qui y sont exprimées. La mention ou la non-mention de telle ou telle entreprise ou de tel ou tel produit ou procédé commercial n'implique de la part du Bureau International du Travail aucune appréciation favorable ou défavorable.



TABLE DES MATIERES

Préface	5
1. Introduction	9
1.1 Objet du manuel	9
1.2 Contenu du manuel	10
1.3 Remarques générales	12
1.4 Terminologie	13
1.4.1 <i>Types de toitures</i>	13
1.4.2 <i>Éléments de charpente</i>	14
1.4.3 <i>Terminologie relative à la couverture</i>	15
2. Notions élémentaires de statique	17
2.1 Forces extérieures	17
2.1.1 <i>Les actions</i>	17
2.1.2 <i>Les réactions</i>	18
2.1.3 <i>Point d'application et distribution des sollicitations</i>	19
2.2 Efforts internes	24
2.2.1 <i>Les contraintes (compression, traction, cisaillement)</i>	24
2.2.2 <i>Moment fléchissant</i>	26
2.2.3 <i>Flambage</i>	26
2.2.4 <i>Répartition et intensité des contraintes</i>	28
2.3 Les sollicitations	32
2.3.1 <i>Charges permanentes</i>	32
2.3.2 <i>Charges variables</i>	32
2.3.3 <i>Charge totale</i>	34
3. La forme du toit	37
3.1 Géométrie du plan d'appui de la charpente et forme de la couverture	37
3.2 Direction du vent dominant et orientation du faîte	40

3.3	La pente	42
3.4	Avant-Toit	43
4.	<i>Technologie des charpentes</i>	45
4.1	Principes de conception d'une charpente	45
4.1.1	<i>Types de charpente</i>	45
4.1.2	<i>Principes des fermes</i>	45
4.1.3	<i>Conception d'une charpente étape par étape</i>	46
4.1.4	<i>Quelques principes concernant la pose des éléments de charpente</i>	48
4.1.5	<i>Contreventement</i>	49
4.1.6	<i>Charpentes primaires particulières</i>	49
4.2	En cas de tempêtes et de séismes	51
4.2.1	<i>Tempêtes</i>	51
4.2.2	<i>Séismes</i>	53
4.3	Le bois	56
4.3.1	<i>Matériaux</i>	56
4.3.2	<i>Préservation et séchage du bois</i>	61
4.3.3	<i>Types de charpente en bois</i>	65
4.3.4	<i>Dimensionnement des charpentes en bois</i>	68
4.3.5	<i>Détails constructifs</i>	75
4.4	Autres matériaux	87
4.4.1	<i>Le bambou</i>	87
4.4.2	<i>Charpentes en bois ronds</i>	92
4.4.3	<i>Charpentes métalliques</i>	94
4.4.4	<i>Charpentes en béton</i>	97
5.	<i>CONSTRUCTION DE LA CHARPENTE</i>	101
5.1	Sécurité	101
5.2	Préparation des murs	103
5.3	Pose des éléments de charpente	105
5.3.1	<i>Etape 1: Pose des fermes et du contreventement</i>	105
5.3.2	<i>Etape 2: Pose des sablières</i>	106



5.3.3	<i>Etape 3: Pose de la panne faitière et des pannes</i>	107
5.3.4	<i>Etape 4: Pose des chevrons</i>	108
5.3.5	<i>Etape 5: Pose des lattes</i>	108
6.	<i>L'entretien</i>	109
6.1	La notion d'entretien	109
6.2	Entretien de la charpente	111
Annexes		113
1	Facteurs de conversion	115
2	Espèces de bois couramment utilisées en charpente	119
3	Tableaux de dimensionnement des charpentes	125
3.1	<i>Dimensionnement du lattage</i>	125
3.2	<i>Dimensionnement des chevrons</i>	127
3.3	<i>Dimensionnement des pannes</i>	133
4	Lectures recommandées et bibliographie	137



PREFACE

Ce manuel fait partie de la série pédagogique TFM/TMV (tuiles en fibromortier / mortier vibré). Les principes énoncés sont aussi applicables à d'autres matériaux de couverture et d'autres types de charpentes légères.

Historique des TFM/TMV

La technologie des TFM/TMV a été mise au point dans les années 70, suite à de nombreuses expériences portant sur l'utilisation des tuiles en ciment et plaques en amiante-ciment. Depuis les années 80, cette technologie a mûri et s'est implantée dans de nombreux pays. Aujourd'hui, l'expérience prouve que le matériau proposé est fiable et qu'il peut, dans bien des cas, concurrencer les matériaux de couvertures conventionnels.

La série pédagogique TFM/TMV

Cette série de publications sert de support aux efforts de vulgarisation du savoir-faire relatif à la technologie des TFM/TMV. Elle traite des aspects techniques, économiques, logistiques et commerciaux.

Rôles de BASIN, de SKAT/RAS et du BIT

Le SKAT et le BIT copublient la «Série Pédagogique TFM/TMV» dont ce manuel est un des outils

BASIN

Le SKAT fait partie du réseau BASIN (réseau d'information et de service-conseil en construction) qui conjugue l'expérience de professionnels internationaux. L'objectif du réseau BASIN est de fournir des conseils et de diffuser des informations sur les technologies et les matériaux de construction.

Au sein de BASIN, quatre importantes organisations européennes à but non-lucratif se partagent les spécialités propres aux technologies appropriées dans le secteur de la construction:

- GTZ/GATE (en Allemagne) est consulté plus particulièrement pour les questions de maçonnerie,
- ITDG (au Royaume-Uni) est consulté plus particulièrement pour les questions relatives aux ciments et liants,
- SKAT (en Suisse) est consulté plus particulièrement pour les questions de toiture,
- CRATerre (en France) est consulté plus particulièrement pour les questions relatives à la construction en terre.

Cette répartition garantit une expertise efficace et de qualité.

SKAT

Le SKAT est un centre d'information et de documentation disposant d'un groupe de consultants engagés dans la promotion et la mise en oeuvre de technologies appropriées dans le monde entier.

RAS

Membre de BASIN, le SKAT couvre les technologies des matériaux de couverture et plus spécialement celles relatives aux TFM/TMV. Le RAS (Service-conseil en matériaux de couverture) est un service créé par le SKAT au sein de BASIN. Pour faciliter la promotion et la diffusion des technologies de couverture, le SKAT/RAS publie la «Série Pédagogique TFM/TMV» dont ce manuel est un des outils.

Réseau de spécialistes

Un réseau mondial, de spécialistes et d'institutions spécialisées, met à la disposition des producteurs ou futurs producteurs de TFM/TMV une assistance technique qui leur permet de garantir la fiabilité et la qualité de leurs produits sur un marché en pleine expansion.

Ce réseau est coordonné par le SKAT/RAS.

BIT

La section des micro-entreprises et du secteur informel du Service du Développement et de la Gestion des Entreprises du BIT conduit un programme qui encadre la promotion et l'application de technologies appropriées à l'habitat économique.

Les objectifs de ce programme sont de réduire les coûts de construction, de renforcer l'utilisation de matières premières disponibles localement et de générer des emplois productifs. Le programme vise également à développer les petites et micro-entreprises de ce secteur en démontrant leur viabilité commerciale. Ce programme a adopté une approche novatrice qui veut que certaines activités soient exécutées dans le cadre de projets de coopération technique visant le développement des petites et micro-entreprises. Exécutées par le BIT ou d'autres structures telles le PNUD ou des projets multi- ou bilatéraux, ces activités peuvent concerner la recherche-développement, la diffusion de l'information technologique, la fourniture de services et conseils aux gouvernements et l'exécution de projets d'assistance technique.

**Adresses de contact**

RAS, c/o SKAT
Vadianstrasse 42
CH-9000 St. Gallen
Suisse
Tel +41 71 / 228 54 54
Fax +41 71 / 228 54 55
E-mail info@skat.ch

et

BIT
INSTEAD
Route des Morillons 4
CH-1211 Genève 22
Suisse
Tel +41 22 / 799 83 19
Fax +41 22 / 799 76 91
E-mail pubvente@ilo.org

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre gratitude aux experts et producteurs pour leurs précieux commentaires et remarques, fruits de leurs expériences. Ils sont trop nombreux pour que nous puissions les citer individuellement.

Commentaires

Les commentaires et réactions sont les bienvenus. Ils nous permettront d'améliorer ce manuel et peuvent être adressés au SKAT/RAS ou au BIT.

1. INTRODUCTION

1.1 *Objet du manuel*

La toiture est la partie la plus importante d'un bâtiment. Sa conception, tant dans son ensemble que dans ses détails, requiert un soin particulier. Il convient d'utiliser les meilleures matières premières disponibles et de garder à l'esprit qu'une toiture mal conçue et non conforme aux normes risque d'entraîner de sérieux dégâts sur l'ensemble d'un bâtiment.

Pour construire une toiture fiable, il ne suffit pas d'utiliser un matériau de couverture de bonne qualité. La charpente et la couverture doivent constituer une structure cohérente et adaptée au climat. Enfin, il convient de vérifier que les compétences et matériaux requis sont disponibles localement. Ce manuel a pour objet de guider la conception du toit: choix d'une forme appropriée et dimensionnement de la charpente. Il fournit aussi des directives pour la conception et la réalisation de détails constructifs, ainsi que pour l'entretien d'une toiture.

Champ d'application

Les principes sont plus particulièrement destinés à des toitures de forme simple et à pans inclinés, couverts de matériaux légers, tels que tuiles ou plaques.

Public visé

Ce manuel s'adresse aux architectes et ingénieurs chargés de la conception de bâtiments ainsi qu'aux maçons, ingénieurs et contre-maîtres chargés du suivi de chantier.

Les producteurs de matériaux de couverture peuvent aussi se référer à ce manuel pour conseiller judicieusement leur clientèle.

Ce manuel peut aussi être utilisé à des fins didactiques.

1.2 Contenu du manuel

Ce que vous trouverez dans ce manuel:

Ce manuel traite de la conception et de la construction de charpentes simples, destinées à recevoir des matériaux légers et plans (non concaves). Bien que faisant partie de la «Série Pédagogique TFM/TMV», les explications données sont également valables pour d'autres matériaux de couverture tels que tuiles d'argile, ardoises, plaques, etc.

Les sujets traités sont:

- les principes élémentaires de la statique des constructions (permet de déterminer les forces qui agissent et de prévoir leurs effets sur la charpente),
- l'influence de certains paramètres importants, tels le climat et les interactions maçonnerie - charpente, qui permettent d'opter pour une forme optimale de la toiture.
- le dimensionnement des membrures d'une charpente simple,
- les dangers liés aux séismes et vents violents qui font l'objet de quelques commentaires,
- le bois d'œuvre, qui fait l'objet d'une étude détaillée, car il est très utilisé pour la construction de charpente,
- la détermination de la dimension des principaux éléments d'une charpente simple lorsque les propriétés mécaniques des bois ne sont pas disponibles,
- d'autres matériaux et systèmes tels le bambou, le rondin, le métal, le ciment et les fermes préfabriquées en bois, qui sont traités de manière succincte (pour des informations détaillées, il convient de consulter la littérature spécialisée ou de faire appel à des professionnels),
- la pose de la charpente, en proposant un mode opératoire,
- l'entretien de la toiture, en proposant des conseils pratiques et des informations utiles.

Les annexes présentent:

- des tables d'équivalence pour exprimer la pente en degré, pourcentage ou rapport,
- une liste non exhaustive des caractéristiques d'un certain éventail d'essences locales pouvant être utilisées comme bois d'oeuvre,
- des tableaux pour calculer la section des éléments de charpente en bois (bois équarri et rondin),
- une bibliographie d'ouvrages sélectionnés.

Ce que vous ne trouverez pas dans ce manuel:

Ce manuel est orienté vers la pratique. Ce n'est pas une publication scientifique.

La conception de toitures complexes n'est pas traitée. Ce travail requiert une qualification spécifique et une solide expérience.

Le lecteur ne trouvera pas non plus d'information concernant:

- la gestion de la production;
- les coûts et bénéfices;
- les problèmes spécifiques à certains pays;
- la confection des fermes;
- la production des tuiles;
- les tests de contrôle de qualité des tuiles;

les détails de la couverture des toitures.

Des outils spécifiques de la «Série Pédagogique» traitent en détail de ces différents sujets (voir «Diagramme de la Série Pédagogique» en page de couverture).

1.3 Remarques générales

Validité des informations données

Les informations présentées dans ce manuel reposent sur le savoir-faire et la pratique courante. Si nécessaire, il incombe au lecteur de développer des solutions adaptées aux circonstances locales de son propre pays.

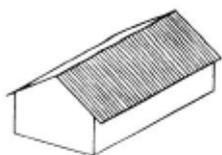
Responsabilités du producteur de matériaux de couverture

La fiabilité d'une toiture, tant dans son ensemble que dans ses éléments individuels (matériaux de couverture, charpente), est fondamentale pour le propriétaire d'une habitation. Le producteur de matériau de couverture doit donc veiller à la bonne qualité de son produit, mais il doit aussi veiller à la qualité des toitures réalisées à partir de ses produits. Si sa responsabilité ne couvre pas la réalisation de la charpente et de la couverture, lorsqu'elles sont réalisées par un tiers, il peut, en conseillant et en informant, contribuer à l'obtention d'une toiture correcte. Lorsque le producteur est aussi constructeur, sa responsabilité est totale.

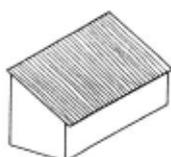
Un toit fonctionnel et durable est le garant de sa bonne réputation et de la pérennité de son entreprise.

1.4 Terminologie

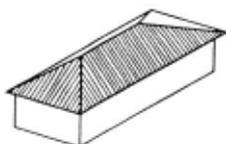
1.4.1 Types de toitures



Toiture à deux versants ou toiture en bâtière



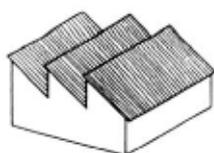
Toiture à versant unique ou toiture monopan



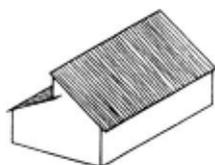
Toiture à quatre versants ou toiture en croupe



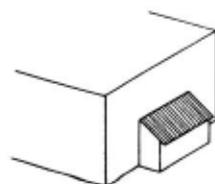
Toiture en pyramide



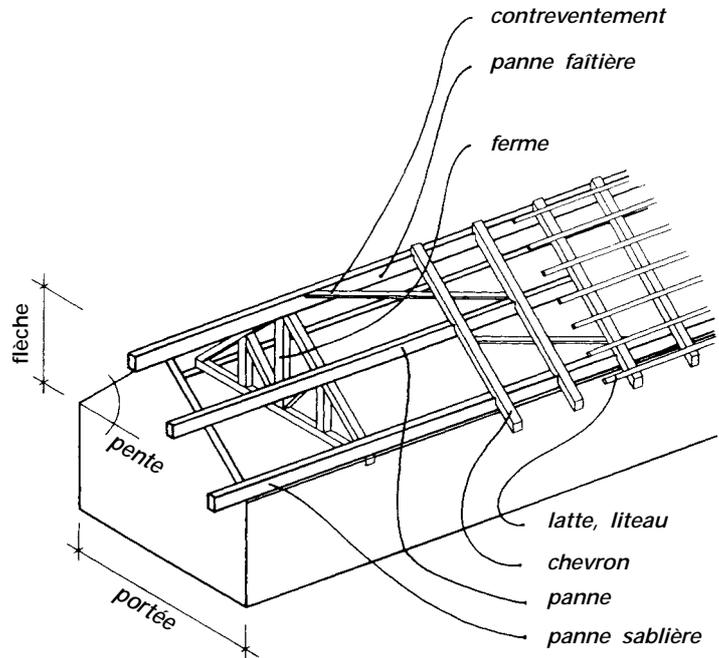
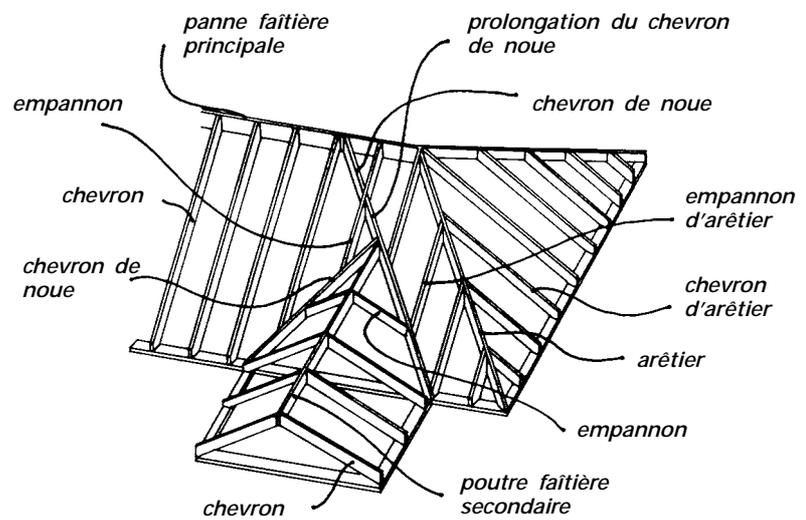
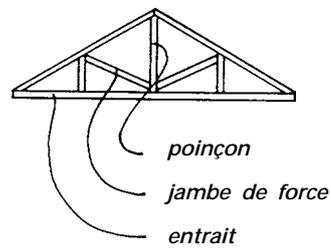
Toiture en shed



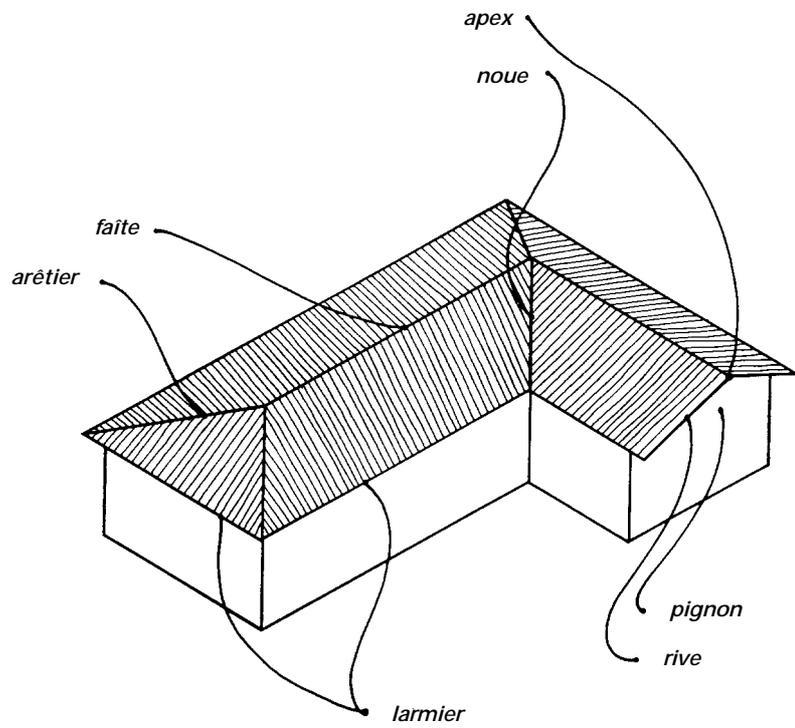
Toiture à versants coupés



Appentis

1.4.2 *Éléments de charpente**ferme*

1.4.3 Terminologie relative à la couverture



2. NOTIONS ELEMENTAIRES DE STATIQUE

Une toiture doit être suffisamment robuste pour résister aux forces qui s'exercent sur elle, et ceci, sans accuser de déformation exagérée. Par ailleurs, pour des raisons économiques, la charpente ne doit pas être surdimensionnée.

La charpente ne doit pas être le plus robuste possible mais aussi résistante que nécessaire.

Pour être capable de concevoir une structure adéquate et de déterminer la section de chaque élément de charpente, le constructeur doit maîtriser les notions élémentaires qui sont exposées dans ce chapitre.

2.1 Forces extérieures

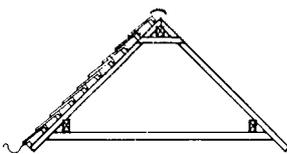
2.1.1 Les actions

(Les valeurs nominales sont précisées au [chapitre 2.3](#)).

Ce sont les forces qui sont appliquées sur un élément. Ces forces peuvent avoir des origines diverses.

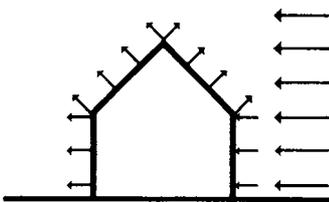
On distingue les charges permanentes et les charges variables.

Charges permanentes



Charges constantes et immobiles. Dans la plupart des cas, le poids propre (effet de la gravité qui s'exerce sur la masse des matériaux) est la seule charge appliquée en permanence.

Charges variables

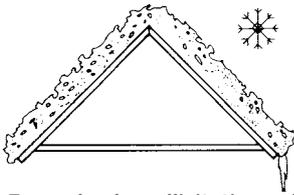


Charge dont l'intensité et / ou la position peut varier

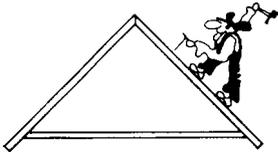
Les charges climatiques: sollicitations dues au vent et parfois à la neige.

Sur des toitures légères (tuiles ou plaques), les sollicitations provoquées par les vents violents sont souvent les plus critiques. Le vent peut aussi provoquer un effet d'aspiration qui tend à soulever le toit (d'autant plus vrai que la pente est faible).

Exemple de sollicitations dues au vent



Exemple de sollicitations dues à la neige



travaux d'entretien

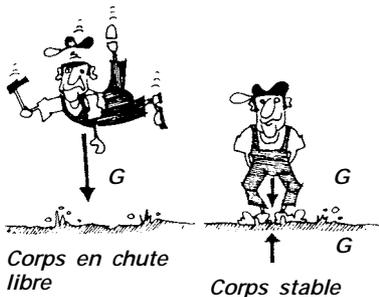
La neige ne se rencontre que dans certaines régions. La charge à prendre compte est fonction de la quantité de neige qui peut s'accumuler sur la toiture (dépend du climat et de la pente).

Charges d'exploitation: charges de service (objets stockés sur un plancher porté par la charpente ou accrochés à celle-ci) et de réparation (équipe et matériel d'entretien). Ces dernières ont peu d'influence, car elles n'agissent pas simultanément aux vents violents qui, dans le cas des toitures légères, induisent souvent les sollicitations les plus critiques.

Séismes

Les secousses sismiques provoquent des mouvements verticaux et/ou horizontaux des fondations. Ces mouvements font naître dans la structure d'un édifice, des sollicitations dynamiques complexes qui dépendent de l'intensité des secousses, de leur orientation et du poids du bâtiment. Pour les calculs de statique, on modélise l'effet d'un séisme en majorant d'un certain pourcentage la charge horizontale normale qui agit sur un édifice. L'ampleur de la majoration dépend de la taille du bâtiment et de sa localisation (zone à risque).

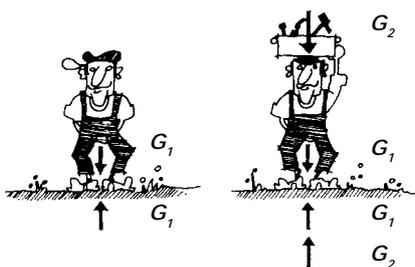
2.1.2 Les réactions



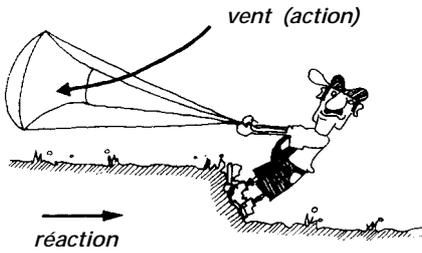
Action

Réaction

Si un corps reste immobile alors qu'une force agit sur lui, c'est qu'une force de réaction, de même intensité que la force agissante mais de sens opposé, annule l'effet de cette dernière.



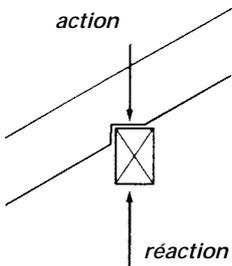
La somme vectorielle des sollicitations (actions et réactions) agissant sur un corps au repos est toujours nulle. Dès lors, à toute action (force) s'exerçant sur un corps au repos, correspond une ou plusieurs forces de réaction produisant une sollicitation de même intensité mais de sens opposé.



Une force verticale dirigée vers le bas (généralement l'effet de la gravité s'appliquant sur la masse d'un corps) entraîne une force de réaction verticale dirigée vers le haut si le système (corps + appuis + forces) est en équilibre.

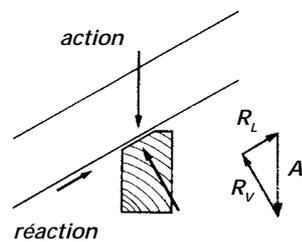
Une force horizontale (en général le vent) entraîne une réaction horizontale de sens opposé.

Exemple: Réaction au point d'appui d'un chevron



Selon le type de jonction, une action engendre soit une seule force de réaction de sens opposé, soit deux forces de réaction dont la résultante est de sens opposé à l'action.

C'est ce qu'illustrent les croquis ci-contre qui présentent deux manières de réaliser une jonction panne / chevron.



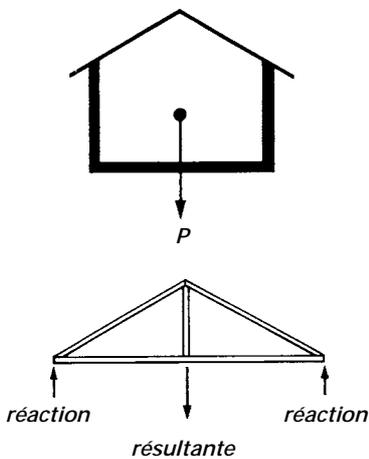
Par temps calme (pas de vent), la jonction «arasement à grain d'orge» n'induit qu'une seule force de réaction, verticale et dirigée vers le haut (opposée à l'action).

Si la surface de contact entre le chevron et la panne n'est pas perpendiculaire à la direction de la force qui agit sur le chevron, cette dernière engendre deux forces de réaction. L'une est perpendiculaire à la surface de contact (R_V), l'autre y est parallèle (R_L). La résultante des deux réactions est d'intensité égale à l'action mais de sens opposé.

Le second croquis représente un tel système. En pratique, ce type de jonction est plus compliqué à réaliser.

2.1.3 Point d'application et distribution des sollicitations

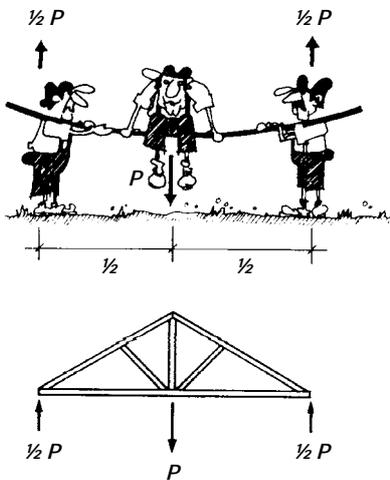
Poids propre



L'effet de la gravité sur un corps se traduit par une force verticale dirigée vers le bas.

Dans le cas de pièces allongées (poutres, membrures de ferme, etc.), l'effet de la gravité peut être symbolisé par une succession de petites forces appliquées au centre de gravité de petits tronçons successifs. Dans la pratique, pour simplifier les calculs, souvent on applique le poids total (résultante de ces petites forces) au centre de gravité de la pièce.

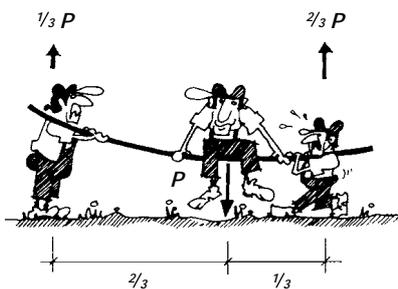
Système symétrique



Très souvent, les charpentes sont symétriques. Dans ce cas, la ligne d'action (l. d'a.) de la force qui représente le poids propre passe à mi-distance entre les appuis. Si le système est en équilibre (= poutre immobile), c'est que l'action (= poids propre) est équilibrée par deux forces de réaction (car 2 points d'appui) dont la résultante est de valeur égale au poids propre, mais de sens opposé. La l. d'a. du poids propre passant à mi-distance des appuis, les deux forces de réaction sont de même valeur.

Si la charpente est symétrique et que la l. d'a. de la résultante des actions passe à mi-distance des points d'appuis, les forces de réaction sont aussi symétriques.

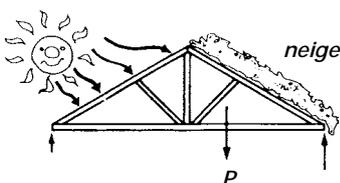
Système asymétrique



Si la l. d'a. de la résultante des actions ne passe pas à mi-distance des appuis, l'appui le plus proche de la l. d'a. reçoit la plus grande partie de la charge. L'intensité des forces de réaction dans les appuis n'est plus égale.

Ce genre de situation se produit lorsque la charpente et / ou la charge ne sont pas symétriques.

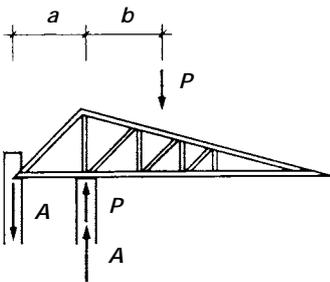
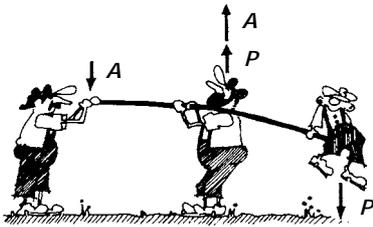
L'intensité de la force de réaction dans un appui est inversement proportionnelle à la distance qui sépare cet appui de la l. d'a. de la résultante des actions.



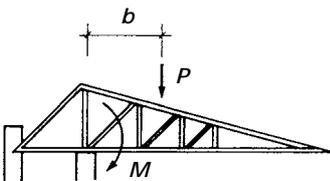
La charge de neige est une illustration typique d'un cas de charge asymétrique.

Porte-à-faux

Si le point d'application de la résultante des actions ne passe pas entre les 2 points d'appui d'un système, un effort supplémentaire est induit. Cet effort qui tend à faire pivoter le système est appelé «moment de rotation». Tout se passe comme s'il apparaissait, à chaque appui, une force de réaction supplémentaire qui annule l'effet du moment de rotation et maintient le système en équilibre.



Moment de rotation



moment de rotation $M = b \times P$

Dans la figure ci-contre, la charge de l'homme assis à droite est équilibrée par l'appui le plus proche avec une force de réaction de même valeur, mais de sens opposé. La tendance à la rotation (moment de rotation) est, elle, équilibrée par deux forces de réaction agissant sur chaque appui. Elles sont identiques mais de sens opposé.

Dans l'appui le plus proche, la force de réaction (P+A) est supérieure à l'action (P). L'autre appui est, lui, sollicité en traction (-A: effort vertical dirigé vers le haut).

Cette situation se rencontre dans le cas de toitures qui présentent un porte-à-faux marqué.

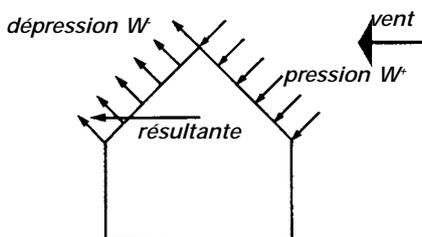
Pour calculer les forces de réaction supplémentaires induites par un porte-à-faux (A et -A), on applique le principe de l'équilibre des moments. Si pour vérifier cet équilibre, on décide arbitrairement de prendre l'appui de droite comme centre de rotation, on peut écrire:

$$a \times A = b \times P \text{ d'où } A = \frac{P \times b}{a}$$

Avec «a» et «b»: distances données par la géométrie du système (voir croquis). Ces distances sont mesurées sur une perpendiculaire à la l. d'a. de la force considérée.

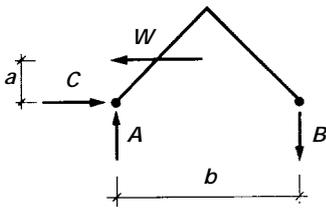
Avec A force de réaction agissant en traction sur l'appui de gauche et avec P résultante des actions.

Le vent



La charge due au vent agit perpendiculairement aux versants. Généralement, elle induit une pression (W^+) sur le versant au vent et une dépression (W^-) sur le versant sous le vent. La résultante ($W = W^+ + W^-$) est habituellement plus ou moins horizontale (parallèle à la direction du vent).

On peut calculer les forces de réaction occasionnées par le vent en utilisant le principe de l'équilibre des moments. La résultante de la pression du vent (W), qui est horizontale, fait naître dans les appuis, deux forces d'intensité égale mais de sens opposé.



La condition d'équilibre des moments donne, si on prend l'appui de gauche (choisi arbitrairement) comme centre de rotation:

Le moment dû à W doit être équilibré par le moment dû à la force de réaction B

$$a \times W = b \times B$$

On déduit donc que le vent induit une force de réaction verticale, en traction, dans l'appui au vent. Cette force vaut:

$$B = \frac{a \times W}{b}$$

Si on vérifie la condition d'équilibre des moments en prenant l'appui de droite (A) comme centre de rotation, on obtient:

$$A = \frac{a \times W}{b}$$

Le vent induit une force de réaction verticale en compression dans l'appui sous le vent.

Pour vérifier l'équilibre des efforts horizontaux (= pas de déplacement horizontal du système), une force de réaction C , horizontale, doit s'opposer à W . Selon le type d'appui, elle agit soit en totalité au droit d'un des deux appuis, soit elle se partage sur les deux appuis.

Dans notre exemple, on a supposé que l'appui A bloque les déplacements verticaux et horizontaux ($A \neq 0$; $C \neq 0$), tandis que l'appui B ne bloque que les déplacements verticaux ($B \neq 0$; pas de composante horizontale).

En réalité, le calcul des forces de réaction est un peu plus compliqué, car la pression (W^+) et la dépression (W^-) ne sont pas de même intensité, d'où une résultante W qui n'est pas horizontale.

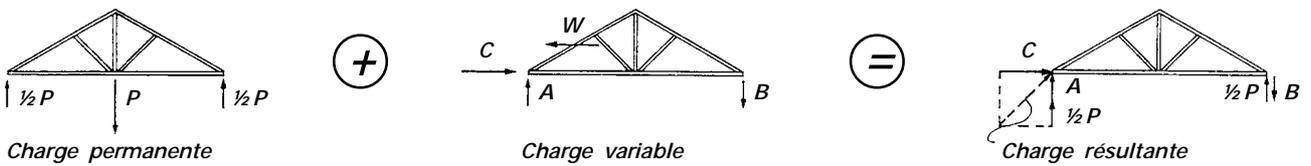
Notre modèle théorique met malgré tout en évidence la nécessité d'ancrer la charpente (pour les méthodes d'ancrage, voir [chapitre 4.2, 4.3.5, 5](#)).

Combinaison des cas de charge

On calcule la force de réaction résultante dans un appui en additionnant vectoriellement les diverses composantes de réaction issues de la combinaison des charges permanentes et des charges variables.

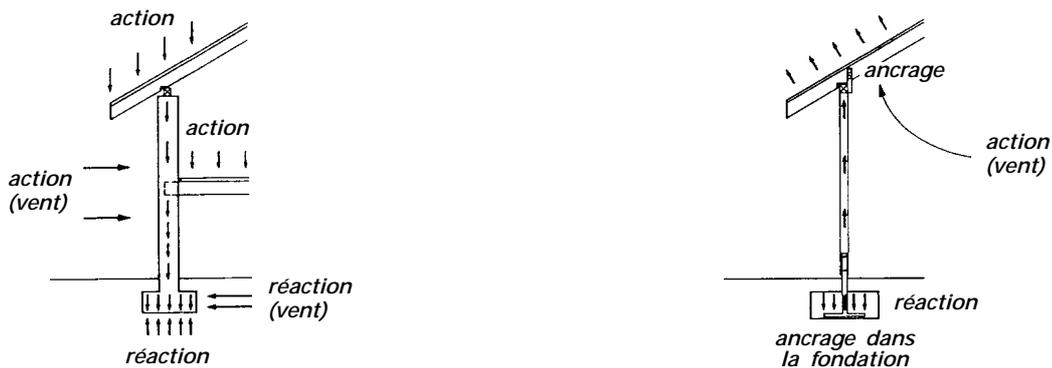
Dans le cas d'une charpente symétrique, si on prend en compte l'action du poids propre et du vent, on obtient par exemple pour la force de réaction résultante à l'appui A (R_a):

$$R_a = A + P/2 + C.$$



Il est fondamental de comprendre que toutes les forces agissant sur la toiture, qu'elles soient horizontales ou verticales, sont transférées via les murs, jusqu'aux fondations, et ceci quelle que soit la géométrie de la charpente et des murs. La conception des murs et des fondations doit donc aussi tenir compte des forces agissant sur la toiture (voir [chapitre 4.2.1](#)).

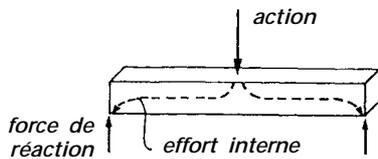
Exemple



Descente de charges et réactions dues à la combinaison des charges permanentes et du vent, dans le cas d'une toiture lourde

Nécessité d'ancrer la charpente, mais aussi les murs, à cause des efforts de traction induits par le vent sur des toitures légères.

2.2 Efforts internes



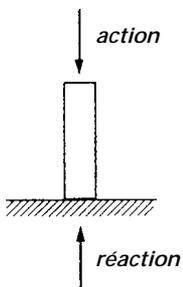
Les actions qui sollicitent la toiture atteignent les points d'appuis de la charpente, après avoir transité dans ses membrures et leurs assemblages. Les membrures et leurs assemblages sont donc sollicités par des efforts internes. Ces efforts internes sont appelés «contraintes»

2.2.1 Les contraintes (compression, traction, cisaillement)

Différents types d'efforts internes peuvent apparaître selon la géométrie du système:

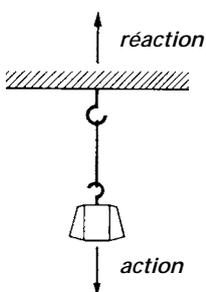
- contrainte de compression
- contrainte de traction
- contrainte de cisaillement

Contrainte de compression

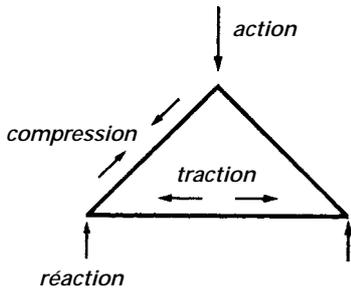


Il s'agit de l'effort interne qui agit dans une membrure comprimée: par exemple dans une colonne sur laquelle on pose une charge.

Contrainte de traction



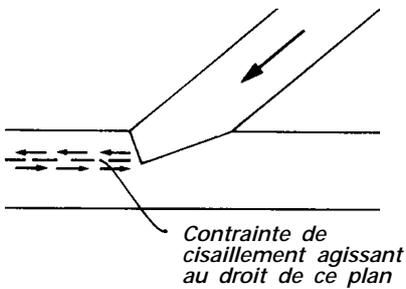
Il s'agit de l'effort interne qui agit dans une membrure tendue: par exemple dans un câble au bout duquel on suspend une charge.



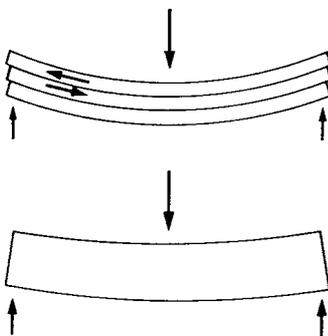
Les charges appliquées sur une ferme induisent, dans les membrures, des contraintes de compression ou de traction.

Contrainte de cisaillement

Il s'agit de l'effort interne qui agit dans une membrure soumise à une sollicitation qui tend à faire glisser deux sections voisines: par exemple au niveau d'une jonction arbalétrier - entrait.

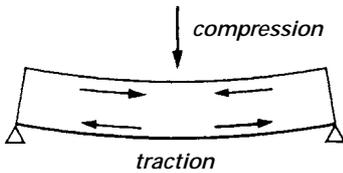


Une contrainte de cisaillement apparaît aussi dans une poutre mise en flexion. Le fléchissement induit un raccourcissement de la matière en partie supérieure et étirement de la matière dans la partie inférieure (voir croquis du bas). La longueur d'un plan, initialement parallèle à l'axe de la poutre, dépend donc de sa position. Le fait que des plans voisins aient une longueur différente engendre des tensions à leur interface. Ce sont les contraintes de cisaillement.

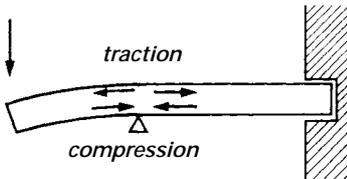


La première poutre, constituée de plusieurs planches superposées, se déforme plus que la seconde, laquelle est de mêmes dimensions, mais d'une seule pièce. C'est parce que les surfaces de contact entre les planches peuvent glisser, alors que dans le cas de la poutre massive, il n'y a pas de glissement. Si on clouait les planches entre-elles pour empêcher les glissements, la première poutre se comporterait comme la poutre massive. Les clous seraient alors soumis à des efforts horizontaux s'opposant au glissement. Ces efforts horizontaux seraient l'expression des contraintes de cisaillement.

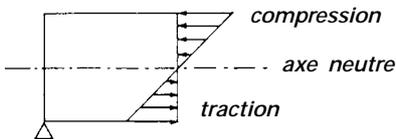
2.2.2 Moment fléchissant



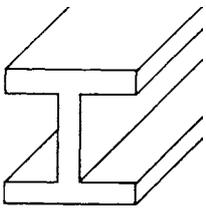
Le moment fléchissant est une grandeur qui exprime le niveau de sollicitation d'une pièce fléchie. Il équilibre le moment de rotation provoqué par l'application de la force verticale.



L'application de la force verticale provoque un moment de rotation. Celui-ci est équilibré par l'effort de traction qui agit dans la partie tendue de la matière et par l'effort de compression qui agit dans la partie comprimée de la matière.



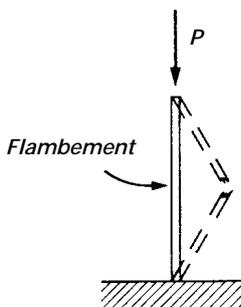
L'intensité des contraintes (traction et compression) est maximale en périphérie et nulle au centre d'une section transversale. L'axe longitudinal, reliant tous les lieux de contrainte nulle, est appelé axe neutre.



Section bien adaptée pour une pièce travaillant en flexion

Dès lors, dans le cas de poutres soumises à un moment fléchissant, il est préférable d'utiliser des sections plus hautes que larges. Les sections rectangulaires et les profilés sont donc plus indiqués que les sections carrées pleines ou rondes.

2.2.3 Flambage

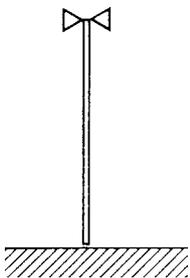


Alors qu'un effort de compression donné peut être fatal pour une colonne élancée, le même effort appliqué sur une colonne courte, de même section, n'entraîne pas de désordre.

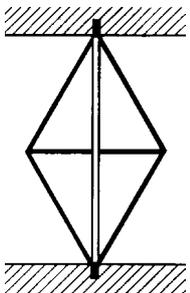
Longueur de flambement

Pour une charge donnée, le risque de flambage dépend de la longueur de la pièce comprimée, de sa section et du degré de liberté (possibilité de mouvement) de ses extrémités.

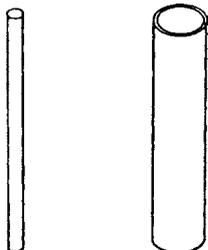
Le risque de flambage augmente avec la «longueur de flambement». Cette longueur est calculée en appliquant, à la longueur réelle, un coefficient multiplicateur, lequel dépend du type de fixation des extrémités de la pièce comprimée.



Ainsi, le risque de flambement augmente si la partie supérieure de la colonne est libre et diminue si l'extrémité supérieure est aussi fixée.



Une triangulation diminuant la longueur libre d'une colonne réduit le risque de flambement.

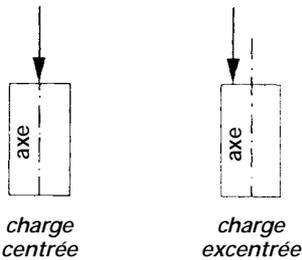
Influence de la section

Section pleine

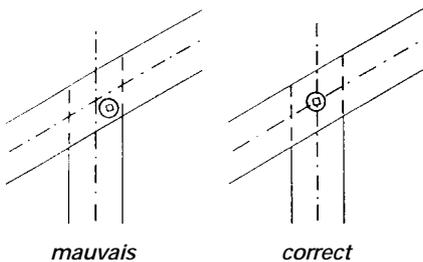
Section creuse

La géométrie de la section influence aussi le danger de flambement. Par exemple, un tuyau à paroi mince de grand diamètre risque moins de flamber qu'un poteau plein, constitué de la même quantité de matière, mais de plus petit diamètre.

Point d'application de la force



Le point d'application de la charge joue aussi un rôle. Ainsi, le risque de flambement augmente lorsque le point d'application s'éloigne de l'axe longitudinal.

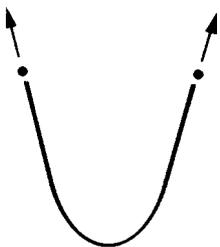


Il est donc important de soigner la conception et la réalisation des assemblages pour aligner les forces de compression sur l'axe longitudinal des membrures comprimées.

2.2.4 Répartition et intensité des contraintes

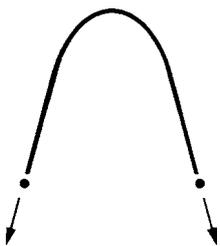
La répartition et l'intensité des contraintes dépendent des charges appliquées (valeur et position) et de la géométrie de la toiture.

Structure en forme de chaînette



Traction pure

Une chaîne suspendue par ses deux extrémités prend la forme d'une chaînette. Si sur celle-ci on applique une charge uniformément répartie, on obtient un système optimal. L'effort interne qui agit dans les anneaux est une contrainte de traction pure (pas de composante de flexion), d'intensité minimale.



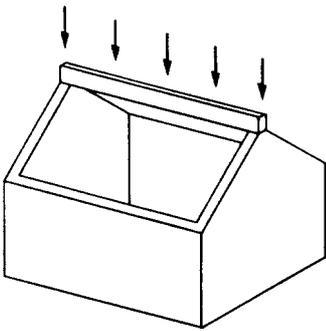
Compression pure

Si on renverse le système (voir croquis), sous une charge uniformément répartie, l'effort interne qui agit cette fois dans la(es) membrure(s) est une contrainte de compression pure (pas de contrainte de flexion). Cette forme est donc particulièrement bien adaptée à la construction d'arches et de voûtes, avec des matériaux qui résistent bien à la compression, mais qui craignent la traction (terre, pierre, etc.).

Pour garantir l'étanchéité à l'eau de la couverture, les tuiles TFM/TMF requièrent une charpente à versant(s) plan(s). La forme de la charpente diffère donc de celle d'une chaînette inversée et les matériaux utilisés doivent par conséquent résister à des moments fléchissants.

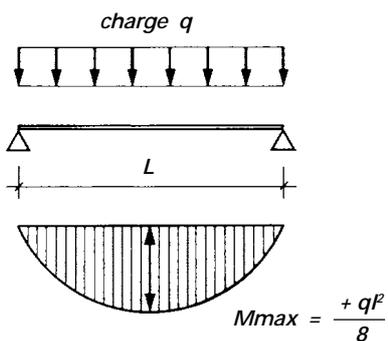
Les charpentes traditionnelles sont réalisées à l'aide de membrures linéaires: pannes, chevrons, liteaux. Ces éléments reposent sur 2 ou plusieurs points d'appui et travaillent en flexion. Nous l'avons vu (point 2.2.2), une pièce qui travaille en flexion doit résister à des contraintes de traction et de compression. L'intensité du moment de flexion varie le long de la poutre. Il dépend de la position des appuis et de la charge appliquée.

Poutre

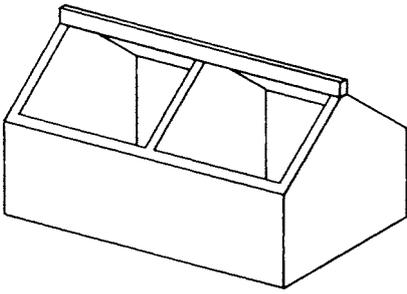


Dans le cas d'une poutre posée sur deux appuis (un appui à chaque extrémité), portant une charge uniformément répartie, le moment fléchissant est maximum au centre et nul aux extrémités. Il est proportionnel à la charge et au carré de la portée et se calcule par la formule:

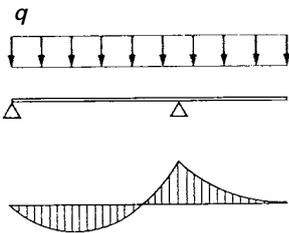
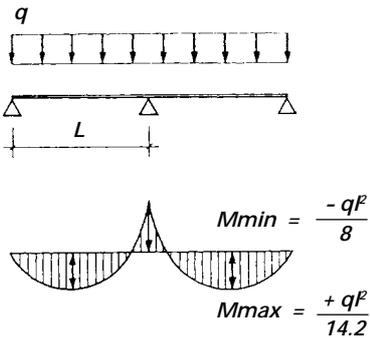
$$\frac{q \times L^2}{8}$$



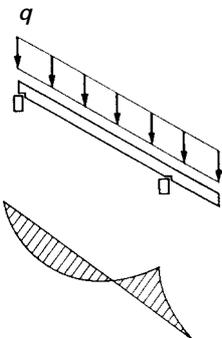
Les efforts internes de compression et de traction sont proportionnels au moment fléchissement de la poutre et inversement proportionnels à l'aire de sa section.



Dans le cas d'une poutre sur trois appuis, portant une charge uniformément répartie, c'est au droit de l'appui central qu'apparaît le moment fléchissant maximum. Il est négatif, ce qui signifie que c'est la partie supérieure de la section qui est tendue, tandis que la partie inférieure de la section est comprimée. De part et d'autre de l'appui central, on observe un point où le moment fléchissant est nul. C'est l'emplacement idéal pour assembler deux tronçons de poutres, car à cet endroit il n'y a ni traction ni compression.



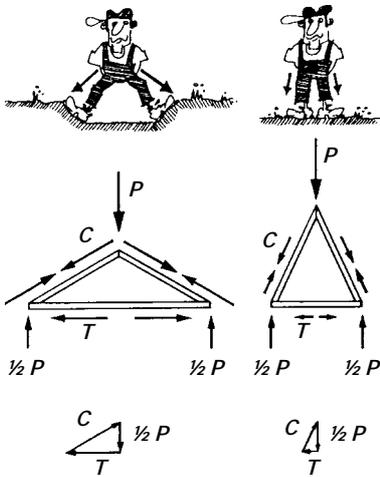
Dans le cas d'une poutre avec porte-à-faux, portant une charge uniformément répartie, entre les appuis le diagramme du moment fléchissant a une allure semblable au cas précédent, tandis que sur la travée en porte-à-faux le moment fléchissant est négatif.



Le cas de chevrons qui débordent de la panne sablière pour constituer un avant toit, illustre ce cas.

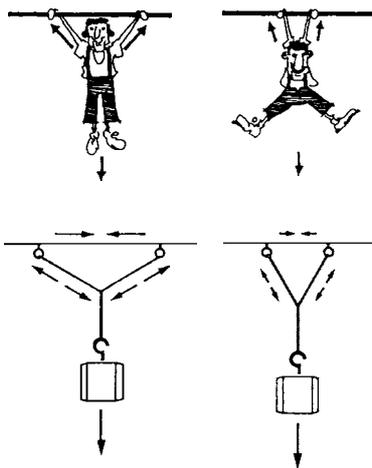
Habituellement, les dimensions de la section d'une poutre sont calculées à partir du moment fléchissant maximum.

Structures triangulées



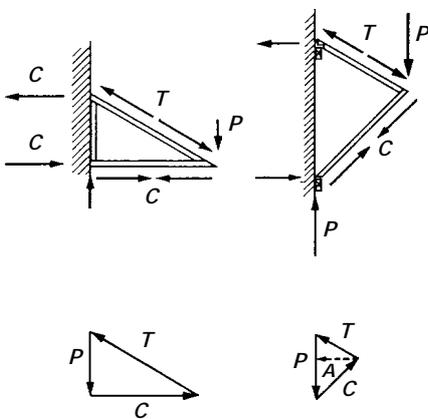
Les membrures de fermes et de systèmes triangulés sont sollicitées par des efforts de compression ou de traction. Pour une même sollicitation extérieure, la valeur de ces forces dépend de la géométrie du système. Elles sont inversement proportionnelles à la pente des versants.

La méthode graphique dite du «triangle des forces» permet de calculer facilement la valeur des forces induites dans les membrures. Le croquis ci-contre fait apparaître que pour une même charge (P), les forces dans les membrures du système à forte pente sont plus faibles: dimensions plus petites des composantes C et T sur le triangle, pour un P identique



Les systèmes articulés auxquels sont suspendues des charges se comportent de façon identique. Pour un même chargement, plus l'inclinaison des membrures sur l'horizontale est forte, plus les forces induites sont élevées.

Les efforts qui agissent dans les membrures d'une potence peuvent également être calculées à partir de la méthode du «triangle des forces». La comparaison des triangles issus de chaque système met en évidence l'influence de l'inclinaison des membrures: observer pour un même P, les longueurs de C et T sur les triangles des forces respectifs.



2.3 Les sollicitations

Pour choisir la section des membrures d'une charpente, il faut connaître les sollicitations qui s'exercent sur celle-ci:

- les charges permanentes
- les charges variables

(voir aussi [chapitre 2.1.1](#))

2.3.1 Charges permanentes

C'est la somme du poids de la charpente et de tout ce qu'elle supporte comme matériaux (couverture, plafond, etc.) et équipements (p. ex.: ventilateur).

Les valeurs à prendre en compte dépendent de la dimension et de la nature des éléments utilisés.

Dans le cas de couverture en TFM/TMV, les valeurs usuelles pour une construction moyenne sont:

- | | |
|--|----------------------|
| ■ Pannes, chevrons et lattes en bois | 150 N/m ² |
| ■ Tuiles TMV sèches (ép. 8mm; pente: 30°) | 250 N/m ² |
| ■ Tuiles TMV humides (ép. 8mm; pente: 30°) | 300 N/m ² |
| ■ Demi-plaques TMV sèches (ép. 8 mm; pente: 30°) | 250 N/m ² |

Il s'agit de valeurs exprimées en m² selon la pente du versant. Si on veut exprimer la charge en m² selon l'horizontale, ces valeurs sont à majorer d'un coefficient fonction de l'inclinaison.

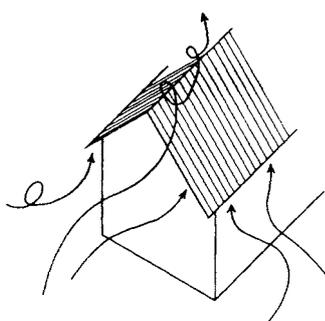
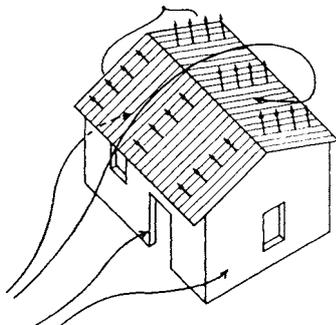
2.3.2 Charges variables

Il s'agit des charges d'utilisation (Q_1 = circulation d'une équipe d'entretien; Q_2 = stockage de matériel dans les combles) + les charges climatiques (W = vent + N = neige).

Hypothèse simplificatrice:

On considère des toitures simples:

combles non exploités $Q_2 = 0$

Charge du vent*dépression*

Dans la plupart des régions, c'est le vent qui induit la sollicitation la plus critique. Des vents violents peuvent causer des dégâts considérables, si la toiture n'est pas bien construite et / ou solidement ancrée au bâtiment.

On considère qu'en cas de vent violent les éventuelles opérations d'entretien en cours sont suspendues:

Q_1 et W n'agissent pas simultanément.

On peut obtenir des informations sur les vents auprès des stations météorologiques, des populations résidentes ou des constructeurs. Il convient de se conformer au code local de construction, s'il existe.

Les pressions et dépressions dues au vent agissent perpendiculairement aux murs et versants. Dans le cas de toitures à faible pente, la force de traction induite sur un versant en dépression peut être considérable, soulevant et arrachant des toitures mal ancrées.

Les forces d'aspiration sont beaucoup plus importantes sur les porte-à-faux, les arêtes, bords de toit, rives et autres parties saillantes. Il faut donc apporter un soin particulier à la fixation de la charpente et de la couverture dans ces zones. En outre, l'impact du vent est plus marqué sur un bâtiment comportant de grandes ouvertures, de même que sur des hangars ouverts.

L'intensité du vent dépend de sa direction (p. ex. ligne de grain), de phénomènes de turbulence et son impact dépend de la forme et de l'orientation du bâtiment.

On estime, à 150 km/h, la vitesse d'un vent qui déracine des arbres. La force d'aspiration qui s'exerce alors sur un versant sous le vent peut atteindre 700 N/m². Cette force peut encore être doublée si l'édifice est ouvert d'un côté.

Au droit des arêtes et des rives, la force d'aspiration peut atteindre 1600 N/m².

Sur le versant au vent, on peut prendre en compte une pression de 300 N/m².

Charge due aux réparations

Les toitures légères, telles que les toitures en TFM/TMV, ne sont pas prévues pour la circulation régulière de personnes. Dans les charges d'utilisation, on limite donc Q_1 à la charge d'une équipe d'entretien.

Pour la sécurité des ouvriers, une latte doit pouvoir supporter le poids d'un homme d'environ 800 N (\approx 80 kg).

Charge due à la neige

Dans certaines régions il faut tenir compte de la neige. On peut obtenir des informations sur les chutes de neige auprès des stations météorologiques, des populations résidentes ou des constructeurs. Il convient de se conformer au code local de construction, s'il existe.

On estime que 1 centimètre de neige exerce une pression de 30 N/m².

2.3.3 Charge totale

Lors de la conception d'une charpente, on tient compte de la combinaison la plus défavorable des sollicitations.

Actions qui s'exercent sur la charpente

La combinaison la plus défavorable résulte habituellement de l'association de la charge permanente (charpente et tuiles humides) et de la charge due au vent: $P + W$. Lorsque les combles sont utilisés, il faut encore ajouter Q_2 .

La combinaison $P + W + Q_1$ n'est pas pertinente, car les travaux d'entretien ou de réparation sont suspendus en cas de vents violents.

Par contre, si Q_1 devient prépondérant par rapport à W (édifice abrité et / ou matériel d'entretien ou de réparation lourd), il convient d'envisager la combinaison $P + Q_1$.

Pour les toitures TFM/TMV, on applique les valeurs suivantes:

- poids propre maximal (P)	450 N/m ²
- pression du vent (W)	300 N/m ²
- stockage dans les combles (Q_2)	<u> </u> N/m ²
total	750 N/m ² ou plus

ou

- poids propre maximal (P)	450 N/m ²
- équipe d'entretien (Q_1)	800 N

Actions qui s'exercent sur l'ancrage de la charpente

L'effort d'arrachement le plus critique provient de la combinaison de la dépression maximale ($W = 700 \text{ N/m}^2$) avec le poids propre minimum de la toiture (charpente en bois + tuiles de 8 mm sèches = 400 N/m^2).

- dépression maximale (W)	700 N/m^2
- poids propre minimal (P)	<u>-400 N/m^2</u>
total	300 N/m^2

Dans le cas d'édifices ouverts, la dépression peut être bien plus forte.

Actions qui s'exercent sur la fixation des tuiles

Les tuiles doivent être fixées pour ne pas s'envoler par grands vents. L'effort d'arrachement le plus critique provient de la combinaison de l'effort d'arrachement dû à la dépression maximale (700 N/m^2 ou 1600 N/m^2) avec poids propre minimum de la couverture (tuiles de 8 mm sèches: 250 N/m^2)

Pour les emplacements normalement exposés

- dépression maximale (W)	700 N/m^2
- poids propre tuiles sèches (P)	<u>-250 N/m^2</u>
total	450 N/m^2

Pour les emplacements surexposés (rives, faite, arêtes)

- dépression maximale (W)	1600 N/m^2
- poids propre tuiles sèches (P)	<u>-250 N/m^2</u>
total	1350 N/m^2

3. LA FORME DU TOIT

3.1 Géométrie du plan d'appui de la charpente et forme de la couverture

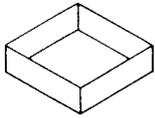
Il existe une relation entre la structure des murs, leur position et la forme de son toit. Le choix d'une forme de toiture restreint les possibilités quant à la structure des murs et à leur position. De même, la conception des murs (implantation et structure) limite le choix des formes possibles de la toiture.

Au moment de la conception de la forme du toit, il est utile de tenir compte de la forme des matériaux de couverture disponibles. Les tuiles TFM/TMV étant rectangulaires, des versants plans et rectangulaires sont plus indiqués que des versants aux formes compliquées.

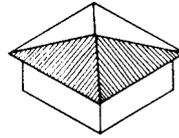
Des couvertures aux formes compliquées coûtent cher car elles requièrent un suivi renforcé à chaque étape (conception et construction de la charpente, pose de la couverture), une main d'oeuvre particulièrement qualifiée et elles allongent les délais d'exécution. Tous ces facteurs doivent être pris en compte dès la conception.

Géométrie du plan d'appui**Forme du toit****Remarques**

Carré

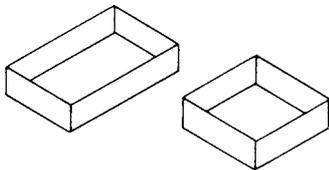


Toit pyramidal

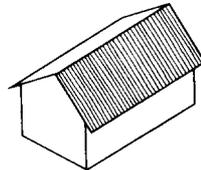


Tous les murs sont protégés du soleil et des pluies

Rectangulaire ou carré

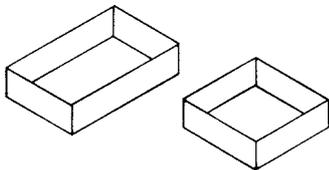


Toit à deux pans

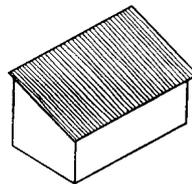


Moins bonne protection des pignons, mais charpente plus simple

Rectangulaire ou carré

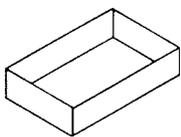


Toit à une pente

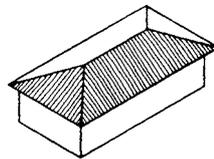


Pignons moins protégés, mais bon accès de la lumière en façade faitière et charpente la plus simple

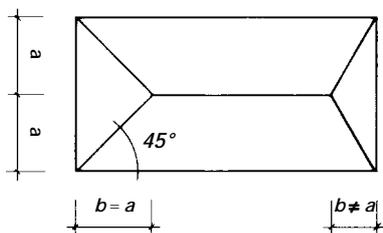
Rectangulaire



Toit à 4 pans



Tous les murs sont protégés du soleil et de la pluie

Si les pentes sont égales, alors la projection en plan de l'arêtier dessine un angle de 45° et $a = b$ Si les pentes sont différentes, alors $a \neq b$

Géométrie du plan d'appui

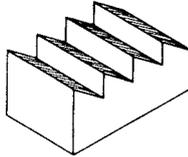
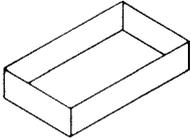
Forme du toit

Remarques

Rectangulaire

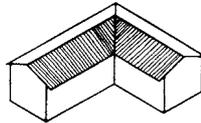
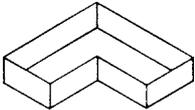
Toit en shed

Habituellement, les pentes sont orientées face au soleil et les surfaces verticales fermées par des matériaux laissant passer la lumière. Permet un éclairage naturel optimal à l'intérieur (lumière indirecte).



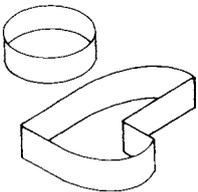
En L

Toit avec noue



Circulaire et fantaisiste

Difficile à couvrir avec des versants plans inclinés



3.2 Direction du vent dominant et orientation du faîte

Lorsque les vents violents n'ont pas de direction préférentielle, la solidité de la toiture doit être identique dans toutes les directions.

Ce n'est pas toujours le cas. Dans certaines régions, le vent souffle avec plus de force dans une direction préférentielle. Cela peut être dû à la topographie de l'endroit (couloir naturel ou artificiel) ou s'expliquer par des phénomènes météorologiques saisonniers.

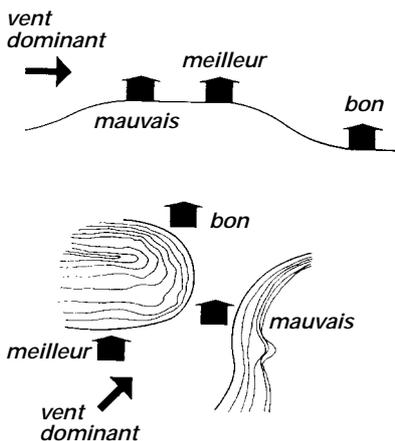
Il est utile d'en tenir compte au moment de la conception de la forme de la toiture, de son orientation et de son dimensionnement.

Une conception appropriée réduit la charge induite par des vents violents. Cela diminue les risques de désordre en toiture, ainsi que le coût de la charpente et peut supprimer la nécessité d'ancrer la charpente.

Dans les régions chaudes, on cherche pour des raisons de confort, à favoriser la ventilation naturelle des bâtiments. Si on n'y prend garde, cela peut conduire à des choix en contradiction avec la réduction des effets du vent sur la toiture [9].

Comment limiter les risques:

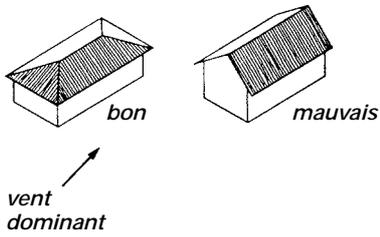
Topographie



Eviter les emplacements tels que crêtes exposées à des vents violents.

Eviter les gorges et ravins où les vents peuvent s'engouffrer.

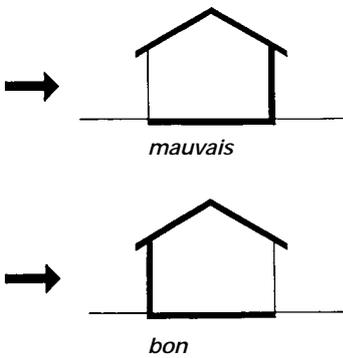
Forme de la toiture



Dans les régions où des vents violents sont à craindre, un toit à quatre pentes convient mieux qu'un toit à deux pentes. La version quatre pentes réduit la surface des grands versants et supprime les rives de pignon qui offrent une prise au vent importante.

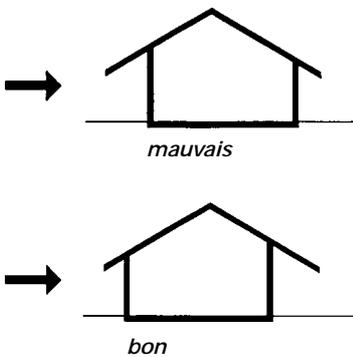
Orientation des bâtiments ouverts

Lorsque c'est possible, on évite d'orienter les grandes ouvertures face aux vents violents, car s'ils pénètrent dans un bâtiment, ils créent une surpression intérieure qui tend à soulever la toiture.



Orientation des avant-toits

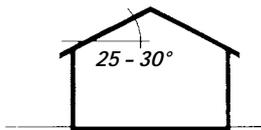
Lorsque c'est possible, on évite d'orienter de grandes avancées de toit face aux vents violents, car ils créent, dessous, une surpression qui tend à soulever l'avant-toit.



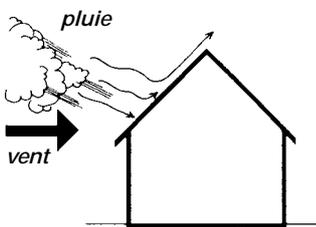
3.3 La Pente

La pente minimale dépend du matériau de couverture, de l'intensité des pluies et de la direction des vents qui les accompagnent.

Dans le cas des tuiles TFM/TMV Pour les versants faisant face aux vents accompagnés de pluies, il est recommandé d'observer une pente minimale de 30°. Pour les autres versants, il est recommandé d'observer une pente minimale de 25°.



Exceptionnellement, dans des régions sèches où les pluies ne sont pas accompagnées de vents violents, on peut observer une pente minimale de 22°.



Dans les régions où de grosses averses sont accompagnées de violentes bourrasques, il est prudent d'observer une pente minimale de 35° sur les versants faisant face aux bourrasques.

Avantages (+) et inconvénients (-)

- faible pente
 - + petite surface donc coût réduit
 - mauvaise étanchéité si la pluie est accompagnée de vent
 - le vent induit des forces d'aspiration élevées

- forte pente
 - + meilleure étanchéité
 - + les forces d'aspiration induites par le vent sont plus faibles
 - plus onéreux

Facteurs de conversion

En [Annexe 1](#), trois tableaux permettent de convertir les différents modes d'expression de la pente (degrés, pourcentages ou fractions)

3.4 Avant-Toit

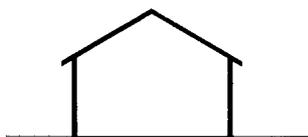
La conception du débord de toiture dépend du climat et des exigences posées à l'édifice.

Un long avant-toit:

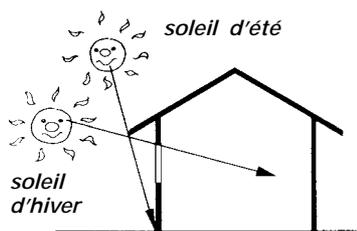
- procure de l'ombre
- protège les murs de la pluie
- augmente la surface du versant
- protège les murs du soleil

Un avant-toit court:

- offre moins de prise au vent
- laisse pénétrer davantage de lumière par les fenêtres



Considérations climatiques



Une longue avancée de toit protège le mur contre l'ardeur du soleil en été, tout en permettant à la lumière de pénétrer par les fenêtres. En hiver, le soleil qui monte moins haut peut réchauffer l'édifice. Cette disposition convient aux régions à climats tempérés, où on cherche à protéger l'édifice du soleil en été, et à profiter de sa chaleur en hiver [9].

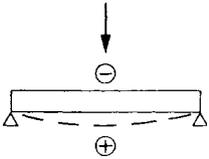
Dimensions de la charpente

La longueur maximale d'un avant-toit dépend de la portée de la toiture. Le [chapitre 4.3.5](#) fournit des informations plus précises concernant le rapport entre la portée du toit et la portée de l'avant-toit.

4. TECHNOLOGIE DES CHARPENTES

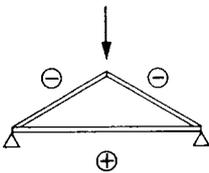
4.1 Principes de conception d'une charpente

4.1.1 Types de charpente



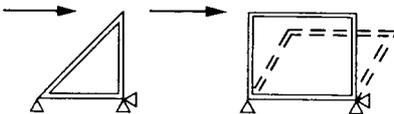
En pratique, on distingue deux types de charpentes.

a) le système à poutraison dans lequel les éléments (pannes, chevrons, liteaux) travaillent en flexion. Dans la section transversale d'un élément fléchi, la matière passe progressivement d'un état de traction (zone étirée) à un état de compression (zone comprimée).



b) le système à fermes triangulées, dans lequel les membrures sont soumises soit à un effort de traction, soit à un effort de compression.

4.1.2 Principes des fermes



Une ferme est un assemblage plan de membrures. Les membrures sont assemblées de manière à former des triangles. Contrairement à des assemblages comptant plus de trois côtés, le triangle est indéformable, même si les 3 angles sont articulés.

Ceci apparaît clairement lorsqu'on compare un cadre triangulaire avec un cadre rectangulaire. Alors que le cadre triangulaire est indéformable, le cadre rectangulaire peut se déformer.

Ossatures parfaites et ossatures imparfaites



fermes parfaites



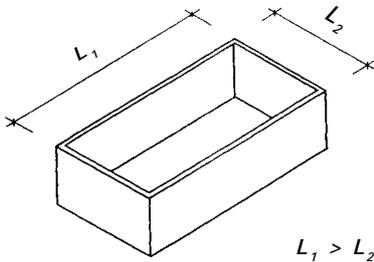
fermes imparfaites

Une ferme triangulée est une ossature «parfaite». Elle est «imparfaite» si elle n'est pas exclusivement construite sur la base de triangles.

Cadres de bicyclette ou renfort d'échafaudage, sont, parmi d'autres, des exemples des nombreuses applications rencontrées dans la vie courante, qui se basent sur le principe des ossatures triangulées.

Pour obtenir des ossatures indéformables, il faut ajouter une membrure aux fermes présentées ci-contre, de façon à décomposer les quadrilatères en triangles.

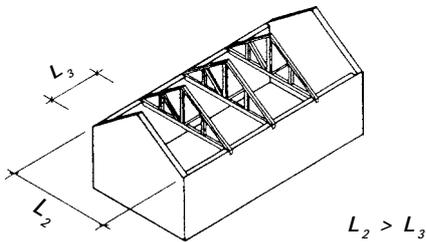
4.1.3 Conception d'une charpente étape par étape



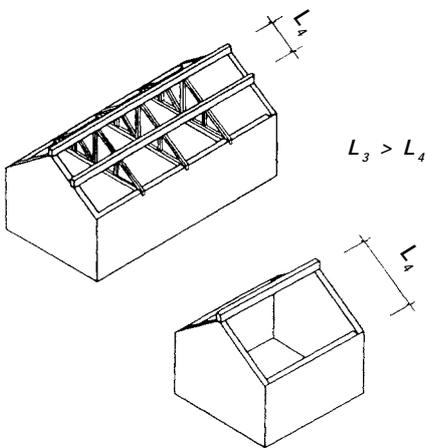
L'écartement des lattes dépend de la portée utile des tuiles.

Dans le cas des tuiles TMV/TFM, la portée utile est de 40 cm.

Lorsque la portée entre les supports (murs, colonnes) est grande, les lattes reposent sur une charpente, plus ou moins imposante selon la longueur de la portée. Le principe consiste à poser un ou plusieurs éléments dans le sens de la plus petite portée, pour diviser la plus grande portée. Cette opération est ensuite répétée en niveaux successifs, jusqu'à ce que l'écartement entre les éléments posés soit compatible avec la portée utile du matériau de couverture.

Première étape

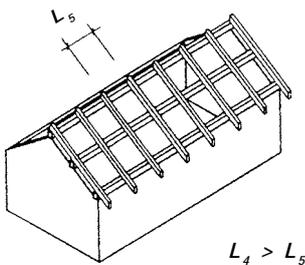
Diviser la plus grande portée avec un ou plusieurs élément(s), par exemple des poutres ou des fermes, franchissant la plus petite portée (L_2). Le nombre d'éléments dépend de la longueur de la grande portée et est tel que la longueur de la nouvelle portée L_3 est significativement plus petite que L_2 . Ces éléments constituent le niveau de charpente primaire.

Deuxième étape

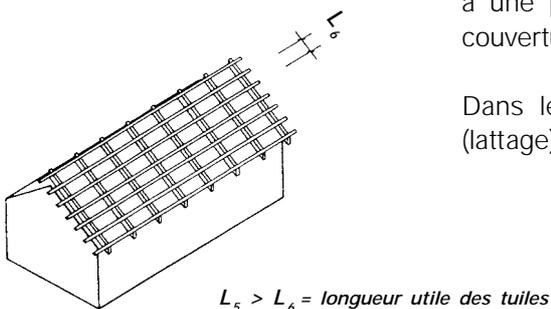
On pose ensuite une charpente secondaire plus légère (pannes) pour réduire davantage la portée (L_4).

Lorsque les pignons sont proches, on pose directement la charpente secondaire, sans prévoir de charpente primaire.

Si la longueur du larmier est petite devant la longueur du rampant, la portée définie par les éléments de la charpente primaire (L_3) est plus petite que celle définie par les éléments de la charpente secondaire (L_4). Quoi qu'il en soit, la charge appliquée sur les membrures doit diminuer au fil des étapes de la charpente.

Troisième étape

Avec la pose d'un niveau de charpente tertiaire (chevrons) on réduit encore la portée (L_5).

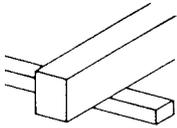
Quatrième étape

La pose du dernier niveau de charpente (p.ex. lattage) doit conduire à une portée (L_6) correspondant à la portée utile du matériau de couverture.

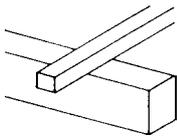
Dans le cas de tuiles TMV/TFM, le dernier niveau de charpente (lattage) doit être parallèle au faite de la toiture

4.1.4 Quelques principes concernant la pose des éléments de charpente

Réduction graduelle de la section La réduction graduelle de la portée a les conséquences suivantes:



faux

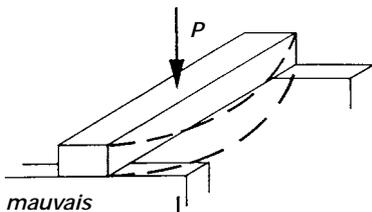


correct

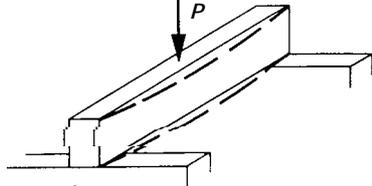
- la charge appliquée sur les membrures diminue d'une étape de charpente à la suivante. Cela permet de réduire la section des membrures niveau après niveau.
- les membrures de faible section reposent sur des membrures de plus forte section.
- les membrures de la charpente primaire, les plus chargées, ont la plus forte section.

Orientation de la section des poutres

Une poutre de section rectangulaire posée sur son petit côté est plus résistante que si elle est posée sur son grand côté.

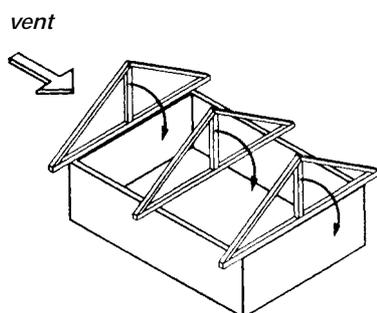


mauvais



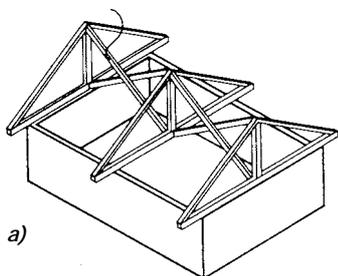
correct

4.1.5 Contreventement

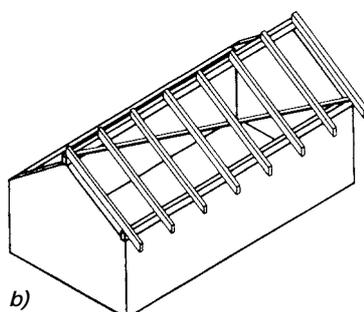


Le contreventement empêche le renversement de la charpente sous l'action des sollicitations horizontales (vent, séisme, etc.) et réduit sa déformation.

contreventement



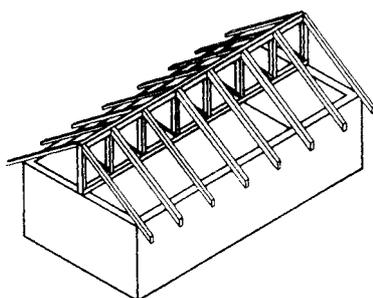
Contreventer consiste à fixer la position d'un point instable en le reliant à une butée, par une, ou plusieurs membrures. Selon le type de charpente, les membrures de contreventement sont fixées aux fermes (a) ou aux chevrons (b).



Les membrures de contreventement induisent des efforts horizontaux sur les murs de butée. Dans certains cas (murs minces ou murs hauts), il faut renforcer ces murs pour éviter qu'ils ne se renversent sous l'action des efforts horizontaux.

4.1.6 Charpentes primaires particulières

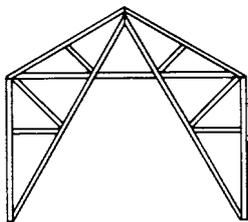
Poutre triangulée



Dans certains cas, il est plus économique de poser une poutre triangulée dans le sens de la plus longue portée. Cela permet de réduire la charpente primaire à un seul élément, encombrant et lourd il est vrai.

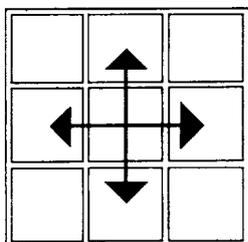
Le calcul de telles poutres doit être confié à un ingénieur qualifié.

Portiques triangulés



Ils permettent de franchir de grandes portées sans appui intermédiaire (hangars, etc.). Les portiques reposent directement sur les fondations et supportent le toit ainsi que le bardage.

Treillis spatiaux



On peut couvrir un espace carré, ou presque carré, avec un réseau de membrures croisées qui portent dans les deux directions du plan horizontal. Dans la construction en béton, le «plancher gauffré» illustre bien cette solution. Un réseau d'armature parcourt des canaux croisés. Après bétonnage, on obtient un réseau de poutres croisées. Différents types d'éléments préfabriqués en béton (voussoirs, poutres, prédalles, etc.) facilitent la mise en oeuvre de ce type de solution.

Une autre possibilité consiste à construire des structures tridimensionnelles (treillis spatiaux) autoportantes. Dans ce cas, le point de jonction des membrures, surtout si elles sont en bois, requiert une conception et un savoir-faire particuliers.

4.2 En cas de tempêtes et de séismes

(voir également [chapitre 2.3](#) et [3.2](#))

Les tempêtes et les séismes induisent, sur la toiture, des sollicitations particulièrement violentes.

4.2.1 Tempêtes

(Voir TMV News no. 5)

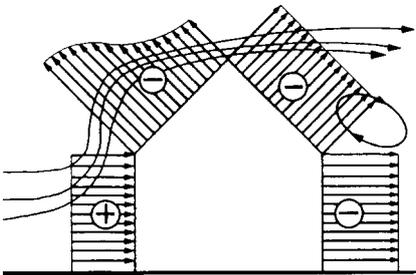


Illustration de la distribution des charges induites par le vent

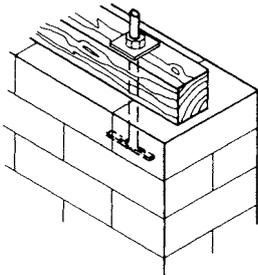
On considère qu'on est en situation de tempête, lorsque la vitesse du vent dépasse 75 km/h. Les efforts induits sur la toiture (pression ou dépression) sont alors particulièrement violents.

Les tempêtes peuvent toucher n'importe quelle région. Il existe cependant des régions à risques où elles sont plus fréquentes et plus violentes qu'ailleurs. Habituellement, les toitures sont construites pour résister à des vents de 150 km/h.

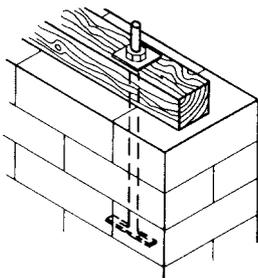
Dans les régions les plus exposées (Asie du sud-est et Amérique centrale), la conception et l'exécution de la toiture doivent faire l'objet d'une attention toute particulière.

Précautions à prendre

a) Ancrage



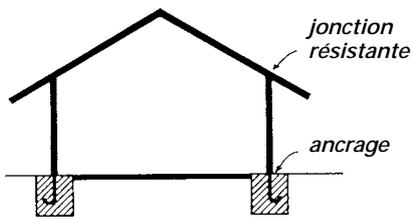
Profondeur d'ancrage insuffisante de la sablière



Profondeur de 60 cm recommandée

Pour éviter qu'une toiture se soulève, il faut ancrer la charpente aux murs avec des boulons ou des fers de ligature (voir aussi [4.3.5](#)). Les ancrages sont fixés dans le chaînage, s'il existe, sinon dans la maçonnerie en respectant une profondeur minimale de trois briques.

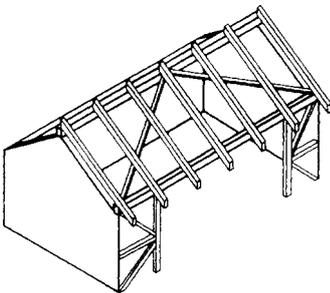
Reportez-vous au [chapitre 2.3](#) pour déterminer les forces de soulèvement induites sur la couverture par un vent de tempête. Habituellement, on se satisfait d'un point d'ancrage tous les deux mètres, et d'une profondeur minimale de 60 cm.



Mur léger scellé dans les fondations

Dans le cas de murs légers, la charpente doit être reliée à la fondation par des éléments pouvant travailler en traction.

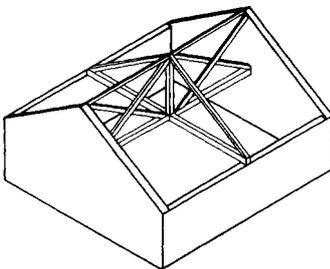
b) Contreventement



contreventement dans le plan du versant

Les vents de tempêtes induisent des efforts horizontaux considérables sur les toitures. Ceux-ci se répercutent sur l'ensemble du bâtiment.

La stabilité des pièces maîtresses de la charpente est garantie par des membrures de contreventement. Celles-ci empêchent le renversement des fermes et / ou les mouvements horizontaux des autres niveaux de charpente.



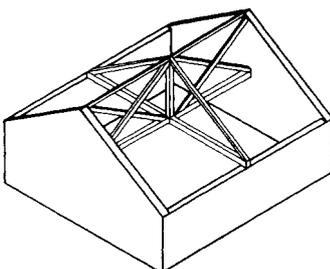
contreventement des fermes dans un plan vertical perpendiculaire

Ces membrures de contreventement transmettent les efforts horizontaux aux murs. Donc:

- l'ancrage de la charpente doit résister à une sollicitation horizontale et pas seulement à une sollicitation verticale,
- il peut aussi être nécessaire de contreventer les murs (cas de murs minces ou de murs hauts), pour éviter qu'ils se renversent.

Lorsque la butée d'une membrure de contreventement est un ancrage ponctuel dans une maçonnerie, et non dans un chaînage ou dans un élément de structure stable (poutre, colonne), il faut permettre une diffusion progressive des efforts transmis à la maçonnerie.

c) Poutre de chaînage



ossature

Une poutre de chaînage est une ceinture continue.

Elle constitue une base solide pour sceller les pannes sablières ou les chevrons. Dans des régions exposées à des vents violents, la poutre de chaînage peut être reliée par des colonnes à la fondation, pour former une ossature très rigide.

Habituellement, de telles ossatures sont en béton armé.

Influence de la pente

lorsque la pente augmente, le risque de succion induite par le vent, sur les versants sous le vent, diminue.

Forme du toit

Les arêtes d'un toit (faîtière, larmier, rive) sont plus sollicitées que la surface des versants. Les endroits les plus vulnérables sont les rives et les faîtières. Les toits à quatre versants sont donc plus indiqués que les toits à un ou deux versants, lesquels sont plus vulnérables. (Voir aussi le [chapitre 3](#)).

4.2.2 Séismes

Des précautions supplémentaires doivent être prises dans les régions sismiques.

Les ondes sismiques induisent des efforts horizontaux, verticaux et des moments de torsion sur les édifices touchés.

Les structures flexibles se déforment.

Les structures faibles et sans élasticité s'effondrent.

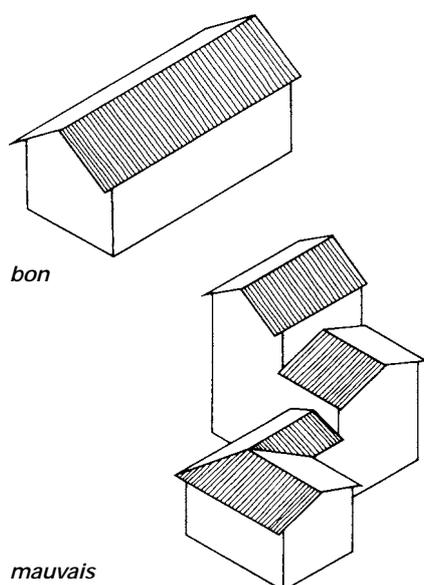
Les structures rigides ne sont pas affectées, si elles sont suffisamment solides.

Précautions à prendre

a) Formes simples

Des constructions simples et symétriques sont plus sûres que des bâtiments aux formes compliquées et asymétriques.

Les bâtiments d'architecture compliquée doivent être divisés en éléments indépendants, séparés par des joints de mouvement.



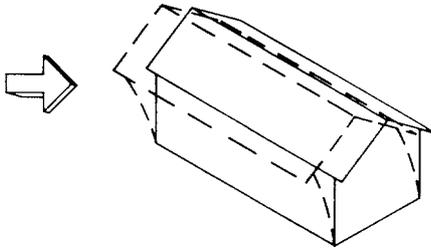
b) Toiture légère

Dans les zones sismiques, le centre de gravité d'une construction doit être le plus bas possible. Cela réduit l'effet des secousses horizontales.

A ce titre, signalons que les couvertures en tuiles TFM/TMV sont plus légères que les couvertures en tuiles cuites, mais plus lourdes que celles en tôles.

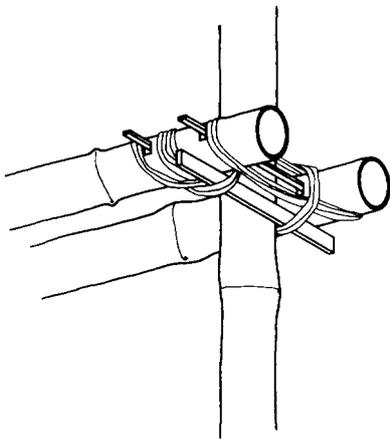
Une charpente et des tuiles bien ancrées pour résister aux tempêtes, le sont aussi face aux tremblements de terre (voir [chapitre 4.2.1](#)).

c) Ossature flexible

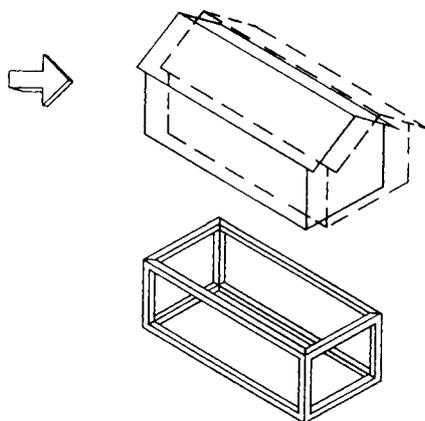


Une ossature aux connections flexibles, mais solides, s'adapte aux déformations temporaires causées par les secousses. Des éléments de couverture de petites dimensions, tels que des tuiles, peuvent être dérangés, mais restent habituellement indemnes, alors que des éléments de grandes dimensions, tels les plaques en amiante-ciment, risquent de se rompre.

Les poteaux en bambou ou en bois conviennent bien pour réaliser des ossatures flexibles.



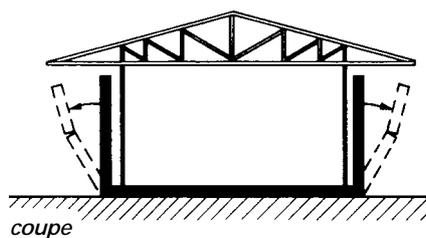
d) Ossature rigide



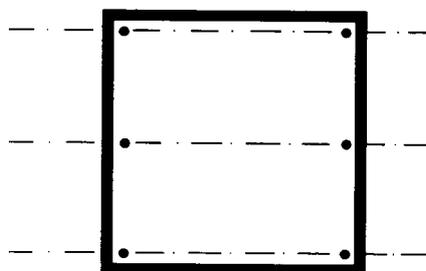
Une autre approche consiste à construire une ossature rigide capable de maintenir sa forme pendant les séismes. Les secousses induisent alors des sollicitations dynamiques considérables.

Les ossatures en béton armé et les charpentes contreventées illustrent cette approche.

e) Support de toit indépendant



On peut aussi fixer la charpente d'un toit à des supports indépendants des murs. Dès lors, en cas d'écroulement des murs, le toit reste en place.



vue en plan

4.3 Le bois

4.3.1 Matériaux

Ce chapitre traite exclusivement des sciages avivés. Le [chapitre 4.4](#) «Autres types de charpentes» dit quelques mots du bois rond (perches, poteaux).

Généralités

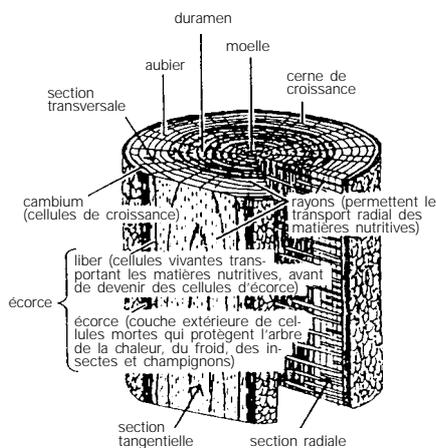
Le bois est non seulement l'un des matériaux de construction le plus ancien, mais il est aussi un des plus polyvalents. Matériau extrêmement complexe, ses propriétés diffèrent considérablement selon l'essence et la forme de la pièce.

Le bois est un matériau renouvelable. Toutefois, la déforestation rapide, les désastres économiques, climatiques et écologiques que son exploitation engendre souvent, sont fort préoccupants. Bien qu'au niveau mondial, la production de bois d'oeuvre soit pour très peu responsable de la déforestation, il convient de l'utiliser avec parcimonie, d'éviter le gaspillage et de promouvoir les programmes de reboisement.

Le bois d'oeuvre devrait provenir de forêts secondaires correctement gérées et non pas de forêts primaires. Ces dernières abritent une flore et une faune extrêmement riche et constituent un biotope irremplaçable pour de nombreuses espèces. En outre, la forêt constitue souvent pour les populations indigènes, une réserve de produits qu'elles utilisent ou commercialisent. A long terme, une forêt bien gérée peut générer des revenus plus importants.

Caractéristiques de croissance

La coupe d'un tronc ou d'une branche révèle un certain nombre de cerne (anneaux) concentriques. En général, l'accroissement annuel en diamètre se marque par l'apparition d'un cerne supplémentaire.



coupe transversale (feuillus et résineux)

Le bois initial (bois de printemps) se forme pendant la phase de croissance intense. La paroi des cellules du bois de printemps est fine. En saison sèche, se forme le bois final (bois d'été). Son développement est plus lent et la paroi des cellules est épaisse. La partie du cerne composée de bois final est en général plus étroite, plus dense et plus foncée. C'est surtout le bois final qui confère au bois sa résistance.

Le cambium est le siège de la croissance en épaisseur de l'arbre. C'est un fin anneau de cellules situées derrière le liber. La croissance s'opère par division cellulaire. Vers l'extérieur, le cambium forme de nouvelles cellules de liber. Vers l'intérieur, le cambium forme de nouvelles cellules d'aubier, dit aussi bois actif ou bois vivant. Lorsque la croissance suit un rythme marqué par des saisons, les cellules d'aubier sont différentes selon qu'elles sont produites au printemps (bois de printemps) ou en été (bois d'été). Cette différence est visible à l'œil nu: le bois d'été apparaît plus foncé que le bois de printemps. Le passage du bois d'été au bois de printemps marque une reprise de l'activité biologique de l'arbre et constitue le départ d'un nouveau cerne.

A l'intérieur du tronc, chaque année, un cerne d'aubier se transforme en cerne de duramen, dit aussi bois de coeur ou bois parfait, suite à la disparition de l'amidon présent dans l'aubier. Les différences de comportement mécanique entre aubier et duramen sont faibles, par contre, différence essentielle, l'aubier contient des substances (amidon, sucre, eau) recherchées par certains insectes, substances qui permettent aussi le développement de moisissures (champignons). L'aubier est généralement plus clair que le duramen.

Plus la croissance de l'arbre est lente, plus les cernes de croissance sont étroits et plus le bois est dense et solide. Plus il est dense et solide, meilleure est sa résistance aux attaques biologiques.

(Se reporter à l'[annexe 2](#) pour le bois couramment utilisé en construction).

Types et propriétés des bois de construction

Feuillus et résineux

On distingue les feuillus et les résineux. Les feuillus se rencontrent aussi bien dans les régions tropicales que dans les régions tempérées. Dans les régions tropicales, ils sont couverts de feuilles toute l'année (ils sont dits «sempervirents»), tandis que dans les régions tempérées, ils perdent toutes leurs feuilles chaque année (ils sont dits «caduques»). Les résineux se rencontrent principalement dans les régions tempérées. Ils sont couverts d'aiguilles qui généralement vivent plusieurs années et sont remplacées progressivement. Généralement, le bois provenant de feuillus est plus lourd que celui qui provient de résineux, mais les feuillus suivants: balsa, peuplier et samba sont, par exemple, plus légers que la plupart des résineux.

Il existe plusieurs méthodes de classification des bois. En Afrique de l'Ouest, par exemple, on rencontre souvent le terme «bois rouge» pour les bois durs et solides et «bois blanc» pour des bois tendres et peu résistants. Dans d'autres régions, cette terminologie n'est pas connue ou est utilisée différemment.

Catégories de bois

Les bois d'œuvre sont généralement divisés en deux catégories. Ainsi, on distingue, en général les bois de première qualité et les bois de seconde qualité. Le bois de première qualité étant le plus résistant.

Le bois de première qualité provient généralement de feuillus à croissance lente, lesquels résistent bien aux insectes et champignons sans traitement chimique. En cas de variation de l'humidité de l'air, ils se déforment et se voilent peu. Le bois de première catégorie est plus rare et donc cher.

Le bois de seconde qualité provient principalement d'espèces à croissance rapide, lesquelles ont une durabilité naturelle faible. Un séchage adéquat et des produits de préservation permettent d'augmenter considérablement la durabilité d'un bois naturellement peu durable. Les bois de seconde qualité sont de plus en plus utilisés parce que l'offre en bois de première qualité diminue et leur prix augmente.

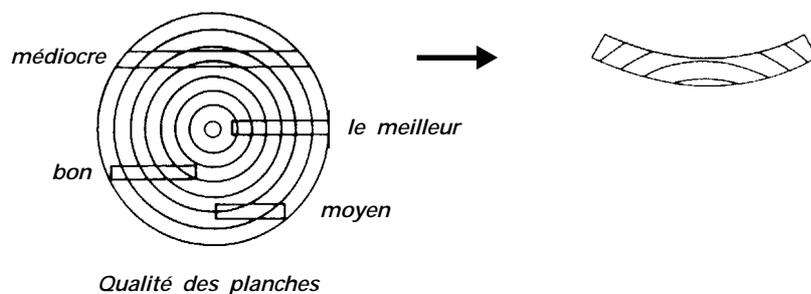
Calcul des dimensions

Pour déterminer les dimensions des membrures d'une charpente, il convient de tenir compte de la résistance du bois en se reportant aux normes locales.

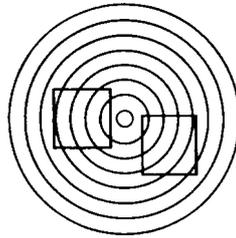
Dans certaines régions, les informations sur le bois sont difficiles à obtenir et/ou lacunaires. Le [chapitre 4.3.4](#) décrit une méthode simple, laquelle permet de classer les bois en trois catégories d'après les résultats d'un test simple à exécuter. Ce test ne requiert pas d'équipement sophistiqué. En [annexe 3](#) des tableaux proposent les sections à donner aux membrures d'une charpente, en fonction de leur portée, de leur écartement et des résultats du test.

Types de débits

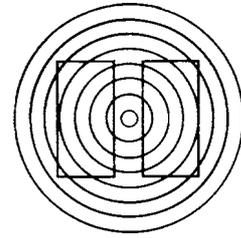
Poutres et planches proviennent normalement de troncs d'arbres adultes de large diamètre. La partie du tronc dans laquelle les avivés sont débités et l'inclinaison du fil, influencent grandement la qualité des produits obtenus. Dès lors, il est important d'observer l'inclinaison du fil lors de la sélection d'un bois.



Pour des éléments, tels que pannes et fermes, soumis à de fortes sollicitations, il faut utiliser des pièces de très bonne qualité.

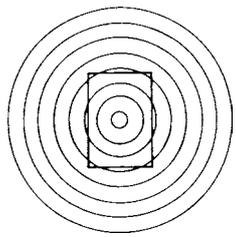


première qualité

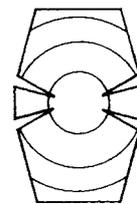


première qualité

Le bois de moindre qualité est réservé par exemple aux sablières.

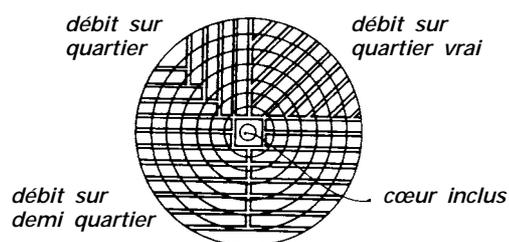


médiocre



qualité des débits

Une coupe rationnelle permet de tirer le meilleur parti d'un tronc.



Types de débits

Sélection du bois

La sélection d'avivés de bonne qualité est particulièrement importante pour les éléments de charpente fort sollicités tels que pannes, fermes et chevrons.

Les pièces de bois qui présentent de petites fissures ou des noeuds, de même que celles dont le fil est fortement dévié, sont exclusivement réservées aux membrures, moins sollicitées, telles

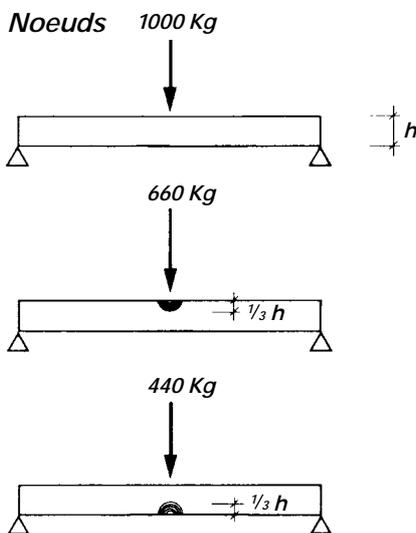
que les sablières.

Des pièces de bois affectées par des fissures superficielles ou limitées, dues à un séchage trop rapide, peuvent être tolérées dans une certaine mesure, si on les réserve à des éléments peu sollicités.

Fissures

Par contre des pièces fendues, suite à la chute du tronc ou au transport des avivés, sont à rejeter.

De petites fissures internes, invisibles, passent inaperçues. Ce risque est pris en compte par le coefficient de sécurité dans la procédure de dimensionnement.



Les noeuds peuvent considérablement diminuer la résistance des poutres, surtout s'ils sont situés dans des zones tendues: pièces en traction ou partie tendue des pièces fléchies.

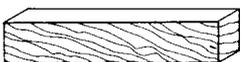
Ainsi un noeud qui occupe le 1/3 supérieur de la section la plus comprimée d'une poutre fléchie, réduit la charge admissible de 33 %. Ce même noeud, occupant le 1/3 inférieur de la section la plus tendue de la même poutre, réduit la charge admissible de 56 % !

L'affaiblissement provoqué par un noeud dépend aussi de la manière dont il s'est formé (voir exemple au [chapitre 4.3.4](#)).

Direction du fil



bon



mauvais

La résistance d'un avivé dépend aussi de la direction du fil. Si le fil n'est pas parallèle à l'axe longitudinal de la pièce, la résistance est fortement réduite.

Moelle et cambium

Les avivés contenant de la moelle et du cambium, doivent être réservés pour des éléments de charpente moins sollicités (p. ex. sablières).

Bois séché

Pour éviter l'apparition de fissures et / ou le voilage des avivés après leur mise en oeuvre, il convient d'utiliser exclusivement du bois séché.

Bois déraciné par le vent

Par souci d'écologie, on pourrait être tenté d'utiliser le bois d'arbres déracinés par le vent. Toutefois, considérant les risques de fissures cachées, ce bois sera exclusivement réservé à la production d'avis destinés à des éléments de charpente moins sollicités (chevrons, lattes). Il est exclu de l'utiliser pour des éléments de charpente soumis à de fortes tensions, tels des poutres ou des fermes.

Il n'est pas facile de détecter des fissures internes. Une méthode simple, mais pas très fiable, consiste à laisser chuter les pièces à tester d'une hauteur de 0.5 m à 1 m. Les pièces fortement fissurées cassent. Une technique très sophistiquée basée sur des ultrasons est en cours de mise au point.

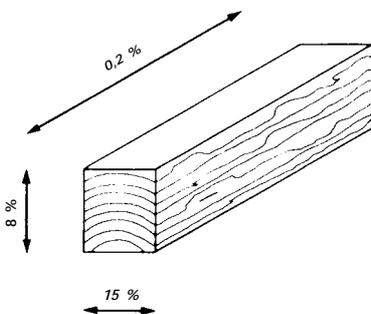
4.3.2 Préservation et séchage du bois

Le bois est un matériau durable de grande valeur. Pour tirer au mieux parti de ses potentialités et garantir sa durabilité, il faut cependant respecter certaines règles. Ainsi:

- le bois abattu en dehors de la période de croissance (en hiver) est plus durable,
- le cambium doit être éliminé,
- le bois doit être convenablement séché avant utilisation,
- il convient de soigner les détails de charpente;
- un traitement chimique s'avère nécessaire dans certains cas.

a) Séchage

Il faut sécher convenablement le bois avant de le débiter, car il subit un retrait pendant le séchage. Le retrait varie selon la direction considérée. Ainsi lorsqu'on passe du stade de bois vert au stade de bois sec, le retrait radial est d'environ 8%; le retrait tangentiel d'environ 14 à 16 % et le retrait longitudinal est négligeable (0.1 à 0.2 %). Le bois mal séché se fissure et gauchit, ce qui provoque un affaiblissement et des déformations de la charpente.

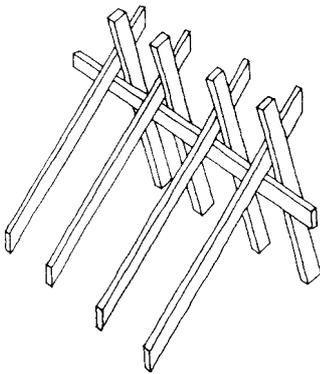


Pour être traité chimiquement, le bois doit d'abord être séché. Il faut abaisser son taux d'humidité sous les 20 % (exprime le rapport entre le poids d'eau dans la pièce et le poids anhydre de la pièce). Il y a pour cela deux raisons principales. La première est que l'accrochage ou la pénétration des produits est meilleure. La seconde est que les produits de traitement empêchent le séchage ultérieur et la pièce risque du pourrir par l'intérieur.

Avec un bon séchage, on peut réduire le taux d'humidité du bois à une valeur comprise entre 8 et 20 %. L'objectif est d'atteindre une

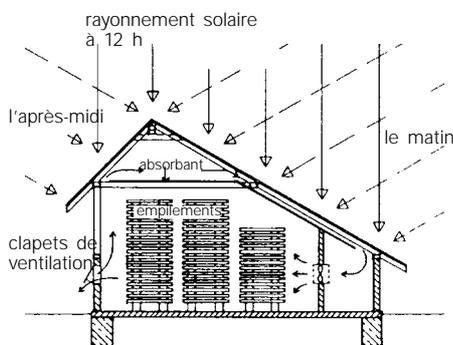
valeur proche de l'humidité d'équilibre, laquelle dépend de l'espèce de bois et de l'humidité relative moyenne de l'air ambiant. Le séchage, qui peut durer de quelques semaines à plusieurs mois (selon l'espèce, l'âge, la période d'abattage, le climat, la méthode de séchage), permet d'obtenir un bois plus résistant aux insectes et champignons, plus solide, plus ferme et aux dimensions plus stables.

Méthodes de séchage



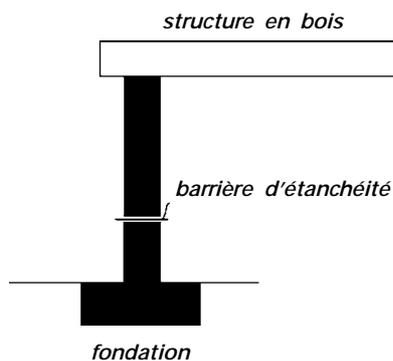
On distingue 3 façons de procéder.

- Le séchage à l'air. Les avivés sont empilés de manière à permettre la circulation de l'air. Il est essentiel de les protéger de la pluie et d'éviter qu'ils ne soient en contact avec le sol.
- Le séchage par ventilation forcée. Le principe est le même, mais la vitesse du séchage est contrôlée en plaçant les piles de bois dans un endroit clos et en utilisant des ventilateurs.
- Le séchage en séchoir. Méthode la plus rapide. Le bois est placé dans des espaces fermés et chauffés, où la circulation de l'air et l'humidité sont contrôlées. Il permet de réduire le temps de séchage de 50% à 75%, mais coûte relativement cher. L'utilisation de séchoirs solaires peut être une solution plus économique.



Si le bois est abattu en dehors de la période de croissance (en hiver), le temps de séchage peut être considérablement réduit, car il est alors moins humide.

b) Dispositions constructives



L'architecture et les détails constructifs ont une influence décisive sur la durabilité des éléments en bois.

Ainsi, on doit veiller à:

- protéger le bois de l'humidité,
- permettre la circulation de l'air autour des pièces en bois,
- éviter le contact des pièces en bois avec le sol,
- protéger les éléments en bois des termites, en les appuyant sur des semelles en béton ou de la tôle galvanisée.

Protection contre l'humidité

L'humidité peut être apportée par une exposition directe aux pluies, par manque d'étanchéité des écrans de protection (toiture, murs, etc.) ou par aspiration capillaire dans ou au travers des murs, ainsi qu'en cas de contact avec la terre.

Une grande avancée de toit et une couverture fiable protègent de la pluie et des infiltrations.

Une barrière capillaire (p. ex. feutre bitumineux) empêche la transmission d'humidité entre une pièce en bois et un support humide.

Circulation de l'air

Une atmosphère humide, propice aux champignons, a tendance à se développer dans les espaces clos, non ventilés. Il est important de ne jamais enfermer des éléments en bois dans des volumes clos et de ventiler les interstices.

Eviter le contact avec le sol

L'humidité du sol se propage dans des matériaux hygroscopiques tels le bois, la maçonnerie et la terre. Le sol abrite également certains insectes comme les termites, lesquels détruisent rapidement le bois. Le bois ne doit donc jamais être en contact avec le sol.

c) Choix du matériau

Utiliser de préférence un bois résistant aux champignons et aux insectes (voir [annexe 2](#)).

d) Traitement de préservation

Avant d'opter pour un traitement chimique, il est bon de se souvenir que le bois est le plus «sain» des matériaux de construction. Il est donc paradoxal de l'«empoisonner». Lorsque c'est possible, il est préférable de confier la conception d'un édifice en bois et sa réalisation à des vrais professionnels du bois, qui savent faire les bons choix architecturaux et soigner la mise en œuvre. Pour éviter de recourir à des produits chimiques très toxiques, il faut:

- utiliser des essences naturellement durables en extérieur,
- utiliser du bois correctement séché,
- éviter d'exposer le bois à la pluie,
- empêcher le contact avec des parties humides, en intercalant une barrière imperméable,
- permettre une bonne ventilation,
- garder l'accessibilité des éléments en bois pour des contrôles et entretiens périodiques.

Dans le cas de conditions climatiques défavorables et lorsque les risques d'attaques biologiques (insectes, champignons) sont élevés, ces précautions ne permettent pas de garantir la durabilité d'éléments en bois fabriqués dans des variétés à faible durabilité naturelle. Il convient alors de protéger le bois par l'application de traitements de préservation.

Si un traitement de préservation s'avère nécessaire, il convient de privilégier les traitements non-chimiques et non toxiques.

Traitements non-chimiques

Le fumage du bois, en le plaçant au dessus d'un feu ou dans des aires spécialement aménagées à cet effet, détruit l'amidon et confère au bois un goût désagréable qui repousse les insectes. Des fissures peuvent néanmoins se produire, lesquelles facilitent l'attaque des insectes.

L'immersion du bois pendant 4 à 12 semaines élimine l'amidon et le sucre qui attirent les insectes. De grosses pierres peuvent être utilisées pour maintenir le bois immergé.

Une autre solution consiste à appliquer un enduit constitué de lait de chaux, de bouse de vache, de créosote (sous-produit de la distillation du charbon de bois) et de borax. Ce traitement est à réserver à des ouvrages extérieurs, car il dégage une odeur désagréable.

Traitement chimique

Un produit chimique de préservation ne se choisit pas à la légère. Il convient de vérifier sa composition, de l'appliquer selon une procédure ad hoc et de prendre les mesures de sécurité appropriées. Il faut savoir que certains produits chimiques de préservation, hautement toxiques et interdits dans la plupart des pays industrialisés, sont encore conseillés dans les pays en développement, par des publications récentes, des fournisseurs, de même que par des institutions publiques. Il en est ainsi de produits à base de DDT (Dichlo-Diphenyl-Trichlorethane), de PCP (Pentachlorophenol), de lindane (Gamma-hexa-chloro-cyclohexane), d'arsenic, de mercure, de plomb, de fluorine et de cadmium, lesquels devraient être partout interdits.

On est encore loin d'atteindre une connaissance complète de la toxicité des produits chimiques disponibles et recommandés à l'heure actuelle. La recherche de produits de préservation non-toxiques se poursuit. On peut toutefois utiliser en toute tranquillité les produits à base de borax, de sel borique, de soude, de potasse, de goudron de bois, d'huile de vidange, de cire d'abeille et d'huile de lin. Ils sont moins puissants, mais appliqués à une construction bien conçue et correctement réalisée, leur efficacité est suffisante.

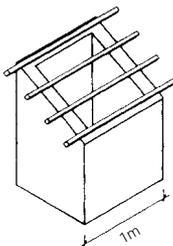
Il existe plusieurs méthodes d'application des produits de préservation, dont:

- le badigeonnage
- le traitement par aspersion
- l'immersion dans une solution qui contient le produit de préservation

4.3.3 Types de charpente en bois

La conception des charpentes en bois dépend principalement de la surface à couvrir et des propriétés du bois utilisé (se référer aussi au [chapitre 4.1.3](#)).

a) Simple lattage (portée inférieure à 1,5 m)



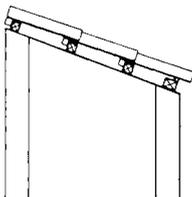
Pour de très petites constructions:

- portée entre rampants inférieure à 1,5 m.

Les lattes franchissent la portée sans appui intermédiaire.

Il s'agit de la charpente la plus simple. Elle convient par exemple pour des latrines ou de petits appentis.

Le nombre de lattes est fixé par la portée utile du matériau de couverture et par la longueur des rampants.



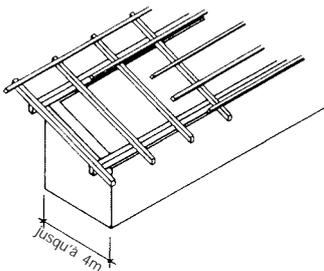
b) Chevrons et lattes (si longueur des rampants inférieure à 4 m)

Pour de petites constructions:

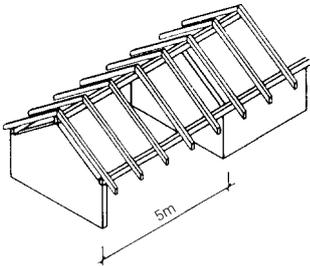
- longueur des rampants inférieure à 4 m.

Les chevrons franchissent la portée sans appui intermédiaire.

L'écart maximal entre chevrons est de 1,5 m. Le nombre de chevrons dépend de la longueur des sablières.



c) Pannes et chevrons (si portée entre pignons, ou autres supports, inférieure à 5 m)



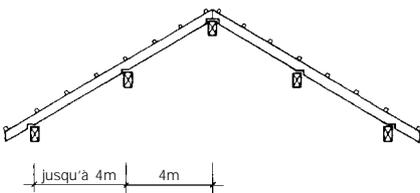
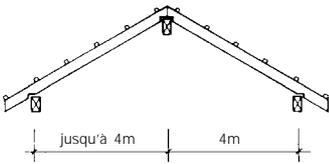
Pour des constructions de taille moyenne:

- longueur des rampants supérieure à 4 m
- portée des pannes inférieure à 5 m.

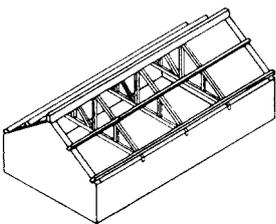
Les pannes franchissent la portée sans appui intermédiaire. Les chevrons prennent appui sur les pannes.

L'écart maximal entre les pannes est de 4 m. Le nombre de pannes intermédiaires est déterminé par la longueur du rampant.

Attention, avec les tuiles il est nécessaire de respecter une pente prononcée. La hauteur du faite augmente avec la hauteur du rampant.



d) Ferme, panne et chevron

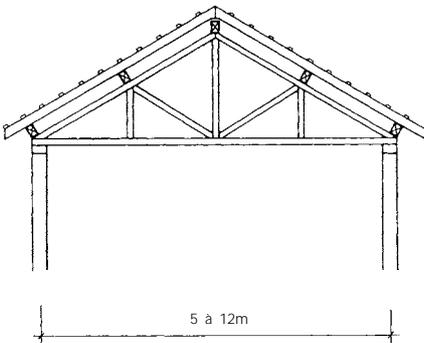


Pour de grandes constructions avec des portées importantes:

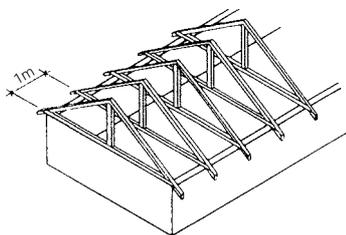
- portées entre sablières comprises entre 5 et 12 m.

Pour des portées supérieures à 12 m, il faut utiliser des fermes de conception particulière.

Avec des pannes de section standard (8 x 15 cm), on limite l'écart entre fermes à 4 m. La longueur des sablières et la section des pannes détermine le nombre de fermes.

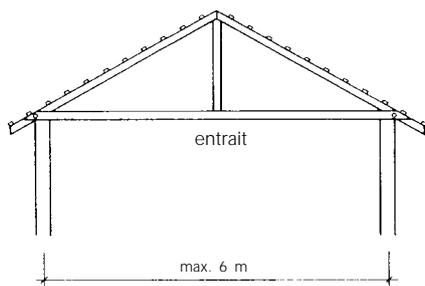


e) Chevrons triangulés

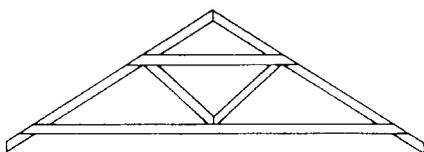


Au lieu d'une construction ferme-panne-chevron, chaque paire de chevrons est reliée par un entrait (horizontal) et un poinçon (vertical). Cet assemblage se comporte comme une ferme.

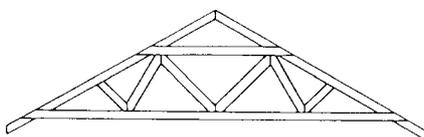
La portée entre les sablières doit être inférieure à 6 m. L'écart entre les chevrons triangulés est le même que l'écart entre chevrons normaux. Le nombre de chevrons triangulés dépend de la longueur des sablières.



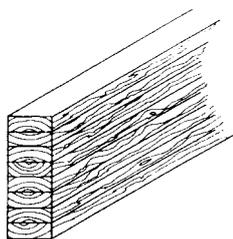
Pour des portées plus longues, on ajoute des contrefiches.



Il existe de nombreux systèmes, plus ou moins sophistiqués, de construction en fermes triangulées, (voir bibliographie 20).

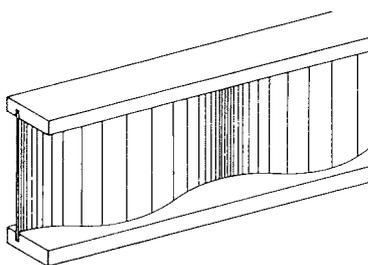


f) *Éléments préfabriqués pour charpente en bois*



poutre en bois lamellé collé

D'autres systèmes permettent encore d'élargir l'éventail des possibilités qu'offre la construction en bois. On peut recourir, par exemple, à des technologies industrielles pour produire des poutres en bois lamellé collé ou des poutres Wellsteg.



poutre Wellsteg

4.3.4 Dimensionnement des charpentes en bois

(En collaboration avec LIGNUM, Zürich et P. Häsler, BUBIKON, Suisse)

Le dimensionnement des charpentes en bois est un travail complexe qui requiert des compétences particulières.

Il faut tenir compte des facteurs suivants:

- propriétés du bois
- charges auxquelles la charpente est soumise;
- type de charpente.

Situation habituelle

La résistance du bois est un paramètre clé pour le dimensionnement. Cette résistance dépend, bien sûr, de l'essence, mais aussi des conditions climatiques et géologiques dans lesquelles le bois a poussé.

Dans les pays en développement, l'utilisateur arrive rarement à obtenir des informations sur la résistance des bois disponibles. De plus, les normes sont souvent difficiles à obtenir, voire inexistantes. Cette situation explique que les charpentes en bois sont rarement optimisées des points de vue coût et sécurité. Une charpente surdimensionnée n'est pas économique, une charpente sous-dimensionnée met en péril la sécurité des habitants.

Procédure de dimensionnement

Pour remédier à cette situation inconfortable, voire dangereuse, ce chapitre propose une procédure relativement simple qui permet de déterminer la dimension des membrures (section et portée) d'une charpente, lorsqu'on ne dispose pas d'information sur les caractéristiques du bois utilisé.

Cette méthode se décompose en deux étapes.

- Soumettre le bois à un test de flexion. Si l'espèce de bois est parfaitement connue et qu'elle est reprise parmi les espèces recensées en [annexe 2](#) (bois couramment utilisé en charpente), il n'est pas nécessaire d'exécuter le test.
- Déterminer ensuite la section des membrures, au moyen des tableaux de l'[annexe 3](#), en fonction de leur portée et de leur écartement ou inversement.

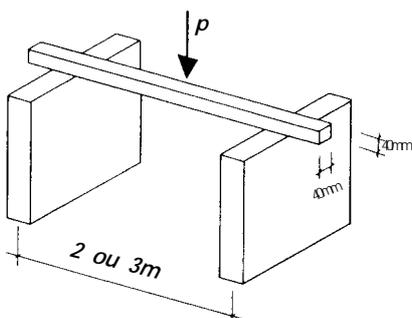
Cette méthode est valable pour les charpentes traditionnelles composées de membrures travaillant en flexion (pannes, chevrons, lattes). Elle n'est pas valable pour les fermes et autres éléments complexes qui nécessitent les compétences d'un ingénieur spécialisé.

Réserves sur la méthode

Les résultats obtenus par cette méthode peuvent guider les constructeurs, lorsqu'il n'existe pas d'autres documents officiels appropriés (normes, recommandations).

Ces résultats n'engagent pas la responsabilité de l'auteur ou de l'éditeur.

Etape 1: Test



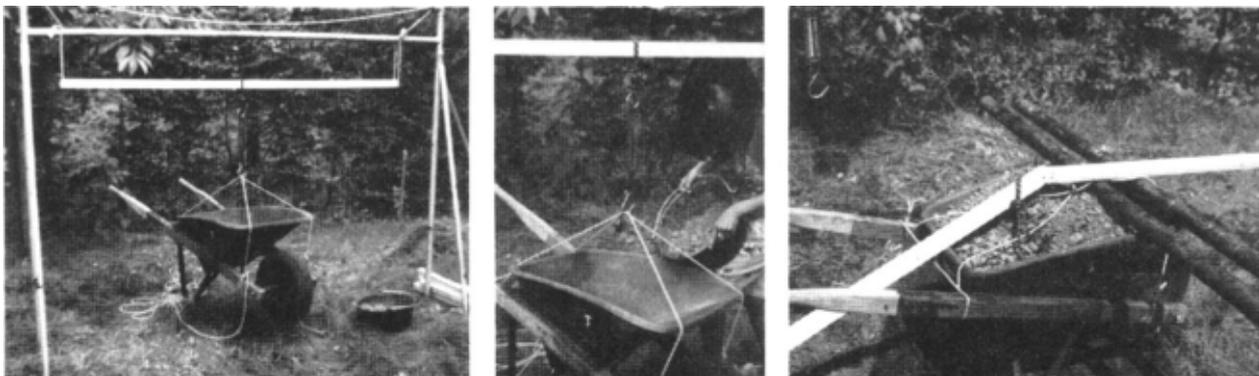
On peut déterminer la charge de rupture à l'aide d'un test simple.

Une pièce de bois de 40 mm x 40 mm est placée sur des supports espacés de 2 ou 3 m. On applique au centre de la pièce une charge qui augmente jusqu'à la rupture de la pièce testée. La catégorie du bois est déterminée en fonction de la charge de rupture.

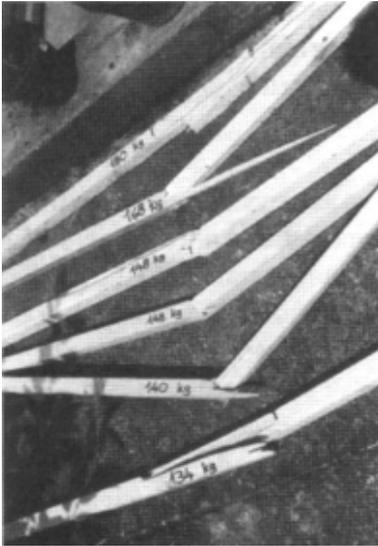
Il n'est pas nécessaire de disposer d'un matériel de laboratoire pour réaliser ce test. Un récipient (tonneau ou caisse), progressivement rempli avec de l'eau et suspendu au centre de la pièce de bois, peut faire office de charge.

Le croquis ci-contre schématise ce test et les photos ci-dessous en sont une illustration pratique.

La brouette est suspendue à la pièce de bois à tester et est remplie avec du sable, ou tout autre matériau. A la rupture de la pièce de bois, la brouette et son contenu sont pesés sur une balance à ressort.



Test: Une poutre de bois est placée sur deux appuis espacés de 2 ou 3 m, puis une charge est appliquée en son centre et augmentée jusqu'à rupture.



Tests portant sur du pin suisse

Pour une même espèce de bois, effectuer au minimum 6 tests avec des échantillons provenant de 6 arbres différents, car les propriétés peuvent varier considérablement au sein d'une même espèce.

Une charge de rupture spécifique est calculée de la manière suivante:

Ajouter, à la charge la plus faible P1, 20% de la différence entre la charge moyenne et la charge plus faible.

soit:

$$P1 + 0,2 (\dots\dots\dots - P1)$$

Soit pour l'exemple ci-dessus (photo):

$$134 + 0,2 (\dots\dots\dots - 134)$$

Classification du bois en fonction des résultats du test

	Portée: 2 m	Portée: 3 m	Classification
Charge de rupture spécifique	plus de 2560 N	plus de 1700 N	Catégorie A
	entre 2070 et 2560 N	entre 1380 et 1700N	Catégorie B
Remarque : 9,81 N = 1 kg	entre 1275 et 2070 N	entre 850 et 1380 N	Catégorie C

Pour la classification des essences courantes, voir également l'[annexe 3](#).

Conditions du test:

Ne pas effectuer le test sur des pièces présentant des noeuds



Ne pas effectuer le test sur des pièces dont le fil présente de fortes déviations

- Les pièces de bois à tester doivent être exemptes de noeuds, tout au moins dans leur partie centrale où est appliquée la charge.
- Les pièces de bois testées ne doivent pas présenter de fortes déviations du fil.
- Les pièces de bois testées doivent être saines (pas de traces d'attaque par des champignons, ou par des insectes).
- Les pièces de bois testées doivent être exemptes de fissures.
- Le taux d'humidité des pièces de bois testées doit être le même que celui des membrures qui seront mises en œuvre. Des différences peuvent fausser les résultats.
- La charge doit être appliquée à une vitesse telle que la rupture se produise au plus tard 5 minutes après le début de mise en charge. Une mise en charge plus lente fausse les résultats.

Essence non identifiée

Il est prudent de répéter le test plusieurs fois si l'essence n'est pas identifiée et qu'on n'en connaît pas les caractéristiques.

Etape 2: Choix des dimensions (section, portée, écartement)

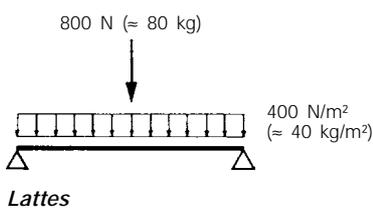
Le tableau de l'[annexe 3.1](#) concerne les lattes, ceux de l'[annexe 3.2](#) les chevrons et ceux de l'[annexe 3.3](#) les pannes.

Il existe deux façons de procéder:

- On recherche la section des membrures (h, b) pour un couple portée (L) - écartement (c) choisi dans la première colonne du tableau correspondant à l'élément de charpente envisagé (latte, chevron ou panne). Alors, la section recommandée est donnée par l'intersection de la ligne du couple L-c, avec la colonne correspondant à la catégorie obtenue d'après le test (A, B ou C). Si la section des sciages disponibles est inférieure à celle conseillée par le tableau, il faut réduire la portée et / ou l'écartement imposé au départ.
- On recherche la portée (L) et l'écartement (c) des membrures pour une section (h, b) imposée en fonction des dimensions courantes des sciages disponibles. Le couple L-c se lit dans la colonne de droite du tableau, sur la ligne correspondant aux dimensions de la section imposée et à la catégorie (A, B ou C) obtenue d'après le test. Dans le cas des lattes, si l'écartement (c) obtenu par le tableau est inférieur à la portée utile des tuiles, il faut réduire la portée ou choisir une section plus forte.

Validité des tableaux présentés en annexe 3

Les charges



Ces tableaux ont été déterminés pour les cas de charge repris ci-dessous (voir aussi [chapitre 2.3.3](#)). Ces sollicitations correspondent au cas d'une toiture couverte de tuiles TMV ou d'autres matériaux de même poids.

Lattes:

Charges permanentes	400 N/m ² (≈ 40 kg/ m ²)
Charges variables	800 N (≈ 80 kg) au centre de la portée ou à l'extrémité du porte-à-faux

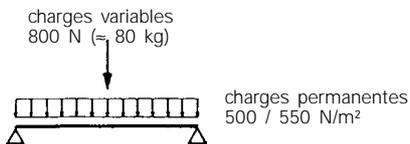
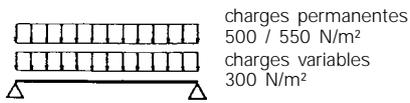
Chevrons:

Charges permanentes	500 N/m ² (≈ 50 kg/ m ²)
Charges variables	300 N/m ² (≈ 30 kg/ m ²)

ou

Charges permanentes	500 N/m ² (≈ 50 kg/ m ²)
Charges variables	800 N (≈ 80 kg) au centre de la portée ou à l'extrémité du porte-à-faux

On a pris la combinaison qui crée le moment de flexion le plus important.



chevrons et pannes

Pannes:

Charges permanentes 550 N/m² (≈ 55 kg/ m²)
 Charges variables 300 N/m² (≈ 30 kg/ m²)

ou

Charges permanentes 550 N/m² (≈ 55 kg/ m²)
 Charges variables 800 N (≈ 80 kg) au centre de la portée
 ou à l'extrémité du porte-à-faux

On a pris la combinaison qui crée le moment de flexion le plus important.

Sur une construction fermée, un vent de 150 km/h peut induire une pression de 300 N/m² ou une dépression de 700 N/m². L'effet de la dépression est compensé par l'effet du poids propre qui agit, lui, vers le bas, de sorte que la combinaison retenue est: charges permanentes + 300 N/m². Dans certains cas (bâtiments ouverts) et sur certaines parties plus exposées (p. ex. rive, faite, etc.) la résultante peut être dirigée vers le haut, d'où la nécessité d'ancrer la charpente dans les murs (voir aussi [chapitre 2.3.2](#))

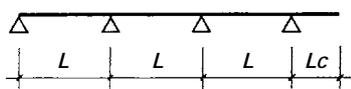
La charge de neige et la charge due à des vents exceptionnels (vitesse supérieure à 150 km/h) n'ont pas été prises en compte dans les calculs qui ont permis de concevoir les tableaux de l'[annexe 3](#).

La flèche

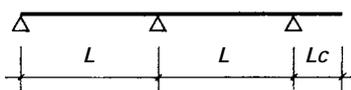
Les tableaux ne tiennent pas compte de la flèche (abaissement du centre de la membrure due à son fléchissement), qui influence davantage l'esthétique que la sécurité de la toiture.

Les conditions d'appui

Les tableaux en [annexe 3](#) se basent sur les hypothèses suivantes:



lattes



chevrons et pannes

■ Lattes

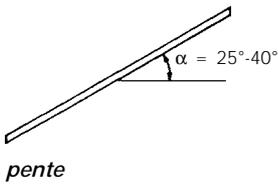
- Membrure sur plusieurs appuis,
- Porte-à-faux maximum (L_c) = 0.30 L

■ Chevrons

- Membrure sur 2 ou 3 appuis
- Porte-à-faux maximum (L_c) = 0.35 L.
- Si plus de 3 d'appuis, la portée réelle (L_{eff}) peut être diminuée de 15% pour obtenir la valeur «L» à entrer dans les tableaux de l'[annexe 3.2](#).

■ Pannes

- Membrure sur 2 ou 3 appuis
- Porte-à-faux maximum (L_c) = 0.4 L.
- Si plus de 3 d'appuis, la portée réelle (L_{eff}) peut être diminuée de 15% pour obtenir la valeur «L» à entrer dans les tableaux de l'[annexe 3.3](#).



Coefficient de sécurité

- On considère que les versants ont une pente comprise entre 25° et 40°.

Les tableaux de l'[annexe 3](#) ont été conçus en appliquant, à la charge de rupture spécifique, un coefficient de sécurité. Ce coefficient tient compte de la variabilité des différents paramètres qui influencent la charge de rupture: densité, taux d'humidité, direction du fil, largeur des cernes, etc.).

Du point de vue coût, il est intéressant d'appliquer un coefficient de sécurité qui réduit peu la charge de rupture spécifique, car alors une section donnée peut reprendre une charge plus importante que si le coefficient de sécurité réduit fort la charge de rupture spécifique.

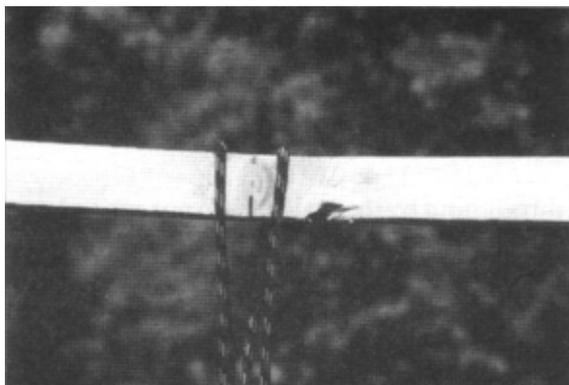
Par contre, du point de vue sécurité, il est intéressant d'appliquer un coefficient de sécurité qui réduit sensiblement la charge de rupture spécifique, car le risque lié à la variabilité des paramètres qui influencent la solidité du bois sont alors mieux couverts.

Les tableaux des [annexes 3.2](#) et [3.3](#) proposent donc deux niveaux de sécurité:

- Lorsqu'il faut privilégier la sécurité, il faut travailler avec les valeurs de section imprimées en caractères gras.
- Lorsque la sécurité ne prime pas (p. ex. étables, hangars, boutiques couvertes, etc.), on peut travailler avec les valeurs de section proposées dans les colonnes de droites en caractères normaux. Ces valeurs tiennent compte d'un coefficient de sécurité moindre. Il est déconseillé de les utiliser pour des toitures de première qualité, de même que pour des habitations.

Avertissement

Le coefficient de sécurité ne couvre pas les faiblesses induites par des fissures et noeuds importants. Ces défauts réduisent considérablement la résistance du bois et les membrures affectées doivent être rejetées. La figure suivante montre que le noeud de la membrure testée a réduit la résistance du bois de 75% (comparer la charge de rupture avec la charge de rupture calculée, comme on l'a vu à l'étape 1 du test, sur un bois sélectionné avec soin).

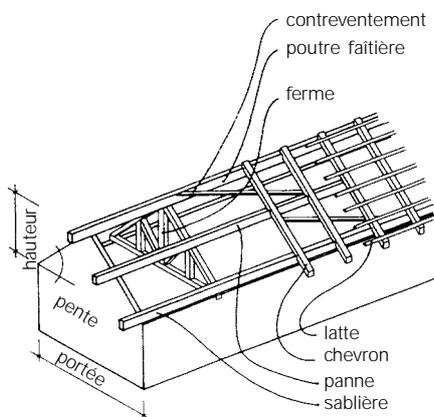


Test d'un sciage défectueux: la résistance atteint seulement 25 % de la charge de rupture spécifique obtenue à partir de 6 essais menés sur des membrures saines.

L'emploi de membrures affectées par de tels défauts est très risqué et peut mettre en danger la vie des travailleurs.

4.3.5 Détails constructifs

Aperçu général



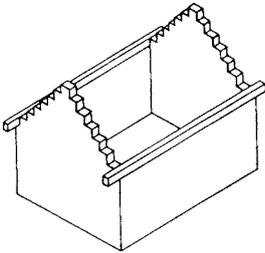
Ce point présente quelques détails habituels de charpentes simples.

- Les sablières. Posées sur les murs, elles y sont ancrées et reçoivent l'extrémité basse des chevrons ou l'entrait des fermes.
- Les pannes faitières. Membrures horizontales portant l'extrémité haute des chevrons.
- Les pannes. Membrures horizontales fournissant des appuis intermédiaires aux chevrons.
- Les chevrons. Membrures inclinées selon la pente du versant.
- Les lattes. Membrures horizontales portant le matériau de couverture.
- Les contreventements. Raidisseurs qui limitent certaines déformations d'une charpente.
- Les fermes. Structures triangulées utilisées pour franchir des portées importantes et fournir des points d'appui intermédiaires aux pannes ou aux chevrons.

D'autres pièces interviennent encore lors de la réalisation d'arêtiers et de noues (voir aussi [point 1.4.2](#))

Les sablières

Fonction

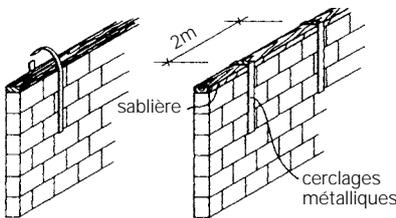


Ces membrures répartissent uniformément, sur le mur, les charges du toit et servent de point d'ancrage aux chevrons ou aux fermes.

Généralement, toute leur longueur repose sur un mur. Eventuellement, elles peuvent franchir de petites portées. Elles sont appelées pannes si elles reposent sur des colonnes et non sur un mur.

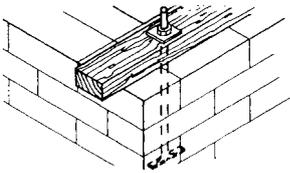
Leur section est choisie de façon à permettre des assemblages corrects avec les chevrons ou les fermes.

Fixation



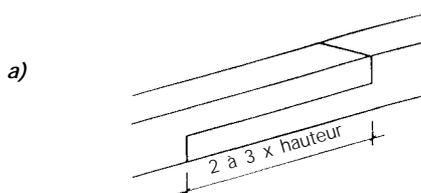
Ces membrures sont ancrées dans les murs pour éviter l'arrachement du toit lorsque des vents violents induisent une dépression.

L'ancrage peut par exemple être réalisé avec des cerclages métalliques, distants de 2 m et profonds de $\gg 60$ cm, comme illustré sur la figure ci-contre.

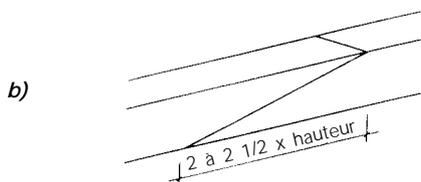


Aboutage

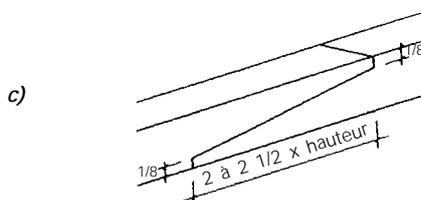
Il existe plusieurs façons d'abouter des sablières.



a) Assemblage à mi-bois



b) Assemblage à enture oblique



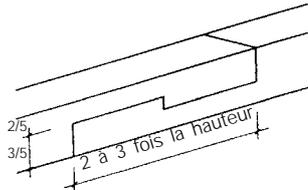
c) Assemblage à enture oblique bloquée

Sablière de chaînage

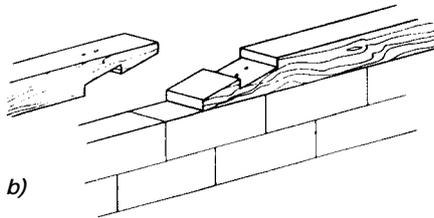
Pour de petites constructions, la sablière peut aussi servir de poutre de chaînage. Les jonctions doivent alors pouvoir reprendre des efforts horizontaux.

Il existe plusieurs solutions.

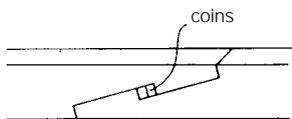
a)



a) Assemblage à mi-bois cranté

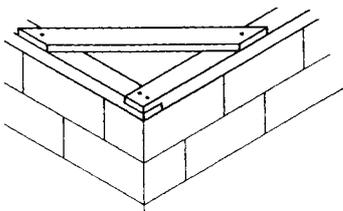


b)



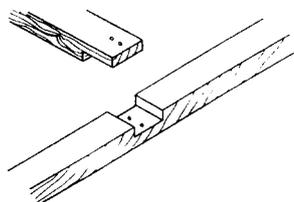
b) Enture à trait de Jupiter avec ou sans clé

c)



Si la sablière est utilisée comme chaînage, elle doit faire le tour de la construction et les joints d'angles doivent être solides (c). Pour les constructions très longues, on pose aussi une sablière sur les murs intérieurs, de façon à relier fermement les sablières des deux murs extérieurs (d).

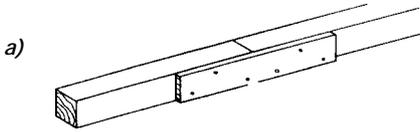
d)



Assemblages à éclisse(s)

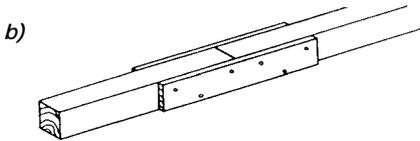
Les jonctions peuvent être renforcées par des éclisses. Celles-ci permettent de transférer aussi des efforts de cisaillement.

a) Eclisse simple

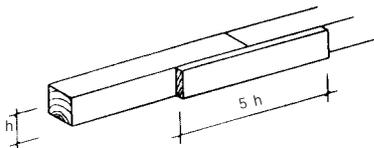


Résistance limitée et répartition inégale des contraintes de cisaillement dans le joint.

b) Assemblage à deux éclisses



Résistance doublée. Aussi utilisé pour allonger d'autres éléments de charpente tels que chevrons et pannes.

Eclisse: règles d'assemblage

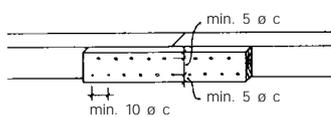
a) La longueur des éclisses doit être supérieure à 5 fois la hauteur des membrures à assembler.



b) Les clous doivent pénétrer jusqu'aux 3/4 de l'épaisseur des membrures à assembler. Leur longueur doit être supérieure à 12 fois leur diamètre.

c) Les clous doivent être répartis en quinconce, uniformément sur toute la surface de l'éclisse.

d) L'écart entre les clous et entre les clous et le bord de l'éclisse dépend du diamètre des clous.



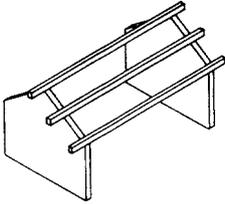
■ dans le sens du fil, l'écart entre les clous doit être supérieur à 10 fois le diamètre du clou,

■ la distance entre le clou et le bord de l'éclisse est de:

- dans le sens du fil, 10 fois le diamètre du clou
- perpendiculairement au fil, 5 fois le diamètre du clou

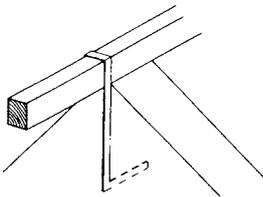
Pannes et pannes faitières

Fonction



Les pannes et pannes faitières constituent, selon le cas, la charpente primaire (pas de fermes) ou la charpente secondaire (si posées sur des fermes). Elles sont posées horizontalement et portent les chevrons (voir aussi [point 4.1](#)).

Fixation



Elles sont posées sur les rampants des pignons extérieurs et parfois intérieurs. Elles sont ancrées à la maçonnerie comme les sablières, ou mieux, à la poutre de chaînage.

Jonction

Une jonction est toujours un point faible. Il est préférable d'utiliser des membrures d'une seule pièce suffisamment longues.

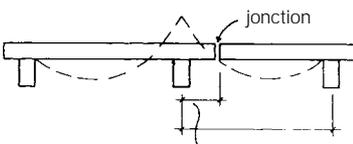
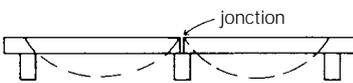
Lorsqu'une jonction est inévitable, il faut la réaliser à un endroit où le moment de flexion est faible.

Règles pour les jonctions



Pas d'endroit favorable à la réalisation d'un assemblage

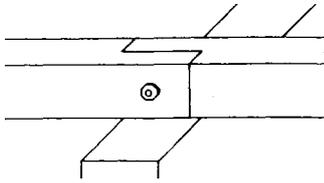
a) Une panne posée sur deux appuis doit toujours être réalisée avec une membrure d'une seule pièce. Ici, les jonctions sont interdites.



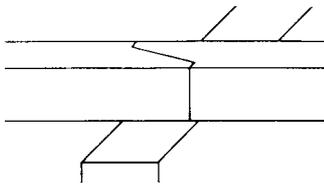
b) Il est autorisé d'assembler plusieurs membrures, pour constituer une panne qui repose sur 3 ou plusieurs appuis. Dans ce cas, la jonction est située soit:

- à l'endroit des points d'appui,
- à l'endroit où le moment de flexion est nul.

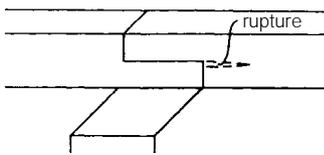
Types d'assemblages



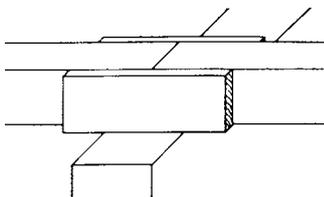
a) Assemblage à mi-bois vertical



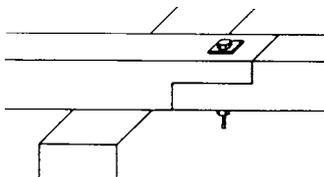
b) Enture oblique bloquée verticale



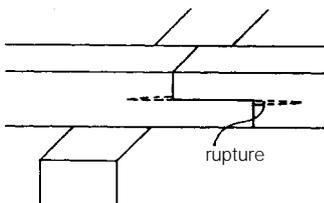
c) Éviter l'assemblage à mi-bois horizontal,



d) Assemblage à éclisses



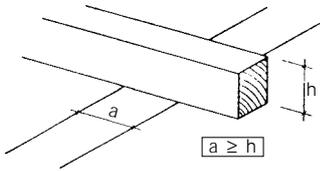
Assemblage à mi-bois correct



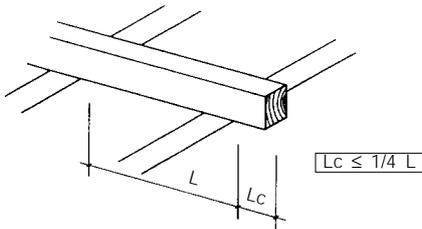
Assemblage à mi-bois incorrect

S'ils sont situés sur un point d'appui, on peut pratiquer un assemblage à mi-bois vertical (a) ou à enture oblique bloquée verticale (b). Il faut éviter les assemblages horizontaux. Si le point d'appui est suffisamment large, on peut aussi pratiquer un assemblage à éclisse (d).

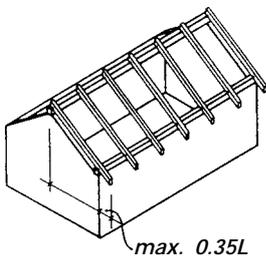
Si l'assemblage se situe à l'endroit où le moment de flexion est faible et non sur le point d'appui, on utilise un assemblage à mi-bois horizontal avec boulon. Les contraintes de cisaillement sont transmises par le boulon.

Surface d'appui

La surface de contact de la panne avec le point d'appui doit être suffisante pour éviter l'écrasement des fibres. Ainsi, on veille à ce que la largeur du point d'appui (a) soit au moins égale à la hauteur de la poutre (b).

Porte-à-faux

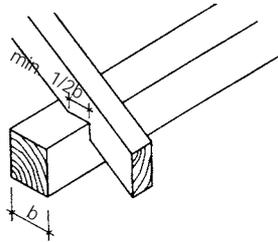
Pour éviter d'induire un moment de flexion trop important au droit de l'appui sur les rampants des pignons extérieurs, le porte-à-faux (L_c) du débordement de toiture ne doit pas dépasser 25 % de la portée normale (L).

Chevrons**Fonction**

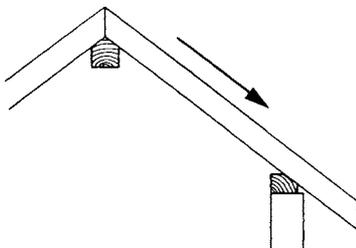
Les chevrons sont posés sur les pannes et portent le lattage. Leur inclinaison fixe la pente du versant.

Porte-à-faux

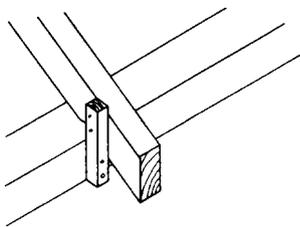
Pour éviter d'induire un moment de flexion trop important au droit de l'appui sur la sablière, le porte-à-faux de l'avant-toit ne doit pas dépasser 35 % de la portée normale (L).

Fixation

Les chevrons sont assemblés à la sablière et aux pannes par un embrèvement à grain d'orge. Correctement exécuté, la largeur de l'embrèvement atteint la moitié de la largeur de son point d'appui.

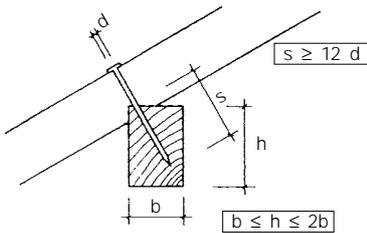
Embrèvement à grain d'orge

Ne pas couper les arêtes des pannes et sablières, ainsi on évite le glissement des chevrons vers le bas.

Ne pas couper les arêtes des pannes

Le vent pouvant induire des efforts tendant à soulever la toiture, il faut attacher solidement les chevrons aux pannes et à la sablière, soit avec des clous, soit avec des tasseaux.

Fixation avec tasseau

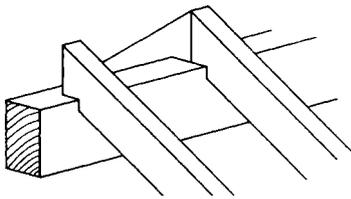


Fixation par clouage

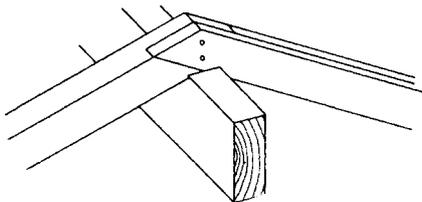
Utiliser des clous suffisamment longs. La profondeur de pénétration des clous dans la panne et la sablière doit atteindre au moins 12 fois le diamètre du clou.

Assemblage

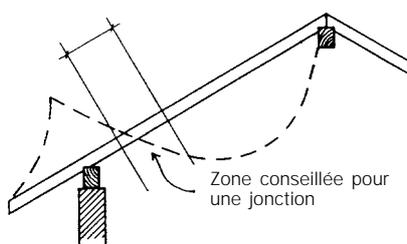
Sur la faitière, les chevrons sont assemblés par une coupe verticale ou par un assemblage à mi-bois.



coupe verticale



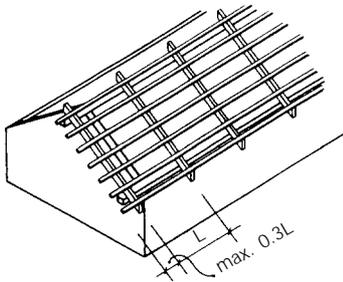
assemblage à mi-bois



Il est préférable d'utiliser des chevrons d'une seule pièce. Lorsque ce n'est pas possible, on réalise la jonction à l'endroit où le moment de flexion est le plus faible (voir croquis ci-contre). Pour ce type de jonction, on recommande d'utiliser des assemblages à éclisses.

Lattes

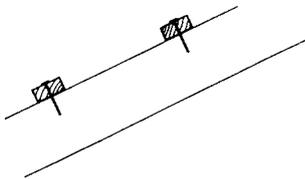
Fonction



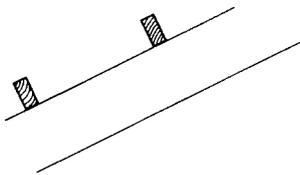
Les lattes constituent le dernier niveau de charpente et portent directement les tuiles. Posées horizontalement, elles sont fixées aux chevrons avec des clous.

L'écart entre les lattes dépend de la dimension des tuiles (voir [chapitre 5](#)).

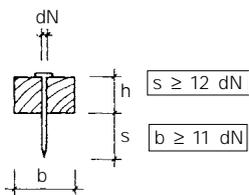
Le débordement par rapport au dernier appui ne doit pas excéder 30 % de la portée entre chevrons.



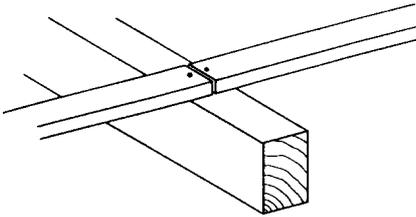
Pratique courante: lattes posées à plat sur les chevrons



Des lattes minces sont difficiles à clouer en position verticale



Utiliser des clous suffisamment longs. La profondeur de pénétration des clous dans le chevron doit atteindre au moins 12 fois le diamètre du clou.



Les assemblages sont exécutés sur des chevrons, par une coupe verticale.

Fermes

La conception des fermes, ainsi que le dimensionnement des membrures, et des noeuds requièrent le savoir faire, le soin et les compétences de professionnels.

4.4 Autres matériaux

4.4.1 Le bambou

Remarques générales

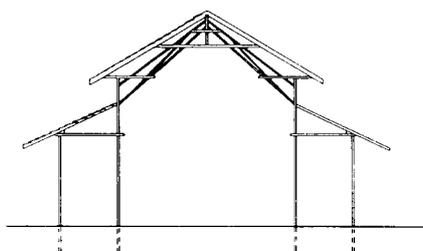
Le bambou, comme le bois, est l'un des plus anciens matériaux de construction. Dans de nombreux pays, il est toujours très utilisé. Le bambou pousse principalement dans les régions tropicales. Certaines espèces rustiques poussent aussi dans les régions subtropicales et tempérées.

Caractéristiques de croissance

- Le bambou est une plante pérenne. On dénombre plus de 1000 espèces, réparties en 50 genres. C'est en Asie du Sud et sur les îles entre le Japon et Java qu'on en trouve le plus grand nombre.
- Le bambou diffère des herbacées par la longue durée de vie de la tige, qui est creuse, par la formation de branches et le développement de tissus ligneux. Comme les arbres à feuilles caduques, le bambou perd ses feuilles et chaque année de nouvelles branches poussent, élevant ainsi la cime.
- Le bambou est la plante dont la croissance est la plus rapide. Il est fait mention de croissance de plus d'un mètre par jour. Les tiges peuvent atteindre leur hauteur finale (les espèces géantes atteignent 35 mètres et plus) en six mois. Il faut cependant compter environ 3 ans, pour que le bambou développe une solidité suffisante qui permette de l'utiliser en construction. En général, il atteint sa pleine maturité après 5 ou 6 ans.

Dans de nombreux pays, le bambou occupe une place de choix parmi les matériaux de construction officiels. Souvent, il est aussi cultivé et utilisé au niveau des petites exploitations agricoles familiales.

Utilisations



Le bambou peut être utilisé sous plusieurs formes dans la construction des toitures.

- tiges entières pour réaliser des ossatures, fermes, poutres, panes et chevrons,
- demi-tiges pour les lattes,
- lamelles de bambou fendu pour tresser des panneaux utilisés par exemple comme plafonds.

Il est difficile d'obtenir une charpente parfaitement plane et uniforme avec du bambou. C'est pourquoi, dans le cas des tuiles TFM/TMV, il convient d'utiliser uniquement les tuiles flamandes, moins sensibles aux irrégularités que les tuiles romanes et les demi-plaques. Ces dernières, de plus grandes dimensions, risquent fort de se briser vu la flexibilité d'une charpente en bambou.

Avantages

- Le bambou est abondant et bon marché dans de nombreuses régions. Il repousse rapidement; son exploitation est donc acceptable pour l'environnement, car elle n'entraîne pas les problèmes liés au déboisement. Pour une surface donnée, le rendement annuel en poids peut atteindre 25 fois celui des forêts où pousse le bois d'oeuvre.
- La manutention pour l'abattage, le traitement, le transport, le stockage et sa mise en œuvre utilisent des méthodes manuelles simples et des outils traditionnels.
- L'utilisation du bambou ne produit pas de déchets. Les feuilles sont utilisées pour réaliser des toits de chaume ou pour nourrir les animaux.
- La surface arrondie et bien lisse ne requiert aucun traitement.
- Sa résistance élevée comparée à son poids en fait un matériau idéal pour la construction d'ossatures et de charpentes, mais le bambou peut aussi être utilisé pour réaliser des éléments non porteurs et de décoration. Une construction en bambou ne s'improvise pas, il faut réunir le savoir-faire spécifique pour la conception et la mise en œuvre.
- Flexibles et légères, les charpentes en bambou résistent bien aux tremblements de terre. En cas d'effondrement, les dégâts sont limités et moins importants que ceux occasionnés par la plupart des autres matériaux utilisés en charpente. Les réparations sont rapides et peu onéreuses.

Problèmes

- En milieu humide, la durabilité naturelle du bambou est relativement faible. Il est rapidement attaqué par les insectes et champignons. Les éclats et les fissures constituent des points faibles qui facilitent leurs attaques. La fréquence de telles blessures dépend du savoir-faire des intervenants de la filière bambou (depuis la récolte jusqu'à la mise en œuvre). La conception architecturale, de même que la conception des détails constructifs, influencent aussi la durabilité (p. ex. éviter les assemblages cloués qui éclatent les tiges).

- Le bambou est très inflammable.
- En construction, ses applications sont limitées par sa faible résistance à la compression et aux chocs.
- La distance irrégulière entre les noeuds proéminents et la forme arrondie de la tige, qui devient légèrement conique en partie supérieure, ne permettent pas de réaliser des surfaces étanches. Ces spécificités font que le bambou ne convient pas pour remplacer le bois dans certaines de ses applications.
- Le travail du bambou use rapidement les outils
- Des traitements de préservation, moins agressifs que certains produits chimiques particulièrement toxiques recommandés par des commerçants et des organismes officiels, ne sont pas assez connus.

Remèdes

- Il convient d'encourager la culture et l'utilisation de certaines espèces de bambous naturellement durables.
- N'utiliser que des tiges matures correctement traitées.
- Ne pas stocker le bambou trop longtemps et éviter tout contact avec le sol.
- Manipulation et mise en œuvre soignée, pour éviter les fissures et ne pas endommager la surface externe, afin de ne pas favoriser les attaques biologiques.
- Bonne ventilation des éléments en bambou. Protection contre l'humidité. Bon accès pour inspection et entretien réguliers afin de remplacer les pièces défectueuses.
- Ignifuger le bambou par application de phosphate d'ammoniaque ou d'acide borique; ce dernier protège aussi des insectes et des champignons.
- Pour éviter que le bambou se fende, forer un avant trou dans le cas d'assemblages par clous ou chevilles. Il est plus recommandé d'utiliser des liens pour les assemblages.
- Le bambou ne convient pas à la confection de pans étanches, à cause des écarts entre les tiges. En revanche, ces écarts permettent une bonne ventilation.

- Ne pas suivre aveuglément les directives en matière de traitement chimiques de préservation. Recueillir l'avis de plusieurs experts. Quel que soit le traitement retenu, il est impératif d'éviter le contact des produits chimiques avec la peau et les yeux. On ne saurait trop insister sur la nécessité de se protéger.

Préservation

Le bambou non traité se détériore dans un délai de 2 à 3 ans. Cette durée de vie peut être multipliée par 4, s'il est récolté et traité de façon adéquate.

a) La récolte

Des tiges matures (5 ou 6 ans) se détériorent moins rapidement que de jeunes tiges.

Les tiges humides sont plus facilement et plus vite attaquées par les insectes et les champignons. Il convient donc de récolter le bambou quand son taux d'humidité est faible, c'est-à-dire à la saison sèche dans les tropiques et en automne ou en hiver dans les régions tempérées.

Une fois les tiges coupées, les stocker pour quelques jours en position verticale, sans que la section tranchée touche la terre. Ne pas couper les branches et les feuilles, qui par évapotranspiration diminuent le taux d'humidité et la teneur en amidon des tiges. Cette méthode, appelée «traitement en bouquet» réduit les risques d'attaque par les coléoptères, mais n'a pas d'effet sur les termites et les champignons.

b) La conception

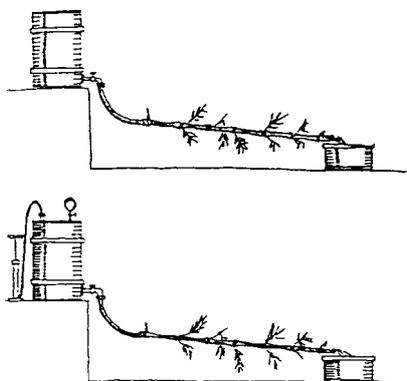
Comme pour le bois (voir [chapitre 4.3.2](#)), il est nécessaire:

- d'éviter l'humidité,
- d'assurer une bonne ventilation,
- d'éviter le contact avec le sol.

c) Traitement chimique

Souvent, l'optimisation de la récolte et de la conception ne suffisent pas pour garantir la longévité du bambou. Les traitements chimiques sont alors inévitables (relire aussi les remarques concernant le traitement du bois au [point 4.3.2](#)).

Le traitement chimique du bambou est plus complexe que celui du bois, car la surface extérieure de la tige est imperméable. Alors que des demi-tiges ou lamelles de bambou peuvent être traitées par immersion, les tiges non fendues requièrent d'autres méthodes.



méthode boucherie avec ou sans pression



trempage et transpiration

- Remplacer la sève par une solution traitante en laissant s'écouler lentement la solution d'une extrémité à l'autre de la tige. Quand la sève s'est écoulée, on peut recueillir l'excès de solution et la réutiliser. La durée de ce processus (appelé méthode boucherie) est de 5 jours, mais elle peut être réduite à quelques heures si la solution est mise sous pression.

- Immerger la partie inférieure de tiges (avec les feuilles) fraîchement coupées, dans une solution traitante. Cette solution remonte dans la tige, suite à l'aspiration induite dans les vaisseaux conducteurs de la tige par la transpiration des feuilles. Cette méthode convient à des tiges relativement courtes, car la solution n'atteindrait pas le sommet de tiges fort longues.

- Immersion complète de tiges vertes, pendant 5 semaines, dans un bac ouvert rempli de solution traitante. On peut réduire le délai en incisant la paroi extérieure des tiges ou en les fendant, de même qu'en alternant immersions froides et immersions chaudes.

4.4.2 Charpentes en bois ronds (voir aussi référence 16)

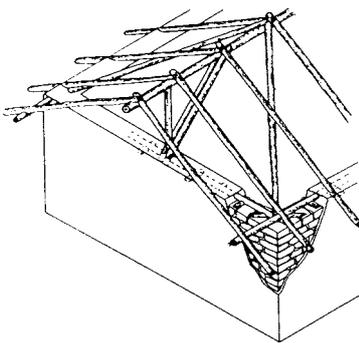
Généralités

Les perches, bois rond non débité, sont utilisées depuis des temps très reculés. Ce sont des matériaux très valables. Les perches proviennent en général de jeunes arbres (5 à 7 ans). Elles sont écorcées, ensuite séchées, puis traitées selon les besoins (voir également [chapitre 4.3.2](#)). Les coûts et déchets relatifs au sciage sont donc éliminés. Une perche de section donnée est plus résistante qu'un sciage avivé de même section. En effet, chez les perches les fibres contournent et recouvrent les défauts (noeuds, blessures, etc.). Chez les sciages, les fibres sont coupées par le trait de scie car le fil pas n'est pas parallèle à l'axe longitudinal du tronc. De ce fait, les perches supportent un effort de traction plus intense sur leur périmètre, et offrent donc une résistance à la flexion et à la compression plus grande que des sciages de même section.

Aujourd'hui, les arbres sont habituellement plantés en rang serré de sorte qu'ils poussent droits, élancés et sans grosse branche latérale. Pour permettre aux arbres de se développer les plantations sont éclaircies régulièrement. Les arbres abattus lors de ces éclaircies sont souvent de taille suffisante pour être utilisés comme perches.

La plupart des espèces courantes se prêtent à la production de perches pouvant être utilisées en charpente. Les espèces de durabilité naturelle insuffisante peuvent être traitées pour les rendre plus durables. Les perches provenant de mangroves, de forêts d'eucalyptus ou d'espèces à croissance rapide, etc. conviennent bien.

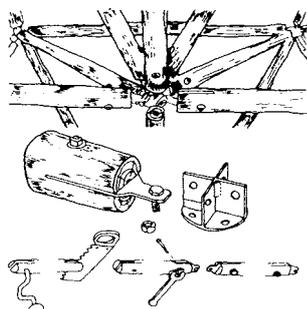
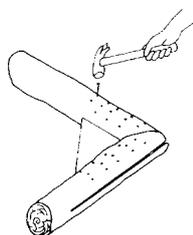
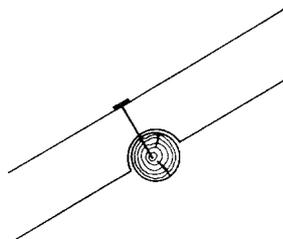
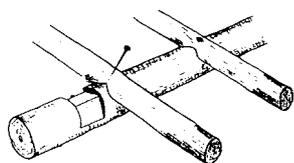
Applications



Les perches permettent de construire de charpentes classiques (pannes, chevrons, faitières, sablières, etc.)

On peut également construire des fermes et des ossatures tridimensionnelles.

Comme les charpentes en bambou, les charpentes en perches ne sont pas parfaitement planes. Dans le cas d'une couverture avec des produits en fibromortier ou en mortier vibré, il est donc préférable d'utiliser des tuiles flamandes et non pas des tuiles romaines ou des demi-plaques.



Les perches peuvent être assemblées de diverses manières.

- Dans le cas de charpentes simples, les membrures peuvent être assemblées avec des clous ou vis, en ayant préalablement pratiqué des encoches à leurs intersections.
- D'autres méthodes d'assemblage utilisent des plaques ou des équerres métalliques, des connecteurs, ou encore des chevilles en bois.
- Les noeuds des fermes sont fréquemment réalisés avec des plaques métalliques. Elles sont soit appliquées sur les jonctions et clouées sur les membrures, soit insérées dans une entaille longitudinale pratiquée aux extrémités des membrures et ensuite également clouées.
- Pour les structures tridimensionnelles, on peut utiliser des raccords spéciaux, composés d'un élément central (plaques soudées), de pattes, de vis, rondelles et contre-écrous.

Avantages

- A même section, une perche est plus solide qu'un sciage avivé.
- Les défauts naturels (noeuds, déviation de fil, etc.) ont moins d'influence sur la résistance.
- La suppression du sciage supprime aussi les coûts et déchets liés à cette opération.
- La conception d'une charpente en perches peut être suffisamment simple pour permettre une réalisation par un personnel non-qualifié.
- L'utilisation comme perches, de jeunes arbres abattus lors d'opérations d'éclaircie, valorise un sous produit de ces plantations. De cette manière, cette technologie respecte l'environnement.

Problèmes

- Les charpentes en perche ne sont pas parfaitement planes. Dès lors, elles ne conviennent pas aux tuiles romaines et demi-plaques issues de la technologie du fibromortier. Les tuiles flamandes moins exigeantes quant à la planéité conviennent mieux.
- Une charpente en bois rond n'a pas le même prestige qu'une charpente en sciages avivés.
- Si les perches proviennent de l'abattage par coupe à blanc dans des forêts jeunes, ceci peut avoir des conséquences négatives sur l'environnement.

Dimensionnement

Pour déterminer la charge de rupture spécifique de perches et dimensionner les membrures d'une charpente en bois rond, veuillez vous reporter au [point 4.3.4](#) et à l'[annexe 3](#).

4.4.3 Charpentes métalliques

Généralités

Le métal est généralement un matériau coûteux et il est souvent importé. La construction métallique requiert des outils et équipements spéciaux. Avant, le métal était exclusivement réservé à des charpentes de grande portée pour couvrir des espaces publics ou des immeubles de prestige.

De nos jours, du fait de la pénurie croissante de bois de bonne qualité, les charpentes métalliques deviennent un substitut concurrentiel.

Les métaux utilisés en construction se classent en deux groupes:

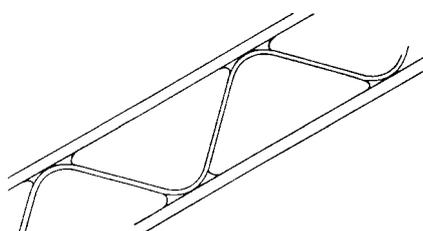
- métaux ferreux: fontes et aciers
- métaux non-ferreux: aluminium (Al), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), plomb (Pb), nickel (Ni), étain (Sn), zinc (Zn).

Pour la construction de charpentes, on utilise principalement de l'acier standard, de l'acier doux et dans certains cas de l'aluminium.

- Tous les aciers sont des alliages de fonte avec du carbone (teneur variant entre 0.05 et 1.5 %), auxquels on ajoute encore du manganèse, du silicium, du chrome, du nickel et d'autres éléments, selon la qualité voulue et l'utilisation prévue.
- L'acier doux a une teneur en carbone comprise entre 0.15 et 0.25 %. C'est le matériau le plus couramment utilisé et le plus polyvalent. Il est résistant, ductile et se prête bien au laminage et au soudage mais ne convient pas au moulage.

- L'aluminium est le troisième élément chimique le plus répandu sur la terre, mais il est difficile de l'isoler des autres éléments auxquels il est combiné. La production d'aluminium est coûteuse et énergivore. C'est le plus léger des métaux usuels, il est solide, résiste à la corrosion, a une bonne conductivité thermique et électrique et reflète bien la chaleur et la lumière. L'aluminium et ses alliages trouvent de nombreuses applications dans la construction, mais son coût élevé et sa disponibilité limitée dans la plupart des pays en développement ne le destinent pas à la construction des charpentes.

Applications



L'acier de construction, l'acier doux et l'aluminium sont disponibles sous forme de tuyaux (ronds, rectangulaires ou carrés), de profils laminés ou tôles épaisses. Ces produits sont soit utilisés comme membrures (colonnes, poutres, poutrelle, chevrons) soit assemblés pour fabriquer des fermes, des portiques, des treillis spatiaux, etc).

On peut combiner une charpente en acier avec des chevrons et lattes en bois.

Les pièces en acier sont assemblées par soudage ou par un système de contre-écrous et de boulons. Les assemblages par rivets ne sont plus utilisés dans la construction de charpentes.

La corrosion est un problème fréquent des charpentes en acier. Une peinture antirouille est donc nécessaire (aussi sur les joints soudés). Les parties exposées à l'humidité requièrent un traitement antirouille périodique.

Une galvanisation correctement exécutée et suffisamment épaisse des éléments en acier constitue une mesure anti-corrosion efficace. La galvanisation est toutefois un traitement coûteux qui peut avoir des effets néfastes sur l'environnement, s'il n'est pas correctement mené.

En pratique, il est difficile de galvaniser des charpentes soudées, car les bassins de galvanisation sont souvent de petites dimensions. La galvanisation peut être appliquée ou retouchée comme une peinture.

Il n'est pas nécessaire de protéger l'aluminium de la corrosion. Le soudage de l'aluminium est un travail difficile qui requiert des équipements spéciaux et du savoir-faire. C'est pourquoi on utilise couramment des assemblages boulonnés.

Avantages

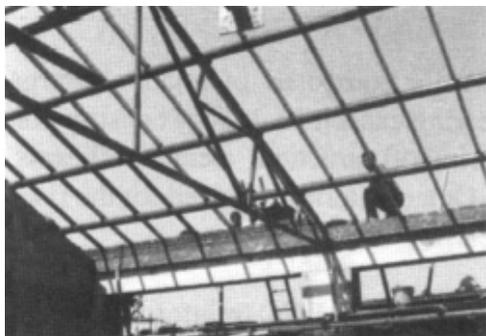
- Les charpentes en acier sont des structures très précises qui constituent un support stable et uniforme, adapté à une couverture en tuiles, plaques ou demi-plaques.
- La plupart des métaux sont résistants, flexibles, imperméables et durables. Ils peuvent être façonnés dans des formes très variées.
- Des charpentes préfabriquées en acier ou en aluminium peuvent être assemblées très rapidement. Solidement assemblées et ancrées, ces charpentes résistent bien aux séismes et aux ouragans.

Problèmes

- Les produits de bonne qualité sont chers et rares. En conséquence, l'offre est pour une bonne part composée de produits de qualité inférieure. Par exemple, on trouve des tôles ondulées extrêmement minces et l'épaisseur de galvanisation des produits est insuffisante.
- A hautes températures, les charpentes en métal perdent leur résistance. En cas d'incendie, bien que non-combustibles, elles s'écroulent plus rapidement que les charpentes en bois. Toutefois, elles n'alimentent pas le feu et ne propagent pas les flammes.
- La plupart des métaux s'oxydent. Les métaux ferreux s'oxydent au contact de l'humidité, de certains sulfates ou des chlorures. L'aluminium s'oxyde en milieu alcalin (éviter tout contact avec le ciment) et le cuivre au contact d'acides minéraux et de l'ammoniac. Certains métaux se corrodent au contact d'écoulements chargés de cuivre. Une corrosion par électrolyse peut aussi se produire quand différents métaux sont mis en contact.
- Certains métaux sont toxiques: empoisonnement au plomb avec des canalisations d'eau en plomb ou des peintures contenant du plomb; émanation de fumées toxiques lors du soudage de certains métaux recouverts ou à base de cuivre, de zinc, de plomb ou de cadmium.

Remèdes

- Pour éviter la corrosion des métaux, il convient de limiter le contact avec des produits qui favorisent leur oxydation et de renouveler régulièrement l'application d'une couche de protection.
- On peut diminuer les coûts en effectuant des modifications de plan qui permettent de combiner des matériaux de substitution moins coûteux que les métaux. On peut, par exemple, réaliser la charpente de base en acier et utiliser des chevrons et lattes en bois.



Charpente de base en tuyaux métalliques combinés avec des chevrons et lattes en bois.

4.4.4 Charpentes en béton

Généralités

Le béton, matériau couramment utilisé partout dans le monde, se prête à de multiples utilisations. Les principaux composants du béton sont le ciment, les agrégats (sable, gravier) et l'eau. Si le mélange est effectué dans de bonnes proportions, on obtient une masse malléable qui peut prendre la forme de n'importe quel moule.

Si l'élément réalisé doit résister à la traction (poutres, dalles, colonnes élancées), le béton est armé avec des barres de fer ou des câbles.

La qualité du béton dépend de plusieurs paramètres.

- La qualité et le dosage du ciment.
- La propreté, la dureté et la granularité des agrégats.
- Le dosage en eau.
- L'homogénéité du mélange.
- Le délai de mise en œuvre.
- La porosité de l'élément réalisé
- Les conditions d'humidité et de température pendant les 14 premiers jours.

Le béton est coulé sur place ou préfabriqué pour des constructions nécessitant des assemblages. Pour augmenter la capacité portante, on peut mettre les armatures en tension avant de couler le béton.

Applications

Généralement, la section des éléments en béton est relativement grande. Ils sont destinés à reprendre des sollicitations importantes. Dans le cas des charpentes, le béton sera donc principalement utilisé pour réaliser le niveau de charpente primaire et/ou secondaire (portiques, poutres), de même que pour le chaînage. Le béton n'est pas utilisé pour les membrures plus fines (lattes, chevrons), pour lesquelles on utilise d'autres matériaux.

- Le béton armé (= BA) est un béton auquel on a incorporé des barres d'acier dans les sections tendues. Ces barres d'acier compensent la médiocre résistance en traction du béton et limitent les fissures dues au retrait du béton. Dalles, poutres, linteaux, colonnes, escaliers, chaînages, fermes et voiles courbes sont autant d'éléments réalisables en BA. Ces éléments sont soit coulés sur place, soit préfabriqués. Le rapport intéressant poids-résistance en traction du métal, combiné au fait que son coefficient de dilatation thermique est pratiquement le même que celui du béton, en font un matériau idéal pour le renforcement du béton. Les barres d'acier à adhérence améliorée (acier TOR) sont préférables aux barres lisses. Elles permettent de réduire la section de métal nécessaire de 30 %
- Le béton précontraint est un BA dont l'armature reçoit une pré-tension avant que l'élément ne soit mis en charge. A même quantité de béton, l'élément est plus solide et se fissure moins. Cette technologie permet de réaliser des constructions plus légères. Elle est utilisée pour les poutres, dalles, fermes, cages d'escalier et autres éléments de grande portée. La précontrainte permet de réduire la quantité d'acier et de béton. Deux techniques existent. La précontrainte par adhérence: on commence par tendre les armatures et le béton est coulé dans un second temps sur les armatures tendues. La post-contrainte par ancrage: on passe des câbles dans des gaines placées dans le coffrage, on coule ensuite le béton et, celui-ci une fois durci, les armatu-

res sont mises en tension et fixées sur des ancrages prévus aux extrémités de la poutre en béton. Les gaines, droites ou courbes, sont injectées avec un coulis à base de ciment après mise sous tension des câbles. Ces procédés industriels requièrent des équipements coûteux et spéciaux (vérins, socles d'ancrage, banc de précontrainte) et les éléments produits ne sont pas adaptés à l'habitat économique.

Avantages

- On peut couler le béton dans des coffrages de forme complexe et atteindre une résistance à la compression élevée.
- Le BA résiste bien à la traction et à la compression. Il se prête à des architectures variées et satisfait à toutes les exigences posées aux charpentes. Il est particulièrement adapté à la préfabrication de cadres, ainsi que pour construire dans des régions sismiques et sur sols instables, etc.
- Un béton de bonne qualité est extrêmement durable, requiert peu d'entretien, résiste à l'humidité et aux produits chimiques, au feu, aux insectes et aux champignons.
- Dans de nombreuses régions, le béton est un matériau bien considéré.

Problèmes

- Ciment, acier et moules sont en général coûteux.
- Les contrôles de qualité ne sont pas faciles à mettre en œuvre sur les chantiers. Si le malaxage, le bétonnage, le compactage, et/ou la cure sont incorrects, il existe des risques de fissuration et de détérioration progressive. Seule une main d'œuvre bien formée et une supervision étroite peut garantir l'efficacité des contrôles de qualité.
- Dans les régions humides et les régions côtières, si l'épaisseur de béton qui recouvre les armatures est insuffisante, ces dernières commencent à rouiller. Ce processus fait éclater le béton et la corrosion s'accélère.
- A partir de 500°C, les armatures en acier ne jouent plus leur rôle de renforcement des sections tendues. En général, après un incendie, les charpentes en béton armé doivent être démolies.
- Il est difficile de démolir le béton et de recycler les débris, sauf éventuellement sous forme d'agrégats pour préparer du nouveau béton.

Remèdes

- Il est permis de réduire la proportion de ciment si le dosage des différents composants est précis, si les agrégats sont bien calibrés, si des tests et contrôles de qualité permettent de suivre régulièrement les performances du béton produit. Lorsque des pouzzolanes sont disponibles et moins chères que le ciment, on peut réduire la proportion de ciment et ajouter des pouzzolanes en compensation.
- Réduire la quantité d'acier, par une conception judicieuse de la charpente, l'utilisation d'armatures à adhérence améliorée ou de câbles pré-tendus à faible teneur en carbone et laminés à froid.

5. CONSTRUCTION DE LA CHARPENTE

Ce chapitre présente les règles de base pour la construction de charpente. Un rapport rédigé suite à un stage qui s'est tenu au Ghana (15) décrit la construction étape par étape d'une toiture en L à quatre pans.

5.1 Sécurité

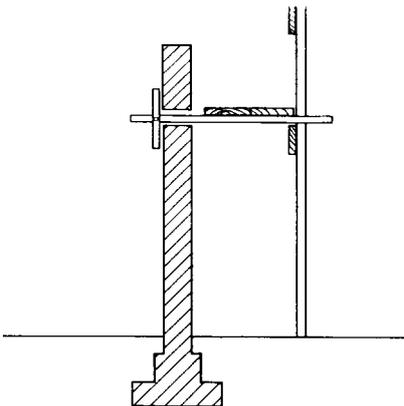
Travailler sur un toit, et plus particulièrement construire une charpente, est un travail dangereux. Les accidents peuvent entraîner de graves conséquences.

Toutes les précautions doivent être prises pour rendre le travail des ouvriers le plus sûr possible. Les points suivants doivent faire l'objet d'une attention particulière.

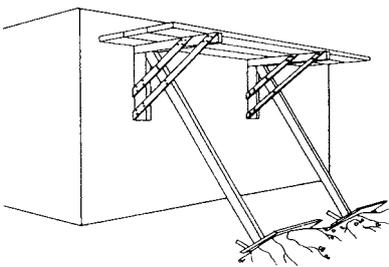
a) Stabilité et fiabilité de l'échafaudage

Un échafaudage stable et fiable permet de construire une charpente dans de bonnes conditions. Le coût d'un équipement démontable est élevé, il faut en prendre soin pour étaler son amortissement sur plusieurs années. Les échafaudages bricolés et improvisés sur place exposent souvent les ouvriers à des risques importants.

Pour la pose des gouttières, planches de rive en pignon et autres travaux à hauteur élevée, il est prudent d'installer un garde-corps sur l'échafaudage.



Echafaudage construit pendant l'élévation des murs



Echafaudage ajouté une fois les murs terminés

b) Sous-charpente

La charpente doit être solide pour supporter les ouvriers ainsi que les matériaux. Les lattes et les chevrons doivent pouvoir supporter le poids d'un homme et le poids de la couverture (voir [point 4.3.4](#) et [l'annexe 3](#)).

c) Sécurité d'accès

Les échelles, escaliers, etc. doivent être assez solides et appuyées sur des surfaces stables et non glissantes. Il est recommandé de fixer les échelles avec des cordes.

d) Vêtements

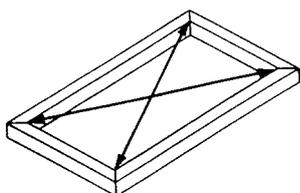
Les ouvriers doivent porter de bonnes chaussures non glissantes. Le port du casque est recommandé pour se protéger de la chute éventuelle de matériaux ou d'équipement, et ceci, surtout pour les ouvriers qui travaillent sous la charpente en construction.

e) Aptitude physique

Seuls des ouvriers en bonne santé (physique et mentale) sont habilités à travailler sur un toit. Les personnes malades, faibles, pas en forme ou saoules, ainsi que les enfants et les personnes âgées ne doivent pas être envoyées sur un toit.

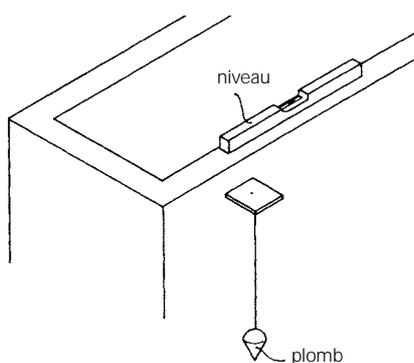
5.2 Préparation des murs

Il y a lieu de repérer l'emplacement des points d'appui des membrures de la charpente et de réaliser leur mise à niveau éventuelle. Ce travail préparatoire rend la pose des membrures plus facile et aussi plus rapide.

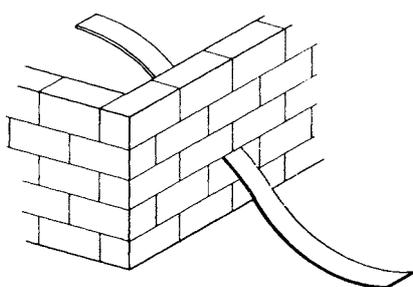


Des diagonales égales attestent que les 4 murs sont perpendiculaires entre eux

Normalement, les murs devraient être perpendiculaires entre eux. Cela peut être vérifié en mesurant la longueur des deux diagonales. Si elles sont égales, les murs sont bien perpendiculaires entre eux. Si la différence entre les deux mesures est importante, cela complique la réalisation de la charpente.



Le niveau des points d'appui de la charpente peut être vérifié à l'aide d'un théodolite, d'un niveau à bulle ou d'un tube transparent rempli d'eau. Le fil à plomb ou le niveau à bulle permettent de vérifier la verticalité des murs.



Pour éviter que le vent soulève la toiture, la charpente doit être ancrée aux murs. Des cerclages en acier (fer à béton, bande d'acier, etc.) sont utilisés à cet effet. La profondeur d'ancrage doit être suffisante pour garantir l'efficacité de la mesure (minimum 60 cm). On peut aussi réserver des emplacements dans la maçonnerie permettant de fixer des pièces de bois à l'aide de quincaillerie.

5.3 Pose des éléments de charpente

5.3.1 Etape 1

Pose des fermes et du contreventement

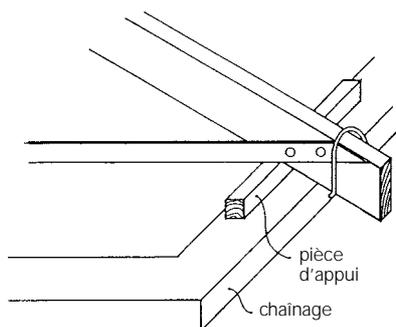
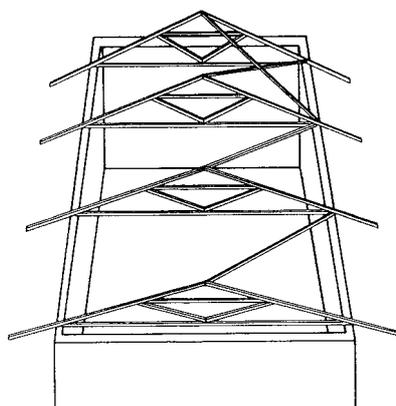
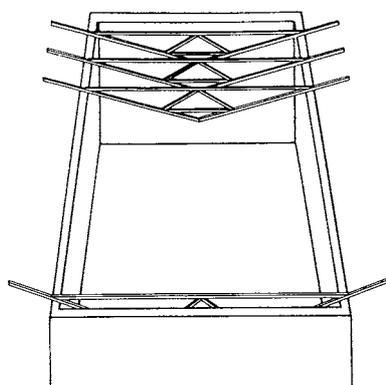
Les fermes sont assemblées en atelier ou sur place. Le sol doit être parfaitement plat. Un gabarit permet de vérifier la précision et de l'uniformité des fermes.

Si les fermes ne sont pas posées immédiatement après leur fabrication, elles doivent être entreposées à l'ombre et au sec.

Les fermes sont montées sur le chaînage ou la sablière et réparties, tête en bas, sur toute la longueur de la construction. Ensuite, elles sont retournées et maintenues en position avec un contreventement provisoire.

Les fermes sont alors mises en position sur les appuis. Des coins ou des épaisseurs sont utilisés pour ajuster leur niveau. Pour les aligner, on utilise des ficelles et un niveau à bulle ou un théodolite. Elles sont ensuite fixées aux tiges d'ancrage et la pose du contreventement définitif termine l'opération.

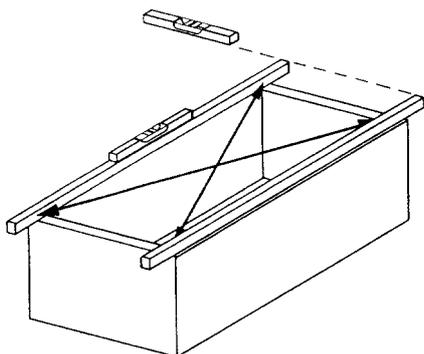
Si les fermes posent sur un appui en béton, un feutre intercalé entre le béton et l'entrait empêche l'humidité du mur de migrer dans le bois.



5.3.2 Etape 2

Pose des sablières (Voir également [point 4.3.5](#))

Pour obtenir 2 larmiers horizontaux et parallèles au mur, les sablières doivent être de niveau et parallèles entre elles. Un larmier incliné donne l'impression que toute la toiture est inclinée ou que le bâtiment n'est pas droit. Le théodolite ou le niveau à bulle permettent de vérifier l'horizontalité des sablières, tandis que la mesure des diagonales permettent de vérifier leur parallélisme.

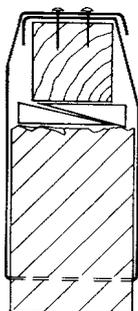


Sablières de niveau et parallèles entre elles

Bien que les murs devraient être de niveau et perpendiculaires, il est prudent de contrôler la géométrie du plan de pose de la charpente.

Si les murs ne sont pas horizontaux, le niveau des sablières est ajusté avec des cales. Le vide entre le mur et la sablière est ensuite bouché avec du mortier.

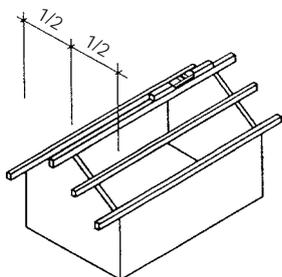
Quand les sablières sont bien positionnées, elles sont fixées aux ancrages.



Pose de la sablière sur des cales de réglage du niveau et ancrage au mur

5.3.3 Etape 3

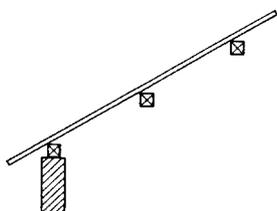
Pose de la panne faîtière et des pannes (voir aussi [point 4.3.5](#))



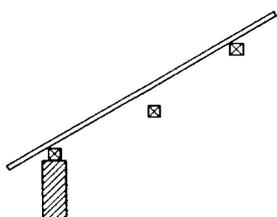
La panne faîtière doit être horizontale, parfaitement centrée sur les pignons et parallèle aux sablières. La hauteur de la panne faîtière est déterminée par la pente et la longueur du rampant. Les tableaux de l'annexe 1 permettent de calculer la hauteur de la panne faîtière, par rapport aux sablières.

Ensuite on détermine l'emplacement des pannes sur les rampants, et une ficelle tendue entre la panne faîtière et une des sablières permet d'ajuster leur niveau.

Une fois que la panne faîtière et les pannes sont correctement positionnées, on les fixe aux rampants extérieurs et intérieurs.



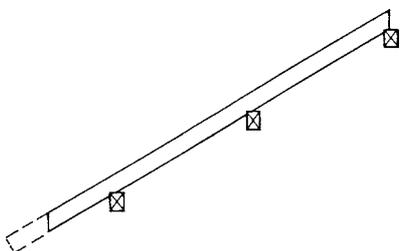
*Pannes correctement alignées sur
sablère et la panne faîtière*



*La panne du milieu est mal
positionnée*

5.3.4 Etape 4

Pose des chevrons (voir aussi [point 4.3.5](#))



L'extrémité libre du chevron est sciée une fois la dernière latte posée.

Les chevrons sont cloués sur la sablière, les pannes intermédiaires et la panne faitière, après avoir préparé des entures à grain d'orge. On peut aussi utiliser des tasseaux. La longueur des chevrons est légèrement supérieure à celle prévue par le plan. Ils sont sciés à bonne longueur après pose du lattage.

5.3.5 Etape 5

Pose des lattes (voir aussi [point 4.3.5](#))

L'écart entre les lattes dépend de la portée utile du matériau de couverture.

Le numéro 25 de la série «Outil Pédagogique» intitulé «La couverture» traite en détail de la pose des lattes pour tuiles TFM/TMV [8]

6. L'ENTRETIEN

6.1 La notion d'entretien

Comme toutes les autres parties d'une construction, la charpente et la couverture d'un toit vieillissent. Un entretien régulier et la réparation immédiate des éventuels accidents, prolongent considérablement leur durée de vie et évitent des dégradations importantes. Une telle discipline ne conserve pas seulement la valeur du bâtiment, elle permet aussi de réduire le coût de l'entretien.

Il est donc préférable de planifier les opérations d'entretien et de promouvoir la notion d'entretien.

Quelques commentaires

■ Responsabilité

Il faut clairement désigner les personnes responsables du contrôle, de l'organisation et de l'exécution des travaux de réparation.

■ Calendrier

Le contrôle de la charpente et de la couverture doit être une opération routinière, programmée selon un calendrier précis. Une inspection annuelle est un minimum. Il faut en plus contrôler la couverture après chaque orage et réagir immédiatement en cas de fuites.

■ Stockage des matériaux

Tenir prêts les matériaux de base pour effectuer de petites réparations (tuiles, fil de fer, clous et petit outillage)

■ Allocation financière

Quand bien même les coûts d'entretien d'une toiture correctement construite sont minimes, des difficultés peuvent survenir si un budget entretien n'a pas été prévu. Dès lors, dans le budget d'entretien annuel du bâtiment, un petit poste doit être prévu pour les éventuelles réparations de la toiture. Une inspection régulière, et une intervention rapide en cas de problème, évitent d'importants dégâts touchant la charpente et/ou l'intérieur du bâtiment.

6.2 Entretien de la charpente

Pour l'entretien des tuiles, consulter le numéro 25 de la série «Outil Pédagogique» intitulé «La couverture».

Bien qu'en général une charpente ne requière pas d'entretien important, il est conseillé d'effectuer un contrôle annuel. Les éléments en métal peuvent rouiller et nécessiter une couche de peinture. Les éléments en bois peuvent être attaqués par des termites ou d'autres insectes, ils nécessitent alors un traitement chimique. Passer en revue les différents produits disponibles, et retenir le moins toxique pour l'homme, ceci en particulier pour les toitures de logements ou d'entrepôts d'aliments.

L'humidité favorise l'attaque des insectes. Il faut donc interrompre les remontées d'humidité par la maçonnerie, éviter les éclaboussures et réparer immédiatement les fuites.

Champignons

La présence de champignons est liée à l'humidité. Il faut d'abord éliminer la source d'humidité et ensuite appliquer un traitement chimique.

Dégâts touchant la charpente

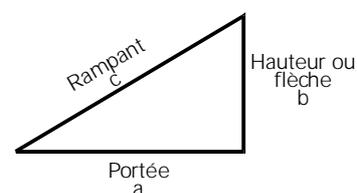
Des membrures peuvent se rompre sous l'effet de charges imprévues, de catastrophes naturelles ou d'une mauvaise conception. Ces membrures sont soit remplacées, soit réparées avec des éclisses.

ANNEXES

1. *Facteurs de conversion*
2. *Espèces de bois couramment utilisées en charpente*
3. *Tableaux de dimensionnement des charpentes*
 - 3.1 *Dimensionnement des lattes*
 - 3.2 *Dimensionnement des chevrons*
 - 3.3 *Dimensionnement des pannes*
4. *Lectures complémentaires et bibliographie*

Annexe 1

Facteurs de conversion



<i>Pente (degrés)</i>	<i>Pente (%)</i>	<i>Rapport Hauteur du pignon : portée b : a</i>	<i>Rapport rampant : portée a : c</i>
22°	40.4%	1 : 2.47	1 : 1.079
24°	44.5%	1 : 2.25	1 : 1.095
26°	48.8%	1 : 2.05	1 : 1.113
28°	53.2%	1 : 1.88	1 : 1.133
30°	57.7%	1 : 1.73	1 : 1.154
32°	62.5%	1 : 1.60	1 : 1.179
34°	67.5%	1 : 1.48	1 : 1.206
36°	72.6%	1 : 1.38	1 : 1.236

Exemple

une pente de 30° correspond à:

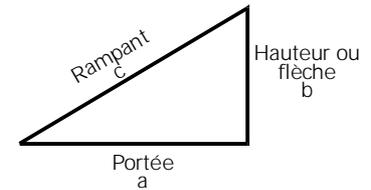
- une pente de 57,7 %
- une portée qui vaut 1,73 fois la hauteur du pignon
- une longueur de rampant qui vaut 1,154 fois la portée

ou

une pente de 30° et une portée de 5m correspondent à:

- une hauteur de pignon qui vaut $5\text{m} \div 1,73 = 2,899\text{m}$
- une longueur de rampant qui vaut $5\text{m} \times 1,154 = 5,77\text{m}$

Facteurs de conversion



<i>Pente (degrés)</i>	<i>Pente (%)</i>	<i>Rapport Hauteur du pignon : portée b : a</i>	<i>Rapport rampant : portée a : c</i>
21.8°	40%	1 : 2.50	1 : 1.08
24.2°	45%	1 : 2.22	1 : 1.10
26.6°	50%	1 : 2.00	1 : 1.12
28.8°	55%	1 : 1.82	1 : 1.14
31.0°	60%	1 : 1.67	1 : 1.17
33.0°	65%	1 : 1.54	1 : 1.19
35.0°	70%	1 : 1.43	1 : 1.22
36.9°	75%	1 : 1.33	1 : 1.25

Exemple

une pente de 60% correspond à:

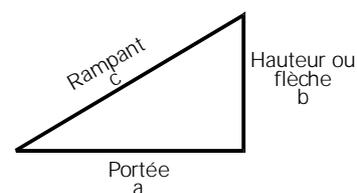
- une pente de 31,0°
- une portée qui vaut 1,67 fois la hauteur du pignon
- une longueur de rampant qui vaut 1,17 fois la portée

ou

une pente de 60% et une portée de 5m correspondent à:

- une hauteur de pignon qui vaut $5\text{m} \div 1,67 = 2,99\text{m}$
- une longueur de rampant qui vaut $5\text{m} \times 1,17 = 5,85\text{m}$

Facteurs de conversion



<i>Pente (degrés)</i>	<i>Pente (%)</i>	<i>Rapport Hauteur du pignon : portée b : a</i>	<i>Rapport rampant : portée a : c</i>
21.8°	40.0%	1 : 2.5	1 : 1.08
26.6°	50.0%	1 : 2.0	1 : 1.12
33.7°	66.7%	1 : 1.5	1 : 1.20

Exemple

une pente exprimée selon un rapport 1 : 2 (hauteur du pignon : portée) correspond à:

- une pente de 26,6° ou de 50%
- une portée qui vaut 2,0 fois la hauteur du pignon
- une longueur de rampant qui vaut 1,12 fois la portée

ou

une pente exprimée selon un rapport 1 : 2 et une portée de 5m correspondent à:

- une hauteur de pignon qui vaut $5\text{m} \div 2,0 = 2,5\text{m}$
- une longueur de rampant qui vaut $5\text{m} \times 1,12 = 5,6\text{m}$

Annexe 2

Espèces de bois couramment utilisées en charpente

(tiré de [28] Jürgen Sell: «Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten», Baufachverlag, LIGNUM

a) Conifères

Nom (français/ anglais/allemand/ local)	Nom botanique	Origine	Utilisations	Résistance en flexion (rupture) N/mm ²	Catégorie selon test de résistance (point 4.3.4)	Résistance aux champignons	Résistance aux insectes	Aptitude à l'imprégnation
Epicéa Spruce Fichte	Picea abies	Europe	Pièces moy. Sollicitées Usages industr. Usages intér. et extér. (si traité)	65 - 77	C	faible	faible	faible si bois sec
Mélèze d'Europe Europ. Larch Europ. Lärche	Larix decidua	Europe centrale Japon	Pièces fort Sollicitées Meubles Usages intér. et extér.	88 - 99	C	moyenne à faible	moyenne à élevée	aubier: bonne duramen: dif.
Oregon Douglas fir Douglasie Oregon pine	Pseudotsuga menziesii	Ouest Canada Ouest U.S.A.	pièces moy. sollicitées Constr. bateau Usages intér. Usages extér. si trait	68	C	moyenne	moyenne	aubier: moy. duramen: dif.
Pin des landes Maritime pine Seekiefer Pin	Pinus pinaster	Europe du sud et centrale	Pièces moy. Sollicitées Meubles Usages industr. Usages intér. Usages extér. si traité	80 - 105	C	faible	faible	aubier: bonne duramen: dif.
Pin sylvestre Scots pine Kiefer	Pinus sylvestris	Europe du nord et de l'ouest Asie	Pièces moy. Sollicitées Meubles Usages industr. Usages intér. Usages extér. si traité	79 - 100	C	moyenne à faible	faible	moyenne
Sapin Fir Tanne	Abies alba	Europe du sud et centrale	Pièces moy. Sollicitées Usages industr. Usages intér. et extér. (si traité)	62 - 74	C	faible	faible	variable, généralement moyenne
Southern pine ou Yellow pine	Pinus palustris	Sud-est et sud U.S.A. Amérique Centrale	Duramen pour pièces fort Sollicitées, usages intér. et extér. (si traité) Aubier pour pièces moy. Sollicitées, usages intérieur	74 - 105	C	aubier: faible duramen: moy.	faible	aubier: bonne duramen: dif.

b) Feuillus

Nom (français/ anglais/allemand/ local)	Nom botanique	Origine	Utilisations	Résistance en flexion (rupture) N/mm ²	Catégorie selon test de résistance (point 4.3.4)	Résistance aux champignons	Résistance aux insectes	Aptitude à l'imprégnation
Afara Limba	Terminalia superba	Afrique de l'ouest	Pièces moy. Sollicitées Usages intér.	75 - 100	C	faible	faible	variable
Afrormosia	Pericopsis	Afrique trop. Côte d'Ivoire Zaire	Pièces moy. à fort Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	118 - 140	B	très élevée	élevée, en général aussi avec termites	
Azobé Ekki Azobé ou Bongossi	Lophira alata	Afrique de l'ouest	Pièces fort Sollicitées Usages intér. et extér.	165 - 240	A	élevée	très élevée, aussi contre les termites	impossible
Balau Balau ou Bangkirai Balau ou Selangau batu	shoera spp.	Asie du sud-est	Pièces fort Sollicitées Usages intér. et extér.	132 - 146	A	élevée à très élevée	élevée	difficile
Bété Mansonia Mansonia	Mansonia altissima	Afrique de l'ouest	Pièces fort Sollicitées Meubles Usages intér. et extér.	120 - 130	B	élevée	élevée	difficile
Bilinga Opépé Bilinga Kusia ou badi	Nuclea diderichii	Centre et ouest de l'Afrique	Pièces moy. à fort Sollicitées Usages intér. et extér.	105 - 120	B	très élevée	élevée, en général aussi face aux termites	aubier: facile duramen: dif.
Bouleau d'Europe Europ. Birch Birke	Betula verrucosa	Europe Nord de l'Asie	Pièces fort Sollicitées Meubles	120 - 144	B	très faible	faible	bonne
Carapa rouge Andiroba ou crabwood Krappa Cedro macho	Carapa guianensis; C. surinamensis	Amérique tropicale	Pièces fort Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	98 - 108	C	moyenne à faible	moyenne	
Châtaignier Chestnut Edelkastanie	Castanea sativa	Sud et centre de l'Europe	Pièces moy. Sollicitées Meubles Usages intér. et extér.	63 - 79	C	élevée à très élevée	élevée à très élevée	aubier: moy. duramen: dif.

Nom (français/ anglais/allemand/ local)	Nom botanique	Origine	Utilisations	Résistance en flexion (rupture) N/mm ²	Catégorie selon test de résistance (point 4.3.4)	Résistance aux champignons	Résistance aux insectes	Aptitude à l'imprégnation
Chêne d'Amérique American red oak Amerikan. Roteiche	Quercus robur, Ou. petraea	Centre et nord-est des U.S.A. Sud-est du Canada	Pièces fort Sollicitées Meubles Constr. bateaux Usages intér. et extér. (si traité)	98 - 110	C	faible	faible	facile
Chêne d'Europe European oak Europäische Eiche	Quercus robur, Ou. petraea	Europe	Pièces fort Sollicitées Meubles Constr. bateaux Usages intér. et extér.	86 - 108	C	élevée	élevée	aubier: facile duramen: dif.
Chinfuta Iolagbola Kitola	Oxygigma Oxyphyllum	Afrique centrale et de l'ouest	Pièces moy. Sollicitées Usages intér. et extér.	85 - 115	C	faible duramen: élevée	faible duramen: élevée	
Dabéma Dahoma Dabemba	Piptadeniastrum africanum	Afrique centrale et de l'ouest	Pièces moy. à fort Sollicitées Meubles Usages intér. et extér.	104 - 110	B	élevée	élevée à très élevée	
Dibétou African walnut Dibétou ou Dibolo	Lovoa brownii, L. trichilioides	Afrique centrale et de l'ouest	Pièces moy. Sollicitées Meubles Constr. bateaux Usages intér. et extér.	69 - 100	C	moyenne	faible à moyenne	impossible
Doussié Afzélia Afzélia ou Lingue	Afzélia pachyloba, A. bipindensis, A. africana	Afrique tropi.	Pièces fort Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	110 - 150	B	très élevée	très élevée, en général aussi avec termites	
Framiré Idigbo Framiré	Terminalia ivorensis	Afrique de l'ouest et tropicale	Pièces moy. Sollicitées Usages intér.	76 - 95	C	moyenne	moyenne	aubier: bonne duramen: moy.
Frêne Ash Esche	Fraxinus excelsior	Europe de l'ouest Asie	Pièces fort Sollicitées Meubles Usages intér.	100 - 127	B	faible	faible	moyenne
Greenheart	Ocotea rodici	Amérique du nord et du sud Guyane	Pièces très fort. Sollicitées Usages intér. et extér.	180 - 215	A	très élevée	élevée	

Nom (français/ anglais/allemand/ local)	Nom botanique	Origine	Utilisations	Résistance en flexion (rupture) N/mm ²	Catégorie selon test de résistance (point 4.3.4)	Résistance aux champignons	Résistance aux insectes	Aptitude à l'imprégnation
Hêtre Beech Buche	<i>Fagus sylvatica</i>	Europe	Pièces moy. à fort Sollicitées Usages industr. Usages intér.	90 - 125	C	très faible	faible	très bonne
Hickory Carya Tomenteux	<i>Carya glabra</i> , <i>C. ovata</i>	Nord-est Amérique	Pièces fort Sollicitées Outils Usages intér. et extér.	115 - 139	B	faible	faible	moyenne à difficile
Iroko Kambala ou mvule	<i>Chlorophora excelsa</i> , <i>C. regia</i>	Afrique trop.	Pièces fort Sollicitées Usages intér. et extér.	90 - 120	C	très élevée	élevée	aubier: moy. duramen: impossible
Kérouing ou Yang Apitong ou dau ou eng ou gurjun	<i>Dipterocapus alatus</i> , <i>D. grandiflorus</i>	Asie tropicale	Pièces fort Sollicitées Usages intér.	110 - 160	B	moyenne	moyenne	
Kosipo Omu	<i>Entandrophragma candollei</i>	Afrique de l'ouest	Pièces moy. à fort Sollicitées Meubles Constr. bateaux Usages intér. et extér.	88 - 105	C	moyenne	moyenne	
Kotibé Danta Kotibé Mutsanya	<i>Nesogordo- nia papaverifera</i>	Afrique de l'ouest	Pièces moy. à fort Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	125 - 145	A	moyenne à élevée	élevée	
Lauan (Red) tanguile ou mayapis ou tiaong ou «Méraniti» de Malaysia ou «Méraniti» de Kilimantan	<i>Shorea spp.</i> , e.g. <i>Shorea negrosensis</i>	Philippines	Pièces faiblement à fort Sollicitées Meubles Constr. bateaux Usages intér. et extér.	80 - 100	C	moyenne à élevée	moyenne, ne résiste pas aux termites	difficile
Lauan (White) Almon ou «Méraniti» de Malaysia ou «Méraniti» de Kilimantan	Shorea spp. , parashorea spp. , pentacme	Philippines	Pièces faiblement à fort Sollicitées Meubles Constr. bateaux Usages intér. et extér.	71 - 100	très variable (c)	moyenne à élevée	moyenne, ne résiste pas aux termites	difficile

Nom (français/ anglais/allemand/ local)	Nom botanique	Origine	Utilisations	Résistance en flexion (rupture) N/mm ²	Catégorie selon test de résistance (point 4.3.4)	Résistance aux champignons	Résistance aux insectes	Aptitude à l'imprégnation
Longhi aningre ou akatio	Gambeya albidia, G. subnudum	Afrique de l'ouest	Pièces moy. à fort Sollicitées Meubles Usages intér.	94 - 104	C	souvent faible	souvent faible	
Makoré ou Douka Baku	Tieghemella heckelii	Afrique de l'ouest	Pièces fort Sollicitées Meubles Usages intér. et extér.	95 - 115	C	très élevée	très élevée	difficile
Méranti (Dark red) ou seraya	Shorea pauciflora	Sud-est asiatique	Pièces faiblement à fort Sollicitées Meubles Constr. bateaux Usages intér. et extér.	90 - 126	très variable (c)	moyenne à élevée	moyenne à élevée	impossible
Méranti (Light red) ou seraya	Shorea leprosula, S. negrosensis, etc.	Sud-est asiatique	Pièces faiblement à fort Sollicitées Meubles Constr. bateaux Usages intér. et extér.	78 - 108	très variable (c)	faible à moyenne	moyenne	difficile
Merbau Ipil ou kwila ou hintzy	Intsia bijuga	Sud-est asiatique, Madagas-car, Pa- pouasie Nouvelle Guinée	Pièces fort Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	105 - 142	B	très élevée	élevée à très élevée	
Missanda Mumara ou tali	Erythrophleum guineense	Afrique trop.	Pièces fort Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	120 - 140	B	élevée	élevée	
Movingui Ayan ou Movingui Movingui	Distemonanthus benthamianus	Afrique de l'ouest	Pièces fort Sollicitées Usages intér.	103 - 125	B	moyenne à élevée	moyenne à élevée	difficile
Niangon nyamkorn ou wishmore	Tarrietia utilis	Afrique de l'ouest	Pièces moy. Sollicitées Usages intér. et extér.	90 - 110	C	moyenne à élevée	moyenne	difficile
Paldo Dao	Dracontomelum dao	Malaisie, Philippi- nes	Pièces moy. Sollicitées Meubles Usages intér. et extér.	environ 100	C	faible	faible	

Nom (français/ anglais/allemand/ local)	Nom botanique	Origine	Utilisations	Résistance en flexion (rupture) N/mm ²	Catégorie selon test de résistance (point 4.3.4)	Résistance aux champignons	Résistance aux insectes	Apptitude à l'imprégnation
Panga-panga Wengé	Milletia laurentii	Afrique centrale (Zaire, Came-roun)	Pièces fort. Sollicitées Meubles Usages intér. et extér.	125 - 165	A	élevée à très élevée	élevée	difficile
Ramin Melawis	Gonystylus bancanus	Asie du sud-est, Malaisie	Pièces moy. à fort. Sollicitées Usages intér.	110 - 134	B	faible	faible	facile
Robinier/ faux acacia Robinia Black/ yellow locust	Robinia pseudoacacia	Sud-est de l'Amé- rique du Nord	Pièces fort. Sollicitées Usages intér. et extér.	118 - 145	B	très élevée	élevée	difficile
Sapelli Sapele Aboudikro	Entandrophragma cylindricum	Afrique trop.	Pièces moy. Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	85 - 135	C	moyenne	moyenne à élevée	aubier: moy. duramen: dif.
Sipo Utile Assié	Entandrophragma utile	Afrique trop.	Pièces moy. Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	90 - 104	C	élevée	élevée	impossible
Sterculia (jaune) Okoko ou Eyong	Sterculia oblonga	Afrique de l'ouest	Pièces moy. à fort. Sollicitées Usages intér.	100 - 123	B	faible	faible	aubier: bonne duramen: impossible
Teck Teak	Tectona grandis	Asie du sud et régions trop.	Pièces moy. Sollicitées Constr. bateaux Usages intér. et extér.	85 - 110	C	très élevée	très élevée	pas néces- saire
Tola Agba Tola	Gossweilerodendron balsamiferum	Afrique de l'ouest et centrale	Pièces moy. Sollicitées	63 - 85	C	très élevée	moy. à élevée, mais limitée avec termîtes	aubier: bonne duramen: dif.

Annexe 3.1

Dimensionnement du lattage

Les dimensions sont données en mm.

Les appellations «Catégories A, B, C» se réfèrent à la classification opérée selon la méthode exposée au point 4.3.4. Cette méthode a été conçue en collaboration avec LIGNUM, Zürich, et P. Häsler, Bubikon de Suisse

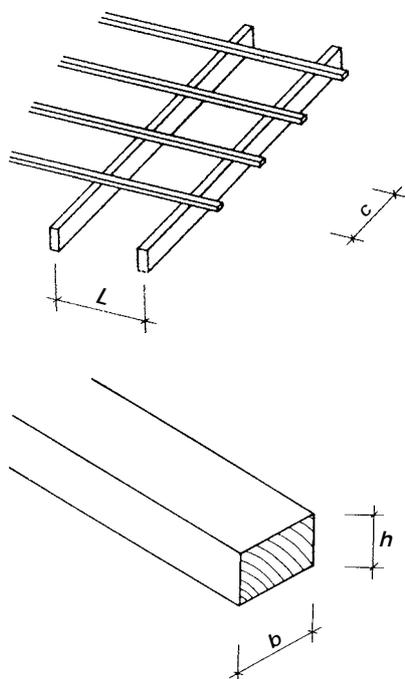
Exemple

Portée L: 0,8 m

Ecartement c: 0,4 m

Catégorie: B

Dimensions proposées: 20 x 52 mm ou 25 x 33 mm



Charges

charge permanente: 0,4 kN/m²

+ charge variable: 0,8 kN (charge ponctuelle)

		<i>Catégories</i>					
L (m)	c (m)	A		B		C	
		h	b	h	b	h	b
0.6	0.4	20	31	20	38	25	41
				25	24		
0.6	0.5	20	31	20	39	30	29
		25	25	25	41		
0.8	0.4	20	42	20	52	25	55
		25	27	25	33		
0.8	0.5	20	43	20	53	25	56
		25	27	25	34		
1	0.4	25	34	25	42	30	49
				30	29		
1	0.5	25	35	25	43	30	50
				30	30		
1.3	0.4	25	45	25	56	30	39
				30	32		
1.3	0.5	25	47	30	40	35	49
		30	33				
1.6	0.4	25	57	30	49	35	61
		30	40	35	36		
1.6	0.5	25	59	30	51	35	63
		30	41	35	38		

Annexe 3.2

Dimensionnement des chevrons

Les dimensions sont données en mm.

Les appellations «Catégories A, B, C» se réfèrent à la classification opérée selon la méthode exposée au point 4.3.4. Cette méthode a été conçue en collaboration avec LIGNUM, Zürich, et P. Häsler, Bubikon de Suisse

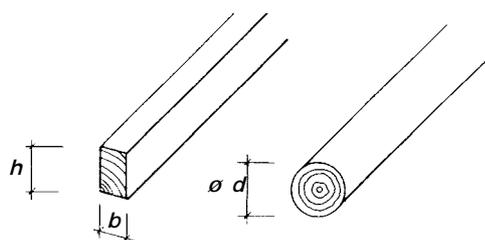
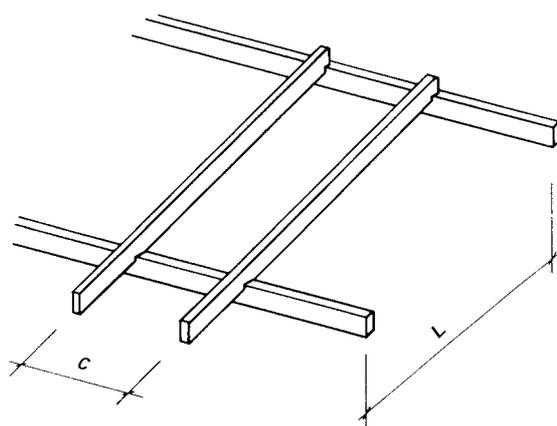
Exemple

Portée L: 1,5 m

Ecartement c: 1,0 m

Catégorie: A

Dimensions proposées: 50 x 34 mm ou 60 x 24 mm



Charges

charge permanente: 0,5 kN/m²

+ charge variable: 0,3 kN/m² (effet du vent)

ou

charge permanente: 0,5 kN/m²

+ charge variable: 0,8 kN (charge ponctuelle)

Pour établir ce tableau, c'est la combinaison la plus défavorable qui a été retenue.

		Catégories						seulement pour charpente de moindre importance					
		A		B		C		A		B		C	
<i>L (m)</i>	<i>c (m)</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>
1.5	0.6	40	46					40	34	40	44		
		50	30	50	37			50	22	50	28	50	46
		60	21	60	26	60	43					60	32
						80	24						
		∅ d	50	∅ d	54	∅ d	64	∅ d	45	∅ d	49	∅ d	58
1.5	0.8							40	37				
		50	32	50	40	50	66	50	24	50	30	50	50
		60	22	60	28	60	46			60	21	60	34
						80	26						
		∅ d	51	∅ d	55	∅ d	65	∅ d	46	∅ d	50	∅ d	59
1.5	1							40	39				
		50	34	50	42	50	71	50	25	50	32	50	53
		60	24	60	29	60	49			60	22	60	37
				70	22	70	36					70	27
						80	28						
		∅ d	53	∅ d	56	∅ d	67	∅ d	47	∅ d	51	∅ d	61
1.5	1.3							40	43				
		50	37	50	46			50	28	50	35		
		60	26	60	32	60	54			60	24	60	40
				70	24	70	39					70	30
						80	30						
		∅ d	54	∅ d	58	∅ d	69	∅ d	49	∅ d	53	∅ d	63
1.5	1.6	50	41	50	50	50	30	50	38				
		60	28	60	35	60	58	60	21	60	27	60	44
				70	26	70	43					70	32
						80	33					80	25
		∅ d	56	∅ d	60	∅ d	71	∅ d	50	∅ d	55	∅ d	64
2	0.6	50	43	50	53			50	31	50	40		
		60	30	60	37	60	51	60	22	60	28	60	46
		70	22	70	27	70	45					70	34
						80	34					80	26
		∅ d	57	∅ d	61	∅ d	72	∅ d	51	∅ d	55	∅ d	65
2	0.8	50	46					50	34	50	44		
		60	32	60	40	60	67	60	24	60	30	60	50
		70	24	70	29	70	49			70	22	70	37
						80	38					80	28
		∅ d	58	∅ d	63	∅ d	74	∅ d	53	∅ d	57	∅ d	67

		Catégories						seulement pour charpente de moindre importance						
		A		B		C		A		B		C		
<i>L (m)</i>	<i>c (m)</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	
2	1	50	50					50	37	50	47			
		60	35	60	43	60	72	60	26	60	33	60	54	
		70	26	70	32	70	53			70	24	70	40	
				80	24	80	41					80	30	
		∅ d	60	∅ d	64	∅ d	76	∅ d	54	∅ d	59	∅ d	69	
2	1.3							50	41	50	53			
		60	39	60	48	60	81	60	29	60	37	60	60	
		70	29	70	36	70	59			70	27	70	44	
				80	27	80	45					80	34	
		∅ d	62	∅ d	67	∅ d	79	∅ d	56	∅ d	61	∅ d	72	
2	1.6							50	46					
		60	43	60	53			60	32	60	40			
		70	32	70	39	70	65	70	23	70	30	70	49	
				80	30	80	50					80	38	
						90	40					90	30	
		∅ d	64	∅ d	69	∅ d	82	∅ d	58	∅ d	63	∅ d	74	
3	0.6	60	50	60	63			60	37	60	47			
		70	37	70	46			70	27	70	35	70	57	
		80	28	80	35	80	59			80	27	80	44	
				90	28	90	46					90	35	
		∅ d	68	∅ d	73	∅ d	86	∅ d	61	∅ d	66	∅ d	78	
3	0.8	60	56					60	42	60	53			
		70	41	70	51	70	86	70	31	70	39	70	64	
		80	32	80	39	80	66			80	30	80	49	
				90	31	90	52					90	39	
		∅ d	70	∅ d	75	∅ d	89	∅ d	63	∅ d	69	∅ d	81	
3	1	60	63					60	46	60	59			
		70	46	70	57	70	95	70	34	70	43	70	71	
		80	35	80	44	80	73	80	26	80	33	80	54	
		90	28	90	34	90	57			90	26	90	43	
				100	28	100	47					100	35	
		∅ d	73	∅ d	78	∅ d	92	∅ d	66	∅ d	71	∅ d	84	

		Catégories						seulement pour charpente de moindre importance						
		A		B		C		A		B		C		
<i>L (m)</i>	<i>c (m)</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	
3	1.3							60	53					
		70	53	70	65			70	39	70	49			
		80	40	80	50	80	83	80	30	80	38	80	62	
		90	32	90	39	90	66			90	30	90	49	
				100	32	100	53					100	40	
				120	37	120	37							
		∅ d	76	∅ d	82	∅ d	97	∅ d	69	∅ d	74	∅ d	88	
3	1.6							60	60					
		70	59	70	73			70	44	70	56			
		80	45	80	56			80	33	80	43	80	70	
		90	36	90	44	90	74	90	26	90	34	90	56	
		100	29	100	36	100	60					100	45	
				120	42	120	42					120	31	
		∅ d	79	∅ d	85	∅ d	101	∅ d	71	∅ d	77	∅ d	91	
4	0.6							60	56					
		70	55	70	69			70	41	70	52			
		80	42	80	53			80	31	80	40	80	66	
		90	33	90	41	90	69			90	31	90	52	
				100	34	100	56					100	42	
				120	39	120	39							
		∅ d	77	∅ d	83	∅ d	98	∅ d	70	∅ d	76	∅ d	89	
4	0.8	70	63					70	47	70	59			
		80	48	80	60			80	36	80	45	80	75	
		90	38	90	47	90	79	90	28	90	36	90	59	
		100	31	100	38	100	64			100	29	100	48	
						120	44					120	33	
						140	33							
		∅ d	81	∅ d	87	∅ d	103	∅ d	73	∅ d	79	∅ d	93	
4	1							70	52	70	67			
		80	54	80	68	80	113	80	40	80	51	80	84	
		90	43	90	53	90	89	90	32	90	40	90	67	
		100	35	100	43	100	72			100	33	100	54	
				120	30	120	50					120	38	
						140	37							
		∅ d	84	∅ d	90	∅ d	107	∅ d	76	∅ d	82	∅ d	97	

		<i>Catégories</i>											
		<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>		seulement pour charpente de moindre importance					
<i>L (m)</i>	<i>c (m)</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>	
		<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>
4	1.3							70	61				
		80	64	80	79			80	47	80	60		
		90	50	90	62			90	37	90	47	90	78
		100	41	100	50	100	84	100	30	100	38	100	63
				120	35	120	58					120	44
						140	43					140	32
		ø d	88	ø d	95	ø d	113	ø d	80	ø d	87	ø d	102
4	1.6							70	75				
		80	77					80	57	80	73		
		90	61	90	76			90	45	90	57	90	95
		100	50	100	61	100	102	100	37	100	47	100	77
		120	34	120	43	120	71			120	32	120	53
						140	52					140	39
						160	40						
		ø d	94	ø d	101	ø d	120	ø d	85	ø d	92	ø d	109

Annexe 3.3

Dimensionnement des pannes

Les dimensions sont données en mm.

Les appellations «Catégories A, B, C» se réfèrent à la classification opérée selon la méthode exposée au point 4.3.4. Cette méthode a été conçue en collaboration avec LIGNUM, Zürich, et P. Häsler, Bubikon de Suisse

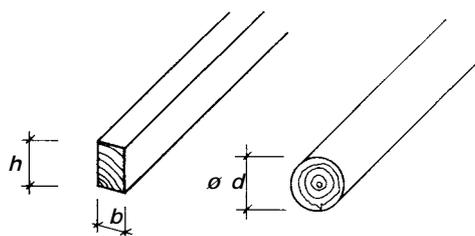
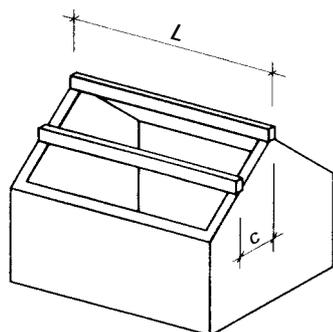
Exemple

Portée L: 3,0 m

Ecartement c: 2,0 m

Catégorie: B

Dimensions proposées: 80x72 mm, 100 x46 mm ou 120x32 mm



Charges

charge permanente: 0,55 kN/m²

+ charge variable: 0,3 kN/m² (effet du vent)

ou

charge permanente: 0,55 kN/m²

+ charge variable: 0,8 kN (charge ponctuelle)

		Catégories						seulement pour charpente de moindre importance					
		A		B		C		A		B		C	
<i>L (m)</i>	<i>c (m)</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>
3	1.5	60	61					60	61				
		70	45					70	45	70	57		
		80	46	80	57			80	34	80	43	80	72
		100	30	100	37	100	61			100	28	100	46
						120	42					120	32
		∅ d	79	∅ d	85	∅ d	101	∅ d	72	∅ d	78	∅ d	92
3	2	70	56					70	56	70	71		
		80	43					80	43	80	54		
		100	37	100	46	100	77			100	35	100	57
						120	53					120	40
		∅ d	86	∅ d	92	∅ d	109	∅ d	77	∅ d	84	∅ d	99
3	3	80	81			80	64	80	81				
		90	51					90	51	90	64		
		100	41	100	69			100	41	100	52	100	86
						120	80			120	36	120	60
						140	59					140	44
						160	45					160	34
		∅ d	98	∅ d	105	∅ d	125	∅ d	89	∅ d	96	∅ d	113
3	4	80	85					80	85				
		90	67					90	67	90	86		
		100	55	100	92			100	55	100	70		
		120	38	120	64	120	106	120	38	120	48	120	80
						140	78			140	35	140	59
												160	45
						180	47						
						200	38						
		∅ d	108	∅ d	116	∅ d	137	∅ d	98	∅ d	106	∅ d	125
4	1.5	80	57					80	57	80	72		
		100	36					100	36	100	46	100	77
		120		100	61	100	102	120		120	32	120	53
				120	43	120	71					140	39
						140	52						
						160	40						
		∅ d	94	∅ d	101	∅ d	120	∅ d	85	∅ d	92	∅ d	109

		Catégories						seulement pour charpente de moindre importance					
		A		B		C		A		B		C	
<i>L (m)</i>	<i>c (m)</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>
4	2	90	81					80	76				
		100	66	100	82			90	60	90	76		
		120	46	120	57	120	94	100	49	100	62	100	102
		140	34	140	42	140	69	120	34	120	43	120	71
						160	53			140	32	140	52
						180	42					160	40
		∅ d	104	∅ d	111	∅ d	132	∅ d	94	∅ d	102	∅ d	120
4	3	100	99					100	73	100	93		
		120	69	120	85			120	51	120	64	120	106
		140	50	140	62	140	104	140	37	140	47	140	78
		160	39	160	48	160	80			160	36	160	60
				180	38	180	63					180	47
						200	51					200	38
						220	42						
		∅ d	119	∅ d	128	∅ d	151	∅ d	107	∅ d	116	∅ d	137
4	4							100	97				
		120	91	120	113			120	67	120	86		
		140	67	140	83	140	139	140	50	140	63	140	104
		160	51	160	64	160	106	160	38	160	48	160	80
		180	41	180	50	180	84			180	38	180	63
				200	41	200	68					200	51
						220	56					220	42
		∅ d	131	∅ d	140	∅ d	167	∅ d	118	∅ d	128	∅ d	151
5	1.5	100	77	100	96			100	57	100	72		
		120	54	120	66	120	111	120	40	120	50	120	83
		140	39	140	49	140	81			140	37	140	61
				160	37	160	62					160	47
						180	49					180	37
						200	40						
		∅ d	109	∅ d	118	∅ d	139	∅ d	99	∅ d	107	∅ d	127
5	2	100	103					100	76	100	97		
		120	71	120	89	120	53	120	67	120	111		
		140	52	140	65	140	108	140	39	140	49	140	81
		160	40	160	50	160	83			160	38	160	62
				180	39	180	66					180	49
						200	53					200	40
						220	44						
		∅ d	120	∅ d	129	∅ d	153	∅ d	109	∅ d	118	∅ d	139

		Catégories						seulement pour charpente de moindre importance							
		A		B		C		A		B		C			
<i>L (m)</i>	<i>c (m)</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>		
5	3	120	107					120	79	120	101				
		140	79	140	98			140	58	140	74	140	122		
		160	60	160	75	160	125	160	44	160	57	160	93		
		180	48	180	59	180	98			180	45	180	74		
		200	39	200	48	200	80					200	60		
					220	40	220	66					220	49	
							240	55							
							260	47							
				∅ d	138	∅ d	148	∅ d	176	∅ d	125	∅ d	135	∅ d	160
		5	4							120	105				
140	105			140	130			140	77	140	99				
160	80			160	100	160	166	160	59	160	75	160	125		
180	63			180	79	180	131	180	47	180	60	180	98		
200	51			200	64	200	106	200	38	200	48	200	80		
220	42			220	53	220	88			220	40	220	66		
					240	44	240	74					240	55	
							260	63					260	47	
							280	54							
				∅ d	152	∅ d	163	∅ d	193	∅ d	137	∅ d	149	∅ d	176

Annexe 4

Lectures recommandées et bibliographie

(F) = Français; (E) = Anglais; (G) = Allemand; (S) = Espagnol

1. BIT: «Tuiles en fibromortier - Procédé de production et pose en toiture - Dossier technique n°16», BIT, Genève, 1988 (F)
2. Brys, Gilbert: «Tuiles en mortier vibré et en fibromortier - Manuel de production - Rapport technique n°3», BIT, Genève, 1990 (F)
3. Brys, Gilbert: «Potentiel de diffusion des toitures en tuiles au Burkina Faso - Rapport technique n°11», BIT, Genève, 1991 (F)
4. De Coninck, Daniel: «Phase pilote de commercialisation des toitures en tuiles au Burkina Faso - Rapport technique n°18», BIT, Genève, 1992 (F)
5. Dunkelberger, Klaus; Fritz, Johannes; Gass, Siegfried; Greiner, Swibert; Hennicke, Jürgen; Otto, Frei; Reiner, Rolf; Schauer, Eda; Voigt, Harald: «IL31, Bambus - Bamboo», Stuttgart 1985 (E,G)
6. Ebnöter, Rene: «Baustatik und Festigkeitslehre», Ausbildungszentrum des Schweizerischen Baumeisterverbandes, Zurich, 1981 (G)
7. Evans, Barrie: «Understanding Natural Fibre Concrete, Its Application as a Building Material», IT Publications, London, 1986 (E)
8. Gram, H.-E.; Parry, J.P.M.; Rhyner, K.; Schaffner, B.; Stulz, R.; Wehrle, K.; Wehrli, H.: «FCR - Fibre Concrete Roofing. A comprehensive report on: The Possibilities of Fibre Concrete Roofing. The Limits of Application, and The State of the Art», SKAT, St. Gallen, 1986 (E)
9. Gram, Hans-Erik; Gut, Paul: «FCR/MCR Toolkit Element 22, Production Guide», «TFM/TMV Outil 22, Manuel de production», SKAT, St. Gallen, (E 1992; F 1994)
10. Gram, Hans-Erik; Gut, Paul: «FCR/MCR Toolkit Element 23, Quality Control Guidelines», «TFM/TMV Outil 23, Directives pour le contrôle de qualité», SKAT, St. Gallen, (E 1991; F 1994)
11. Gressot, Michel: «Entreprises productrices de tuiles en mortier vibré en Côte d'Ivoire - Rapport technique n°23», BIT, Genève, 1993 (F)
12. Gut, Paul: «FCR/MCR Toolkit Element 4, Standards Guidelines», «TFM/TMV Outil 4, Directives pour la conception des normes», SKAT, St. Gallen, (E 1992; F 1994)
13. Gut, Paul: «FCR/MCR Toolkit Element 25, Roof Cover Guide», «TFM/TMV Outil 25, Guide pour la couverture des toits», SKAT, St. Gallen, (E 1993; F 1997)
14. Gut, Paul: «Climate Responsive Building», SKAT, St. Gallen, 1993 (E)
15. Heierli, Urs; Beck, Victor: «FCR - Fibre Concrete Roofing, Feasibility and Market Study Guides», SKAT, St. Gallen, 1987 (E)

16. Jayanetti, Lionel: «Timber Pole Construction», IT Publications, London 1990 (E)
17. Klein, Michel: «Charpentes et toitures en tuiles de mortier vibré au Burkina Faso - Dossier photo - Rapport technique n° 27», BIT, Genève, 1993 (F)
18. Lola, Carlos R.: «Fibre Reinforced Concrete Roofing Sheets, Technology Appraisal Report», AT International, Washington, D.C., 1985 (E)
19. Manser, Bruno: «Stimmen aus dem Regenwald», Zytglogge Verlag, Bern, 1992 (G)
20. Miles, Derek; Syagga, Paul: «Building Maintenance, A Management Manual», IT Publications, 1987 (E)
21. Müller, Heini: «Roof construction training in Ghana, T.R. 14», SKAT, St. Gallen, 1991 (E)
22. Parry, John: «Fibre Concrete Roofing», IT Workshops, Cradley Heath, 1985 (E)
23. Parry, John: «Fibre Concrete Tiles, Users Manual», Cradley Heath (E)
24. Preiswerk, Susanne; Müller, Heini: «Introduction of Micro-concrete tiles in the Philippines, T.R. 17», SKAT, St. Gallen, 1991 (E)
25. Rhyner, Kurt: «Equipment Quality Guidelines for MCR Tiles Production - Technical Report n° 28», BIT, Genève, 1994 (E)
26. Schneider, Jörg: «Holzbau», Eidgenössische Technische Hochschule, Zurich, 1988 (G)
27. Schunk, Eberhard; Fink, Thomas; Jenisch, Richard; Oster, Hans Jochen: «Dach Atlas», Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, 1991 (G)
28. Sell, Jürgen: «Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten», LIGNUM, Zürich, 1989 (G)
29. SKAT: «Información Básica Sobre Techos de Micro Concreto (TMC) y Fibro Concreto (TFC), Introducción para Arquitectos, Técnicos, Epesarios, Instituciones de Desarrollo y el Público Interesado en TMC y TFC», SKAT, St. Gallen, 1989 (S)
30. SKAT: «The Basics of Concrete Roofing Elements, Fundamental Information on the Micro Concrete Roofing (MCR) and Fibre Concrete Roofing (FCR) Technology for Newcomers, Decisionsmakers, Technicians, Field Workers and all those who want to know more about MCR and FCR», SKAT, St. Gallen, 1989 (E)
31. Stulz, Roland; Mukerji, Kiran: «Appropriate Building Materials, A Catalogue of Potential Solutions», «Matériaux de Construction Appropriés», «Materiales de construcción apropiados», SKAT, St. Gallen, GATE, Eschborn, IT Publications Ltd., London, (E 1988, F 1997, S 1997)
32. Schulze, Horst: «Hausdächer in Holzbauart, Konstruktion, Statik, Bauphysik», Düsseldorf 1987 (G)
33. Twigt, Fred Jan: «Fibre Concrete Roofing in Malawi, Kenya, Tanzania, Zambia and Uganda», FCR Advisory Services, SKAT, St. Gallen, 1988 (E)
34. MacWhinnie, Ian: «An Introduction to FCR/MCR Production», A BASIN Video, ITDG/GTZ-GATE, Eschborn, 1990 (E)

La toiture est la partie la plus importante d'un bâtiment. Sa conception, tant dans son ensemble que dans ses détails, requiert un soin particulier. Il convient d'utiliser les meilleures matières premières disponibles et de garder à l'esprit qu'une toiture mal conçue et non conforme aux normes risque d'entraîner de sérieux dégâts sur l'ensemble d'un bâtiment.

Pour construire une toiture fiable, il ne suffit pas d'utiliser un matériau de couverture de bonne qualité. La charpente et la couverture doivent constituer une structure cohérente et adaptée au climat. Ce manuel a pour objet de guider la conception du toit: choix d'une forme appropriée et dimensionnement de la charpente. Il fournit aussi des directives pour la conception et la réalisation de détails constructifs, ainsi que pour l'entretien d'une toiture.

Les principes sont plus particulièrement destinés à des toitures de forme simple et à pans inclinés, couvertes de matériaux légers, tels que tuiles et plaques.

Il s'adresse aux architectes et ingénieurs chargés de la conception de couvertures en TFM/TMV, ainsi qu'aux maçons, ingénieurs et contremaîtres chargés du suivi de chantier.

Les producteurs de matériaux de couverture peuvent aussi se référer à ce manuel pour conseiller judicieusement leur clientèle.