

1987

## **Intégration de la sécurité aux techniques de coffrage du béton dans le secteur de la construction : annexe au rapport de recherche**

André Lan  
*IRSST*

Pierre Durand  
*IRSST*

Georges Toulouse  
*IRSST*

Sylvio Ricard  
*IRSST*

Denise Chicoine  
*IRSST*

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

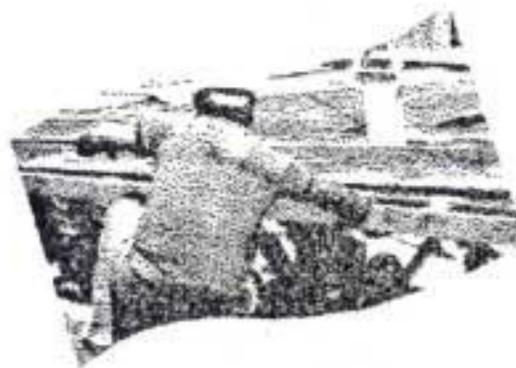
---

### **Citation recommandée**

Lan, A., Durand, P., Toulouse, G., Ricard, S. et Chicoine, D. (1987). *Intégration de la sécurité aux techniques de coffrage du béton dans le secteur de la construction* (Rapport n° RA-011). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter [pharesst@irsst.qc.ca](mailto:pharesst@irsst.qc.ca).

**Intégration de la sécurité  
aux techniques de coffrage  
du béton dans le secteur  
de la construction**



**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

**André Lan  
Pierre Durand  
Georges Toulouse  
Sylvio Ricard  
Denise Chicoine**

**Juillet 1987**

**RR-011**

**RAPPORT**



**IRSST**  
Institut de recherche  
en santé et en sécurité  
du travail du Québec

## La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

### ATTENTION

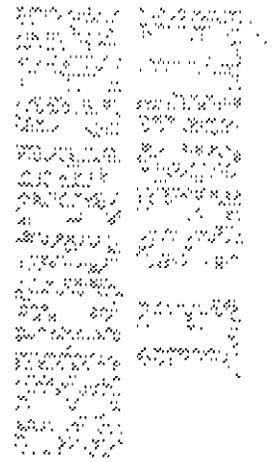
Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal  
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications  
505, boul. de Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone : (514) 288-1 551  
Télécopieur: (514) 288-7636  
Site internet : [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
© Institut de recherche en santé  
et en sécurité du travail du Québec,

# **Intégration de la sécurité aux techniques de coffrage du béton dans le secteur de la construction**

**André Lan, Pierre Durand, Georges Toulouse,  
Sylvio Ricard et Denise Chicoine  
Programme sécurité-ergonomie, IRSST**



**RAPPORT**

## AVANT-PROPOS

### HISTORIQUE

Le coffrage industriel et commercial représente à plusieurs égards un des sous-secteurs les plus importants du secteur industriel du bâtiment et des travaux publics. En effet, il constitue de par son importance économique et technique un apport majeur de la construction. Malheureusement, son importance se reflète aussi au niveau de la fréquence et de la gravité des accidents de travail. Il constitue aussi un sous-secteur représentatif sous plusieurs aspects de l'ensemble de l'industrie. Le groupe de recherche en sécurité et ergonomie de l'IRSST s'est donc penché, il y a deux ans, sur ce sous-secteur afin de réaliser des activités de recherche sur la dynamique de la sécurité au travail. Plusieurs projets de recherche ont vu le jour par la suite. Parmi ceux-ci, un projet s'est intéressé entre autres aux qualités techniques, matérielles et organisationnelles du chantier de construction.

Dès l'initiation de ce projet par MM. Sylvio Ricard et Pierre Durand, la nécessité de faire une revue des différentes techniques de coffrage du béton utilisées au Québec et ailleurs au Canada et dans le monde s'est imposée. Cette revue a suscité l'intérêt des collègues dans d'autres projets qui ont manifesté leurs propres besoins. Le travail entrepris par M. André Ian a donc servi d'infrastructure à ce document. À la lumière des résultats de cette revue, il fut suggérer d'enrichir les connaissances acquises en les associant à une démarche ergonomique orientée vers l'utilisation de pratiques sécuritaires. Cet aspect a été développé par M. Georges Toulouse. De plus, Mme Denise Chicoine a contribué activement à la rédaction du document.

### LA DÉMARCHE

Nous avons donc voulu aborder le sujet en adoptant une démarche qui se veut originale, en ce sens qu'elle est orientée vers une intégration des

concepts et pratiques sécuritaires du travail aux exigences de la production, c'est-à-dire l'érection des coffrages, la coulée et le démantèlement qui s'ensuit. En effet, la vaste consultation des ouvrages publiés sur le sujet nous a permis de constater qu'aucun ouvrage, hormis quelques rares brochures, ne s'est intéressé à la fois à la conception des coffrages et aux pratiques sécuritaires reliées à leur érection. De fait, la plupart des publications s'intéressent à la conception et aux calculs connexes et laissent l'exécution à la discrétion des responsables de chantiers.

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX

L'approche que nous avons choisie nous a amené à identifier la clientèle visée par le document en fonction à la fois des objectifs de nos activités propres au sein du groupe de recherche, et des besoins de formation du sous-secteur du coffrage industriel et commercial.

Ainsi, les objectifs généraux du document sont les suivants:

- 1 - présenter une revue des principales techniques de coffrage du béton utilisées en Europe et dans le continent Nord-Américain;
- 2- expliquer les modes d'exécution de ces techniques et en cerner les avantages et désavantages;
- 3- mettre en lumière les pratiques sécuritaires générales et spécifiques associées à ces différentes techniques;
- 4- réaliser les trois objectifs qui précèdent en se basant sur une approche de sécurité du travail intégrée à la production sur le chantier de construction.

## LIMITES DU DOCUMENT

Nous mettons toutefois nos lecteurs en garde contre des attentes irréalistes face au document. Nous ne prétendons surtout pas avoir conçu un ouvrage qui se veut le "nec plus ultra" de la technologie du coffrage de béton pas plus que nous croyons qu'il soit exhaustif. Cet ouvrage se veut plutôt un outil de référence et de consultation pour les praticiens et les concepteurs et vise à combler un vide dans la formation des techniciens et concepteurs en amorçant une réflexion sur l'intégration des concepts et pratiques sécuritaires à la conception des coffrages de béton.

## LE DOCUMENT

Le document qui suit a été divisé en deux sections principales. La première couvre les deux premiers chapitres et traite de l'historique du coffrage de béton, des objectifs du coffrage, de l'approche de sécurité intégrée et des causes de rupture (chapitre 1), des matériaux et accessoires de coffrage (chapitre 2) . La deuxième section traite par ailleurs des différentes techniques de coffrage (chapitres 3 à 5), de la poussée développée par le béton frais et des calculs de base de dimensionnement de coffrage de mur et de plancher (chapitre 6 à 7) et de quelques éléments de sécurité communs à l'ensemble du chantier (chapitre 8). Une brève conclusion suit au chapitre 9.

Enfin, une liste des ouvrages consultés suit, de même qu'un glossaire et lexique des termes usuels en langues française et anglaise.

De plus, un guide d'application accompagne ce document de référence et a pour but de faciliter la consultation sur le chantier des conclusions de nos travaux. Le lecteur pourra donc, lorsqu'il le jugera opportun, se référer au présent document à l'aide des annotations contenues dans le guide.

Les auteurs du présent document espèrent donc que celui-ci pourra vous être utile et seront toujours heureux de recevoir vos suggestions.

A. Ian  
D. Chicoine  
P. Durand  
S. Ricard  
G. Toulouse

**TABLE DES MATIÈRES**

	<u>PAGE</u>
AVANT-PROPOS .....	i
TABLE DES MATIÈRES .....	v
LISTE DES FIGURES .....	x
LISTE DES TABLEAUX .....	xiv
LISTE DE RÉFÉRENCES UTILISÉES POUR LES FIGURES .....	xiv
FICHES RÉCAPITULATIVES.....	xv
 <u>Chapitre 1 - HISTORIQUE DU BÉTON ARMÉ ET DU COFFRAGE</u>	
1.1 Introduction .....	1
1.2 Le choix du béton armé comme matériau de construction ...	4
1.3 Rôle et importance du coffrage .....	5
1.4 Les caractéristiques du coffrage .....	7
1.5 La structure du coffrage .....	9
1.6 Classification des coffrages .....	12
1.7 Objectifs généraux du coffrage .....	14
1.8 La sécurité dans le bâtiment et le coffrage - Rupture du coffrage .....	15
1.9 Rupture du coffrage .....	21
1.10 Relations architecte-ingénieur-entrepreneur .....	23
1.11 Supervision et Inspection .....	24

**TABLE DES MATIÈRES**

	<u>PAGE</u>
<u>Chapitre 2 - MATÉRIAUX ET ACCESSOIRES DE COFFRAGE</u>	
2.1	Généralités ..... 25
2.2	Le bois dans les travaux de coffrage ..... 26
2.3	Essences couramment utilisées dans les travaux de coffrage ..... 30
2.4	Matériaux utilisés pour les différentes membrures de coffrage ..... 31
2.5	Ossature du coffrage ..... 33
2.6	Accessoires de coffrage ..... 34
2.7	Étançonnement du coffrage ..... 38
2.8	Exemple de calcul de la charge admissible d'un étau 89 mm x 89 mm (4x4") ..... 42
2.9	Étais métalliques ..... 42
2.10	Rapport d'élançement ..... 43
2.11	Types d'étais ..... 44
2.12	Quelques problèmes rencontrés avec les parois ..... 46

Chapitre 3 - COFFRAGES POUR MURS

3.1	Coffrage monté sur place ..... 49
3.2	Le coffrage de mur en petits panneaux assemblables ..... 60
3.3	Coffrage assemblé et mis en place ..... 66
3.4	Les équipements des banches ..... 71
3.5	Processus d'exécution ..... 74
3.6	Coffrages grimpants et auto-grimpant ..... 80
3.7	Les coffrages glissants ..... 83

TABLE DES MATIÈRES

	<u>PAGE</u>
<u>Chapitre 4 - COFFRAGES POUR PLANCHERS</u>	
4.1 Planchers .....	93
4.2 Coffrages traditionnels pour planchers .....	95
4.3 Processus d'exécution .....	98
4.4 La sécurité dans le coffrage traditionnel de plancher ....	101
4.5 Les coffrages de planchers en éléments assemblables et démontables .....	108
4.6 Les coffrages de planchers par panneaux de grande dimension .....	111
4.7 Les tables pour le coffrage des planchers .....	113
4.8 Équipement .....	116
4.9 Processus d'exécution .....	117
4.10 La sécurité dans le coffrage de plancher par tables coffrantes .....	119
4.11 Domaine d'utilisation .....	122
4.12 Prédalles .....	126
<u>Chapitre 5 - COFFRAGES POUR COLONNES ET POUTRES</u>	
5.1 Coffrage pour colonnes .....	129
5.2 Coffrage de colonne assemblé et mis en place .....	131
5.3 Colonnes rectangulaires ou carrées .....	133
5.4 Colonnes circulaires .....	136
5.5 Techniques particulières de coffrage de colonnes .....	138
5.6 La sécurité dans le coffrage de colonnes .....	139
5.7 Coffrage de poutres .....	140

**TABLE DES MATIÈRES**

	<u>PAGE</u>
<u>Chapitre 6 - CHARGES ET POUSSÉES AGISSANT SUR LE COFFRAGE</u>	
6.1 Généralités .....	145
6.2 Poussées dues au béton plastique (frais) .....	147
6.3 Valeurs de la poussée .....	149
6.4 Exemple .....	152
6.5 Charges latérales .....	157
<u>Chapitre 7 - CALCULS ET CONCEPTIONS DES COFFRAGES</u>	
7.1 Principes généraux .....	159
7.2 Calculs de coffrages .....	164
7.3 Conception du coffrage pour les murs, dalles et poutres .	178
7.4 Murs .....	179
7.5 Dimensions des montants et espacements de leurs raidisseurs .....	180
7.6 Dimension des raidisseurs et espacement des supports ....	181
7.7 Tirants .....	182
7.8 Exemple d'application de calcul de coffrage de mur .....	183
7.9 Exemple d'application de calcul de coffrage de plancher .	196
<u>Chapitre 8 QUELQUES ÉLÉMENTS DE SÉCURITÉ COMMUNS À L'ENSEMBLE DES CHANTIERS</u>	
8.1 Généralités .....	207
<u>Chapitre 9 - CONCLUSION</u> .....	215

TABLE DES MATIÈRES

	<u>PAGE</u>
BIBLIOGRAPHIE .....	217
LEXIQUE DES PRINCIPAUX TERMES RENCONTRÉS DANS LE COFFRAGE FRANÇAIS - ANGLAIS .....	225
LEXIQUE DES PRINCIPAUX TERMES RENCONTRÉS DANS LE COFFRAGE ANGLAIS - FRANÇAIS .....	233

LISTE DE FIGURES

<u>FIGURES</u>	<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
1.1	Exemple de coffrage <sup>1</sup> .....	10
1.2	Exemples de fausses charpentes <sup>1</sup> .....	11
2.1	Les clous <sup>2</sup> .....	36
2.2	Tirants <sup>2</sup> .....	36
2.3	Écarteurs et espaceurs .....	37
2.4	Détermination du rapport d'élanement l/d d'un 64 mm x 89 mm S45 avec différents plans de contreventement <sup>2</sup> .....	41
2.5	Types d'étais <sup>3</sup> .....	45
3.1	Coffrage traditionnel pour murs <sup>2</sup> .....	49
3.2	Processus d'exécution du coffrage de mur .....	51
3.3	Protections contre les armatures en attente <sup>4</sup> .....	56
3.4	Solutions pour rendre les tirants visibles <sup>4</sup> .....	56
3.5	Petits panneaux en bois pour murs .....	61
3.6	Les types de banches <sup>5</sup> .....	68
3.7	Banches métalliques <sup>6</sup> .....	72
3.8	Processus d'exécution de murs avec les banches <sup>5</sup> .....	75
3.9	Système d'élingage <sup>11</sup> .....	78
3.10	Coupe type d'un coffrage grim pant utilisé en travaux publics <sup>6</sup> .....	81
3.11	Coupe schématique de coffrage glissant pour murs face à face .....	86
3.12	Coupe schématique d'un coffrage glissant pour des structures fermées .....	87

LISTE DE FIGURES

<u>FIGURES</u>	<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
4.1	Types de planchers <sup>7</sup> .....	94
4.2	Coffrage traditionnel pour plancher <sup>2</sup> .....	96
4.3	Processus d'exécution de coffrage de plancher .....	99
4.4	Transport de feuilles de contre-plaqué <sup>8</sup> .....	106
4.5	Outil pour brocher les armatures <sup>9</sup> .....	106
4.6	Poutrelles extensibles et platelage en contre-plaqué ou bois <sup>2</sup> .....	110
4.7	Plateaux de petite dimension .....	110
4.8	Plateaux de grande dimension <sup>2</sup> .....	111
4.9	Table pour le coffrage des planchers <sup>2</sup> .....	114
4.10	Décoffrage par la passerelle de service - Tables longues ou puissance de la grue limitée .....	123
4.11	Coupe schématique - Décoffrage avec élingues dissymétriques <sup>6</sup> .....	124
4.12	Coupe schématique - Décoffrage avec treuil Grandes tables <sup>6</sup> .....	125
4.13	Prédalles .....	126
4.14	Exemple d'utilisation de prédalles .....	128
5.1	Schéma coffrage - 2 demi-coquilles déplaçables <sup>6</sup> .....	132
5.2	Schéma coffrage à tiroir pour poteaux d'épaisseur fixe <sup>6</sup> .	132
5.3	Coffrage type - Grosse colonne en travaux publics <sup>2</sup> .....	134
5.4	Coffrage type - Petite colonne (jusqu'à 300 x 300 mm ) <sup>2</sup> .	135
5.5	Coffrage type - Grosse colonne <sup>2</sup> .....	135
5.6	Coffrage type de colonne carrée, panneaux de contre- plaqué identiques interchangeables, raidis par des 38 x 89 mm <sup>2</sup> .....	135

LISTE DE FIGURES

<u>FIGURES</u>	<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
5.7	Coffrage type de grosse colonne, planches raidies par des tasseaux horizontaux <sup>2</sup> .....	135
5.8	Coupe schématique d'un coffrage circulaire - 2 segments <sup>2</sup>	136
5.9	Exemples de coffrages circulaires préfabriqués <sup>2</sup> .....	137
5.10	Coffrage de poutre <sup>2</sup> .....	141
5.11 à		
5.14	Coupes schématiques de coffrage de poutres <sup>2</sup> .....	143
6.1	Soulèvement du coffrage <sup>2</sup> .....	147
6.2	Distribution de la pression sur le coffrage du mur .....	153
6.3	Distribution de la pression sur le coffrage du mur .....	154
6.4	Distribution de la pression sur le coffrage de la colonne .....	155
6.5	Distribution de la pression sur le coffrage de la colonne .....	156
7.1	Cheminement de calcul d'un plan de coffrage .....	160
7.2	Formules classiques de résistance des matériaux .....	165
7.3	Formules classiques de résistance des matériaux .....	166
7.4	Formules classiques de résistance des matériaux .....	167
7.5	Formules classiques de résistance des matériaux .....	168
7.6	Cisaillement <sup>10</sup> .....	172
7.7	Cisaillement horizontal et vertical <sup>10</sup> .....	172
7.8	Contrainte d'appui rondelles - bois <sup>2</sup> .....	175
7.9	Calcul de la contrainte de la portance dans un coffrage de plancher .....	177
7.10	Distribution de la pression sur le coffrage de mur .....	184
7.11	Vérification à la flexion du contre-plaqué .....	185

LISTE DE FIGURES

<u>FIGURES</u>	<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
7.12	Dimension des montants et espacement des raidisseurs ....	188
7.13	Diagramme de pression et espacement des raidisseurs .....	191
7.14	Surface de contact montant - raidisseur .....	194
7.15	Plan de coffrage du mur .....	195
7.16	Espacement des solives .....	197
7.17	Plan de coffrage du plancher .....	206

LISTE DE TABLEAUX

<u>TABLEAUX</u>	<u>TITRE</u>	<u>PAGE</u>
1	Types de coffrage .....	12
2	Principales essences de bois utilisées dans la construction .....	28

LISTE DE RÉFÉRENCES UTILISÉES POUR LES FIGURES

1. Canadian Wood Construction, Falsework and Formwork, Datafile WC-2, 1980.
2. Formwork for concrete, 4<sup>th</sup> edition, prepared with review and guidance of ACI Committee 347, M. K. Hurd, 1979.
3. Bâtiment, Bâtir, N° 1, C. Bonetat, 1980.
4. Armatures en attente, A. Adenot.
5. Banches utilisées dans le bâtiment, Fiche de sécurité N° D 301-A C.D.U 69.057.5, OPPBTP.
6. Les coffrage pour le béton armé, Collection Eyrolles, F. Pierre, 1980.
7. Design of concrete structures, 9<sup>th</sup> edition, G. Winter, A. Nilson.
8. Permissible loads for the Dutch construction industry, E. A. P. Koningsveld, Ergonomics, Vol. 28, N° 1, 1985.
9. Survey of working environment in concrete construction, R. S. Adlington et al, Report 1982-06-01, Bygghalsan.
10. Bois de construction canadien, Structures et Propriétés CCB Fiche Technique SP-1, 1980.
11. Banches utilisées dans le bâtiment, Fiche de sécurité N° D 301-B C.D.U 69.057.5, OPPBTP.

FICHES RÉCAPITULATIVES

Fiche 1 - Coffrage pour murs traditionnel

Fiche 2 - Coffrage pour murs en petits panneaux

Fiche 3 - Coffrage pour murs avec des banches

Fiche 4 - Coffrages grimpant et auto-grimpant pour murs

Fiche 5 - Coffrage glissant

Fiche 6 - Coffrage traditionnel pour planchers

Fiche 7 - Coffrages assemblables et démontables pour planchers

Fiche 8 - Coffrage de plancher avec tables de coffrages

Fiche 9 - Coffrage de colonnes et poutres

FICHE - 1

Chapitre 3

Coffrages pour murs

TYPE DE COFFRAGE

Traditionnel

(3.1.1, fig. 3.1)

EMPLOI

- Petites surfaces (3.1.4)
- Ouvrages unitaires ou de formes complexes (3.1.4)
- Ouvrages d'infrastructures (3.1.4)
- Génie civil (3.1.4)
- Travaux publics (3.1.4)

AVANTAGES

- Souplesse d'utilisation (3.2.1)
- Éléments permettant l'assemblage manuel (3.2.1)
- Adapté à des situations où l'assemblage ne peut pas s'effectuer à l'aide de moyens de levage mécaniques (3.2.1)

DÉSAVANTAGES

- Coûts élevés (3.1.5)
- Nécessite de nombreuses opérations manuelles permettant l'assemblage du coffrage (3.1.5)
- Difficultés de planéité et d'étanchéité de la paroi coffrante (3.1.5)
- Faible taux de réutilisation du matériel (3.1.5)

SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE DE MUR TRADITIONNEL

1 - MONTAGE DES MURS DE COFFRAGE

1.1 Manutention et transport de matériaux

Généralement transportés sur le chantier par la grue, les matériaux sont ensuite manutentionnés par les travailleurs pour monter le coffrage. Les activités de manutention sont reliées à la pose des montants verticaux ou horizontaux et des feuilles de contre-plaqué.

Les efforts de manutention varient suivant les relations entre, d'une part, le poids, la forme, les dimensions et la fréquence de transport du matériau et, d'autre part, les caractéristiques de la situation de travail.

Les principales caractéristiques de la situation de travail influençant la manutention sont les suivantes:

- L'éloignement des matériaux de leur lieu de montage est tributaire de la prévision du matériel nécessaire à la tâche à effectuer, de l'espace disponible, de l'avancement des travaux, de la planification des tâches, et de l'existence d'un moyen mécanique de levage.
- L'encombrement des voies de passage.
- Le travail dans des espaces restreints.
- L'état des surfaces qui peuvent devenir glissantes du fait des conditions climatiques, du mauvais entretien et des panneaux de coffrage huilés.
- Les accès de travail en hauteur qui, suivant le choix de l'équipement ou le mode d'assemblage des matériaux utilisés peuvent générer des postures contraignantes et des problèmes d'équilibre.
- Le partage des tâches, à l'intérieur de l'équipe de travail, peut favoriser la répartition de la charge de travail de façon équilibrée ou non entre les coéquipiers.

- Le travail des différentes équipes dans un espace restreint peut être sources de gênes lors de la manutention du matériel.

## 1.2 Accès au plan de travail

L'accès au plan de travail est un des éléments essentiels qui détermine la posture du travailleur. La qualité de l'accès influence non seulement les contraintes de manutention, mais elle définit également les exigences relatives à l'équilibration et à la précision des gestes.

Lors du coffrage de murs, des problèmes d'accès se rencontrent au niveau du sol et du travail en hauteur. Les conditions d'accès varient selon les principaux facteurs mentionnés ci-dessous:

- type d'appui au sol, dureté, irrégularité, humidité;
- l'existence ou non d'une continuité du coffrage des murs de l'étage inférieur;
- la disponibilité et la qualité des matériaux pour construire des équipements d'accès;
- l'adéquation entre la tâche et le moyen d'accès (importance de la durée de la tâche et des efforts à effectuer, des déplacements et de la grandeur des zones d'atteinte - présence "d'accès naturels");
- la répartition des tâches et de la charge de travail à l'intérieur d'une équipe;
- le problème de coactivité dû à la présence de plusieurs équipes travaillant dans le même espace;
- la solidité du plancher recouvrant la cage d'ascenseur;
- l'espace de travail restreint ou encombré.

### 1.3 Outils de travail

Le coffrage traditionnel de mur nécessite de nombreuses opérations manuelles afin de transformer et d'assembler les matériaux. Le marteau et la scie ronde portative constituent les principaux outils, le pistolet de scellement, la perceuse et l'égoïne étant moins fréquemment utilisés.

La manipulation de ces outils requiert des accès assurant la stabilité de la posture, la précision et la liberté des mouvements.

L'utilisation sécuritaire des scies rondes portatives nécessite le respect de certains principes, notamment:

- la fixation du matériel à scier;
- le bon fonctionnement des arrêts automatiques et des équipements de protection;
- la présence d'un dispositif afin d'éviter la projection du bran de scie;
- la prise en compte de la sécurité électrique;

Le pistolet de scellement est utilisé pour clouer du bois sur le béton. Son maniement nécessite la connaissance des dangers et des précautions à prendre lors de son usage.

### 1.4 Déplacement du travailleur au sol

Le travailleur se déplace le plus souvent entre le mur du coffrage en montage, la table à scier et les piles de matériaux. La sécurité du travailleur dépend notamment de l'état des surfaces et de l'encombrement.

L'organisation de l'espace devient complexe à cause de la mobilité des situations de travail et des utilisations différentes d'un même espace qui devient à la fois espace de travail, espace de déplacement, espace

d'entreposage, espace architectural. Exemple: présence d'une table à scier dans une voie de passage.

L'encombrement a donc plusieurs origines:

- entreposage non planifié des matériaux (présence de matériaux superflus, absence ou difficulté de coordination entre diverses tâches de coffrage ou de pose d'acier d'armature et de coffrage, absence ou mauvaise communication entre contremaître, élingueur, charpentier-menuisier, manoeuvre);
- manque d'espace pour entreposer le matériel sur le chantier dû à l'emplacement du chantier dans un milieu urbain ou à la phase de coffrage ou des travaux en cours;
- la nécessité de défaire une pile constituée de matériaux de qualités et de dimensions différentes, pour choisir le morceau approprié.

## 2 - MISE EN PLACE DE L'ACIER D'ARMATURE

La pose d'acier d'armature comporte des exigences ayant trait au transport et à la pose des barres d'acier ainsi qu'à l'accès au plan de travail en hauteur.

### 2.1 Transport et pose des barres d'acier

Les contraintes dues à la manutention des barres d'acier varient selon les facteurs énoncés dans le paragraphe "Montage des murs de coffrage". À cela, il faut ajouter les impacts pouvant être ressentis au niveau du système musculo-squelettique, dus à l'effet de balancement occasionné par le transport d'une longue barre d'acier par un seul travailleur.

## 2.2 Les accès au travail en hauteur

La sécurité et les exigences du travail impliquant des accès en hauteur sont fonctions de la disponibilité des équipements d'accès et des matériaux, ainsi que leur adéquation à la tâche à effectuer. Actuellement, le ferrailleur ne dispose que de moyens restreints (matériaux de construction présents sur le chantier). Les matériaux sont assemblés à l'aide de fil de fer.

## 3 - COULÉE DU BÉTON

La coulée du béton d'un coffrage pour murs comporte la prise en considération des éléments suivants:

- la vérification de la solidité et de la conformité du coffrage par un ingénieur;
- un accès permettant au manoeuvre-cimentier d'effectuer la coulée et la vibration du béton, avec des postures stables, favorisant de bonnes conditions dans l'exercice des efforts, et des protections contre les chutes en hauteur;
- le choix de l'accès varie selon l'agencement et l'avancement des travaux de coffrage; platelage de la dalle, passerelle, plate-forme recouvrant la cage d'ascenseur;
- le positionnement de la benne peut s'avérer une opération dangereuse, avec le risque de heurt du travailleur; les difficultés du positionnement de la benne sont influencées par les conditions de visibilité inhérentes au design de la cabine du grutier, aux conditions climatiques, à la fatigue, les mouvements incontrôlés de la benne sous l'action du vent ou d'arrêts brusques, les problèmes de communication entre les manoeuvres et

le grutier; interprétation des codes gestuels, absence de coordination entre les manoeuvres pour effectuer les signaux.

#### 4 - DÉCOFFRAGE

Les dangers reliés au décoffrage de mur résident principalement dans la chute des matériaux et la perte d'équilibre du travailleur se déplaçant sur un sol encombré, ou utilisant un moyen d'accès.

Les principaux facteurs relatifs à la situation de travail, influençant les conditions de sécurité, sont les suivants:

- l'utilisation ou non de contreventements temporaires;
- le choix d'équipements d'accès;
- le type d'outil permettant de décoffrer, actuellement, l'utilisation fréquente de pieds de vérin pour effectuer le décoffrage, montre l'absence d'outils adaptés à cet effet;
- l'évacuation des matériaux au fur et à mesure pour éviter l'encombrement dans la zone de décoffrage;
- l'utilisation de voies réservées d'acheminement des matériaux, par l'utilisation de la grue, au niveau du sous-sol.

FICHE - 2

Chapitre 3

Coffrages pour murs

TYPE DE COFFRAGE

Petits panneaux assemblables (3.2)

Petits panneaux en bois (3.2.2, fig. 3.5)

Petits panneaux métalliques ou mixtes (3.2.3)

EMPLOI

PETITS PANNEAUX EN BOIS, MÉTALLIQUES OU MIXTES:

- Murs d'infrastructure (3.2.6)
- Murs de pavillons résidentiels (3.2.6)
- Maisons unifamiliales (3.2.6)

PETITS PANNEAUX EN BOIS:

- Espaces restreints (3.2.6)
- Coffrer en plusieurs levées (3.2.6)
- Plancher (3.2.6)

PETITS PANNEAUX MÉTALLIQUES OU MIXTES:

- Ouvrages verticaux uniquement (3.2.3.1)

### AVANTAGES

#### PETITS PANNEAUX ASSEMBLABLES:

- Souplesse d'utilisation (3.2.1)
- Éléments simples à assemblage manuel par emboîtement ou clavetage (3.2.1)
- Réduit le nombre d'opérations manuelles permettant l'assemblage du coffrage, pour les ouvrages simples (3.2.1)
- Adapté à des situations où l'assemblage ne peut s'effectuer à l'aide de moyens de levage mécaniques (3.2.1)
- Matériaux réutilisables (3.2.1)
- Dans le cas des petits panneaux métalliques ou mixtes:
  - . Amélioration de la planéité et de l'étanchéité des panneaux (3.2.3.1, 3.2.6)
  - . Possibilité d'assembler les éléments pour former une banche (3.2.6)

### DÉSAVANTAGES

#### PETITS PANNEAUX EN BOIS:

- Faible résistance des panneaux (3.2.2.1)
- Difficultés de planéité et d'étanchéité aux raccords des panneaux (3.2.2.1)
- Déconseillé pour les ouvrages en hauteur (3.2.6)

#### PETITS PANNEAUX MÉTALLIQUES OU MIXTES:

- Souplesse d'utilisation moindre qu'avec les panneaux de bois (3.2.3.1)
- Alignement des panneaux requiert un dispositif particulier (3.2.3.1)
- Travail important de ragréage (3.2.6)
- Limité aux ouvrages verticaux et ne convient pas pour les murs de hauteur élevée (3.2.3.1, 3.2.6)

SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE DE MUR PAR PETITS PANNEAUX

1 - MONTAGE DES MURS DE COFFRAGE

1.1 Manutention et transport de matériaux

Les problèmes de manutention sont reliés au transport et à la pose des petits panneaux.

Les contraintes qui influencent l'effort du travailleur sont similaires à celles décrites lors du coffrage de mur traditionnel.

Il est cependant important de considérer tout particulièrement les facteurs suivants qui peuvent engendrer des accidents ou des problèmes de santé, dus à des efforts excessifs:

- le choix de la dimension et du poids des petits panneaux doit tenir compte de la charge de travail et non seulement du critère de diminution du nombre de panneaux et de raccords;
- la charge de travail n'est pas simplement fonction de la capacité du travailleur à soulever un petit panneau, mais également d'autres facteurs tels que la fréquence de manutention, les conditions de déplacement et l'organisation des équipes de travail;
- avec le coffrage en petits panneaux, les efforts physiques risquent d'être moins diversifiés, et par conséquent, plus dangereux; en effet, la disparition des opérations sur les matériaux peut entraîner à la fois une augmentation des activités de manutention et éliminer des activités qui permettraient une récupération de la fatigue due au transport de charges;

- les distances de transport des petits panneaux peuvent être plus longues, à cause de l'absence de grue; ces déplacements peuvent être facilités par un encombrement réduit, résultant d'une diminution des matériaux bruts sur le chantier; des difficultés peuvent survenir en raison de contraintes architecturales qui restreignent l'espace de travail et de l'absence d'équipement d'accès adaptés à la manutention des petits panneaux.

### 1.2 L'utilisation des outils

Les principaux outils utilisés dans ce type de coffrage sont le marteau et la pince. Ces outils servent à effectuer le clavetage des panneaux.

L'usure prématurée des clavettes due au mauvais entretien occasionne des difficultés d'ajustements. Ainsi, les efforts et les risques d'accidents se trouvent augmentés, d'autant plus que les facteurs suivants seront présents: poids du panneau élevé, espace de travail restreint, accès instable ou trop étroit.

### 1.3 Accès au plan de travail

L'utilisation de ce type de coffrage pour construire des murs plus élevés, incite à moins se préoccuper des matériaux d'accès. Nous retrouvons les mêmes problèmes déjà rencontrés dans le montage des murs traditionnels. Considérant la forme et la dimension des panneaux, la précision requise pour le clavetage, les difficultés d'ajustements possibles, il est nécessaire de prévoir, même si le mur n'est pas très élevé, des plates-formes assurant au travailleur l'exercice d'efforts et de gestes dans des conditions favorables.

### 1.4 Déplacement du travailleur au sol

Voir coffrage pour murs traditionnel.

2 - MISE EN PLACE DE L'ACIER D'ARMATURE

Voir coffrage traditionnel.

3 - COULÉE DE BÉTON

Voir coffrage traditionnel.

4 - DÉCOFFRAGE

Le décoffrage des panneaux comporte, de façon générale, les mêmes risques que le coffrage de murs traditionnel. Les étais doivent d'abord être enlevés et les panneaux par la suite, un à un. Le décoffrage de plusieurs panneaux en même temps, ou l'absence de contreventement augmente les risques d'accidents et de déformations des clavettes.

FICHE - 3

Chapitre 3

Coffrages pour murs

TYPE DE COFFRAGE

Hauteur d'étage ou banche (3.3.2, fig. 3.6)

Banche en bois (3.3.3.1)

Mixtes (structures métalliques et surface coffrante en contre-plaqué) (3.3.3.2)

EMPLOI

COFFRAGE D'HAUTEUR D'ÉTAGE OU BANCHE EN GÉNÉRAL:

- Ouvrages verticaux (3.5.3)
- Ouvrages d'infrastructure (3.5.3)
- Génie civil (3.5.3)
- Bâtiments résidentiels et commerciaux (3.5.3)

BANCHES MIXTES:

- Travaux publics (3.3.3.2)

### AVANTAGES

#### COFFRAGE D'HAUTEUR D'ÉTAGE OU BANCHE EN GÉNÉRAL:

- Réduit le nombre d'opérations manuelles pour l'assemblage du coffrage (3.3.2.1)
- Planéité de la surface de béton résultante (3.3.2.1)
- Temps d'exécution inférieur (3.3.2.1)
- Matériaux réutilisables (3.3.2.1)
- Les banches peuvent être équipées d'accessoires pour que le travail de pose soit exécuté de façon plus sécuritaire (3.3.2.1)

#### BANCHES MIXTES:

- Les panneaux dont les dimensions peuvent s'adapter à différents types d'ouvrage (3.3.3.2)

### DÉSAVANTAGES

#### COFFRAGE D'HAUTEUR D'ÉTAGE OU BANCHE EN GÉNÉRAL:

- Adapté à des situations où l'assemblage doit s'effectuer à l'aide d'un moyen de levage mécanique (3.4.1)

#### BANCHES MÉTALLIQUES:

- Si la feuille de métal est trop mince, elle devient sensible à la corrosion (3.3.3.3)
- Si la feuille de métal est trop épaisse, elle augmente le poids de la banche (3.3.3.3.)

## SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE DE MUR TRADITIONNEL

### 1 - MONTAGE DU COFFRAGE DES MURS

#### 1.1 Entreposage et manutention

Le renversement de la banche constitue un des risques les plus importants, présent durant l'entreposage et la mise en place de la banche. Les principaux éléments recensés à l'origine de ces renversements sont les suivants:

- l'action du vent;
- la dénivellation, le tassement ou le glissement des appuis;
- la sollicitation d'un effort (choc en cours de manutention, ouverture ou bombage du coffrage sous la poussée du béton, déséquilibre d'un élément de banche lors de son désaccouplement, absence ou utilisation de stabilisateurs de fortune).

La manutention des banches requiert l'utilisation de grues et comporte par conséquent les dangers relatifs à cette opération, tels que: rupture d'élingues, renversement de la grue, heurt de travailleur suite à des problèmes de communication entre le grutier et l'élingueur, par exemple.

#### 1.2 L'utilisation des outils

Les outils traditionnels du charpentier-menuisier, comme le marteau et la scie, ne sont plus utilisés dans ce type de coffrage. Ils sont remplacés par des clés, pied-de-biche et des barres à mine. Ces derniers servent à l'ajustement de la banche lors du positionnement avec la grue. Par conséquent, si ce type de coffrage diminue la fréquence de manutention manuelle du matériel, il nécessite l'exercice d'efforts de pointe, pouvant être

importants. Dans cette situation, il s'agit de considérer, afin d'effectuer les manoeuvres requises, les éléments suivants: la grandeur des banches, les espaces de travail disponibles, l'adaptation des outils servant de levier, le nombre de travailleurs et leur coordination.

### 1.3 - Les accès au plan de travail

Les banches sont généralement équipées de passerelles. Les contraintes d'espaces obligent parfois au démontage des passerelles. Le fait de ne pas considérer ce problème dès la conception peut entraîner la construction de passerelles improvisées, plus dangereuses. L'accès à la passerelle s'effectue par des échelles. Les difficultés d'accès résident souvent à la jonction des deux, entre le garde-corps et l'échelle. En effet, le travailleur doit se glisser entre les lisses du garde, si aucun portillon n'est prévu.

## 2 - MISE EN PLACE DE L'ACIER D'ARMATURE

L'installation de l'acier d'armature est identique à celle décrite, pour le montage de mur traditionnel.

## 3 - COULÉE DU BÉTON

Lors de la coulée du béton, les éléments à considérer sont essentiellement ceux déjà cités, pour le coffrage de murs traditionnel. Il faut toutefois préciser que l'accès est généralement facilité par la présence de passerelles incorporées à la banche. Il s'agit donc de vérifier que la hauteur de la passerelle est adaptée aux exigences de la tâche de coulée du béton (efforts de poussée ou de traction sur la benne, prévoir l'utilisation d'une goulotte et d'un vibreur).

4 - DÉCOFFRAGE

Le décoffrage se fait à l'aide des stabilisateurs qui permettent d'incliner le mur et donc d'incliner la paroi coffrante. L'utilisation de stabilisateurs de fortune est plus délicate à cause des risques de renversement de la banche, lorsque celle-ci n'est pas retenue par la grue.

FICHE - 4

Chapitre 3

Coffrages pour murs

TYPE DE COFFRAGE

Coffrage grim pant (3.6, fig. 3.10)

Coffrage auto-grim pant (3.6.2)

EMPLOI

COFFRAGE GRIMPANT:

- Travaux publics (3.6.5)
- Murs de soutènement (3.6.5)
- Barrages (3.6.5)
- Ouvrages de grande hauteur (3.6.5)

COFFRAGE AUTO-GRIMPANT:

- Murs minces très hauts (3.6.5)
- Silos (3.6.5)
- Cheminées (3.6.5)
- Immeuble de grande hauteur (3.6.5)

### AVANTAGES

#### COFFRAGE GRIMPANT:

- Réduit le nombre d'opérations manuelles permettant l'assemblage du coffrage. (3.6.1)
- Matériaux réutilisables (3.6.1)
- Manutentionnable d'un seul coup de grue (3.6.1)

#### COFFRAGE AUTO-GRIMPANT:

- Levée du panneau autonome (3.6.2)

### DÉSAVANTAGES

#### COFFRAGE GRIMPANT:

- Il est plus difficile d'assurer la sécurité des travailleurs lors de la levée non-autonome (3.6.1)
- Champ d'application plus restreint (3.6.1)

#### COFFRAGE AUTO-GRIMPANT:

- La manoeuvre de remontée manuelle demande des efforts coordonnés et soutenus (3.6.2)

## SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DES COFFRAGES GRIMPANT ET AUTO-GRIMPANT

### 1 - MONTAGE DU COFFRAGE DES MURS

Le coffrage grim pant se différencie des banches par le fait qu'il est boulonné directement sur la partie inférieure du mur.

#### 1.1 Manutention et transport

Déplacé et mis en place par la grue, le coffrage grim pant requiert les mêmes précautions que pour la manutention des banches.

#### 1.2 Utilisation des outils

Voir coffrage de banche.

#### 1.3 Accès au plan de travail

L'activité des travailleurs se déroule à partir des passerelles incorporées à la paroi de coffrage. Il est par conséquent important de concevoir la disposition et le design des passerelles, afin de faciliter l'adoption de postures confortables dans les opérations suivantes: boulonnage du panneau, réglage de la verticalité, déplacement du panneau par la grue, coulée du béton.

### 2 - MISE EN PLACE DE L'ACIER D'ARMATURE

Elle se fait de façon traditionnelle.

### 3 - COULÉE DU BÉTON

Voir coffrage pour murs avec des banches.

### 4 - DÉCOFFRAGE

Le décoffrage se fait à l'aide de la grue. Nous retrouvons, dans cette activité, le problème de l'accès au plan de travail pour déboulonner le panneau. De plus, les travailleurs sont obligés, dans la plupart des cas, de rester sur la passerelle, pendant la remontée du panneau par la grue. Cette technique de construction déjà dangereuse peut s'aggraver à cause des conditions inhérentes aux travaux de construction tels que:

- manque de matériels ou d'équipements sur le chantier pour fabriquer des passerelles adaptées;
- manque d'entretien du matériel et des équipements;
- travail supplémentaire pour rattraper les retards;
- expérience insuffisante des travailleurs pour effectuer ces opérations;
- absence de système d'évacuation des travailleurs en cas d'urgence.

FICHE - 5

Chapitre 3

Coffrages pour murs

TYPE DE COFFRAGE

Coffrage glissant (3.7, fig. 3.11)

EMPLOI

Murs de moyenne ou de grande hauteur (3.7.7)

AVANTAGES

- Automatisation du processus de coffrage et décoffrage (3.7.4)
- Simultanéité des étapes de ferrailage et de bétonnage (3.7.4)

DÉSAVANTAGES

- Un moyen de levage mécanique est nécessaire pour acheminer le matériel (3.7.4)
- L'opération de coulage est en continu, ce qui contraint à trois équipes de travail, dont l'une de nuit (3.7.4)
- Ne convient pas à tous les ouvrages verticaux (3.7.5)
- Montage et démontage longs et fastidieux (3.7.7)
- Prévoir de nombreux ragréages et réparations dus aux déplacements des pièces de polystyrène (3.7.7)

SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE DE MURS GLISSANT

Le coffrage glissant transforme de façon profonde le travail de charpentier-menuisier. L'importance de la mise en place et du réglage, par l'utilisation de vérins puissants, font davantage appel à des compétences en mécanique. Le travail s'effectuant en continu, les travailleurs doivent assurer la surveillance, le bon fonctionnement du système, en même temps que le guidage de la coulée et le vibrage du béton. Le travail physique dynamique se transforme en travail statique plus exigeant, où le rythme de travail est dicté par la machine, quelles que soient les conditions climatiques et l'état physique et psychologique du travailleur. Le travail mental requiert une activité d'anticipation, de détection des dysfonctionnements et de récupération des incidents. Les activités de récupération sont reconnues comme présentant davantage de risques<sup>3</sup>. Les moyens d'accès doivent être adaptés à l'avancement des travaux et faciliter l'atteinte des zones d'entretien et de réparation.

Le travail s'effectuant en continu, les équipes de travail se relaient jour et nuit. Des problèmes associés au travail par équipes alternantes peuvent apparaître<sup>4</sup>.

FICHE - 6

Chapitre 4

Coffrages pour planchers

TYPE DE COFFRAGE

Traditionnel (4.2, fig. 4.2)

EMPLOI

Ouvrage très complexe

AVANTAGES

- Souplesse d'utilisation (4.3.1.1)
- Éléments permettant l'assemblage manuel (4.3.1.1)
- Adapté à des situations où l'assemblage ne peut s'effectuer à l'aide de moyens de levage mécanique (4.3.1.1)
- Étais métalliques facilement réutilisables, légers, réglables (4.2.2.)

DÉSAVANTAGES

- Nécessite de nombreuses opérations manuelles pour assembler le coffrage (4.3.1.1)
- Difficultés de planéité et d'étanchéité de la paroi coffrante (4.2.3)
- Faible taux de réutilisation du matériel particulièrement lors du décoffrage en chute libre (4.2.1)
- Danger pour la sécurité des travailleurs lors du décoffrage en chute libre (4.3.1.2)
- Nécessité de nombreuses opérations manuelles lors de la récupération des matériaux au décoffrage (4.3.1.2)

## SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE POUR PLANCHERS TRADITIONNEL

### 1 - MONTAGE DU COFFRAGE DE PLANCHERS

#### 1.1 Manutention des matériaux

Généralement transportés sur le chantier par la grue, les matériaux sont ensuite manutentionnés par les travailleurs. Cette activité est reliée à l'érection de la fausse charpente composée par des étais métalliques ou des échafaudages portants sur lesquels reposent les longerons, les solives et les feuilles de contre-plaqué. Les caractéristiques de la situation de travail influençant les efforts de manutention sont similaires à celles mentionnées dans le coffrage traditionnel de murs.

Les difficultés d'accès suscitées, notamment par le choix de la méthode de montage, constituent des contraintes particulièrement importantes au niveau de la stabilité de la posture, du degré de flexion de la colonne vertébrale, de l'augmentation des moments des forces appliqués sur la colonne, et des efforts soudains induits par des mouvements de rattrapage.

Dans le cas de planchers élevés, supportés par des échafaudages portants, les matériaux sont souvent montés à l'aide d'une corde. Cette tâche pourrait être facilitée par l'usage de cabestan.

La répartition du travail entre charpentier-menuisier et manoeuvre peut entraîner, pour ce dernier si celui-ci est seul à transporter les sections d'échafaudages, une charge de travail trop élevée.

#### 1.2 L'accès au plan de travail

L'accès au plan de travail en hauteur varie selon le type de structure de la fausse charpente, des étais métalliques ou des échafaudages portants et selon la méthode de montage.

L'érection de la fausse charpente en étais métalliques, peut s'effectuer, soit à partir du sol en utilisant une échelle ou un escabeau, soit à partir de la fausse charpente déjà assemblée. Dans ce dernier cas, le charpentier-menuisier travaille en équilibre sur les solives et les longerons et la nécessité de se déplacer pour s'approvisionner en matériel augmente les contraintes d'équilibre. L'utilisation d'un escabeau assure une meilleure stabilité de la posture, mais nécessite de nombreux déplacements de celui-ci.

L'échafaudage portant conçu pour soutenir la charpente est peu adapté comme équipement d'accès: placé sur des pieds de vérins, la première membrure de l'échafaudage est souvent plus difficile d'accès (nécessite de prendre appui sur la tête de l'écrou papillon). Le plancher est construit avec du matériel récupéré sur le chantier, ce qui entraîne des surfaces d'appui plus ou moins étroites, stables et résistantes.

Les besoins en équipement d'accès (échelles, escabeaux, marche, échafaudages de service) doivent être prévus dès le début des travaux pour laisser le temps nécessaire au choix et à la construction sécuritaire de ceux-ci. Le choix de ces équipements doit tenir compte des exigences de la tâche, telles que: la durée du travail, les zones d'atteinte, les déplacements horizontaux et verticaux, les efforts à fournir, l'espace de travail. Le choix de ces équipements nécessite la consultation du travailleur qui aura à les utiliser.

### 1.3 L'utilisation d'outils

Le coffrage traditionnel de dalle nécessite de la même façon que celui du mur de nombreuses opérations manuelles et nous retrouverons par conséquent les mêmes aspects que ceux déjà cités.

Lors du coffrage avec des étais métalliques, les travailleurs se fabriquent des rallonges pour placer les longerons sur des étais; ainsi que des

gabarits qui permettent aussi bien de conserver un écartement identique entre les longerons, que d'aider à maintenir le longeron, ou à servir de surfaces d'appui au charpentier-menuisier.

L'entretien régulier des éléments de la fausse charpente réduit les efforts à fournir lors du montage. La rouille nuit au bon fonctionnement des vérins et croisillons. Elle explique, les ajustements à coup de marteau, le rejet de certains éléments défectueux ou la substitution d'une pièce manquante, par un moyen de fortune peu sécuritaire.

#### 1.4 Déplacement du travailleur au sol

Les conditions relatives aux déplacements du travailleur au sol sont similaires au coffrage de mur traditionnel. L'utilisation des échafaudages portants restreint, de façon plus importante, l'espace de déplacement.

## 2 - MISE EN PLACE DE L'ACIER D'ARMATURE

La pose d'acier d'armature comporte de fortes contraintes posturales, ainsi que la nécessité de manutentionner des barres d'acier dont le poids peut dépasser 30 kg (65 livres).

Il est possible d'éviter l'adoption de postures penchées afin de brocher l'acier d'armature, par l'utilisation d'un outil développé à cette fin en Suède<sup>5</sup>.

Les contraintes de manutention dans le coffrage de murs traditionnel sont aggravées pour le travailleur, par les déplacements sur un plancher glissant (panneau huilé), ou déjà recouvert d'acier d'armature.

### 3 - LA COULÉE DE BÉTON

Avant la coulée du béton, la structure du coffrage doit être vérifiée par un ingénieur.

Lors de la coulée de béton, les principaux éléments de sécurité à considérer sont les suivants:

- le déplacement de la benne par la grue fait référence aux problèmes de sécurité susceptibles de se produire avec ce type d'équipement<sup>6</sup>, par exemple, la qualité des câbles, l'élinguage, les exigences sensorimotrices et les communications entre le grutier et le signaleur;
- lors de l'utilisation de pompes pour la coulée de béton, la qualité et la robustesse des boyaux et de leur support doivent être assurés;
- les manoeuvres-cimentiers doivent se déplacer sur l'acier d'armature tout en effectuant des tâches diverses (guidage de la benne, nivellement du béton avec le rateau, la pelle, une pièce de 50 mm x 100 mm); l'écartement entre les barres d'acier constitue un élément important à considérer;
- l'utilisation d'outils manuels pour étaler le béton (pelle, râteau, morceaux de 50 mm x 100 mm); particulièrement, la mise à niveau du béton à l'aide d'une pièce de 50 mm x 100 mm nécessite l'adoption de postures penchées, à plus de 90°;
- les possibilités de contact avec le béton entraînent des risques de dermatoses, particulièrement aux mains, si ces dernières ne sont pas protégées; les éclaboussures aux yeux sont également possibles.

4- DÉCOFFRAGE

Le coffrage traditionnel de murs et de planchers comporte les mêmes dangers lors du décoffrage. Ceci étant essentiellement dû à la chute du matériel, l'encombrement du sol, les clous en saillie, les difficultés de coordination entre les activités de plusieurs manoeuvres, et l'absence d'outils adaptés pour arracher les matériaux.

Le décoffrage de trop grandes surfaces en une seule fois augmente les risques de chutes incontrôlées de matériel, et oblige le travailleur à se déplacer dans les zones encombrées.

FICHE - 7

Chapitre 4

Coffrages pour planchers

TYPE DE COFFRAGE

Planchers en éléments assemblables et démontables (4.5)

- Coffrages de plancher avec des poutrelles extensibles et platelage en bois (4.5.1, fig. 4.6)
- Plateaux de petites dimensions (4.5.2, fig. 4.7)

Planchers par plateaux de grandes dimensions (4.6, fig. 4.8)

EMPLOI

Pour le coffrage de planchers avec des poutrelles extensibles et platelage en bois:

- cette méthode est utilisée lorsque le sol est irrégulier et dans le cas d'un plancher qui s'étend sur de grandes portées (4.5.1).

Pour le coffrage de plancher par plateaux de petites dimensions:

- cette méthode est utilisée lors de petits chantiers présentant une architecture assez complexe (4.6.5).

Pour le coffrage de plancher par panneaux de grandes dimensions:

- cette méthode est utilisée pour des planchers longs, plats ou nervurés dont les travées ne dépassent pas 3 m (4.6.5).

### AVANTAGES

En général, pour les planchers en éléments assemblables et démontables:

- ils sont adaptés à des situations où l'assemblage ne peut s'effectuer à l'aide de moyens de levage mécaniques (4.5.1, 4.5.2);
- ils réduisent le nombre d'opérations manuelles permettant l'assemblage du coffrage (4.5.1, 4.5.2);
- les matériaux sont réutilisables (4.5.1, 4.5.2);
- on réalise une économie substantielle d'étaisements (4.5.1, 4.5.2).

Pour le coffrage de planchers avec des poutrelles extensibles et platelage en bois:

- les poutrelles sont conçues avec une contre-flèche en deux ou trois éléments extensibles pour être plus facilement transportables et manutentionnables manuellement, et s'adapter à tous les côtés;
- la contre-flèche permet de compenser la flèche due aux charges de bétonnage (4.5.1).

Pour le coffrage de planchers par plateaux de petites dimensions:

- adapté à des situations où l'assemblage ne peut s'effectuer à l'aide de moyens de levage mécanique (4.6.5);
- les plateaux sont suffisamment légers pour être manutentionnables par deux travailleurs (4.5.2).

Pour le coffrage de planchers par plateaux de grandes dimensions:

- la manutention peut se faire à l'aide d'un chariot mobile muni d'un vérin hydraulique ou d'une crémaillère qui permet de décinterrer les plateaux, de les déplacer et de les remettre en place (4.6.5);
- on peut utiliser les plateaux pour des surfaces de planchers irrégulières ou encombrées (4.6.3).

DÉSAVANTAGES

Pour le coffrage de planchers avec poutrelles extensibles et platelage en bois:

- difficultés de planéité et de régularité de la face inférieure de l'ouvrage (4.5.2.);
- la chute des poutrelles lors du décoffrage occasionne des déformations de la sous-face de l'ouvrage (4.5.2).

Pour le coffrage de planchers par plateaux de petites dimensions:

- la hauteur du sous-plafond est limitée à 3 m (4.5.2).

Pour le coffrage de planchers par plateaux de grandes dimensions:

- le système de plateaux coffrants nécessite des étais supplémentaires si les travées de coffrage mesurent plus de 4 m de largeur (4.6.1);
- le montage et le démontage des consoles pour supporter les plateaux sont longs et fastidieux (4.6.3).

SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE POUR PLANCHERS  
EN ÉLÉMENTS ASSEMBLABLES ET DÉMONTABLES

**1 - MONTAGE DU COFFRAGE DE PLANCHERS**

Le coffrage de planchers en éléments assemblables et démontables se caractérise par rapport aux coffrages traditionnels par la réduction des étalements et l'emploi de parties de coffrages pré-assemblées.

**1.1 Transport et manutention des matériaux**

Le coffrage de plancher avec des poutrelles extensibles requiert la manutention des matériaux à assembler sur place, comme dans le coffrage traditionnel. Il nécessite la manutention manuelle d'étais métalliques ou d'échafaudages portants, des poutrelles extensibles (suivant leur taille, elles peuvent être placées avec la grue), et des feuilles de contre-plaqué, selon que celles-ci doivent être manutentionnées à la main, ou avec l'aide de moyens de levage mécaniques.

Dans le coffrage en petits plateaux manutentionnés à la main, ceux-ci doivent être conçus de façon à éviter les efforts excessifs. Les principaux éléments à considérer sont les suivants: la taille du plateau qui est fonction de l'étalement, les conditions d'accès, la fréquence de manutention et les autres conditions de la situation de travail déjà mentionnées.

Le coffrage de plancher avec des grands plateaux, manutentionnés à l'aide de la grue, comporte au niveau de la sécurité, les mêmes exigences vues précédemment concernant l'utilisation de cet équipement.

## 1.2 L'accès au plan de travail

L'accès au plan de travail en hauteur varie selon le type de plancher: poutrelles extensibles, petits ou grands plateaux. Peu utilisé au Québec, ce type de coffrage n'a pas fait l'objet d'analyse, mais nous pouvons supposer que suivant le cas, les problèmes d'accès déjà mentionnés peuvent être présents. Il ne faut pas également exclure d'autres influences particulières à ce type de coffrage.

## 2 - FERRAILLAGE

Voir coffrages pour planchers traditionnels.

## 3 - COULÉE DE BÉTON

Voir coffrages pour planchers traditionnels.

## 4 - DÉCOFFRAGE

Le décoffrage de plancher en poutrelles extensibles ou en petits plateaux, nécessite de faire tomber la structure, comme dans le décoffrage traditionnel. Le fait d'utiliser moins d'étaisements ou la fixation entre les petits plateaux peuvent rendre le décoffrage plus difficile et dangereux. Il existe par contre moins d'encombrement au sol.

Le décoffrage de grands plateaux se fait en abaissant le plateau et en le glissant sur son support, ce qui comporte moins de danger. Le glissement peut être facilité par un chariot hydraulique pour pousser le plateau. Les mêmes problèmes d'élinguage se posent tel que pour l'utilisation des tables volantes.

FICHE - 8

Chapitre 4

Coffrages pour planchers

TYPE DE COFFRAGE

Tables de coffrage (4.7, fig. 4.9)

EMPLOI

Planchers largement répétitifs (4.11)

AVANTAGES

Réduit le nombre des opérations manuelles permettant l'assemblage du coffrage (4.10.1)

- Matériaux réutilisables (4.9).

DÉSAVANTAGES

- La mise en place de la table est une manoeuvre de précision, le jeu entre la table et les murs étant très faible (4.9):
- le positionnement de la table peut devenir une opération très dangereuse lorsqu'il y a du vent (4.9);
- l'équipement d'une table de coffrage est multiple et complexe (4.8);
- il y a une diminution de la rapidité de manoeuvre pour les tables de grandes dimensions (4.7.2).

## SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE POUR PLANCHERS AVEC TABLES DE COFFRAGE

### 1 - MONTAGE DU COFFRAGE DE PLANCHERS

#### 1.1 Entreposage et manutention

Souvent montées sur place, les tables coffrantes sont entreposées sur le chantier, à côté de l'édifice en construction. L'entreposage d'une durée limitée pose des problèmes importants, au début du chantier, lorsque l'espace autour de celui-ci est restreint, comme cela arrive fréquemment en milieu urbain. Des dispositions devront être prévues afin d'assurer la sécurité: la détermination d'un lieu précis d'entreposage, la préparation du terrain, l'ordre et le nombre de tables empilées et les moyens d'accès relativement à l'élinguage des tables.

L'utilisation des tables volantes diminue le nombre d'opérations manuelles. Les activités de manutention effectuées par le travailleur se retrouveront essentiellement lors de la construction de la table au début du chantier et lors de sa mise en place.

Le soulèvement et le transport de charges manuelles s'effectuent principalement pendant la construction de la table. Les mêmes caractéristiques de la situation de travail, déjà abordées, lors du coffrage pour planchers traditionnel influencent les conditions de santé et sécurité.

Le positionnement et l'ajustement de la table, durant sa construction ou sa mise en place, nécessitent le déplacement manuel de celle-ci. Pour ce faire, les travailleurs utilisent soit des barres à mine, des pieds d'étais métalliques, des pieds-de-biche comme leviers, soit des masses. Ceci montre des difficultés de déplacement de la table qui pourraient certainement être améliorées sur le plan technique. En effet, l'effort à fournir par le travailleur nécessite des efforts de pointe pouvant être dangereux.

Le transport de la table coffrante s'effectue à l'aide de la grue, ce qui nous renvoie aux problèmes de sécurité rencontrés avec l'utilisation de banches.

### 1.2 Les accès au plan de travail

Les accès à la table de coffrage se font généralement à l'aide d'échelles.

Lors de la construction de la table volante, la pose du platelage peut nécessiter des déplacements sur une surface étroite. Le clouage du plancher est plus important que dans le coffrage traditionnel et requiert en cela le maintien pendant une plus longue période de postures accroupies, à genoux, ou debout/penché.

Le travail d'ajustement de la table au bord de la dalle comporte des risques de chute qui peuvent être diminués, en facilitant la mobilité de la table et l'utilisation de moyens de protection.

Le plancher faisant la jonction entre deux tables de coffrage doit être posé le plus tôt possible afin d'éviter des chutes aux charpentiers-menuisiers qui travaillent entre les tables.

### 1.3 L'utilisation d'outils

Avec les tables volantes, le marteau et la scie sont moins utilisés et sont remplacés par la clé plate, la visseuse électrique et la barre à mine. Nous rencontrons par conséquent des problèmes similaires à ceux évoqués avec les banches.

Également, les outils appuyés contre la structure de la table peuvent glisser facilement et heurter un travailleur. Ceci est accentué par la nécessité de se départir rapidement de l'outil afin d'effectuer des manoeuvres requérant une coordination d'équipe.

## 2 - POSE DE L'ACIER D'ARMATURE

## 3 - COULÉE DU BÉTON

La pose de l'acier d'armature et la coulée du béton s'effectuent de la même façon que dans le coffrage traditionnel de dalle.

## 4 - DÉCOFFRAGE

Le décoffrage se fait en abaissant la table de coffrage avec des chariots munis de vérins hydrauliques. Elle est ensuite élinguée et poussée vers l'extérieur par les travailleurs. Les jonctions de planchers, entre les dalles, sont décoffrées de façon traditionnelle.

L'opération la plus dangereuse est l'élinguage de la table qui peut s'effectuer soit en montant sur le plancher de la dalle, soit par en-dessous du plancher. Dans les deux cas, les travailleurs sont dans le vide. La ceinture de sécurité offre un moyen de protection, mais il serait avantageux d'adopter une solution technique évitant d'exposer le travailleur au vide. Lors de cette opération, la solidité de l'arrimage de la table par une corde qui entoure un étai métallique laisse à désirer, et s'avère inefficace si la table est entraînée dans le vide.

Une fois la table élinguée, elle est poussée dans le vide et par conséquent, les travailleurs sont exposés aux risques de chute. La ceinture de sécurité n'est pas toujours portée à cause du peu de temps consacré à cette opération, des déplacements des travailleurs et de l'absence de points d'ancrage à proximité.

FICHE - 9

Chapitre 5

Coffrages pour colonnes et poutres

TYPE DE COFFRAGE

Coffrage traditionnel pour colonnes (5.1.3)

Coffrage de colonnes en petits panneaux (5.2.1.1)

Coffrage par banche (5.2.1.2)

Coffrage en demi-coquilles (5.2.1.3, fig. 5.1 et 5.2)

Coffrage par panneaux indépendants (5.2.1.4)

Coffrage de colonnes hauteur d'étages avec les banches (5.2.1.5)

Coffrages pré-fabriqués réutilisables ou des coffrages à usage simple (5.4.1, fig. 5.9)

EMPLOI

Pour le coffrage de colonnes carrées ou rectangulaires, de formes régulières ou irrégulières, le coffrage traditionnel offre la versatilité nécessaire à ces différentes exigences (5.3).

Pour le coffrage de colonnes carrées et rectangulaires de dimensions courantes, tous les types de coffrages précédemment cités conviennent avantageusement (5.3).

Pour le coffrage de colonnes circulaires, le coffrage en demi-coquilles et d'autres peuvent s'adapter, mais il est préférable d'opter pour les coffrages pré-fabriqués réutilisables ou des coffrages à usage unique (5.4.1).

## AVANTAGES

### COFFRAGE TRADITIONNEL

- Il permet l'utilisation d'équerres métalliques ou en bois, réglables ou clavetables au lieu de tirants, pour bloquer les faces du coffrage (5.1.3).
- Il améliore le fini de la surface, élimine le sciage des tirants et le ragréage au décoffrage (5.1.3).
- Pour des colonnes dont les dimensions se répètent, on peut préparer à l'avance des panneaux en menuiserie (5.1.3).

### COFFRAGE DE COLONNES EN PETITS PANNEAUX

- On utilise la même technique que pour le mur, mais d'un emploi plus facile (5.2.1.1).
- De plus, le montage de panneaux à angle droit élimine le problème d'alignement (5.2.1.1).

### COFFRAGE PAR BANCHE

- On utilise la même technique que pour le coffrage de murs mais en système simple (5.2.1.2).

### COFFRAGE EN DEMI-COQUILLE

- C'est un système simple et facile à mettre en place (5.2.1.3).

### COFFRAGES PRÉFABRIQUÉS RÉUTILISABLES OU DES COFFRAGES À USAGE SIMPLE

- Le montage est simple et aucune moise extérieure n'est requise (5.4.2).

DÉSAVANTAGES

COFFRAGE EN DEMI-COQUILLE

- Les dimensions sont fixes, bien qu'on puisse les faire varier en introduisant des caissons ou des fourrures à l'intérieur du coffrage (5.2.1.3).

COFFRAGES EN BOIS

- Difficilement adaptables, lorsqu'il s'agit d'effectuer un coffrage circulaire (5.4.1).

## SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE POUR COLONNES

### 1 - MONTAGE OU MISE EN PLACE DES COFFRAGES POUR COLONNES

#### 1.1 Coffrage pour colonnes

Le coffrage pour colonnes s'apparente au coffrage pour murs. En outre, certaines contraintes spécifiques influencent l'accès au plan de travail: la détermination de l'emplacement de la colonne à partir de la structure de coffrage du plancher, dont le platelage n'a pas encore été posé, crée des contraintes d'équilibre, la surface étroite de la colonne peut offrir un appui réduit, pour l'utilisation d'échelles. Les colonnes au bord de la façade ou en coin nécessitent l'utilisation de moyens de protection pour le charpentier-menuisier qui doit travailler près du vide.

### 2 - LA POSE DE L'ACIER D'ARMATURE

L'acier d'armature est assemblé d'abord et mis en place ensuite.

L'assemblage s'effectue généralement sur des supports permettant de travailler sans se pencher. La mise en place de la structure d'acier se fait manuellement, si elle est petite, ou avec la grue. Lorsque la mise en place de l'acier est effectuée avant le coffrage, le travailleur grimpe le plus souvent sur la structure d'acier pour la décrocher. La disponibilité de différents équipements d'accès facilement transportables (escabeau, tabouret) permet au travailleur de choisir un moyen d'accès plus sécuritaire.

### 3 - COULÉE DE BÉTON

La coulée de béton s'effectue le plus souvent à partir du coffrage de plancher. Si ce n'est pas le cas, une passerelle doit être construite autour de la colonne.

#### 4 - DÉCOFFRAGE

Le décoffrage de la colonne est étroitement relié au décoffrage du plancher environnant. Suivant le type de coffrage, il s'effectuera de façon traditionnelle ou par panneau de côté, ou par déchirement de feuilles de carton spiralées.

### SÉCURITÉ ET ERGONOMIE DU COFFRAGE POUR POUTRES

#### 1 - MONTAGE OU MISE EN PLACE DES COFFRAGES POUR POUTRES

Le coffrage de la poutre s'incorpore habituellement au coffrage de plancher. Il peut être construit directement à partir du plancher ou monté au sol et mis en place. Dans le premier cas, le type de coffrage est assimilable au coffrage traditionnel. La dénivellation que constitue la poutre sur le plancher augmente les difficultés relativement au degré de précision du travail et aux contraintes d'accès supplémentaires. Dans le deuxième cas, les contraintes sont principalement dues à la manutention par la grue et à l'ajustement de la poutre.

#### 2 - POSE DE L'ACIER D'ARMATURE

#### 3 - COULÉE DU BÉTON

L'acier d'armature monté au sol est placé ensuite dans le coffrage de la poutre et la coulée du béton s'effectue fréquemment en même temps que la coulée du plancher.

#### 4 - DÉCOFFRAGE

Le décoffrage de la poutre est similaire au décoffrage du plancher, auquel celle-ci est incorporée.

## Chapitre 1

### HISTORIQUE DU BÉTON ARMÉ ET DU COFFRAGE

#### 1.1 INTRODUCTION

Le coffrage\* a été utilisé depuis les plus anciens temps, dès que l'homme a découvert qu'il pouvait façonner des matériaux à ses besoins dans des moules. En effet, en déversant des matériaux de consistance plus ou moins pâteuse dans des moules où ils vont faire leur prise, il pouvait façonner de ses propres mains des objets à l'image de ses besoins. Ce sont ces moules qu'on appelle maintenant "coffrage" dans les chantiers de construction.

Le matériau utilisé à cette époque était à base d'argile avec laquelle on fabriquait de la poterie et des briques. Tel quel, ce matériau est fragile et cassant, d'où l'idée de renforcer ce matériau avec de la paille et c'est ainsi qu'est né le pisé, terre mélangée à la paille. Ainsi, quoiqu'encore relativement fragile et cassant, le pisé était très utilisé dans le domaine de la construction pour réaliser des murs, des planchers et des briques en terre cuite. C'était en quelque sorte le "béton armé" de l'époque car effectivement on trouvait déjà avec le pisé, un phénomène de prise avec le séchage de l'argile.

Déjà à cette époque, nos ancêtres employaient des techniques de mise en oeuvre qu'on utilise encore aujourd'hui. Ils coulaient en place des ouvrages (murs, planchers), fabriquaient des briques et des blocs. La faible résistance mécanique du matériau utilisé à cette époque ne leur permettait pas d'exécuter des membrures de grandes dimensions et, de plus, ils ne disposaient pas de moyens puissants de levage. Par conséquent, ils étaient limités à construire des ouvrages très simples

---

\* Dans le texte, le mot "coffrage" implique les moules dans lesquels on déverse le béton frais et la fausse charpente qui supporte ces moules.

dans des moules très rudimentaires. Ils ne pouvaient pas utiliser les coffrages outils, panneaux lourds tels qu'on les connaît aujourd'hui; ils étaient limités à des coffrages rudimentaires, manutentionnables manuellement.

Plus tard, l'utilisation de la chaux alliée à un mélange de sable, de graviers et de cailloux permettra aux Romains de confectionner un "véritable mortier" avec lequel ils vont tout bâtir. Les arches gracieuses supportant les aqueducs, les cirques et bien d'autres, témoignent encore de la réussite de ce matériau.

Vicat inventa le ciment (tel qu'on le connaît aujourd'hui) en 1824 et dès lors le vrai béton prit naissance et très vite il devint le matériau de construction par excellence par rapport aux matériaux utilisés précédemment. Du point de vue résistance mécanique, le béton a une bonne résistance à la compression, mais par contre, il est fragile et cassant en traction.

Vers le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, le béton armé fut découvert de façon accidentelle. Du coup, le béton armé permettait de marier une bonne résistance à la compression à la résistance à la traction de l'acier d'armature par l'intermédiaire de l'adhérence de l'armature d'acier avec le béton. Très vite, cette propriété va lui faire connaître un essor considérable. Ainsi, avec ce nouveau matériau, on employa la technique de la banche pour construire les premières maisons en béton armé en France. La banche, en tant que technique de coffrage, a une origine très lointaine. Elle a été très vite associée à une technique de construction bon marché puisqu'on pouvait réaliser des murs en coulant dans ce moule rudimentaire des matériaux de toutes sortes, par exemple du tout-venant ou des matériaux de récupération. Parallèlement, on mit au point en Angleterre, en 1860, un système de coffrage démontable et réutilisable.

Les premiers coffrages étaient entièrement en bois. Le coffrage était monté sur place, destiné à recevoir du béton. Le bois était coupé à la demande suivant les dimensions de l'ouvrage et monté sur place au fur et à mesure, par clouage, et renforcé au besoin avec des membrures en fer.

Cette technique de coffrage est encore utilisée de nos jours et elle est communément appelée "coffrage traditionnel".

Vers les années 40, la grue a fait son apparition dans les chantiers fournissant du coup des moyens puissants de levage. Dès lors, les fabricants de coffrage ont développé toute une gamme de coffrages-outils et de panneaux lourds réutilisables. Avec l'utilisation de plus en plus systématique de la grue, l'usage de ces coffrages outils et panneaux lourds s'est progressivement généralisé dans presque tous les chantiers. Ils améliorent grandement le rendement et permettent de réaliser des économies appréciables.

L'utilisation du béton armé, donc de l'emploi des coffrages, s'est poursuivie graduellement pour arriver à une généralisation presque totale dans le domaine de la construction (travaux publics, construction de logements, etc,...) En effet, depuis le début du vingtième siècle, le béton armé s'est progressivement imposé en Europe pour la construction des logements et des ouvrages d'art. Quant au continent Nord-Américain, c'est dans les ouvrages d'art principalement que le béton s'est imposé. De nos jours, on accepte de plus en plus le béton comme matériau architectural, particulièrement au Québec, et les fabricants de coffrage doivent suivre cette évolution pour développer de nouvelles techniques de coffrage. Ainsi donc le coffrage a connu un développement parallèle à celui du béton.

Depuis le temps du pisé, la technologie a fait d'énormes progrès. Les grues constituent des moyens puissants de levage. Le ciment Portland a remplacé la boue ou le mortier à base de chaux qu'utilisaient les anciens. Les recherches entreprises nous aident à mieux comprendre les lois qui dictent le comportement de divers ingrédients qui entrent dans la confection du béton armé afin que nous puissions l'utiliser au mieux de ses propriétés. De nos jours presque tous les chantiers importants disposent d'une grue. Dès que le chantier comporte des travaux répétitifs, on cherchera à utiliser de préférence des panneaux lourds réutilisables ou des coffrages-outils et du coffrage traditionnel au besoin. Depuis les toutes dernières années, les chantiers de grosse taille sont

moins fréquents. On s'achemine plutôt vers la recherche d'une architecture plus diversifiée et personnalisée au lieu de la construction de masse, typique des chantiers d'après guerre, et ceci amène nécessairement les fabricants de coffrages à rechercher des techniques, souples d'emploi et ne nécessitant pas un lourd investissement.

## 1.2 LE CHOIX DU BÉTON ARMÉ COMME MATÉRIAU DE CONSTRUCTION

Sans le béton armé, le coffrage n'existerait plus et n'aurait pas connu un si grand développement, d'où la question "pourquoi le béton armé comme matériau de construction?".

Le béton armé est confectionné à partir de matières premières abondantes et peu chères, ce qui permet un prix compétitif pour les travaux. À l'état frais, le béton est un matériau de consistance plus ou moins pâteuse qui lui confère des propriétés extrêmement intéressantes de maniabilité. Ceci permet à l'utilisateur de choisir librement la forme, la texture et le fini de l'ouvrage qu'il veut avoir.

À l'état durci, le béton possède une bonne résistance à la compression. La présence de l'acier d'armature, placé dans la zone de traction de la membrure permet à celle-ci de résister à la traction. Noyées dans le béton, ces armatures sont efficacement protégées contre la corrosion. De ce fait, le choix du béton armé comme matériau de construction s'explique aisément par une analyse de ses caractéristiques:

- matériau à un prix très compétitif, confectionné à partir de matières premières abondantes et bon marché;
- permet une grande liberté et une grande fantaisie de formes et de parements;
- possède une bonne résistance mécanique en compression et en traction;
- à une certaine épaisseur, offre une bonne isolation thermique et acoustique;
- durabilité et résistance remarquables contre les agressions climatiques et atmosphériques;
- peu ou pas d'entretien de l'ouvrage après sa confection.

### 1.3 ROLE ET IMPORTANCE DU COFFRAGE

#### 1.3.1 Rôle

Le coffrage en tant qu'outil essentiel de la mise en oeuvre du béton a un rôle important dans la réalisation d'ouvrages de qualité en béton armé. En effet, c'est dans le coffrage qu'on déverse le béton frais où il va faire sa prise. Le rôle du coffrage ne se limite pas à un moule où le béton va faire sa prise; il doit être suffisamment résistant pour reprendre l'ensemble de charges de bétonnage pour permettre de réaliser l'ouvrage d'après la géométrie voulue et le fini désiré.

Au décoffrage, l'ouvrage prend définitivement la forme que le coffrage lui a donnée et le fini de surface sera au mieux celui de la paroi coffrante. Le fini de l'ouvrage détermine la valeur du coffrage. Si on n'obtient pas le fini désiré, on devra dès lors avoir recours aux travaux de ragréage, de piochage ou de colmatage, ce qui augmente le coût. Outre l'aspect réalisation de l'ouvrage, le coffrage a une très grande importance technique et économique.

#### 1.3.2 Importance technique du coffrage

En étudiant les plus grandes réalisations architecturales, on constate que ces ouvrages se distinguent des autres par un choix judicieux de matériaux de construction, de formes et de l'harmonie remarquable entre les ouvrages et les techniques de mise en oeuvre des matériaux avec lesquels ces ouvrages sont construits. Ainsi, pour réaliser des ouvrages de qualité en béton armé, il est primordial d'avoir dès le départ une harmonie étroite entre ceux-ci et l'outil qui permet de les réaliser, c'est-à-dire le coffrage.

#### 1.3.3 Importance économique

Le coffrage a une très grande importance économique. Très souvent le choix du coffrage se fait en fonction du coût d'investissement initial et des possibilités de réemploi qu'il offre. Le coffrage est une

structure temporaire qu'on met en place juste le temps de recevoir le béton frais et permettre à celui-ci de faire sa prise. Une fois ceci réalisé, le coffrage est soit mis au rebut ou réemployé. Ainsi donc, le coffrage ne permet que la réalisation de l'ouvrage et ne contribue nullement à la valeur de l'ouvrage fini mais il apporte de la plus-value à la construction de l'ouvrage.

La meilleure façon d'apprécier sa contribution à la plus-value de l'ouvrage, c'est de parcourir les différentes étapes de construction d'un ouvrage. Succinctement ces étapes sont:

1. l'achat et la fourniture du matériel de coffrage au chantier;
2. la fabrication du matériel (sciage et coupe à la demande);
3. la mise en oeuvre du coffrage (montage, assemblage, ferrailage, etc.);
4. la coulée du béton;
5. le décoffrage de l'ouvrage;
6. les travaux de finition, au besoin.

Les coûts de ces étapes de construction sont difficilement chiffrables mais les experts en construction estiment que ces étapes participent pour près de 50 à 60 % à la plus-value de l'ouvrage apportée par l'entreprise. Le coût du coffrage et de la main-d'oeuvre représente une partie importante du coût de gros oeuvre. Sur presque tous les chantiers de construction, on estime facilement que 50 % des maintenances de matériel et à peu près 60 % des heures travaillées sont destinées aux travaux de coffrage et décoffrage et sa qualité détermine directement le travail et les coûts de finition.

L'essentiel des gains de production dans les chantiers de béton armé peut être réalisé par la technique de mise en oeuvre des coffrages. En effet, le coût de la main-d'oeuvre et le prix du béton et de l'acier sont plus ou moins stables, ce qui fait que c'est dans la technique de mise en oeuvre du coffrage que les espoirs de gain sont les plus importants.

Le coût d'un projet varie suivant le type de coffrage utilisé. Le plan final du coffrage ne reflète pas du tout le travail accompli lors de la conception du coffrage pour en arriver au choix final du coffrage. Le concepteur doit aussi dans l'élaboration de son projet prendre en considération des moyens mis en oeuvre pour l'exécuter; ainsi, il peut facilement réaliser des économies substantielles sur le prix prévu sans mettre en péril la sécurité des travailleurs et de l'ouvrage. Évidemment, se préoccuper d'économie dans la réalisation de l'ouvrage n'implique nullement l'uniformité, la monotonie et la laideur qui caractérisent une architecture médiocre.

Le concepteur avisé tiendra aussi compte des contraintes liées à l'utilisation des coffrages dans l'élaboration de son projet et pour cela, il faut qu'il connaisse parfaitement celles-ci tant sur le plan technique, économique, humain, que sécuritaire afin d'optimiser le coffrage.

#### 1.4 LES CARACTÉRISTIQUES DU COFFRAGE

Parmi les nombreuses caractéristiques, on reconnaît:

- les caractéristiques techniques;
- les caractéristiques fonctionnelles.

##### 1.4.1 Les caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques permettent la fabrication d'un produit de bonne qualité. Pour réaliser les caractéristiques techniques du coffrage, il faut:

- que la paroi coffrante permette de réaliser rigoureusement la surface désirée;
- que le décoffrage soit aisé à la fois par sa forme, sa méthode d'érection et son absence d'adhérence au béton;
- que la déformation de la paroi coffrante sous la poussée du béton reste admissible pour respecter la géométrie de l'ouvrage;

- que la paroi coffrante soit parfaitement étanche pour éviter les fuites de laitance qui altèrent la surface du béton et diminuent sa résistance. Les fuites de laitance rendent le béton déficient en fines et augmentent sa perméabilité. Si le béton est exposé aux intempéries, les aciers mal protégés vont s'oxyder rapidement, s'accompagnant d'un gonflement qui fait éclater le béton;
- que le coffrage conserve ses caractéristiques lors des démontages, remontages, manutentions, emmagasinages, expositions aux intempéries.

#### 1.4.2 Les caractéristiques fonctionnelles

Les caractéristiques fonctionnelles permettent la mise en oeuvre du coffrage dans des bonnes conditions alliant la facilité, la rapidité et la sécurité. Elles déterminent plus ou moins la rentabilité du coffrage. Une bonne conception du coffrage permet:

- d'amener le coffrage à son emplacement de mise en oeuvre avec un minimum de manutention et pour cela, le coffrage doit être adapté au moyen de manutention disponible;
- de régler la face coffrante pour l'amener à la géométrie recherchée;
- d'assembler les divers éléments entre eux, et d'ajuster ces éléments pour obtenir les dimensions adaptées de l'ouvrage;
- l'emmagasinage ou la mise en attente des coffrages tout en assurant leur stabilité;
- éventuellement la possibilité de changer aisément la paroi coffrante;
- la souplesse d'emploi;
- la possibilité d'intégrer l'équipement, les réservations, etc.;
- l'accès, la circulation et la sécurité des travailleurs en tout temps lors de son utilisation.

Le concepteur s'assurera que les différentes manoeuvres (mécanisées ou non) pour mettre le coffrage en place ne nécessitent pas des positions fatigantes et n'imposent pas aux travailleurs des efforts incompatibles avec leur force physique.

En définitive, l'efficacité de l'emploi d'un coffrage dépend donc:

- de la qualité technique de l'ouvrage obtenu, donc de ses caractéristiques techniques;
- de ses caractéristiques fonctionnelles qui conditionnent son coût de mise en oeuvre;
- de sa durabilité;
- de son prix d'achat ou de location;
- de sa souplesse d'emploi;
- de l'expérience et qualification des travailleurs;
- du nombre de réemplois possibles.

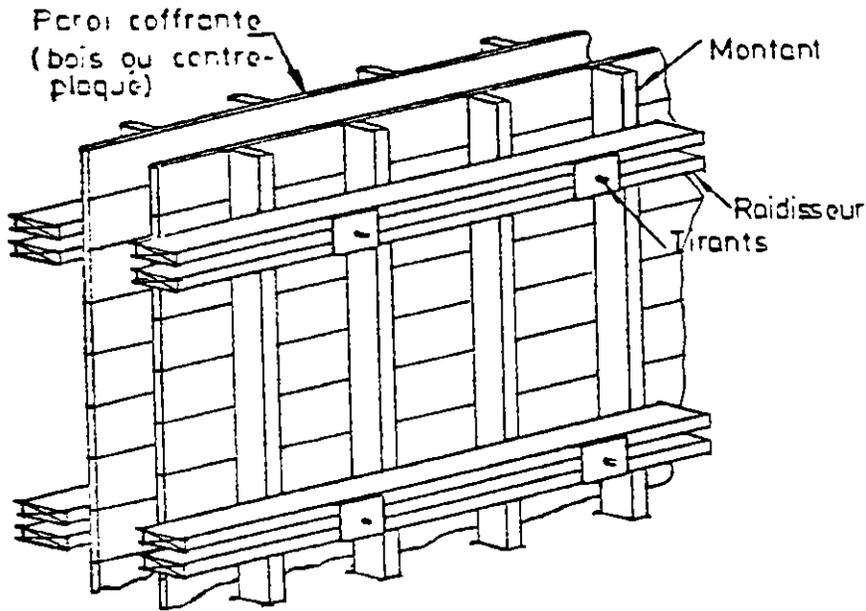
### 1.5 LA STRUCTURE DU COFFRAGE

Essentiellement le coffrage est constitué:

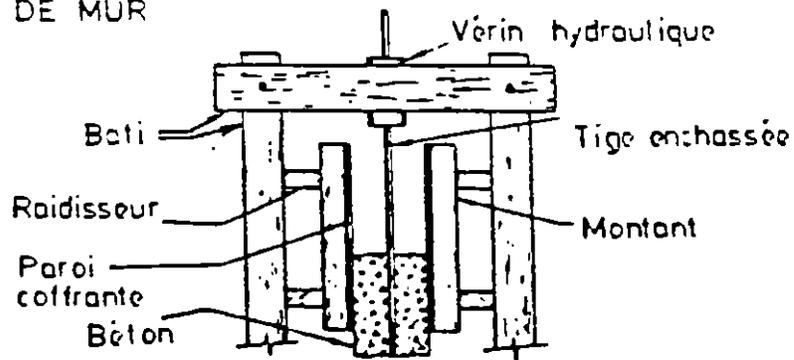
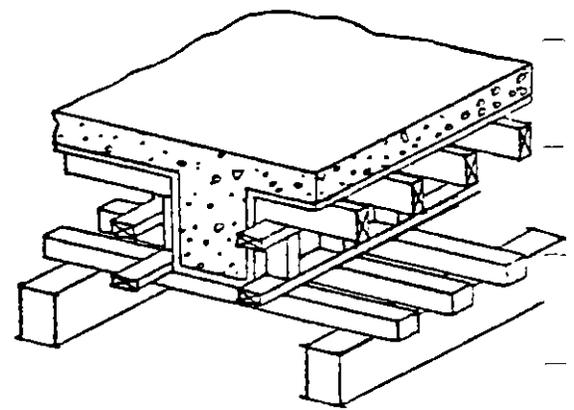
- d'une paroi coffrante plus ou moins rigide dont la qualité détermine directement le fini de la surface;
- de raidisseurs qui limitent les déformations de la paroi coffrante et reportent les efforts sur la fausse charpente;
- d'une fausse charpente en bois ou de poutres en profilés ou en treillis tubulaires métalliques. Celle-ci reporte les efforts sur les points d'appuis (tirants pour les coffrages verticaux et étais ou échafaudages portants pour les coffrages horizontaux);
- d'équipement de réglage, d'assemblage, de manutention et d'accès qui assurent la sécurité des travailleurs;
- d'accessoires qui relient les éléments de coffrage ou facilitent la tâche des travailleurs.

C'est cet ensemble d'éléments qui assure les caractéristiques du coffrage.

Les figures 1.1 et 1.2 illustrent quelques exemples de coffrage et de fausses charpentes.



COFFRAGE DE MUR



COFFRAGE GLISSANT

Fig. 1.1 Exemples de coffrage

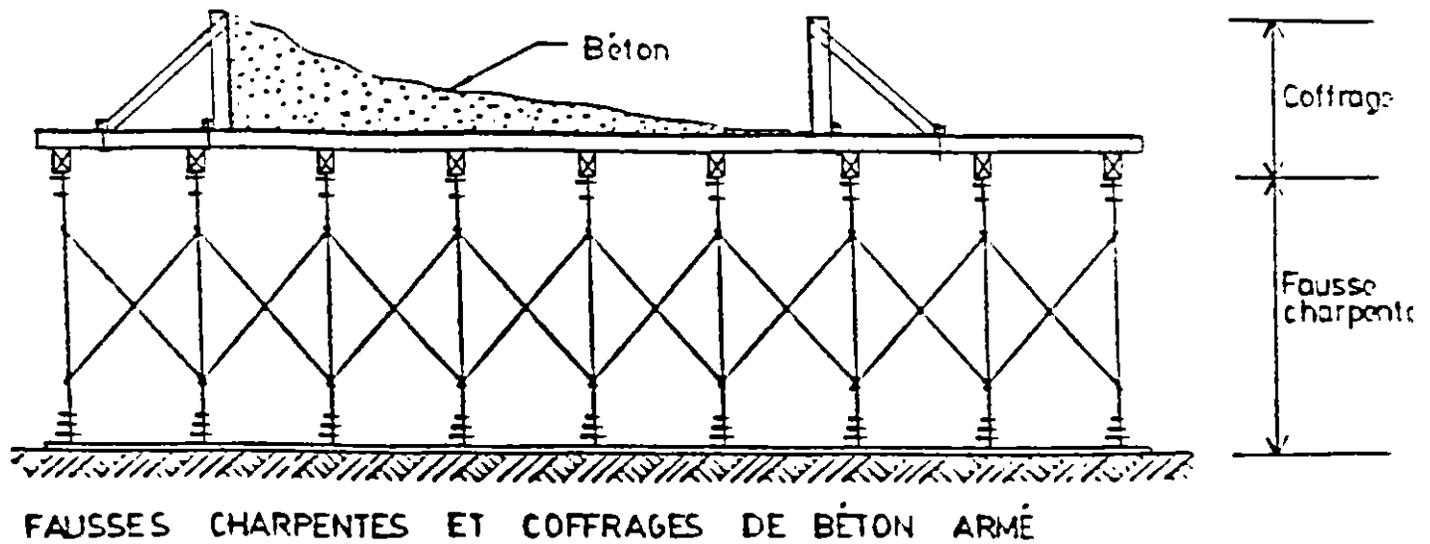
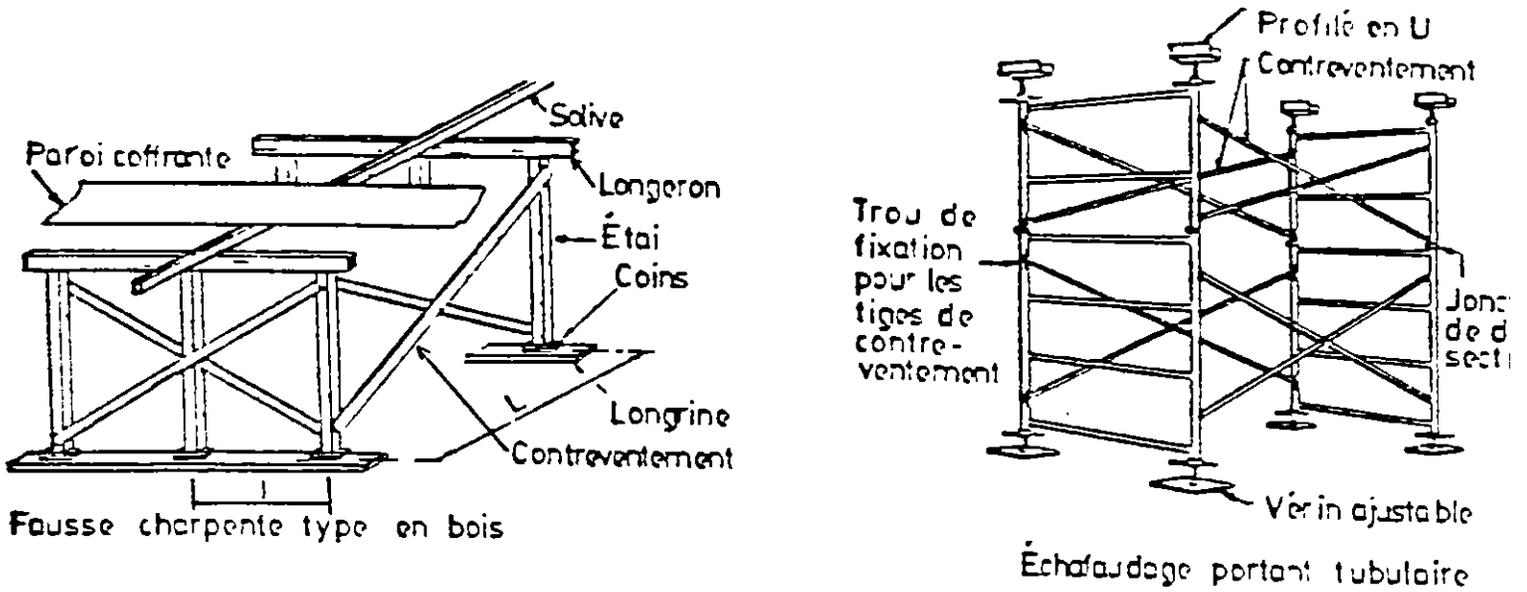


Fig. 1.2 Exemples de fausses charpentes

## 1.6 CLASSIFICATION DES COFFRAGES

La diversité des ouvrages rencontrés dans la construction en béton armé rend difficile la classification des différents types de coffrage. Le classement le plus approprié serait une classification par destination d'emploi.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des différents types de coffrage couramment utilisés. Les termes employés sont définis dans ces chapitres respectifs.

Tableau 1 - Types de coffrage

Ouvrages	Types de coffrage	Structures et remarques
Mur	Coffrage traditionnel	Membrures en bois montées et démontées à chaque réemploi
	Petits panneaux assemblables	En bois, métallique ou mixte
	Banches pour les murs hauteur d'étage	Entièrement métallique ou cadre métallique et paroi coffrante en bois ou contre-plaqué Entièrement en bois pour une texture spéciale
	Coffrage outil perfectionné	Coffrage grimpant ou semi-grimpant Coffrage glissant
Planchers	Coffrage traditionnel	Platelage en bois supporté par un étançonnement en bois ou étais métalliques ou échafaudages portants

Tableau 1 - Types de coffrage

Ouvrages	Types de coffrage	Structures et remarques
	Éléments démontables	Poutrelles extensibles avec platelage en bois Petits panneaux en bois, métalli- ques ou mixtes supporté par un étaçonnement
	Grands plateaux	En bois ou mixtes
	Tables de coffrage	Platelage en contre-plaqué et étaçonnement solidaire pour planchers de hauteur courante
	Platelage sur tour d'étaieiment	Planchers de grande hauteur
Poutres	Généralement coffrées avec le plancher	
Colonnes	Coffrage traditionnel	Membrures en bois montées et démontées à chaque réemploi
	Hauteur d'étage	Demi-coquilles  Panneaux mixtes ou métalliques
	Coffrage préfabriqué	En fibrociment ou carton

## 1.7 OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COFFRAGE

### 1.7.1 Généralités

Le souci du fabricant de coffrage ne se limite pas à ériger le coffrage aux dimensions exactes. Ses objectifs sont:

-**Qualité:** Concevoir et construire le coffrage avec précision de sorte que les dimensions, forme, implantation requises et le fini du produit soient réalisés.

-**Sécurité:** Bâtir la structure en conséquence pour que le coffrage supporte l'ensemble des charges (permanente et surcharge) sans s'effondrer et assure sur le chantier des conditions favorables à la santé et sécurité des travailleurs.

-**Économie:** Bâtir efficacement, réaliser des économies au propriétaire et à l'entrepreneur sans mettre en péril la sécurité des travailleurs.

Le coffrage coûte de l'ordre de 35 à 60 % du coût total de la structure. Par conséquent le contrôle du coût constitue une préoccupation majeure pour l'entrepreneur. Ce contrôle nécessite une bonne préparation et organisation du travail.

En effet, prendre des raccourcis lors de la conception ou de la construction, qui mettent en danger la qualité et la sécurité, sont de fausses économies. Tous les gens de la construction s'accordent à dire que rien n'est plus fâcheux qu'un incident ou une rupture de coffrage lors de la coulée du béton; on doit tout arrêter, réparer et tout recommencer, c'est dire la perte énorme de temps et le gaspillage de matériel; tous ces éléments influent directement sur le coût de l'ouvrage. De plus, si le coffrage n'a pas été conçu correctement pour réaliser le fini voulu, on aura à ce moment là recours aux travaux dispendieux de colmatage, de ragréage et de décapage pour rattraper le fini désiré.

C'est également durant les étapes de préparation, de planification et d'organisation du travail que doivent être considérés les différents aspects de la santé et sécurité des travailleurs.

L'intégration de la santé et sécurité doit se faire dès l'établissement des soumissions en incluant une provision pour la supervision, l'équipement et les procédures qui vont assurer la sécurité sur le chantier. Mais, ce sera principalement par la préparation et la mise en oeuvre tenant compte des connaissances relatives au travail humain que s'effectuera une construction alliant production et sécurité. Nous allons développer cet aspect dans le paragraphe suivant.

## 1.8 LA SÉCURITÉ DANS LE BÂTIMENT ET LE COFFRAGE

### 1.8.1 Approche générale de la sécurité

#### 1.8.1.1 Les caractéristiques particulières de l'industrie du bâtiment

L'industrie du bâtiment se distingue des autres secteurs industriels du fait de la particularité de son système de production. Ce système prend forme à partir des notions de chantier et d'entrepreneur qui différencient le bâtiment du secteur manufacturier. En effet, si l'entreprise manufacturière s'identifie notamment par un lieu physique précis où on fabrique certains biens dont la fabrication regroupe des qualifications professionnelles différentes parfois même spécifiques, dans le bâtiment, l'identification s'effectue d'abord par une qualification professionnelle aussi bien pour l'entrepreneur que pour le travailleur. Dans ce contexte, le chantier constitue un lieu temporaire de production où différents entrepreneurs, avec leurs travailleurs, oeuvrent suivant un plan d'ensemble supervisé par un entrepreneur général. L'évolution actuelle de l'organisation du travail sur les chantiers de construction tend à maintenir et même à augmenter la diversité des entrepreneurs plutôt que de centraliser l'ensemble des travaux pour un même entrepreneur. Ce mode d'organisation, qui correspond certainement à des objectifs économiques dans

un marché de production à l'unité, entraîne par ailleurs des difficultés relatives à la gestion et à l'organisation du travail.

Le débat concernant la notion de maître d'oeuvre et d'établissement en est un exemple. Ces difficultés peuvent affecter également la production et la sécurité en regard notamment des dimensions spatiales et temporelles particulières à cette industrie.

En ce qui concerne la dimension spatiale, les travaux de construction se réalisent dans des lieux, architectures et techniques différentes entraînant des contraintes spécifiques. De plus l'activité de construction consiste à transformer l'environnement, ce qui se traduit par des tâches nécessitant des travaux aussi bien au niveau du sol qu'à des hauteurs plus ou moins élevées avec des conditions climatiques différentes.

En ce qui concerne la dimension temporelle, les différents travaux de construction s'ordonnent selon un échéancier comportant des séquences définies de travaux ayant une durée déterminée. Les difficultés de planification et de prévision influencent le respect de ces échéanciers tels, le retard dans les plans, des difficultés techniques, des problèmes de livraison du matériel, le bris de matériel, le mauvais temps et les accidents de travail.

L'échéancier doit donc considérer les exigences relatives à l'exécution du travail, à la planification et à la coordination des tâches. Les difficultés à ce niveau peuvent notamment influencer les contraintes de temps et créer également des problèmes de coactivité dus à la présence des travailleurs occupés à des activités différentes dans un même lieu, au même moment.

L'exécution du travail dans le bâtiment comporte donc des exigences dont l'origine est particulière à cette industrie et qui vont se refléter dans la sécurité du travail.

### 1.8.1.2 Sécurité du travail et réglementation

Le travail dans le bâtiment est connu comme un travail physiquement dur, exposé à des dangers importants. Dejours<sup>11</sup> a montré certains mécanismes à la fois individuels et collectifs que les travailleurs utilisaient afin de faire face aux dangers quotidiens. Notamment, le rôle de l'idéologie défensive de métier qui selon cet auteur permet aux travailleurs à la fois de refouler l'angoisse relative au danger et d'effectuer une sélection des nouveaux travailleurs pour ne retenir que ceux qui se montrent capable d'affronter les risques du métier.

Dans un tel contexte, le code de sécurité de la construction fournit un ensemble de règles de base à la prévention des accidents de travail.

Le Code de sécurité constitue un outil efficace et nécessaire. Mais comme tout outil, il comporte également certaines limites soulignées particulièrement par Kahn, Lantier<sup>8,9</sup> et Toulouse<sup>13</sup>. Ces limites sont de deux ordres, d'une part une confusion peut se produire entre la prévention des risques et le respect de la réglementation et, d'autre part, les différents règlements du code sont de difficultés inégales dans leur application.

L'objectif primaire du code de sécurité, la prévention des accidents, peut se trouver dévié et l'application du code devient simplement la nécessité de se conformer aux règlements. Le respect de la réglementation devient une fin en soi. Cela donne l'illusion que le code procure toutes les réponses à tous les problèmes de sécurité et que tout est connu dans ce domaine. Il ne s'agit plus que d'une volonté d'application ce qui ne permet pas de rechercher les causes profondes reliées aux accidents du travail.

L'application des règlements est de difficulté différente, par exemple l'article 3.5 relatif à la construction sécuritaire d'une échelle comporte toutes les informations nécessaires à la réalisation

de cette échelle. L'article 3.1.4 relatif aux voies de circulation, les allées et tout poste ou lieu de travail sur le chantier est d'application plus complexe. En effet, outre les éléments mentionnés dans l'article, cela fait référence à la gestion du matériel et à l'organisation spatiale de ce matériel sur le chantier, compte tenu des contraintes architecturales et de la planification des tâches, et nécessite une connaissance des modes de déplacement des travailleurs sur le chantier. Le problème dans ce cas n'est pas de savoir ce qui doit être fait ou non, mais plutôt comment doit-on le faire? Or le Code ne permet pas de répondre à cette question.

Il est donc important d'utiliser le Code comme outil de prévention qui peut servir de guide sans toutefois apporter toutes les réponses nécessaires à la prévention.

#### 1.8.1.3 Sécurité ajoutée et sécurité intégrée

Afin d'être efficace, la sécurité doit s'accorder à l'exécution quotidienne du travail à effectuer. Trop souvent la prévention ne vient que s'ajouter aux techniques, méthodes, équipements déjà existants. On parle dans ce cas de sécurité ajoutée contrairement aux moyens de prévention intégrés dès la conception. Par exemple, la construction et la mise en place de gardes pour éviter les chutes en hauteur au bord du plancher de coffrage constituent de la sécurité ajoutée tandis que les coffrages volants avec des gardes incorporés constituent de la sécurité intégrée. La sécurité intégrée comporte des avantages évidents par rapport à la sécurité ajoutée.

En effet, cette dernière s'effectue toujours au dernier moment et elle est toujours à recommencer afin de suivre l'évolution des travaux. Si bien que la sécurité se trouve souvent en opposition réelle ou apparente avec la productivité. De nombreuses études<sup>14</sup> montrent dans ce cas que les compromis à ce niveau se font le plus souvent au détriment de la sécurité.

La sécurité qui concerne ici principalement les éléments techniques n'est pas toujours possible ni suffisante. Elle dépend notamment du choix des méthodes de coffrage, des difficultés de planification et de coordination des travaux. Il apparaît donc nécessaire de considérer la sécurité dès la conception du bâtiment et de la préparation du coffrage en tenant compte à la fois des caractéristiques des situations de travail et des travailleurs. En effet, la planification de la sécurité peut s'effectuer à partir du choix des méthodes de coffrage et des plans. Ainsi, elle permet de prévoir le matériel, les équipements et les outils nécessaires et de préparer le travail de façon à éviter le plus possible de se retrouver, lors de l'exécution de l'ouvrage, avec des problèmes qui auraient pu être réglés avant même de commencer les travaux. Nous pouvons en citer quelques-uns:

- Le choix ou la construction des garde-corps et des planchers servant à obstruer des trous temporaires dans le coffrage peut être fait à partir des plans.
- Le choix des équipements d'accès au chantier ou au plan de travail (échelles, escabeaux, plateforme, échafaudages de service, plancher d'échafaudage, table pour scier, etc.) est fonction des méthodes de coffrage et des méthodes de travail des individus.
- Le choix des outils avec un stock toujours suffisant de pièces de rechange doit tenir compte de leur bon état de fonctionnement.
- Le choix des équipements de manutention autre que la grue, qui n'est pas toujours utilisable. Il existe des petites grues ou encore tout simplement des cabestans qui peuvent se fixer facilement sur les échafaudages ou autres structures.
- La détermination des emplacements pour entreposer le matériel et les allées de construction sur le chantier peuvent également être prévues. Notamment les zones plus problématiques qui vont nécessiter une attention particulière. En effet, suivant la méthode de coffrage et l'architecture du bâtiment, des espaces plus étroits seront sujets à être davantage encombrés. Également, en ville, le matériel ne peut généralement pas être entreposé autour du chantier du fait de l'espace restreint autour de celui-ci.

- La planification spatiale et temporelle des activités devrait permettre d'éviter la présence trop nombreuse de travailleurs dans un même endroit.

Ces éléments, non exhaustifs, montrent la possibilité de prévoir certaines contraintes et de prendre certaines dispositions afin de réduire leurs effets négatifs aussi bien au niveau de la sécurité que la productivité. Il existe cependant une part de problèmes imprévisibles qui nécessitent pour les résoudre, une organisation du travail suffisamment souple comme l'ont souligné certains auteurs<sup>12</sup>. Cette souplesse est assurée, d'une part, avec la qualité professionnelle des travailleurs basée sur l'appartenance à un métier et non sur des opérations de production spécifiques et, d'autre part, avec la cohésion des équipes de travail. Cette dernière permet une solidarité favorisant l'entraide pour exécuter des tâches exigeantes, et le remplacement temporaire d'un travailleur indisposé, qui doit effectuer un travail dangereux.

Cette souplesse est également nécessaire de la part de l'entrepreneur qui apporte le support nécessaire à l'exécution du travail. Pour être efficace, ce support doit considérer les façons de travailler qui peuvent varier d'un travailleur à l'autre ou d'une équipe de travail à l'autre. Ainsi, telle équipe préfère utiliser un échafaudage en porte-à-faux, alors que l'autre, pour le même travail, a besoin d'un échafaudage de service conventionnel. Il est primordial, aussi bien du point de vue de la productivité que la sécurité, de tenir compte de ces différences.

Cette façon de faire sera d'autant plus aisée que dans la préparation du chantier seront intégrés à la fois les éléments techniques et humains.

Ce présent ouvrage fait le lien entre les techniques de coffrage et le travail humain que cela nécessite, particulièrement en ce qui concerne la sécurité. Cette intégration entre la technique et l'humain constitue le défi à relever pour la prévention des accidents.

Cette intégration existe déjà comme en fait foi le paragraphe suivant au sujet de la rupture du coffrage qui traite d'un problème technique pouvant avoir des conséquences sur la sécurité des travailleurs. Toutefois, l'intégration apparaît plus difficile à mettre en oeuvre lorsqu'il s'agit de problèmes non seulement techniques mais impliquant le travail effectué par l'humain.

## 1.9 RUPTURE DU COFFRAGE

### 1.9.1 Généralités

La rupture du coffrage est toujours désastreuse et coûteuse. Elle peut entraîner des blessures graves et quelquefois hélas, la mort des travailleurs.

Une rupture du coffrage peut résulter de:

- l'effondrement partiel du coffrage;
- l'effondrement général (total) du coffrage;
- d'une distorsion ou d'un déplacement inattendu et inadmissible du coffrage qui peut occasionner l'enlèvement ou le remplacement d'une section de béton ou une opération coûteuse de coupage ou de meulage pour obtenir un bon fini de béton.

Une telle rupture n'arrivera pas si le coffrage est suffisamment résistant et rigide. Le coffrage doit être conçu par un ingénieur, ayant une bonne appréciation de sollicitations agissant sur le coffrage et une bonne connaissance de la résistance des matériaux.

Les codes respectifs du bâtiment de chaque pays exigent aussi que le coffrage des structures en béton armé soit conçu par un ingénieur et, également suivant l'érection, que la fausse charpente du coffrage soit inspectée par un ingénieur avant la coulée du béton.

Généralement, la rupture du coffrage a lieu pendant la coulée du béton. Un événement imprévu arrive, causant une rupture de la membrure

du coffrage. Les autres membrures sont alors surchargées, conduisant à la rupture totale du coffrage.

### 1.9.2 Causes probables de rupture

Les causes sont multiples. Citons quelques-unes des plus connues:

1. erreur de conception: l'ingénieur s'est trompé dans ses calculs;
2. matériaux défectueux, par exemple étais défectueux, suite à un défaut de fabrication ou utilisation d'équipements usagés en mauvais état de fonctionnement;
3. erreur humaine due à l'empressement;
4. supervision et surveillance inexistantes ou inadéquates;
5. affectation des travailleurs n'ayant pas la formation et l'expérience requises pour des travaux de coffrage et décoffrage;
6. décoffrage prématuré: enlèvement prématuré de la paroi coffrante et de l'étalement pour économiser; après le décoffrage, étalement inadéquat de l'ouvrage; l'ouvrage risque de s'affaisser, donnant naissance à des fissures préjudiciables.
7. contreventement inadéquat: sans un contreventement adéquat, la structure n'est pas stable; elle encaisse mal les charges latérales et il s'ensuit un déplacement d'ensemble inadmissible conduisant à l'effondrement de la structure;
8. vibration: la vibration comme telle, produit une surcharge de l'ordre de 20%; mais elle déplace aussi les étais les mettant hors d'aplomb; par conséquent la descente de charges se fait incorrectement et il s'ensuit une surcharge de certains étais qui peuvent flamber, conduisant à l'effondrement du coffrage; on peut prévenir

ce genre d'accident en surveillant de près l'étaçonnement pendant la coulée du béton;

9. sol de capacité portante insuffisante sous les longrines: le sol se tasse inconsidérément entraînant l'étaçonnement avec lui, d'où rupture du coffrage;
10. mauvais contrôle du bétonnage: la température et la vitesse de bétonnage influencent la poussée du béton sur le coffrage; si la température baisse, on bétonnera plus lentement pour éviter une brusque montée de la poussée sur le coffrage;
11. mauvais étaçonnement: outre matériaux défectueux, étais sous-dimensionnés, ou trop espacés.

Cette énumération n'est pas exhaustive, mais elle constitue néanmoins les causes de rupture les plus fréquemment rencontrées.

#### 1.10 RELATIONS ARCHITECTE-INGÉNIEUR-ENTREPRENEUR

En général, c'est l'ingénieur qui est responsable des calculs et de la conception du coffrage et du cahier des charges pour les dimensions, la résistance et l'apparence du coffrage. C'est l'entrepreneur qui est responsable de l'organisation du chantier de coffrage en général.

À ce titre, l'ingénieur émet un cahier de charges pour s'assurer que les plans sont respectés. Le cahier de charges et les soumissions doivent indiquer clairement les relations de travail entre l'ingénieur ou l'architecte et l'entrepreneur, et définir le mandat respectif de chaque intervenant. Les plans comprendront aussi une description brève des travaux pour permettre à l'entrepreneur de planifier efficacement son chantier.

### 1.11 SUPERVISION ET INSPECTION

Un des moyens les plus efficaces d'avoir un chantier sécuritaire est d'avoir une supervision compétente pendant toutes les phases des travaux. Le contremaître doit s'assurer que le coffrage est érigé d'après les plans de l'ingénieur, suivant une procédure, de telle sorte qu'aucune membrure du coffrage ne soit surchargée temporairement pendant la coulée du béton. Il ne doit pas hésiter à consulter l'ingénieur quand les conditions de chantier exigent une modification dans la conception ou dans le montage du coffrage.

Si le coffrage n'a pas été prévu pour supporter des charges inhabituelles, ou des charges excentrées, le surveillant de chantier doit s'assurer que de telles charges ne sollicitent pas le coffrage. Il doit être mis au courant de la vitesse de bétonnage pour laquelle le coffrage a été conçu et il doit s'assurer que cette vitesse n'est pas excédée. Par le fait même l'ingénieur s'assurera que ces informations figurent sur les plans disponibles au chantier. Avant de passer aux techniques de coffrage, nous verrons, dans le chapitre qui suit, les matériaux et accessoires utilisés dans la mise en oeuvre du coffrage.

## Chapitre 2

### MATÉRIAUX ET ACCESSOIRES DE COFFRAGE

#### 2.1 GÉNÉRALITÉS

C'est le concepteur qui choisit, en fonction de l'ouvrage à exécuter, les matériaux et accessoires qui vont faciliter la mise en oeuvre du coffrage pour assurer sa réussite. Les matériaux choisis doivent être:

- résistants, pour permettre de reprendre l'ensemble de sollicitations rencontrées durant le bétonnage;
- économiques, pour l'entrepreneur;
- consistants avec la sécurité de l'ouvrage et des travailleurs;
- en conformité avec le fini désiré de l'ouvrage.

Autrefois, la plupart du temps, le coffrage était monté au chantier et une fois l'ouvrage en béton exécuté, on démontait le coffrage tout simplement en essayant de récupérer les quelques panneaux, raidisseurs ou montants pas trop endommagés. Cette pratique se fait encore dans des pays où la main-d'oeuvre est abondante, bon marché et où la technologie n'est pas très avancée.

Or, tel n'est pas le cas aujourd'hui. On possède à la fois les techniques et les ressources nécessaires qui permettent de générer économiquement une production de qualité dans le domaine du coffrage. Avec l'arrivée de la grue au chantier, les panneaux préfabriqués réutilisables, les coffrages outils, les échafaudages, les banches, les tables volantes, les coffrages glissants, et les prédalles, sont devenus parties intégrantes de l'équipement de chantier.

De jours en jours, on adapte des nouveaux matériaux aux travaux de coffrage. Le plastique, la fibre de verre, l'acier, l'aluminium, le caoutchouc, etc., sont utilisés comme matières de base pour exécuter le coffrage ou en coffrages préfabriqués. Des nouvelles méthodes ont été mises au point pour mieux utiliser les matériaux conventionnels plus

efficacement. On dispose de moyens rapides de bétonnage et de moyens puissants de levage. Ainsi, l'apport de nouveaux matériaux et de nouvelles connaissances a encouragé et incité les fabricants de coffrage à développer des nouvelles techniques pour relever le défi de l'architecture contemporaine et moderne.

## 2.2 LE BOIS DANS LES TRAVAUX DE COFFRAGE

Le bois est la matière de base à partir de laquelle on construit le coffrage. Presque tous les travaux de coffrage requièrent du bois même s'ils sont exécutés avec les matériaux les plus exotiques et divers.

Les essences, la qualité, le grade, les dimensions du bois varient géographiquement. À cet égard, le fournisseur local peut renseigner le concepteur sur les matériaux et les dimensions disponibles en magasin ou promptement disponibles et à ce moment là, le concepteur peut choisir son coffrage en fonction des renseignements obtenus. Très souvent, le choix des essences de bois est une question de coût et de disponibilité locale, à moins qu'il s'agisse de travaux spéciaux qui requièrent un type de bois particulier (par exemple à la Baie James où du bois en provenance de Suède a été utilisé). En effet le transport coûte cher et le responsable de chantier doit planifier à l'avance l'approvisionnement en matériaux pour ne pas retarder l'avancement des travaux.

Habituellement il y a plusieurs essences de bois qu'on peut utiliser pour un travail donné. N'importe quel type de bois de charpente, rectiligne et en bon état, peut être utilisé pour les travaux de coffrage. On cherchera évidemment une essence de bois résineux (softwood - qu'on appelle aussi communément le bois mou) qu'on trouve partout. Elle est abondante, légère, facile à travailler, donc très économique pour l'ensemble des travaux de coffrage. On utilise de préférence du bois partiellement séché. Le bois sec gonfle excessivement quand il devient humide et le bois vert sèche et gauchit avec la chaleur, ce qui pourrait causer des problèmes d'alignement et d'uniformité. L'emploi de bois sec et de bois vert dans un même panneau est à proscrire si on veut avoir un bon fini des travaux.

### 2.2.1 Principales essences de bois utilisées dans la construction

De par sa nature, son mode de croissance et suivant les conditions climatiques et environnementales, chaque essence de bois acquiert des propriétés distinctes de résistance mécanique, de fragilité, de rétractabilité, de résistance aux intempéries et à la pourriture, et c'est en fonction de ces critères qu'on détermine son domaine d'utilisation le plus approprié.

Les qualités essentielles recherchées pour les bois utilisés dans les travaux de coffrage sont:

- facile à travailler et à mettre en oeuvre;
- une bonne durabilité, et résistance aux intempéries pour l'emploi en extérieur, et aux chocs lors de la manutention, du coulage et du démontage;
- suffisamment rigide pour résister aux effets dynamiques provoqués par le déplacement du personnel, l'équipement de bétonnage;
- avoir des caractéristiques mécaniques suffisamment précises et constantes pour permettre la détermination des conditions de mise en oeuvre;
- un prix raisonnable pour l'utilisation qu'on en fait.

Le tableau 2 indique les principales essences de bois couramment utilisées dans la construction.

Tableau 2 - Principales essences de bois utilisées dans la constructionCanada

<u>Famille</u>	<u>Essences</u>	<u>Caractéristiques</u>
Sapin Douglas	Sapin Douglas	Bois de densité et de résistance égale.
Mélèze	Mélèze de l'ouest	Degré élevé de densité et bonne résistance à la pourriture. Retient bien les clous, la colle, et facile à peindre. Couleur: rouge marron à jaune blanc.
Hem - Sapin	Hemlock de l'ouest Sapin Amabilis Grand Sapin	Bois léger de résistance moyenne, facile à travailler, retient bien les clous, facile à peindre. De couleur jaune marron pâle à blanc.
Eastern Hemlock Tamarack	Eastern Hemlock Tamarack	De résistance moyenne utilisé principalement dans la construction. Mi-dur, de couleur jaune marron à blanchâtre.
Essences de la côte ouest	Sapin Douglas Mélèze de l'ouest Western hemlock Sapin Amabilis Grand sapin Sitka de la côte Épinette	Idem ci-dessus  Bois léger, résilient, de résistance moyenne, facile à travailler; retient bien les clous et la peinture; de couleur blanc à rose.
Épinette	Épinette (toutes les essences Sitka) Pin Ponderosa Pin alpine Pin Balsam	Essences de caractéristiques similaires. Résistance moyenne, facile à travailler et à peindre; retient bien les clous; de couleur blanc à jaune pâle.

Tableau 2 - Principales essences de bois utilisées dans la construction

<u>Famille</u>	<u>Essences</u>	<u>Caractéristiques</u>
Cèdres de l'ouest	Cèdres rouge de l'ouest Cèdre de la côte Pacifique Cèdre jaune	Bois de résistance exceptionnelle à la pourriture; bonne texture, facile à travailler et donne d'excellents finis.
Essences du Nord	Essences mentionnées ci-dessus Pin rouge  Pin blanc de l'ouest et de l'est	Voir caractéristiques des essences précédentes  Moyennement résistant et facile à travailler; donne un bon fini, retient bien les clous.  Le plus mou des pins canadiens. Permet un excellent travail et un excellent fini. Pas aussi résistant que les autres pins, mais ne fend pas et n'éclate pas; retient bien les clous.
Aspen du nord	Aspen tremblant Aspen à grand dent Peuplier Balsam	Bois léger de résistance moyenne, facile à travailler; bon fini et retient bien les clous.

### 2.2.2 États Unis d'Amérique

Principalement

- Sapin jaune du sud;
- Sapin Douglas (sapin d'Orégon);
- Bois Rose de la Californie;
- Western Hemlock;
- Eastern Hemlock;
- Pin blanc du Nord et d'Idaho;
- Pin Ponderosa;
- Pin jaune du Sud.

### 2.2.3 Continent Européen:

Principalement

- Sapin;
- Épicéa;
- Pin Sylvestre;

## 2.3 ESSENCES COURAMMENT UTILISÉES DANS LES TRAVAUX DE COFFRAGE

Dans chaque pays, la pratique dans les chantiers de construction, la disponibilité locale, le coût et la facilité de mise en œuvre ont conduit à l'utilisation courante de certaines essences de bois pour les travaux de coffrage.

Pour le continent nord-américain, le pin jaune du sud et le sapin Douglas, et l'épinette au Québec sont abondamment utilisés pour le coffrage de charpente ainsi que pour le coffrage architectural. Ils sont faciles à travailler et ils sont les plus résistants parmi les bois résineux (softwood). Ils retiennent les clous correctement et ils sont durables. On les utilise comme paroi coffrante, montants et raidisseurs.

## 2.4 MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LES DIFFÉRENTES MEMBRURES DE COFFRAGE

Comme il a été mentionné au paragraphe 1.5, le coffrage est constitué essentiellement d'une paroi coffrante montée sur une ossature prenant appui sur un étançonnement. Dans les paragraphes qui suivent, on abordera les différents matériaux avec lesquels on réalise les différentes membrures mentionnées ci-dessus.

### 2.4.1 Paroi coffrante

#### 2.4.1.1 Contre-plaqué

C'est la paroi coffrante qui détermine la valeur du coffrage, l'ossature n'étant présente que pour compléter le coffrage et pour limiter la déformation de la paroi coffrante.

Pour guider le concepteur dans le choix de la paroi coffrante, celle-ci doit répondre à un certain nombre de critères, entre autres:

- bon état de surface, rigoureusement conforme au fini de l'ouvrage qu'on désire et permettre la réalisation d'un produit de qualité;
- se fixer aisément sur l'ossature et facile à mettre en oeuvre;
- assez rigide pour ne pas se déformer excessivement et pour reporter la poussée du béton correctement sur l'ossature;
- étanche pour éviter les fuites de laitance pendant la coulée de béton.

Le contre-plaqué (plywood) est très utilisé pour réaliser la paroi coffrante dans les travaux de coffrage sur les chantiers ainsi que dans la préfabrication. Son apparition a, à lui seul été responsable de changements majeurs dans la conception et l'érection du coffrage. Il permet la confection de larges panneaux de coffrage, ce qui diminue considérablement le coût de la main-d'oeuvre. Du point de vue technique, il permet de couler des larges surfaces de béton avec un minimum de joints, réduisant ainsi le coût de la finition et évitant le ragréage de la surface. On peut le couper facilement en bandes de 200, 300, 400, et 600 mm avec un minimum de rebuts.

Il est facile à nettoyer et à huiler pour le réemploi. Avec un bon soin et un traitement de la surface, le contre-plaqué permet plusieurs réemplois. Pour le fixer à l'ossature de coffrage, on utilise des simples pointées ou à défaut, un minimum de clous pour faciliter le démontage et pour donner plus de longévité à la paroi.

Le contre-plaqué est disponible commercialement en feuille de 1220 x 2440 mm, l'épaisseur variant de 6 à 25.4 mm.

Il y a principalement deux types de contre-plaqué:

- type "extérieur" conçu principalement pour l'usage externe;
- type "intérieur" conçu principalement pour l'usage interne.

#### 2.4.1.2 Planches rabotées en bois

Les planches rabotées sont généralement utilisées pour coffrer des ouvrages de forme complexe ou des petites surfaces dont le coffrage ne sera utilisé qu'une fois puis mis au rebut. Les planches sont disponibles commercialement dans les dimensions les plus courantes.

#### 2.4.1.3 Planches rugueuses

Celles-ci sont principalement utilisées si on désire une texture particulière pour réaliser un effet architectural plaisant, mais elles sont difficiles à manutentionner et à décoffrer. Ces planches sont disponibles sur commande.

#### 2.4.1.4 Acier

L'acier est principalement utilisé pour des travaux spéciaux, s'il y a un nombre important de réemploi et qu'on cherche une surface lisse. Manutentionnées avec soin, les membrures en acier peuvent durer très longtemps. Cependant, l'investissement initial est lourd et donc rentable s'il y a plusieurs réemplois.

#### 2.4.1.5 Panneaux préfabriqués

Principalement utilisés pour économiser les matériaux et la main-d'oeuvre. On peut les louer, les acheter, ou les louer avec option d'achat. Les panneaux préfabriqués sont avantageux lorsqu'il y a des nombreux réemplois. Il existe principalement 2 types de panneaux préfabriqués:

1. Déjà prêt: comporte le système de panneaux modulaires qui sont fabriqués en petites unités manutentionnables manuellement et adaptées aux différentes membrures de charpente.

2. Sur commande: comporte des coffrages spéciaux fabriqués sur commande tels que coffrage de tunnel, coffrage en porte à faux pour les digues. Quoique ces coffrages soient fabriqués pour un chantier spécifique, ils sont réutilisables.

#### 2.5 OSSATURE DU COFFRAGE

L'ossature du coffrage peut être en bois, métallique ou mixte. Habituellement elle est en bois. On utilise souvent des pièces de 38 x 89 mm, 38 x 140 mm, ou 38 x 178 mm pour les solives de plancher et des pièces de 38 x 89 mm ou 38 x 140 mm pour des montants et raidisseurs de mur. Pour des travaux plus importants, on utilise quelquefois des pièces de 89 x 89 mm ou de 89 x 140 mm. Les raidisseurs sont généralement constitués d'une paire de pièces de 38 x 114 mm pour reporter les efforts des montants aux tirants. Les dimensions mentionnées ci-dessus ne sont qu'indicatives; ce sont les calculs, basés sur les données de l'ouvrage et les conditions de bétonnage qui déterminent les dimensions exactes des membrures à utiliser.

De plus en plus on utilise des profilés métalliques (profilés en tôle soudée, en alliage d'aluminium). Ces derniers sont faciles à assembler mais d'un investissement initial plus lourd.

### 2.5.1 Dimensions et finis des bois

On utilise généralement du bois équin pour des travaux de coffrage parce qu'il est plus facile à travailler et à manutentionner. Le bois simplement écorcé est utilisé pour les travaux d'étaionnement et de contreventement; les planches non rabotées sont utilisées pour des textures spéciales.

Le bois équin existe sous les formes suivantes; on les dénote d'après la notation de l'ACT:

S1S une surface rabotée seulement;

S2S deux surfaces rabotées;

S2E deux côtés rabotés;

S4S quatre côtés rabotés.

Le bois est disponible commercialement, les sections variant de 38 x 89 mm à 38 x 280 mm, et de 5.5 m de longueur dans l'est du Canada et de 6 m de longueur dans l'ouest.

## 2.6 ACCESSOIRES DE COFFRAGE

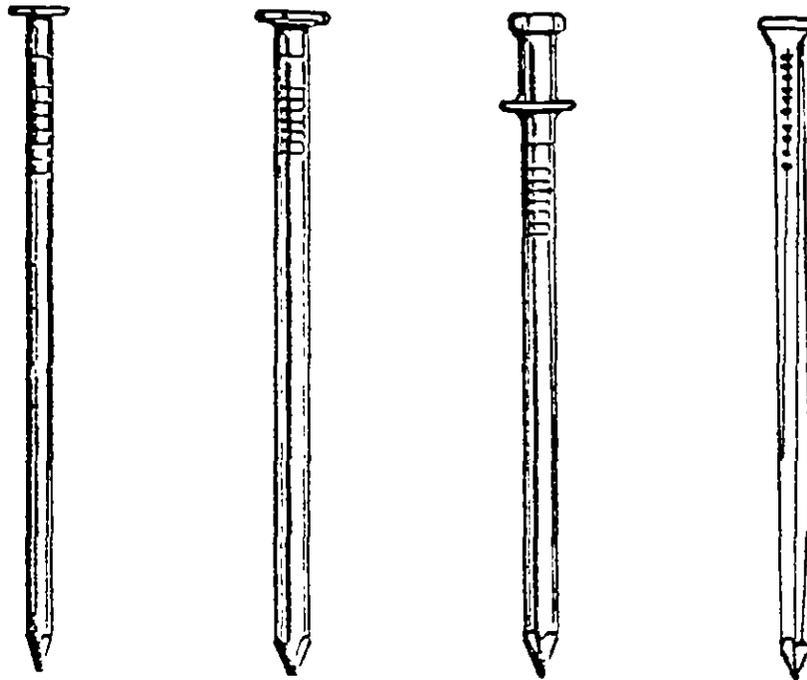
### 2.6.1 Les clous (Fig. 2.1)

Les clous sont le moyen mécanique le plus utilisé pour assembler et contreventer le coffrage et la fausse charpente en bois. Utilisés correctement, les clous assurent une bonne qualité de l'ouvrage à un coût minimum.

Le coffrage doit être le plus simple possible, et ses membrures assemblées sécuritairement, mais l'usage de clous trop gros ou en nombre trop important doit être évité. En utilisant des clous de dimension requise et en nombre suffisant, on peut réduire appréciablement le coût de montage et démontage. Les clous sont disponibles commercialement sous toutes les formes et dimensions possibles et imaginables.

### 2.6.2 Les tirants (Fig. 2.2)

Un tirant de béton armé est une membrure métallique, travaillant principalement en traction, destinée à retenir ensemble les parois du coffrage contre la poussée du béton frais. Suivant sa conception, le tirant peut fonctionner à la fois comme espaceur et tirant, c'est-à-dire, garder les parois à une épaisseur constante.



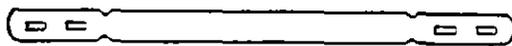
Clou de char-  
pente légère  
Type "BOX"

Clou de char-  
pente lourde  
Type "COMMON"

Clou à double  
tête

Clou à béton

Fig. 2.1 Les clous



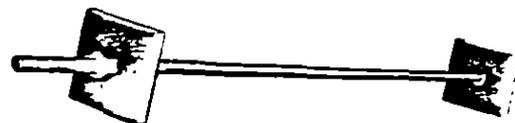
Feuillard métallique et cale



Tirant à bouton en tête et cale



Boulon femelle et tige conique  
rondelle et écrou à ailettes



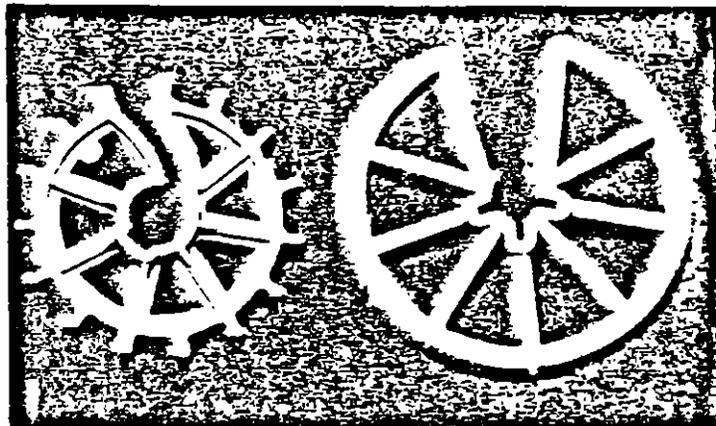
Tige conique

Fig. 2.2 Tirants

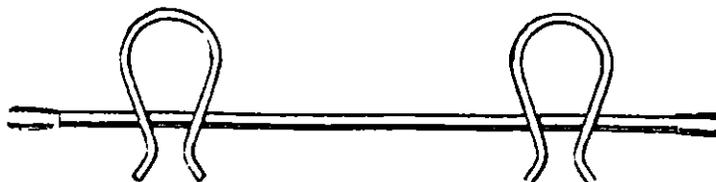
Les premiers tirants étaient simplement des tiges métalliques droites ou torsadées ou des feuilards d'acier. Actuellement, on utilise encore ce genre de tirants pour des petits travaux. Par contre, pour des travaux d'envergure, on utilise de préférence des tirants préfabriqués de 45 kN à 220 kN de résistance. Le choix des tirants dépend grandement du fini de la surface qu'on veut avoir. Pour des ouvrages enterrés, on utilise des tirants en feuilards métalliques qui sont sciés au décoffrage. Pour des ouvrages architecturaux, dont la surface exposée est importante, on utilisera des tirants qui ne laissent pas de parties métalliques exposées au décoffrage.

### 2.6.3 Écarteurs et espaceurs (Fig. 2.3)

Les écarteurs et espaceurs sont des dispositifs qu'on utilise dans le béton armé pour positionner les armatures et pour maintenir l'espacement entre les parois de coffrage.



Écarteurs et espaceurs en plastique



Écarteurs et espaceurs métalliques

Fig. 2.3 Écarteurs et espaceurs

#### 2.6.4 Fil d'armature

Le fil métallique est utilisé pour brocher les armatures ensemble et garder l'espacement de celles-ci constant.

#### 2.6.5 Huile de coffrage

On badigeonne les parois de coffrage avec de l'huile minérale. Sa principale fonction est d'empêcher une trop grande adhérence du béton aux parois laquelle peut nuire au décoffrage.

### 2.7 ÉTANÇONNEMENT DU COFFRAGE

#### 2.7.1 Importance de l'étañonnement

L'étañonnement a un rôle important dans le coffrage. C'est lui qui supporte toute la structure depuis l'érection du coffrage jusqu'à la coulée du béton. Outre l'ensemble de charges permanentes, le coffrage doit être conçu pour reprendre l'ensemble de surcharges, à savoir le poids des travailleurs pendant le bétonnage, l'équipement, le matériel de bétonnage, les efforts dus au vent et les forces d'impact. Par conséquent, toute la réussite de la coulée du béton dépend de l'étañonnement.

D'après l'examen de rupture de quelques coffrages (paragraphe 1.9.2), il est à remarquer que beaucoup de ces ruptures sont reliées au système d'étañonnement du coffrage. Il apparaît que l'étañonnement constitue le plus grand danger de rupture d'un coffrage. De ce fait un plus grand soin doit être apporté à son étude dans la conception du coffrage d'une structure. Dans les paragraphes suivants, on abordera les divers types d'étañonnement utilisés dans les travaux de coffrage et les méthodes de calcul d'un étañonnement.

### 2.7.2 Les échafaudages portants

Ces échafaudages sont montés section par section par l'assemblage de diverses membrures tubulaires. Ils sont munis, en tête et à la base, de vérins à vis qui permettent le réglage de la hauteur, et l'horizontalité des plans de travail et du plancher de coffrage qu'ils supportent. Le vérin de tête est muni d'un profilé en U où vient se loger le longeron; le vérin à la base est muni d'un plat pour permettre une surface de portance suffisante sur la longrine d'appui. Le démontage se fait section par section. Le contreventement se fait à l'aide de tiges métalliques en diagonale fixées dans des emplacements prévus sur les montants de la fausse charpente.

Les fabricants de coffrage ont découvert l'avantage majeur que présente le montage par assemblage modulaire section par section, la facilité de réglage de la hauteur et de l'horizontalité par le système de vérins, et le démontage progressif, section par section. Ils ont vite adapté ces échafaudages tubulaires comme structure portante pour les travaux de coffrage en renforçant les éléments de l'échafaudage. Très vite, ces échafaudages portants se sont imposés dans les chantiers de construction et de nos jours, ils sont utilisés presque partout dans le monde.

### 2.7.3 Étai en bois

L'étalement en bois est essentiellement composé de poteaux équarris ou de sections rectangulaires ou circulaires. Le bois est coupé en hauteur et le réglage final est assuré à la masse en enfonçant des coins sous les poteaux.

Très souvent une rupture du coffrage pendant le bétonnage est due à un étalement insuffisant. On est dès lors intéressé à connaître le comportement de l'étai sous le coffrage et à connaître les dimensions de l'étai et le type de bois à utiliser.

### 2.7.3.1 Rapport d'élançement (voir Fig. 2.4)

Le rapport d'élançement d'un étai est  $l/d$ , avec:

$l$ : longueur entre appui de l'étai

$d$ : dimension de la section dans le plan de contreventement considéré

Pour un étai, le rapport  $l/d$  ne doit pas excéder 50, sinon il y a risque de flambement.

### 2.7.3.2 Élançement critique

L'élançement critique est donné par la formule suivante:

$$K = 0.671\sqrt{E/c}$$

Où:

$E$  : module de Young du matériau;

$c$  : contrainte admissible en compression du matériau.

Si le rapport  $l/d$  est inférieur à 11, l'étai est considéré comme un étai court. Dans ce cas, la contrainte admissible en compression est égale à sa contrainte admissible de base  $c'$  en compression (parallèle aux veines). Un tel étai ne risque pas de flamber.

Si  $11 < l/d < K$ , l'étai est considéré comme un étai intermédiaire et il y a risque de flambement. Dans ce cas la contrainte admissible de l'étai est:

$$c' = c \left[ 1 - \frac{1}{3} \frac{K(l/d)^4}{K^4} \right] < c$$

Si  $l/d > K$ , l'étai est considéré comme un étai élançé et dans ce cas la contrainte admissible de l'étai est:

$$c' = \frac{0.30E}{(l/d)^2}$$

Cette formule donne la contrainte de flambement avec un coefficient de sécurité de 3.

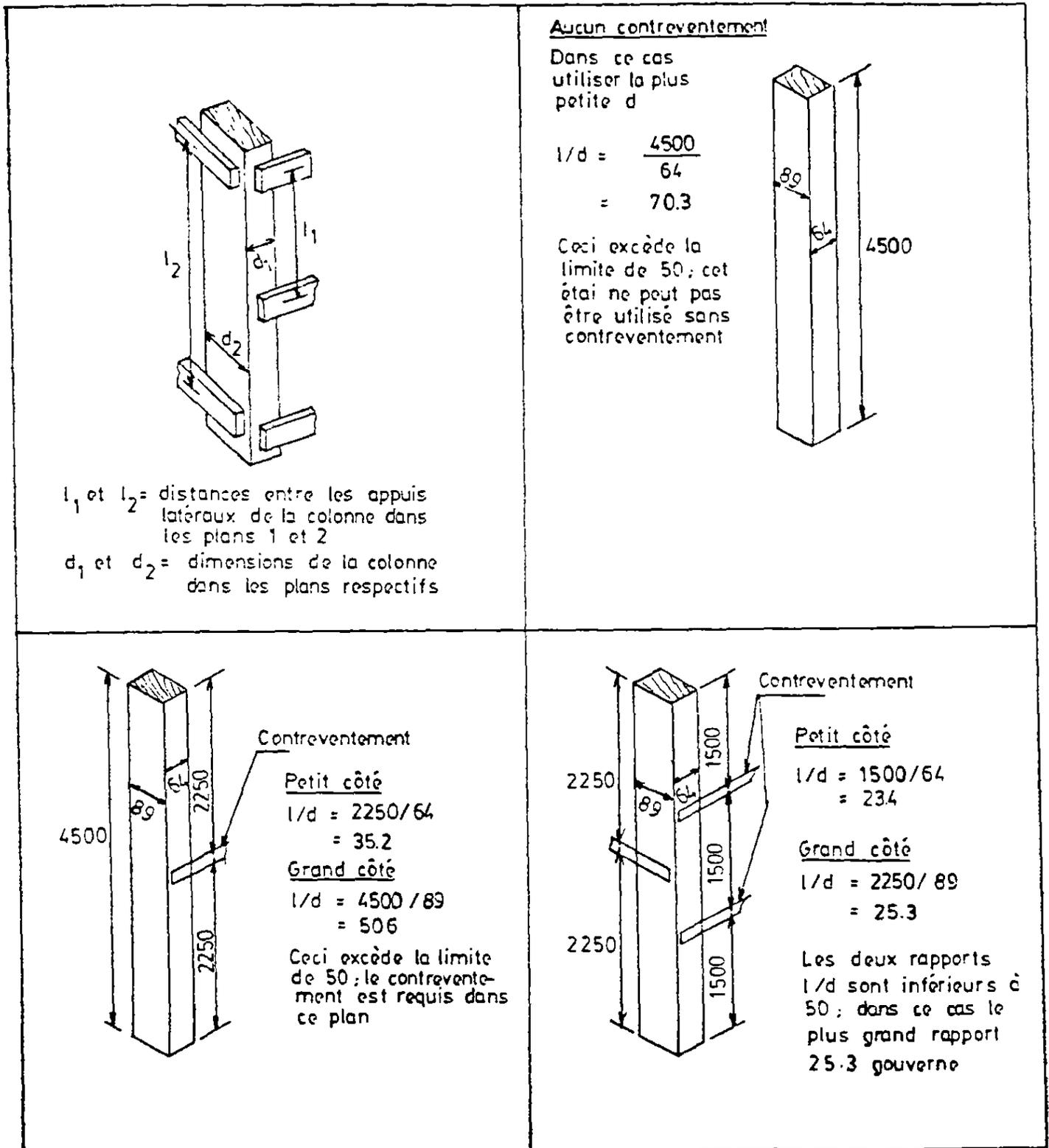


Fig. 2.4 Détermination du rapport d'élanement  $l/d$  d'un 64 mm x 89 mm avec différents plans de contreventement

## 2.8 EXEMPLE DE CALCUL DE LA CHARGE ADMISSIBLE D'UN ÉTAI 89 mm x 89 mm (4x4")

Données:

Sapin Douglas 89 mm x 89 mm (4 x 4") S4S

Contrainte de compression admissible, parallèle aux veines  $c = 7.93 \text{ N/mm}^2$

Longueur entre appuis = 2.75 m

Module  $E = 10342.5 \text{ N/mm}^2$

Calculer la charge que cet étau peut supporter.

$$\text{Aire} = 89 \times 89 = 7921 \text{ mm}^2$$

$$l/d = \frac{2.75 \times 1000}{89} = 30.9 < 50$$

$$K = 0.671 \sqrt{E/c} = 0.671 \sqrt{10342.5 / 7.93} = 24.2$$

Comme  $l/d > K$ ,

$$\begin{aligned} \text{Utiliser } c' &= 0.30E / (l/d)^2 \\ &= 0.30 \times 10342.5 / (30.9)^2 \\ &= 3.25 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Charge admissible} = 3.25 \times 7921 = 25740 \text{ N}$$

## 2.9 ÉTAIS MÉTALLIQUES

Traditionnellement l'étalement dans les chantiers de construction était exécuté à base de bois (épinette principalement). Les chantiers de construction prenant de l'ampleur, on ne disposait plus de bois de qualité en quantité suffisante pour répondre aux besoins d'étalement dans les chantiers de construction.

Vers 1930, le tube métallique fit son apparition dans la construction. Il donna naissance à l'échafaudage en tubes et raccords. Ainsi, la rareté du bois et l'apparition de l'échafaudage en tubes et raccords ont incité les fabricants de coffrage à adapter certaines composantes de cet échafaudage pour en promouvoir un ensemble simplifié. C'est ainsi que vers les années 30, l'étau métallique prit naissance.

À l'origine, l'étau métallique était composé de deux tubes: la coulisse et le fût. Le diamètre de la coulisse est légèrement inférieur à celui du fût, ce qui lui permet de glisser dans le fût. La mise à la longueur

était assurée par un raccord d'échafaudage serré sur la coulisse, prenant appui sur le fût. Cette mise à longueur était longue et fastidieuse, et de plus, présentait un risque de glissement. Dès lors, il vint à l'esprit des utilisateurs de percer la coulisse et d'introduire dans le trou une broche venant s'appuyer sur le fût. Ainsi la mise à hauteur précise se trouvait supprimée. Il devint nécessaire d'incorporer un vérin à vis placé en tête pour permettre le réglage précis de la hauteur.

Enfin, c'est vers les années 1945-50 qu'apparut l'idée de grouper le réglage d'approche et le réglage fin au niveau d'un manchon à vis placé à la partie haute du fût, rendant plus accessible à l'opérateur les opérations de réglage. L'étai est aujourd'hui un outil de mise en oeuvre traditionnel de planchers dans les constructions neuves. Il est aussi un outil de soutien dans des travaux d'entretien, de rénovation et de réhabilitation. Il est réutilisable. Son ajustement, son réglage à la hauteur désirée se font grâce à une technologie très simple. Cette souplesse d'utilisation et d'adaptation, et surtout son coût modique, ont grandement favorisé sa diffusion.

## 2.10 RAPPORT D'ÉLANCEMENT

Le rapport d'élançement d'un étai métallique est  $Kl/r$ , avec:

$K$  : coefficient de longueur;  $K$  dépend des conditions d'appui et il est pris égal à 1 pour des étais métalliques.

$l$  : longueur entre appuis;

$r$  : rayon de giration.

Pour des étais tubulaires,  $r$  est calculé d'après la formule suivante:

$$r = (D_{\text{ext}}^2 + D_{\text{int}}^2)/4$$

Où:

$D_{\text{ext}}$  = diamètre extérieur;

$D_{\text{int}}$  = diamètre intérieur.

Pour éviter le flambement, le rapport  $Kl/r$  ne doit pas excéder 200. Habituellement, c'est le fabricant qui fournit tous les détails techniques des étais, particulièrement la charge maximale admissible des étais. Le calcul des étais tubulaires est assez complexe comme en font foi les formules 13.3.1 et 13.3.2 du Code CAN3. S16.1 - M84.

## 2.11 TYPES D'ÉTAIS (Fig. 2.5)

Il existe deux types bien distincts d'étais métalliques pour la construction:

### 2.11.1 Étais destinés aux chantiers du bâtiment

Ils se composent généralement de 2 tubes coulissant l'un dans l'autre, assujettis à un dispositif de réglage et de transmission de charge. Parmi eux, nous distinguons:

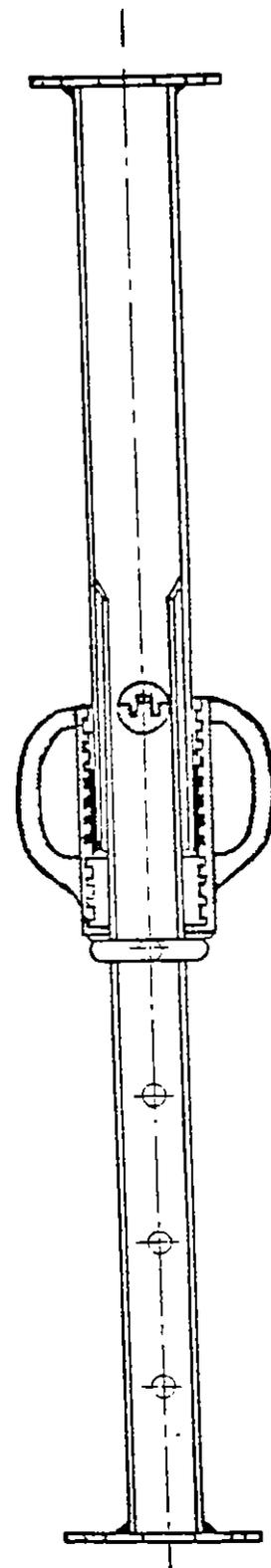
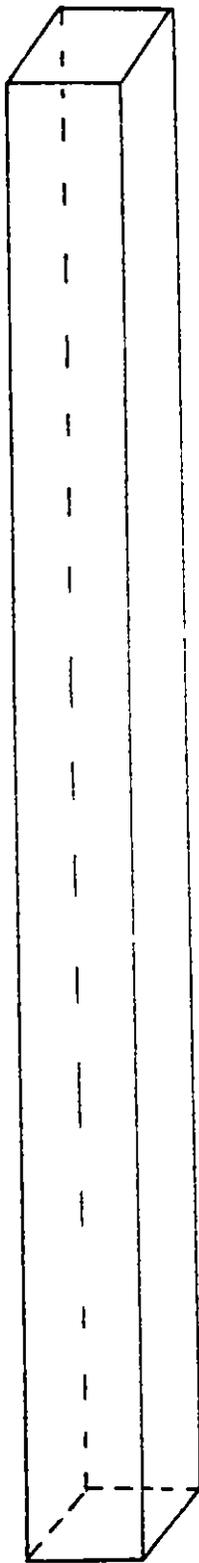
- les étais à vérin de pieds ou de tête;
- les étais à manchon;
- les étais à boutonnière;
- les étais à excentrique.

Ces étais peuvent supporter des charges de 20 à 30 KN (4500 à 6700 livres) sur des hauteurs de 1,70 à 4,00 m (6' à 13') environ.

### 2.11.2 Étais sur des chantiers de génie civil

Leur section est composée de membrures réunies par un treillis. Constitués d'éléments superposables, ils peuvent atteindre des hauteurs importantes (plus de 9 m (30')) et transmettre des charges de 400 KN (90000 livres).

Qu'il soit en bois ou métallique, l'étais de bâtiment ou de travaux publics remplit une double fonction:



Coupe schématique d'un étai  
labellisé

Fig. 2.5 Types d'étais

- géométrique, celle de maintenir en position dans l'espace un platelage, un coffrage;
- une fonction mécanique, celle de transmettre la charge qu'il reçoit en un point d'appui choisi dans la construction, capable de recevoir cette charge sans dommage pour la stabilité de l'ensemble. Dans cette dernière fonction, l'étais métallique agit comme un poteau provisoire qui transmet une charge.

## 2.12 QUELQUES PROBLÈMES RENCONTRÉS AVEC LES PAROIS COFFRANTES

### 2.12.1 Manque d'étanchéité

La paroi coffrante doit être étanche pour permettre la réalisation d'un bon fini de béton; autrement les fuites localisées de laitance rendent le béton déficient en particules fines et diminuent sa résistance. Généralement c'est aux raccords entre les plaques qu'on rencontre des problèmes d'étanchéité. Les parois coffrantes en tôle soudée en continu, ne posent aucun problème d'étanchéité. Elles sont facilement ajustables et leurs arêtes ne sont pas facilement détériorables.

C'est avec les plaques de contre-plaqué qu'on a plus de difficulté à réaliser l'étanchéité aux raccords. Par conséquent on cherchera à réaliser les raccords entre les plaques sur un montant, et, à défaut, on peut utiliser un chevron sous les raccords de plaques pour clouer ou visser la bordure de celle-ci. Les fuites de laitance se produisent aussi autour des trous d'entretoises. Faute de précaution particulière, les plaques de contre-plaqué se détériorent à ces endroits là et lors du décoffrage, le béton arrache les fibres de bois.

### 2.12.2 Adhérence du béton à la paroi coffrante

Le béton adhère à peu près à tous les matériaux et en particulier à l'acier; c'est d'ailleurs ce qui permet de faire du béton armé. Or, il faut l'empêcher de coller sur les coffrages. Le décoffrage est très difficile et la pellicule superficielle de laitance a tendance à s'arracher avec le coffrage.

Pour éviter ceci il faut:

- utiliser des parois coffrantes qui ne favorisent pas l'infiltration de la laitance, comme l'acier ou les stratifiés;
- recouvrir la paroi coffrante d'une pellicule qui sépare le béton et le coffrage, le plus souvent une huile minérale ou de synthèse.

Pour éviter des problèmes d'adhérence on peut utiliser le verre ou l'acier inoxydable poli. Hélas le verre est trop fragile et lourd et l'acier inoxydable trop cher.

### 2.12.3 La détérioration de la paroi coffrante

Au cours de l'usage successif du coffrage on constate que la paroi coffrante se détériore assez rapidement; en voici les principales causes:

- le manque d'étanchéité, surtout aux raccords entre plaques ou aux trous d'entretoises, entraîne une infiltration de laitance qui a tendance à arracher les plaques au décoffrage, surtout pour les parois en contre-plaqué ou en stratifié;
- le collage du béton sur une paroi inadaptée ou insuffisamment huilée, entraîne des arrachements à la surface de la paroi, surtout si elle est en bois;
- le forage désordonné de trous de fixation, d'où la laitance fuit;
- les chocs de vibration, coups de marteaux, au ferrailage en cours d'utilisation, et surtout à la manutention brutale lors des transports et de l'emmagasinage.

Ces détériorations diminuent la qualité des surfaces obtenues et très souvent on doit poncer, piocher et ragréer la surface de béton. Le coffrage, avec une paroi coffrante détériorée, est difficile à mettre en oeuvre et demande plus de temps. Quelquefois on est amené à déclasser le coffrage, ou à changer la paroi coffrante ou à mettre le coffrage au rebut. Ainsi, la longévité de la paroi coffrante, et donc du coffrage, dépend fortement des soins apportés à l'utilisation.



## Chapitre 3

### COFFRAGES POUR MURS

#### 3.1 COFFRAGE MONTÉ SUR PLACE

##### 3.1.1 Coffrage traditionnel des murs - Principe (Fig. 3.1)

Essentiellement c'est une structure en bois, composée de deux faces contreventées qu'on monte sur place, destinée à recevoir du béton. Le bois est coupé à la demande suivant les différentes dimensions des membrures de l'ouvrage à coffrer et ces membrures sont assemblées au fur et à mesure par clouage.

Dans ce type de coffrage, la structure de montage est réalisée à l'aide des montants et raidisseurs. La paroi coffrante peut être faite soit de planches rabotées, de 25.4 à 38 mm d'épaisseur, de largeur variable, soit de panneaux de contre-plaqué. Lors du bétonnage, pour tenir en place les deux parois coffrantes contre la poussée du béton, on utilise des tirants préfabriqués, des tiges d'armatures, ou des feuillards d'acier. La contre-fiche des montants se fait avec des étais en bois ou métalliques, solidement ancrés à une surface d'appui convenable (sol, plancher).

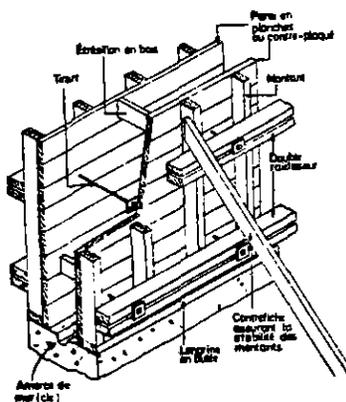


Fig. 3.1 Coffrage traditionnel pour murs

### 3.1.2 Exécution

#### 3.1.2.1 Coffrage

On érige la première face du coffrage. Suivant l'épaisseur du mur, on procède soit à l'exécution du ferrailage ou à l'érection de la deuxième face du coffrage. En effet, s'il y a suffisamment d'espace pour permettre à un charpentier-menuisier de travailler à l'intérieur du coffrage, il est recommandé d'ériger la deuxième face du coffrage et ensuite d'exécuter le ferrailage. Si l'épaisseur du mur ne permet pas de travailler à l'intérieur du coffrage, mais néanmoins permet de manoeuvrer un marteau, on exécute le ferrailage et ensuite la deuxième face du coffrage. Les charpentiers menuisiers peuvent travailler de l'extérieur, par dessus les feuilles de contre-plaqué ou des planches au fur et à mesure qu'ils érigent la paroi coffrante. Pour des murs minces, on exécute le ferrailage. La deuxième face de coffrage est montée à plat ou dans une position inclinée et puis mise en place. Brièvement, le processus d'exécution est le suivant (Fig. 3.2):

- 1 - traçage du mur sur sa fondation (empattement, plancher, amorce, etc.) (étape 1);
- 2 - mise en place soignée d'une longrine sur la fondation; cette longrine servira d'appui aux montants et déterminera l'alignement du mur (étape 2);
- 3 - érection de montants de la première face du coffrage; ces montants sont fixés à la longrine par des clous enfoncés en biais aux pieds des montants (étape 3);
- 4 - contre-fiche temporaire des montants pour assurer leur stabilité (ces montants contre-fichés servent de guide à la verticalité de la paroi coffrante) (étape 4);
- 5 - mise en place et alignement horizontal de la première rangée de feuilles de contre-plaqué ou de planches pour recevoir les autres feuilles de contre-plaqué ou planches qui seront dès lors, elles aussi, alignées horizontalement (étape 5);

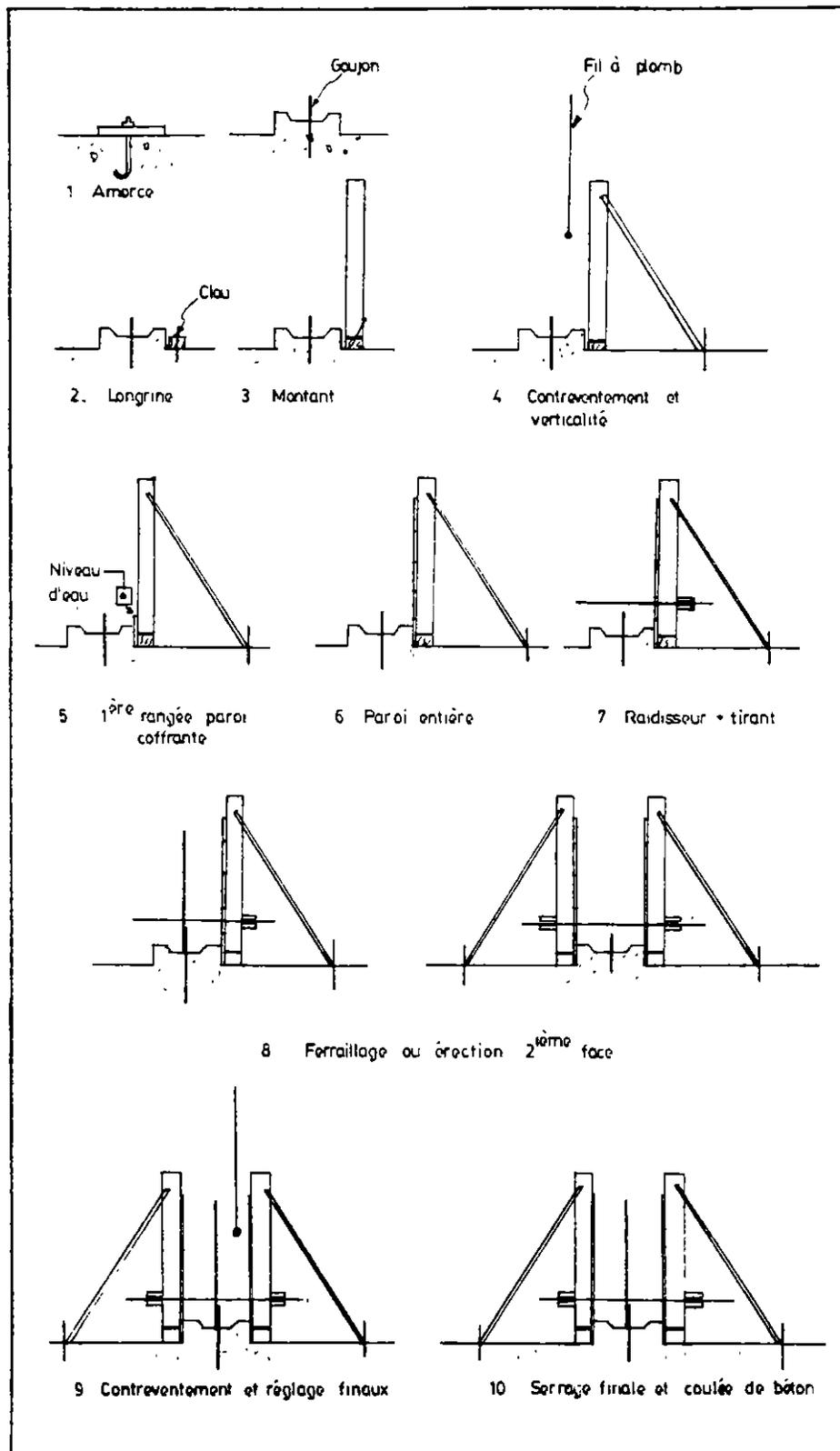


Fig. 3.2 Processus d'exécution du coffrage de mur

- 6 - mise en place des autres feuilles de contre-plaqué ou planches (jusqu'à la réalisation de la paroi coffrante); pour assurer l'étanchéité de la paroi coffrante, il est recommandé de raccorder les plaques de contre-plaqué ou planches bout à bout sur les montants (étape 6);
- 7 - mise en place des raidisseurs de la première face; ces raidisseurs sont fixés aux montants par clouage ou tout autre dispositif de fixation (peut être exécutée lorsque les deux faces sont réalisées); huilage de la face de coffrage (au besoin); mise en place des tirants (peut être exécutée lorsque les deux faces sont réalisées) (étape 7);
- 8 - exécution du ferrailage ou de la deuxième face de coffrage (suivant l'épaisseur du mur) (étape 8);
- 9 - mise en place des raidisseurs de la deuxième face de coffrage; mise en place du contreventement final (étape 9);
- 10- vérification finale de l'alignement et de la verticalité du coffrage et serrage des tirants; (étape 9 + 10)  
coulage du béton (étape 10).

### 3.1.2.2 Décoffrage

Après un temps de prise suffisant, on décoffre. On dépose le coffrage élément par élément. Les planches, le contre-plaqué, et les montants sont grattés, lavés et huilés pour le prochain usage s'ils ne sont pas trop endommagés. Le décoffrage sera aisé ou non suivant les soins apportés lors de l'érection du coffrage.

### 3.1.3 La sécurité dans le coffrage traditionnel

#### 3.1.3.1 La construction du mur de coffrage

Le processus d'exécution du coffrage traditionnel requiert un grand nombre d'opérations manuelles qui demandent une attention particulière sur le plan de la sécurité. Nous mentionnerons

certaines d'entre elles:

a) Le charpentier menuisier manutentionne du matériel de diverses dimensions, par exemple: une feuille de contre-plaqué mesurant 1220 mm (4') de large, 2440 mm (8') de long, 25.4 mm (1") d'épaisseur pèse 43.5 kilos (96 livres); une pièce 89 mm x 89 mm (4" x 4") de 3 m (10') de long pèse 15.4 kilos (34 livres). Ces manutentions deviennent plus difficiles et dangereuses du fait des conditions suivantes:

- La difficulté de préhension et la prise au vent importante que peut offrir le matériel: lors du coffrage de mur, l'utilisation plus fréquente d'une demi-feuille de contre-plaqué rend ce problème moins aigu.
- Le matériel entreposé est loin du poste de travail: l'approvisionnement en matériel avec la grue, à proximité du poste de travail évite le transport manuel trop important, ce qui diminue à la fois les risques dus à la manutention manuelle et le temps de déplacement.
- L'encombrement de la zone de travail: l'encombrement dépend des problèmes d'entreposage du matériel suivant notamment les contraintes architecturales, l'avancement du coffrage, la coordination entre les différentes opérations de coffrage, l'absence ou la proximité insuffisante de contenants pour les résidus de sciage, le choix de voies de passage respectant la règle du trajet le plus court entre le matériel et le poste de travail.
- L'inégalité du sol: le transport manuel sur des sols inégaux ou inclinés fortement est rendu plus difficile. Ce problème se rencontre principalement pendant le coffrage du premier sous-sol ou de l'érection du mur extérieur. Il est avantageux de niveler le sol avant de commencer les travaux.

- Les difficultés d'accès: le soulèvement ou le maintien de charge dans des postures inconfortables (dos incliné ou en torsion) accroissent le risque de lombalgie. Le transport de charges sur une échelle est dangereux, ce qui restreint fortement l'utilisation de ce moyen d'accès. Des équipements tels que des poulies ou des cabestans devraient être prévus pour monter les charges sur les échafaudages.

b) Le travail en hauteur, même peu élevée, comporte des dangers. La précision et le choix judicieux des équipements d'accès en fonction de la tâche à effectuer constituent des éléments essentiels à la sécurité. L'absence d'équipements adéquats entraîne l'improvisation sur le chantier et l'utilisation de moyens d'accès non sécuritaires tels que la structure d'acier d'armature, des poutres appuyées sur le coffrage. Il existe peu d'équipements prévus pour travailler à des hauteurs peu élevées.

c) Le matériel lui-même lors du montage du coffrage constitue une source de danger, particulièrement les tiges d'acier d'armature qui sortent hors du béton et les tirants:

- le charpentier menuisier faisant une chute peut s'empaler sur l'acier d'armature ou s'y accrocher et se blesser plus ou moins gravement. Certaines solutions existent déjà afin de prévenir ces blessures (Fig. 3.3).

- Le travailleur oeuvrant à proximité du coffrage en construction peut s'accrocher à un tirant qui dépasse. En effet, les tirants sont rouillés et souvent peu visibles. L'amélioration de la visibilité des tirants (Fig. 3.4) et le choix des allées de passage éloignées du coffrage constituent des moyens de prévention afin d'éviter ces accidents.

d) Bien que les opérations de sciage tendent à être réduites du fait de l'utilisation de matériel de dimension standard et de poutres en aluminium, le sciage reste encore important dans le coffrage

traditionnel. La scie ronde portative est l'outil le plus utilisé. Son entretien constitue un élément important de sécurité. L'utilisation de tables pour scier devrait être toujours requise. Les tables sont le plus souvent construites sur le chantier. Si elles sont généralement stables, elles ne disposent pas d'équipements pour maintenir le matériel. Le sciage de larges feuilles de contre-plaqué sur une table horizontale peut être difficile. Il n'existe pas de systèmes d'aspirations de poussières. Les poussières dans l'oeil constituent l'accident le plus fréquent associé à l'opération de sciage. Les défauts constatés montrent un problème général de conception d'une table de sciage adéquate.

e) La pose de l'acier d'armature s'effectue le plus souvent après avoir monté la première paroi du mur de coffrage. Cette tâche comporte des difficultés d'accès en hauteur du fait de l'absence souvent constatée d'équipement d'accès. Ainsi, sur plusieurs chantiers, les poseurs d'acier d'armature se fabriquent des échafaudages en assemblant des poutres de 89 mm x 89 mm (4" x 4") ou de 89 mm x 140 mm (4" x 6") avec du fil de fer ou grimpent directement sur la structure d'acier qui vient d'être installée.

f) Le coffrage d'ascenseur se monte de façon traditionnelle sur la plupart des chantiers. La sécurité de la fausse charpente au niveau de la cage d'ascenseur doit être particulièrement vérifiée. Le matériel et le temps nécessaires à sa construction doivent être prévus dans la planification des travaux.

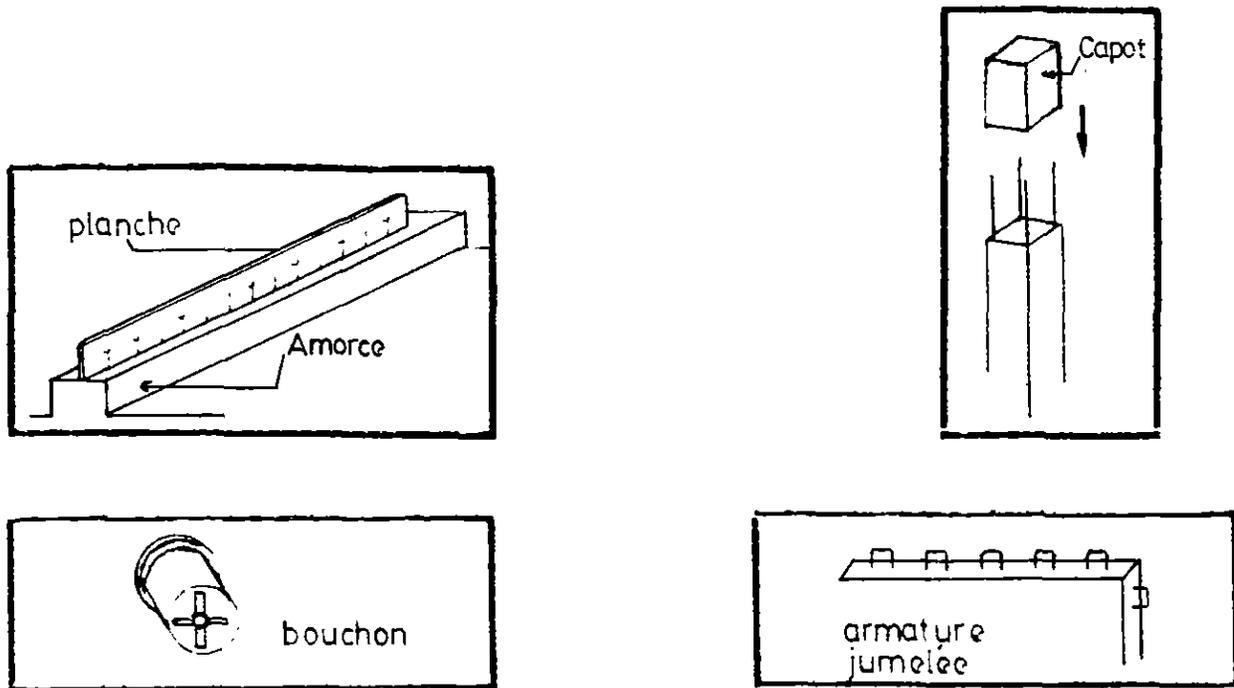
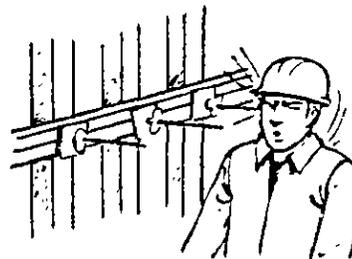


Fig. 3.3 Protections contre les armatures en attente



Ces accidents arrivent beaucoup trop souvent, dira-t-on !  
Pourtant il existe des systèmes simples, peu coûteux,  
et très efficaces pour y remédier.

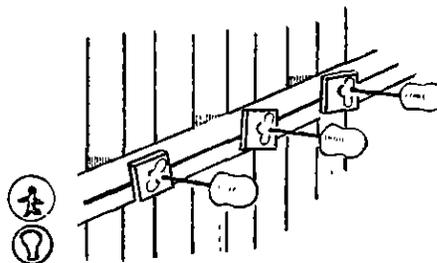


Fig. 3.4 Solutions pour rendre les tirants visibles

### 3.1.3.2 La coulée du béton

La coulée du béton présente des risques pour les manoeuvres-cimentiers de se faire frapper par la pompe ou la benne, ainsi que des risques de chute. Le grutier positionne la benne près de l'emplacement de la coulée et les manoeuvres-cimentiers effectuent manuellement le positionnement plus précis. Toute fausse manoeuvre de la part du grutier et la benne peut venir frapper le travailleur et entraîner sa chute. Le garde est souvent placé d'un seul côté du mur, sur l'échafaudage où se trouvent les manoeuvres. Le plancher de cet échafaudage doit être ni trop haut, ni trop bas par rapport à l'extrémité du mur. En effet, cela rend le positionnement de la benne plus difficile pour le travailleur, et pour compenser les difficultés du travail sur un plancher trop bas, le manoeuvre grimpe sur la structure de coffrage augmentant ainsi le risque de chute.

### 3.1.3.3 Le décoffrage

Le décoffrage réalisé par des manoeuvres comporte des dangers importants. Alors que le coffrage requiert un travail assez précis et de qualité qui favorise dans une certaine mesure la sécurité, la situation est toute différente dans le décoffrage. Plusieurs conditions sont source de danger:

Pour décoffrer, il faut d'abord ôter les raidisseurs et les montants. Les feuilles de contre-plaqué ne tiennent plus que par leur adhérence au béton et leur appui sur les tirants dépassant du mur. Il est par conséquent nécessaire de les contreventer de façon temporaire pour éviter leur chute non souhaitée. Ce contreventement n'est pas toujours effectué, ce qui constitue une situation dangereuse. Dans ce cas, le manoeuvre exerce un contrôle visuel. Cette méthode de travail peut s'expliquer à la fois par une économie d'effort et un souci d'efficacité. Le travail de manoeuvre ne pouvant être évalué directement sur la base de la qualité d'une construction, l'évaluation dépend davantage de la rapidité d'exécution. Afin de prévenir ce risque, il est nécessaire de valoriser les

méthodes de décoffrage plus sécuritaires et de mieux coordonner les différentes opérations de décoffrage.

Le décoffrage d'un mur pose des problèmes d'accès en hauteur qui ne sont pas toujours résolus de façon sécuritaire. Par exemple, il est dangereux d'exercer des forces sur une échelle, un escabeau ou un accès improvisé. Un échafaudage construit selon les normes permet un décoffrage de mur plus sécuritaire.

Le décoffrage s'effectue en arrachant les montants cloués et en décollant les feuilles de contre-plaqué à l'aide d'un pied-de-biche. Ces derniers sont souvent trop courts, ce qui augmente le risque de se faire frapper par le matériel. En effet, le manoeuvre, trop près du contre-plaqué, doit alors effectuer un mouvement de recul rapide afin d'éviter le matériel qui tombe. Pour remédier en partie à ce problème et augmenter la portée de l'outil, les manoeuvres utilisent souvent un pied d'étau métallique, bien que ce dernier soit plus lourd et non prévu pour ce type de tâche. Cet aspect dénote un réel problème d'outillage.

Le matériel au sol devrait être évacué au fur et à mesure pour dégager la zone de décoffrage, afin de ne pas avoir à éviter ou à marcher sur le matériel au sol. Cela demande un minimum de coordination entre les différentes opérations à effectuer de façon que les ouvriers évacuant le matériel ne se fassent pas frapper, et que les ouvriers arrachant le coffrage ne soient pas gênés. Pour cela, un bon éclairage est également nécessaire.

Les clous en saillie doivent être enlevés sans attendre; il est préférable d'assigner cette opération à des employés spécifiques plutôt que d'en faire une règle générale ou souvent chacun pense que c'est l'autre qui s'en chargera.

Le matériel préparé afin d'être réutilisé est généralement déplacé par la grue à l'endroit de coffrage. Toutefois, les conditions architecturales rendent quelquefois impossible l'utilisation de la

grue. Dans ce cas, le matériel doit être manutentionné manuellement et remonté par des petites ouvertures requérant des postures pénibles. Ce problème qui se retrouve particulièrement au niveau des sous-sols d'édifice peut être évité lors de la conception du plan architectural. Si architecturalement cela apparaît impossible, un petit monte-charge devrait être prévu à cette fin.

#### 3.1.4 Domaine d'utilisation

Actuellement, on n'utilise le coffrage traditionnel monté sur place que pour des ouvrages unitaires de petite ou de moyenne taille présentant un grand nombre d'irrégularités. On l'utilise principalement dans le domaine de bâtiments, d'ouvrages d'infrastructures, de génie civil ou de travaux publics. En effet, c'est dans ces domaines qu'on trouve des ouvrages unitaires présentant un grand nombre d'irrégularités, par exemple des piles de pont, des murs de bâtiments, des murs de soutènement et des ouvrages de reprise en sous-oeuvre.

#### 3.1.5 Désavantages

La technicité et le temps de mise en oeuvre font que le coffrage traditionnel coûte très cher. À titre indicatif, d'après les experts en construction, l'exécution du m<sup>2</sup> d'ouvrage requiert de 2 à 3 heures de travail (coffrage et décoffrage). C'est pourquoi il n'est utilisé que pour des ouvrages de forme complexe ou pour des petites surfaces.

Sa technique de mise en oeuvre comporte plusieurs étapes de construction. Sur le plan technique, il est assez difficile d'assurer la planéité et l'étanchéité de la paroi coffrante sous la poussée du béton, malgré tous les soins apportés lors de la confection du coffrage. Sur le plan économique, le temps de mise en oeuvre est trop long; on gaspille des matériaux et le coffrage est moins réutilisable. Pour diminuer le temps de mise en oeuvre et limiter la fatigue des travailleurs, on pourrait organiser de véritables ateliers mobiles; hélas ceci est rarement prévu.

### 3.2 LE COFFRAGE DE MURS EN PETITS PANNEAUX ASSEMBLABLES

#### 3.2.1 Origine

Le coffrage traditionnel présente un avantage majeur. Tous les éléments qui le composent offrent une grande souplesse d'emploi et sont manutentionnables par un travailleur. Sa mise en oeuvre est longue, mais ne nécessite pas l'utilisation d'une grue.

Ainsi donc, il est venu à l'idée des fabricants de coffrage de mettre au point un système de coffrage par petits panneaux assemblables qui conserve tous les avantages du coffrage traditionnel, tout en réduisant le temps de mise en oeuvre. En effet, le système de petits panneaux est:

- réutilisable;
- tous les éléments qui le composent sont manutentionnables par un travailleur;
- assemblable simplement; l'assemblage se fait par emboîtement ou clavetage;
- très grande souplesse d'utilisation;
- le temps de mise en oeuvre est beaucoup moindre qu'en coffrage traditionnel pour des ouvrages simples.

### 3.2.2 Les petits panneaux en bois (Fig. 3.5)

#### 3.2.2.1 Description

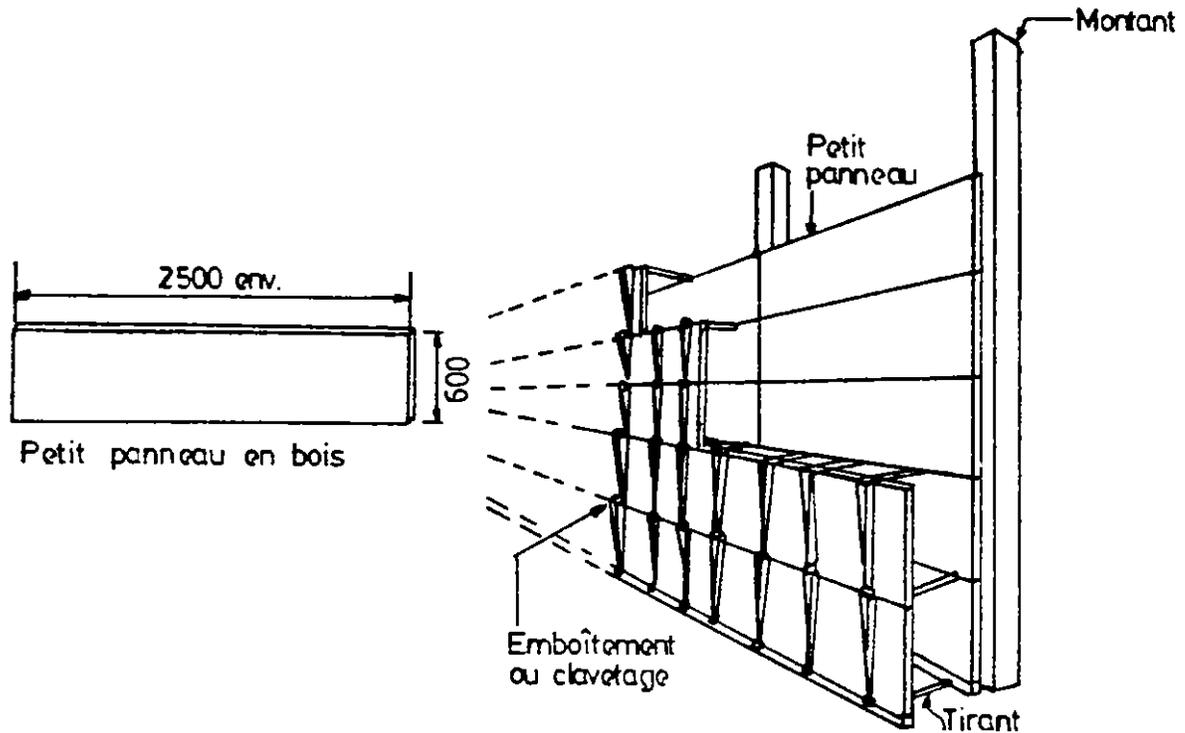


Fig. 3.5 Petits panneaux en bois pour murs

Essentiellement, ce sont des panneaux en bois, manutentionnables manuellement qui ont jusqu'à 600 mm x 2500 mm x 25 mm d'épaisseur. Le montage se fait par emboîtement ou clavetage. Comme c'est un procédé particulièrement simple et facile à réaliser, on peut atteindre une cadence telle que le temps de mise en oeuvre est de 3 à 5 fois moindre qu'en coffrage traditionnel sur des ouvrages simples. Cependant aux points de fixation (joints raccords), le bois résiste mal à la concentration des efforts. Pour reprendre et répartir ces efforts concentrés, on incorpore aux panneaux une structure annexe en feuillard métallique. Cette structure annexe sert aussi d'entretoisement aux panneaux.

Les principaux désavantages de ce système de coffrage sont:

- faible résistance des panneaux;
- mauvaise étanchéité aux raccords de panneaux.

La faible résistance des panneaux requiert l'utilisation de nombreux tirants en feuillard. Par conséquent, la qualité de la surface en souffre beaucoup. De plus, il est quasiment impossible d'obtenir un béton lisse de qualité à cause des fuites de laitance à chaque raccord de panneaux.

### 3.2.3 Les coffrages en petits panneaux métalliques ou mixtes

#### 3.2.3.1 Description

Essentiellement c'est le même système que les petits panneaux en bois, sauf qu'on a cherché à éliminer les principales faiblesses des petits panneaux en bois.

Les panneaux sont renforcés par un cadre métallique généralement constitué d'une cornière. Comme paroi coffrante, on peut soit utiliser de la tôle soudée ou du contre-plaqué vissé sur le cadre. Cependant à cause du poids supplémentaire du cadre métallique, les panneaux sont plus petits pour permettre la manutention manuelle (à titre indicatif 1000 m x 500 mm). La présence du cadre métallique améliore considérablement la résistance du panneau et l'étanchéité aux raccords. Ainsi donc, on utilise moins de tirants et par conséquent on a un meilleur fini de la surface. Par contre, la souplesse d'emploi est moindre par rapport aux panneaux en bois.

L'assemblage des panneaux se fait comme dans le système de petits panneaux en bois, par verrouillage, clavetage ou boulonnage, sans structure annexe. L'alignement des panneaux requiert un dispositif particulier, sinon on risque d'avoir des décalages de la surface à chaque raccord.

Contrairement au procédé de petits panneaux en bois, l'emploi des petits panneaux métalliques ou mixtes est limité aux ouvrages verticaux.

#### 3.2.4 Exécution

On trace d'abord le mur et on monte l'acier d'armature. On place des montants contreventés à chaque longueur du panneau (mi-longueur pour des panneaux longs). Le contreventement assure la stabilité de ces montants. Ces derniers sont alignés verticalement et peuvent ainsi être utilisés comme référence pour le réglage de la verticalité des panneaux. Puis on érige en même temps les deux faces de panneaux pour permettre la mise en place des clavettes de liaison. Sur certains systèmes, on peut monter les deux faces séparément, mais le ferrailage devient alors plus fastidieux.

Avec les panneaux métalliques ou mixtes, si le chantier dispose d'une grue, il est intéressant d'assembler les panneaux à plat par boulonnage pour reconstituer une banche, puis de mettre en place la banche ainsi constituée avec la grue.

Ainsi, le montage peut se faire de 2 façons:

1. ferrailage, puis mise en place de 2 faces et coulage de béton;
2. mise en place d'une face, ferrailage et mise en place de la deuxième face et coulage du béton.

On vérifie la verticalité de l'ouvrage et on coule le béton. Après un temps de prise suffisant, on décoffre. Si on utilise des panneaux en bois, on enlèvera les montants en premier et les panneaux clavetés seront déposés un à un. Si on utilise des panneaux métalliques ou mixtes, on manutentionnera l'ensemble en une seule fois, avec la grue. Puis les panneaux sont grattés, huilés et empilés, prêts pour le réemploi. L'extrémité des clavettes noyées dans le béton est cisailée.

### 3.2.5 La sécurité dans le coffrage de mur avec des petits panneaux

L'utilisation de petits panneaux en bois, métalliques ou mixtes permet de réduire le nombre d'opérations à effectuer sur le chantier tout en pouvant être manutentionné à la main. Nous retrouvons les mêmes facteurs relatifs à la situation de travail influençant les efforts de manutention que lors du coffrage de murs traditionnel. De plus, même si ces panneaux sont conçus pour être manutentionnés à la main, la charge de travail due à la manutention peut se trouver augmentée. En effet, les panneaux sont utilisés souvent dans des chantiers où il n'y a pas de grue, ce qui implique des transports de charge plus longs. Également, les opérations de manutentions plus nombreuses ne sont pas suivies d'opérations différentes comme le sciage ou le clouage qui permettent une récupération de la fatigue due à la manutention.

Le placement manuel et le clavetage des panneaux en fonction de leur poids, et les difficultés d'accès peuvent entraîner des risques de blessures aux mains ou des chutes. En hiver, la manipulation de panneaux métalliques est plus difficile.

Le décoffrage des panneaux comporte de façon générale les mêmes risques que le décoffrage de mur traditionnel. Les étais doivent d'abord être ôtés et les panneaux enlevés un à un. En l'absence d'un contreventement un ou des panneaux pourraient se décoller et tomber sur un travailleur.

### 3.2.6 Domaine d'utilisation

Les petits panneaux en bois, métalliques ou mixtes sont principalement employés pour réaliser des murs d'infrastructure, des murs de bâtiments résidentiels et des maisons unifamiliales. Avec ces panneaux, la surface de béton n'est pas de très bonne qualité à cause des nombreux tirants utilisés. Il faut enduire la face exposée de l'ouvrage, l'autre face étant généralement couverte par l'isolation thermique.

Avec les petits panneaux en bois, toute la manutention est manuelle.

Aucun moyen puissant de levage n'est nécessaire, d'où son principal attrait. On peut donc l'utiliser dans des espaces restreints, par exemple pour coffrer des murs sous des planchers coulés en place avec des tables volantes.

Les petits panneaux en bois permettent aussi de coffrer en plusieurs levées (technique semi-grimpant). Les panneaux qui ont servi à la coulée précédente sont laissés en place, et on vient claveter une nouvelle rangée de panneaux pour la prochaine levée. Pour pouvoir coffrer en semi-grimpant, il faut un échafaudage indépendant du coffrage, ce qui entraîne un coût supplémentaire.

Posés sur un platelage, les petits panneaux en bois offrent aussi une possibilité intéressante comme paroi coffrante pour des planchers (voir paragraphe 4.5.3).

De même, avec les panneaux métalliques ou mixtes, la manutention est essentiellement manuelle. Suivant le poids du panneau, il peut être manutentionné par une ou deux personnes au maximum, sinon ce procédé perd son attrait. Les panneaux mixtes avec cadres en profilé métallique et paroi en contre-plaqué peuvent être modifiés pour former une grande banche.

En effet, si le chantier dispose d'une grue, pour un nombre élevé de murs identiques, il est avantageux de constituer avec les cadres des petits panneaux boulonnés entre eux, un ensemble de raidisseurs sur lesquels on visse une grande feuille de contre-plaqué pour former une grande banche. Les panneaux métalliques ou mixtes donnent définitivement un meilleur fini de surface que les panneaux en bois. Cependant le fini obtenu exige quand même un travail important de finition.

Le coffrage par petits panneaux ne convient pas pour des ouvrages de grande hauteur. Le réglage de la surface coffrante est difficile à exécuter et la sécurité des travailleurs est mal assurée. Dans ce cas, il faut prévoir une structure complémentaire d'équipement de sécurité qui coûte cher.

Le système de petits panneaux (bois, métalliques ou mixtes) est très répandu à travers l'Europe. Graduellement les banches hauteur d'étages sont en train de les remplacer et très bientôt on s'acheminera vers une généralisation de l'utilisation des banches.

### 3.3 COFFRAGE ASSEMBLÉ ET MIS EN PLACE

#### 3.3.1 Évolution

Le bois est un matériau souple, facile à employer et son prix est encore relativement abordable. Ces qualités font qu'il est toujours apprécié et qu'on l'utilise encore pour les ouvrages complexes. Ainsi les entrepreneurs ont cherché à mieux l'utiliser et à optimiser sa mise en oeuvre soit en installant des postes de travail mobiles comportant une ou des tables de traçage et d'assemblage, une ou des scies de découpage, et une ou des machines à nettoyer, soit en préfabriquant les panneaux de coffrage en atelier. Le bois permet alors d'exécuter des coffrages réutilisables comme des coffrages métalliques.

On a essayé à un certain moment d'utiliser des coffrages perdus pour coffrer des murs. Le coffrage perdu, consiste à utiliser des parements qui sera le fini de l'ouvrage. Durant la coulée de béton, ces parements agissent comme des parois coffrantes. C'est une idée ancienne dont la réalisation n'est pas facile. En effet lors du bétonnage, la poussée du béton frais est importante et une structure annexe, démontable, est nécessaire pour reprendre cette poussée, ce qui augmente les coûts. Dans ce cas, le coffrage perdu perd son attrait. L'avantage majeur des coffrages perdus, c'est l'élimination du décoffrage, du nettoyage et de l'entretien du matériel. Pour que le coffrage perdu soit attrayant, il faut qu'il soit léger pour être mis en oeuvre aisément, bon marché, esthétique et qu'il participe si possible à la résistance de la structure. L'idée a été vite abandonnée car en fin de compte les contraintes énumérées ci-dessus sont trop difficiles à réaliser en pratique.

De nos jours, presque tous les chantiers importants disposent de moyens puissants de levage. On s'achemine de plus en plus vers l'utilisation des panneaux lourds et des coffrages outils, réutilisables, avec, au besoin, du coffrage traditionnel. Dans les paragraphes qui suivent, on verra quelques-uns de ces coffrages-outils.

### 3.3.2 Les coffrages de hauteur d'étage ou banches

#### 3.3.2.1 Origine de la banche

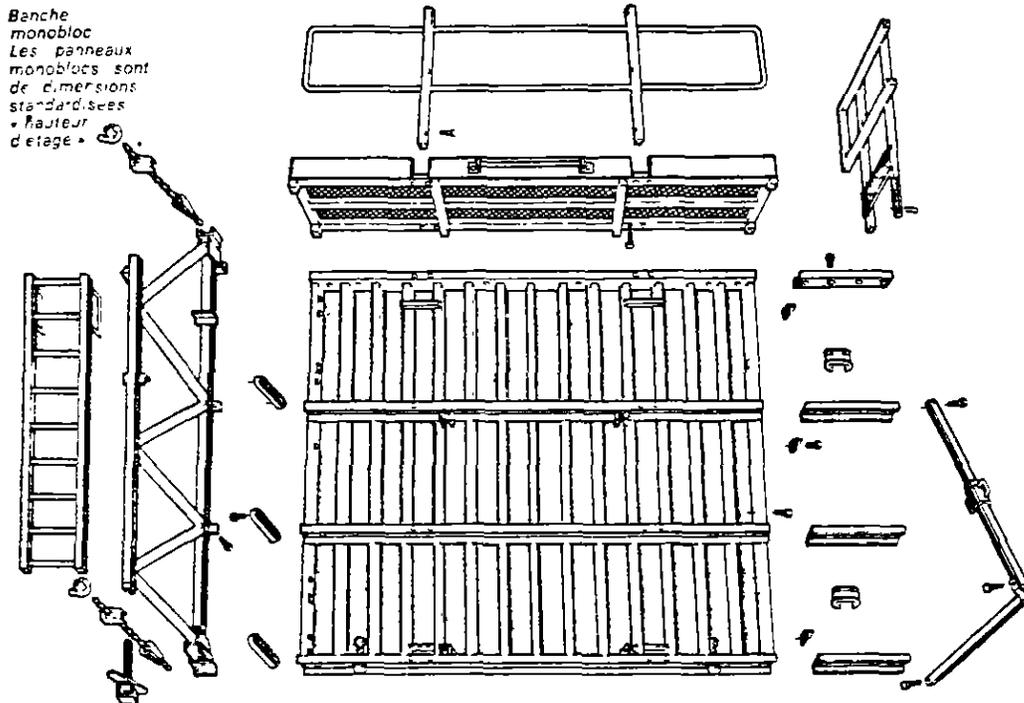
La banche a une origine très lointaine. Elle a été utilisée depuis très longtemps pour la réalisation de murs en pisé. Faute de résistance du matériau et de moyens puissants de levage, les levées étaient plutôt petites, de l'ordre de 300 mm (12") de hauteur. Historiquement c'est à Lyon (France) et en Angleterre qu'on a utilisé la banche hauteur d'étage pour la première fois. La manutention était essentiellement manuelle. Puis graduellement les grues sont apparues et se sont répandues dans les chantiers. Elles ont permis la manutention de panneaux lourds et de plus grandes dimensions. Les moyens de levage favorisent le développement rapide des banches. En effet avec les banches, on utilise moins de tiges et de raccords et par conséquent on obtient un meilleur fini, on a aussi moins d'opérations, ce qui diminue le temps d'exécution et par conséquent le prix de mise en oeuvre. Enfin les accessoires intégrés à la banche assurent la sécurité des travailleurs.

#### 3.3.2.2 Description (Fig. 3.6)

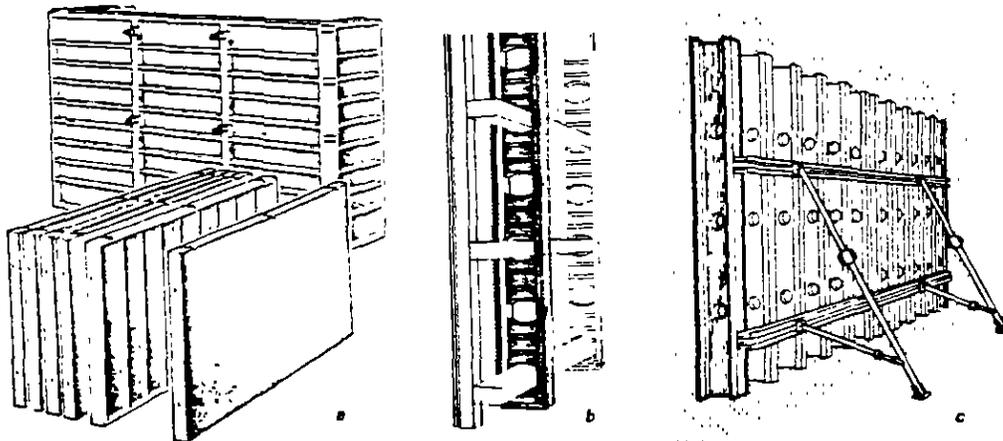
Les banches sont des panneaux de coffrage prefabriqués en usine et destinés à plusieurs réemplois. Elles permettent de coffrer en une seule fois des parois verticales ou diverses membrures en béton (armé ou non) et de grande surface. Les manufacturiers proposent des banches mono panneau ou des banches face à face.

— Types

- Les banches monoblocs, complètement équipées, sont destinées au coffrage de parois de dimensions standard (fig 1)



- Les banches modulaires, constituées à partir de composants, permettent à l'utilisateur une adaptation dimensionnelle très libre. Les équipements (plates-formes, accès, etc) doivent être adaptés à chaque configuration (fig. 2)



- Banches modulaires : schémas de principes ou ne figurent pas les équipements
- a - composées à partir de panneaux élémentaires
  - b - composées à partir de poutrelles métalliques.
  - c - composées à partir de poutrelles en bois

Fig. 3.6 Les types de banches

### 3.3.2.3 Constitution

Essentiellement une banche est constituée:

- d'une paroi coffrante étanche qui encaisse la poussée du béton;
- d'une ossature rigide (bois ou métallique) sur laquelle est vissée la paroi coffrante;
- d'un dispositif de stabilisation, intégré à l'ossature rigide.

L'ossature est composée d'un cadre, de montants et des raidisseurs. Suivant l'épaisseur de la paroi coffrante, le nombre de montants et de lits de raidisseurs sera plus ou moins important. Il existe des banches avec une paroi coffrante assez épaisse qui nécessite aucun raidisseur.

Sur les montants, prennent appuis l'ensemble des équipements (passerelle de travail, garde-corps.). De plus, ce sont les montants qui reprennent les efforts exercés sur les raidisseurs pour les transmettre aux tiges d'entretoise. On a principalement deux sortes de banches:

1. Les banches monoblocs, complètement équipées, destinées au coffrage de parois standard, en mono-panneau ou en panneaux face à face.
2. Les banches modulaires, constituées de composantes qui permettent à l'utilisateur d'adapter le matériel à ses besoins; les équipements doivent être adaptés à chaque mode d'utilisation.

### 3.3.3 Types de banches

#### 3.3.3.1 Banche en bois

La banche standard en bois de hauteur d'étage est très peu utilisée dans les applications courantes, par exemple le coffrage de mur de bâtiments résidentiels. Par contre, la banche en bois convient

admirablement de par sa souplesse d'emploi, à des panneaux de forme et de dimension spéciales et surtout si on cherche une texture particulière du fini de l'ouvrage.

La paroi coffrante est un contre-plaqué laqué ou enduit de résine (bakelite). Le cadre est en bois avec des raidisseurs principaux verticaux en bois massif en contrecollé, sur lesquels sont fixés les équipements. Dans certaines banches on trouve aussi des raidisseurs verticaux secondaires de plus faible section.

### 3.3.3.2 Banches dites mixtes à structure métallique et surface coffrante en contre-plaqué

Les fabricants offrent une gamme diversifiée de ce genre de coffrage. Ce genre de matériel est surtout utilisé lors de travaux publics.

Essentiellement c'est un assemblage de poutres et de profilés métalliques, constituant un ensemble sur lequel on peut fixer une surface de contre-plaqué raidie par les planches. Ainsi on peut avoir les dimensions souhaitées de banches qui adapteront à tous les types d'ouvrages qu'on veut réaliser.

La paroi coffrante est soit vissée ou clouée dans des montants en bois ou dans des fourrures en bois insérées dans les raidisseurs métalliques ou dans des profilés clouables. Pour clouer, on trace d'abord avec précision l'emplacement des clous sans quoi ils risquent de passer à côté du profilé. Il faut éviter de visser la paroi coffrante car c'est fastidieux, et donc cher. Cependant si la paroi coffrante est vissée, on utilisera de préférence des vis auto-perçantes avec une visseuse pneumatique, ce qui améliorera grandement le rendement.

### 3.3.3.3 Banches entièrement métalliques (Fig. 3.7)

Essentiellement, c'est une banche de constitution entièrement métallique, cadre, raidisseurs primaires et secondaires, et paroi coffrante en tôle soudée. Il faut aussi éviter une paroi coffrante trop épaisse car le poids deviendra trop important, nécessitant une grue puissante. A l'inverse, une tôle trop mince est sensible à la corrosion et aux déformations.

## 3.4 LES ÉQUIPEMENTS DES BANCHES

Les équipements de banches sont multiples et très variés. Bien conçus et bien intégrés aux banches, ils facilitent leur emploi et leur manutention. Ils influencent directement le rendement de la main-d'oeuvre, la qualité du produit obtenu et, surtout, ils déterminent la sécurité des travailleurs pendant l'ensemble d'opérations des banches.

Parmi la multitude d'équipements, on distingue principalement:

- les équipements de travail - plates-formes et accès;
- les équipements de manutention;
- les équipements de réglage.

### 3.4.1 Équipements pour la manutention

La taille et le poids des banches exigent une grue pour les manutentionner. De ce fait, on exige:

- un dispositif d'accrochage et de fixation inamovible;
- un coefficient de sécurité d'au moins 6, c'est-à-dire que la charge d'utilisation sera, au plus, égale à un sixième de la charge de rupture;
- des dispositifs et des renforts éventuels pour l'assemblage et la manutention des banches;
- l'indication du gabarit et surtout le poids sur chaque banche;
- une place sur la banche pour le rangement des accessoires (entretoises, boulons, outils) lors des manutentions.

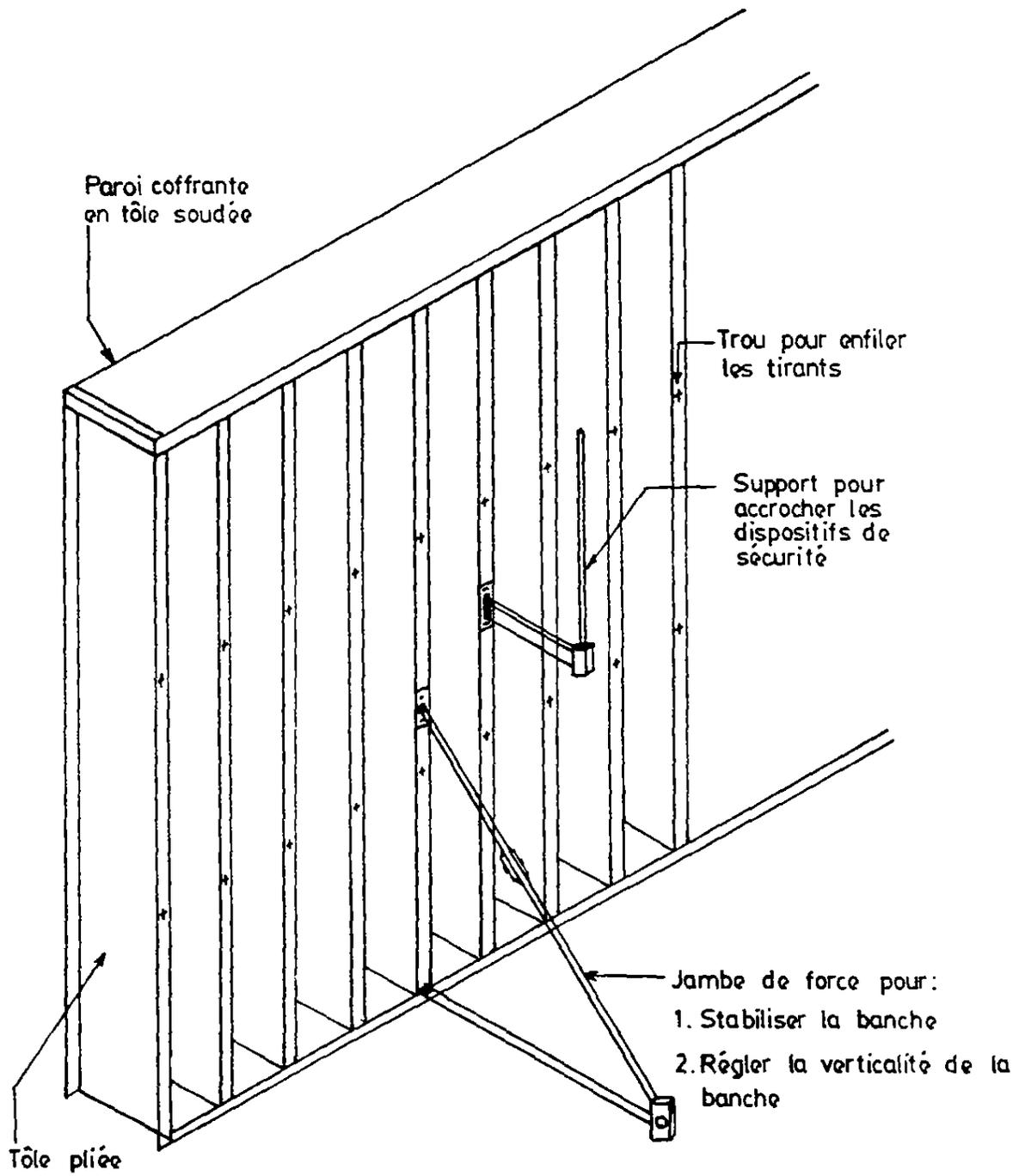


Fig. 3.7 Banches métalliques

### 3.4.2 Mécanismes de réglage

Différents mécanismes de réglage permettent d'obtenir les ajustements nécessaires.

#### Le couplage des banches bout à bout permet:

- de raccorder des banches bout à bout pour former un panneau de plus grande surface;
- de solidariser les banches lors du coulage sous l'action de la poussée du béton pendant la vibration;
- d'aligner les banches;
- de rendre étanches les raccords aux joints.

#### Le réglage de la verticalité des banches permet:

- de stabiliser des banches lors de l'attente et pendant l'utilisation;
- de régler la verticalité.

#### Le réglage de la hauteur permet:

- d'avoir une surface de repos parfaitement réglée en hauteur.

#### Les équipements au sommet de la banche en l'absence de plates-formes et gardes-corps permettent:

- de circuler au sommet;
- de superposer une deuxième banche à la première.

#### Le coffrage des angles de murs permet:

- de couler des angles;
- de raccorder des panneaux aux endroits difficilement coffrables.

#### Les arrêts de bétonnage permettent:

- d'ajuster la surface à coffrer.

### 3.5 PROCESSUS D'EXÉCUTION (Fig. 3.8)

#### 3.5.1 Banches mono-panneau et banches face à face

##### 3.5.1.1 Coffrage

Brièvement, le processus est le suivant:

- exécution de l'amorce du mur ou mise en place des taquets d'appui la veille de l'exécution du mur; si l'amorce n'a pas été exécutée, on trace le mur sur le sol ou sur le plancher;
- mise en place des banches préalablement huilées dans l'ordre de placement correspondant à une face par la grue;
- éventuellement, assemblage des banches bout à bout;
- réglage de la verticalité et de l'alignement pour aligner les verrous ou les trous de fixation;
- mise en place du dispositif de stabilisation de la banche pour éviter son basculement par le vent ou tout choc accidentel;
- réglage de la verticalité de la première face des banches mono-panneaux, réglage d'ensemble pour les banches face à face;
- mise en place des réservations et incorporations; pour des ouvrages répétitifs, les réservations et incorporations sont fixées une fois pour toute;
- mise en place du ferrailage (préfabrication de la cage d'armature si possible, dans ce cas ferrailage avant réservation et incorporation);
- mise en place des tiges d'entretoise;
- ensuite mise en place de la deuxième face suivant les mêmes opérations que pour la première (sauf des banches face à face);
- réglage de la verticalité globale de l'ouvrage complet;
- coulage du béton.

Lors de l'utilisation sur un chantier, une banche peut être amenée à occuper diverses positions au cours des principales phases dont le déroulement le plus usuel est le suivant :

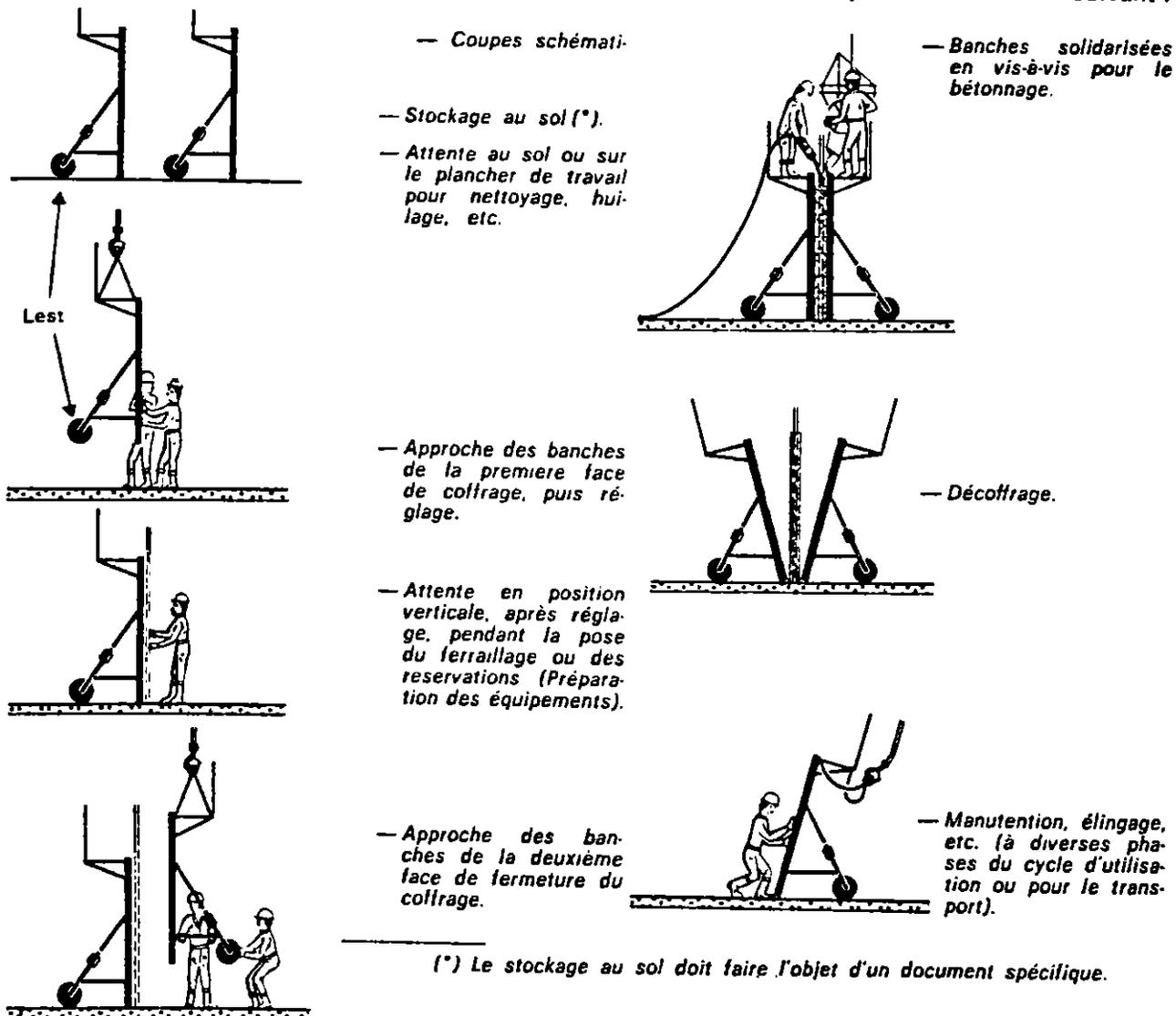


Fig. 3.8 Processus d'exécution de murs avec les banches

### 3.5.1.2 Décoffrage

Après un temps de prise suffisant on décoffre.

Brièvement le processus est le suivant:

- désaccouplage des banches montées bout à bout;
- décollage de la banche de la paroi par tout dispositif prévu à cet effet (vérins de réglage, leviers à main). Toutefois la grue ne doit jamais être utilisée pour casser l'adhérence béton-banche;
- rangement des accessoires et enlèvement d'objets susceptibles de tomber;
- accrochage de la banche à la grue;
- manutention et emmagasinage des banches en attendant de les gratter et de les huiler pour la prochaine utilisation;
- en phase d'attente, stabilisation de toutes les banches.

### 3.5.2 La sécurité dans le coffrage de mur avec des banches

L'emploi des banches simples ou face à face réduit considérablement le nombre d'opérations de coffrage et de décoffrage. Cependant, leur utilisation nécessite de l'expérience et comporte certains risques. Une étude d'Adenot<sup>2</sup> montre que 86 % des accidents sont des renversements de banche et 14 % des chutes de hauteur depuis la banche. Les causes principales de renversement de banche sont l'action du vent sur la banche, le heurt ou l'accrochage de la banche, l'élingage défectueux et une mauvaise stabilisation. Cette dernière cause pose un problème de sécurité important.

Certaines banches ne sont pas pourvues de moyens de stabilisation. Elles sont dans ce cas stabilisées par des étais; trop souvent encore des dispositifs de fortune qu'il est nécessaire d'ôter pour mettre en place l'acier d'armature et la deuxième banche, d'où le risque très grand que représente ce mode de stabilisation. De plus les dispositifs de stabilisation ne sont pas toujours mis en place lors de la pose de l'acier d'armature, des réservations de l'électricité et de la plomberie, cette phase durant peu de temps.

Le positionnement final de la banche manutentionnée par la grue nécessite l'action de travailleurs, ce qui constitue un risque de se faire frapper ou coincer. La banche doit être utilisée dans des conditions de vent faible. Il faut cependant se méfier des rafales. Elle doit être conçue afin de permettre de bonnes prises rendant moins dangereuse la position de travail lors de son ajustement final.

Les banches comportent des passerelles dont l'accès se fait au moyen d'échelles. La présence de gardes en continu oblige le travailleur à passer entre les lisses. Il se trouve ainsi dans une position d'équilibre précaire. L'utilisation d'échelles inclinées et d'un portillon au niveau du garde rend cet accès plus facile.

Les contraintes architecturales imposent le démontage des passerelles par manque d'espace. Dans ce cas, la passerelle peut être remplacée par un plancher improvisé sans garde d'une solidité restreinte et avec des planches qui peuvent basculer. De plus, la passerelle n'est pas toujours remontée une fois le coffrage terminé.

Durant la coulée du béton, deux à trois travailleurs se tiennent sur la passerelle afin d'effectuer le positionnement final de la benne, verser le béton et le vibrer. Le positionnement final de la benne comporte le risque pour le travailleur de se faire frapper par celle-ci. Ce risque est aggravé par une mauvaise conception de la cabine de la grue (du champ de vision restreint, des mauvaises positions du grutier et de la baisse de vigilance due à la fatigue). Lorsque la passerelle se trouve placée trop bas, le travailleur doit monter sur le rebord de la banche. Il se trouve alors dans une position d'équilibre exigeante et il n'est plus protégé par le garde de la passerelle. Le décoffrage des banches se déroule selon les opérations suivantes: ôter les clavettes reliant la banche à décoffrer aux autres banches s'il y a lieu, décoller la banche du mur de béton, accrocher la banche et la retirer avec la grue. Le décollage de la banche se fait à l'aide des stabilisateurs qui permettent à la banche de se décoller du mur par son propre poids. La banche se trouve ainsi inclinée légèrement. L'utilisation de stabilisateurs de fortune rend cette opération dangereuse à cause du

risque de renversement. La banche doit être suffisamment stable afin de permettre au travailleur de monter sur la passerelle pour l'élingage. Celui-ci se fait par deux crochets supérieurs situés de chaque côté de la banche. Il existe un danger que ces crochets cèdent à cause des sollicitations de fortes importances. Un système d'élingage avec une poutre métallique permet de réduire de façon importante ce risque (Fig. 3.9)

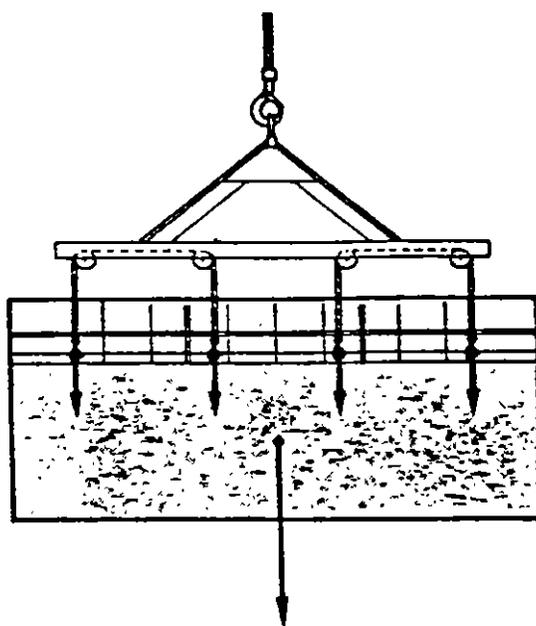


Fig. 3.9 Système d'élingage

En résumé, les principaux risques sont:

a) le renversement dû:

- à l'action du vent supérieur à 60 km/hre,
- à une dénivellation, tassement ou glissement des appuis,
- à des sollicitations d'un effort, par exemple choc en cours de manutention, ouverture ou bombage du coffrage sous la poussée du béton, ou déséquilibre d'un élément de banche lors de son désaccouplement.

- b) la chute de hauteur du personnel:
  - en accédant au poste de travail;
  - en coffrant ou décoffrant les joues d'extrémités,
  - provoquée par une banche en cours de manutention;
- c) la chute de la banche en cours de manutention par rupture d'élingue;
- d) le renversement de la grue à la suite de fausses manoeuvres;
- e) le choc ou coincement;
- f) le renversement d'un élément de construction déjà réalisé.

### 3.5.3 Domaine d'utilisation

Les banches sont principalement utilisées pour coffrer des ouvrages verticaux (murs, refends, voiles) dans des ouvrages d'infrastructure, de génie civil, de bâtiments résidentiels et commerciaux. Dès que le chantier dispose d'une grue, les banches permettent de réaliser sur place des murs d'un bon fini à un coût de revient minimal.

L'utilisation des banches est d'autant plus avantageuse pour un chantier répétitif, par exemple des murs de hauteur et de largeur constantes dans des constructions d'immeubles résidentiels et commerciaux. Dans ces types de chantier, le responsable du chantier de coffrage peut, avec la collaboration d'autres métiers (plomberie, chauffage, etc.), organiser une rotation de banches et atteindre une bonne cadence d'exécution. Les banches permettent aussi la réalisation de parements architecturaux, des ouvertures de toutes formes et dimensions. Néanmoins, si les parements et les ouvertures désirés sont trop complexes, il est préférable de préfabriquer les panneaux en les coulant à plat.

### 3.6 COFFRAGES GRIMPANTS ET AUTO-GRIMPANTS

#### 3.6.1 Description - Coffrage grimpant (Fig. 3.10)

Il s'agit, d'un panneau coffrant préfabriqué muni d'un vérin qu'on rend solidaire à la console support, à l'aide d'un dispositif d'ancrage. Au décoffrage, l'ensemble est manutentionné d'un seul coup de grue et amené à l'emplacement suivant. Le vérin permet le réglage de la verticalité du panneau par rapport à la console support.

Ce système de coffrage réduit le nombre de manutentions, c'est son principal avantage. Cependant, sa manutention comporte de nombreux inconvénients:

- lors des manutentions, les travailleurs doivent être sur la passerelle pour accéder aux dispositifs d'ancrage et il est pratiquement impossible d'assurer leur sécurité;
- il faut décaler la plate-forme vers le bas pour permettre aux travailleurs d'accéder aux types de fixation;
- le coffrage grimpant n'est pas souple d'application; il ne peut être déplacé que d'un niveau à l'autre, par levée.

#### 3.6.2 Coffrage auto-grimpant

Il ressemble au coffrage grimpant, excepté que la levée du panneau se fait d'une façon mécanique à l'aide d'un dispositif de levée autonome. Ainsi, la sécurité des travailleurs se trouve améliorée pendant la manutention.

Le déplacement du coffrage se fait vers le haut, à vitesse contrôlée. La manoeuvre de remontée est, soit manuelle, ce qui est fastidieux, et impose un effort physique soutenu; parfois la position de travail est inconfortable, augmentant la charge de travail; soit électrique ou hydraulique, ce qui est idéal, mais l'investissement est beaucoup trop coûteux et n'est acceptable que pour de grands chantiers.

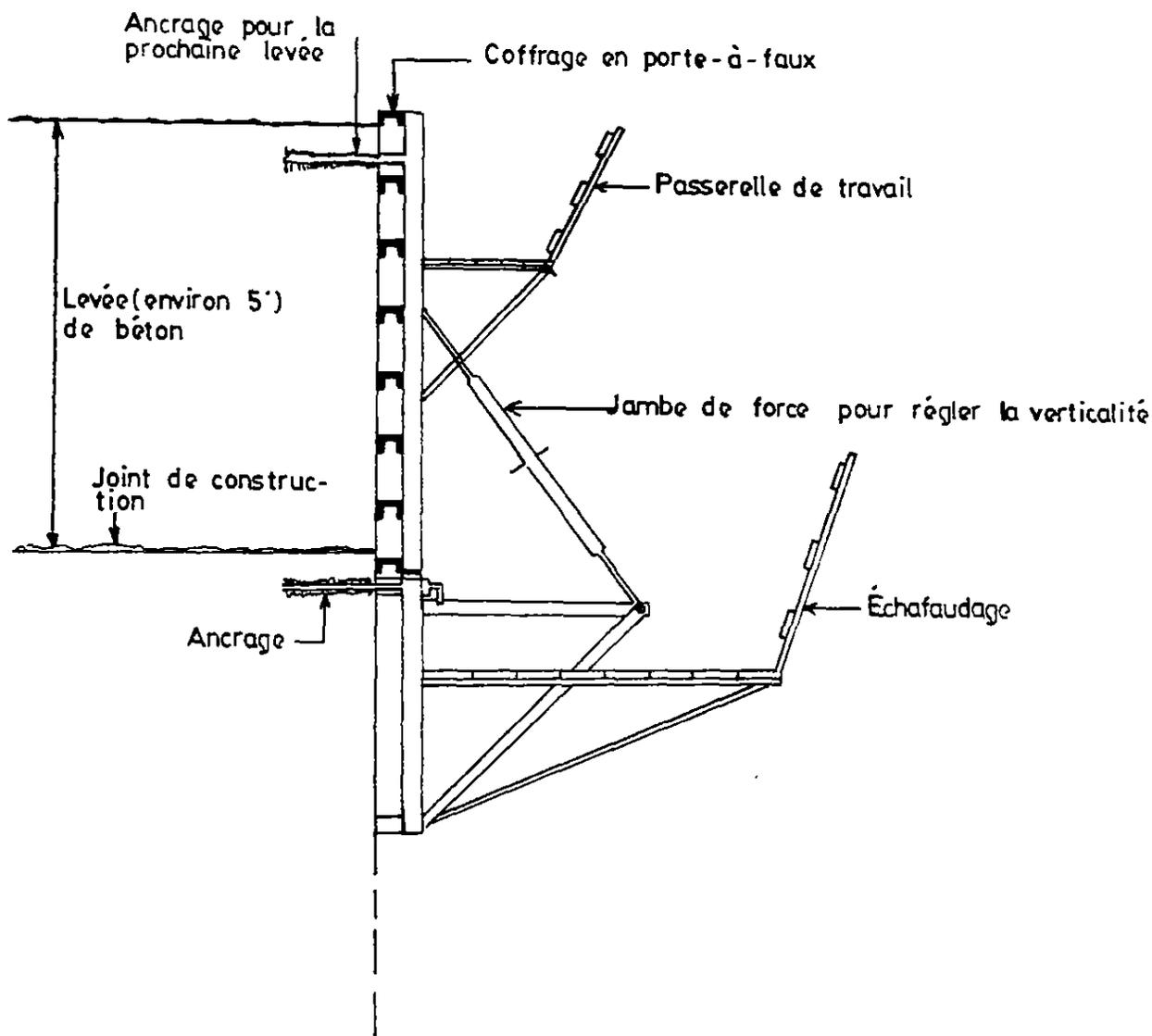


Fig. 3.10 Coupe type d'un coffrage grimpant utilisé en Travaux Publics

### 3.6.3 Processus d'exécution

Le processus d'exécution du coffrage grim pant et auto-grim pant est similaire, sauf les étapes de la levée du panneau par la grue, qui ne s'appliquent pas au coffrage auto-grim pant. À noter que le ferrail lage est une étape totalement indépendante du coffrage et décoffrage.

Le processus d'exécution est le suivant:

- mise en place des réservations pour l'ancrage du panneau à l'étage supérieur;
- décollage du panneau à l'aide des vérins de réglage de la verticalité;
- élingage du panneau à la grue;
- mise en place du dispositif de fixation des consoles sur l'ouvrage;
- levée du coffrage et des consoles en une seule manipulation;
- nettoyage et huilage du coffrage;
- mise en place et réglage des tiges de fixation des consoles sur l'ouvrage;
- mise en place des vis et frettes pour la fixation des consoles dans la levée supérieure;
- réglage de la verticalité et de l'alignement;
- coulage du béton.

Après un temps de prise suffisant, on décoffre le panneau et on répète les mêmes opérations pour la prochaine levée.

### 3.6.4 La sécurité dans le coffrage grim pant

Les coffrages grim pant, auto-grim pant ou glissant (voir 3.7) permettent de construire des murs d'une hauteur importante par section ou en continu.

Dans le cas du coffrage grim pant, on retrouve les problèmes de sécurité similaires au coffrage de banche. Se pose en plus le problème de déplacement par la grue où deux travailleurs en général doivent rester sur la passerelle du coffrage afin de le décrocher et de le fixer au niveau supérieur. Les passerelles doivent être conçues en fonction de

cette situation et afin d'assurer la stabilité et la sécurité des travailleurs au cours de cette manoeuvre.

De plus, suivant la conception du coffrage, des passerelles, des endroits de fixation, le travailleur peut être amené à adopter des postures instables afin d'aider au décollage des parois qui adhèrent trop au béton. Avec l'utilisation d'un système d'escalier ou d'échelle, les travailleurs peuvent quitter la passerelle avant le déplacement du coffrage. Toutefois, ces derniers doivent grimper sur la passerelle pour décrocher ou fixer le coffrage alors que celui-ci n'est retenu que par la grue.

### 3.6.5 Domaine d'utilisation

Le coffrage grimpant est principalement utilisé en travaux publics pour la réalisation de murs de soutènement, de barrages et pour des ouvrages de grande hauteur.

Par contre, le coffrage auto-grimpant est principalement utilisé pour des ouvrages en murs minces de grande hauteur (silos, cheminées, immeubles de grande hauteur). L'inconvénient majeur est son investissement considérable. Il n'est rentable que pour des chantiers de grande taille. On peut citer une des réalisations spectaculaires du coffrage auto-grimpant à Paris, La Défense (Tour Fiat) où les murs de façades ont été réalisés par ce procédé.

## 3.7 LES COFFRAGES GLISSANTS

### 3.7.1 Historique

Le coffrage glissant a vu le jour aux États-Unis au début du vingtième siècle. Il a connu un tel essor et un tel développement qu'il est aujourd'hui une technique de pointe en coffrage. Dès 1950, les coffrages glissants étaient déjà utilisés pour les silos, cheminées et autres ouvrages verticaux. La levée se faisait manuellement à l'aide de vérins à vis incorporés dans des bâtis en bois.

Cependant aux États-Unis les immeubles de grande hauteur étaient construits en acier, ce qui fait que les constructeurs ne sentaient pas le besoin d'innover dans le secteur du béton.

En Europe, par contre, où on construisait déjà des immeubles de grande hauteur en béton, il y avait un besoin urgent et un vif encouragement pour développer un système de coffrage glissant plus performant et un meilleur système de vérins pour le levage de coffrages. Ainsi, le coffrage glissant qui vit le jour aux États-Unis, arriva à maturité en Europe avec le développement de vérins hydrauliques et l'application étendue du système aux bâtiments commerciaux et résidentiels, et aux ouvrages de génie civil (piles de ponts, silos).

Le coffrage glissant est une technique hautement spécialisée. Sa technicité exige que chaque étape de la construction soit planifiée et préparée. Cet aspect désoriente bien des entreprises habituées à travailler d'une façon traditionnelle; la débrouillardise et l'improvisation étant sollicitées à la dernière seconde pour résoudre les problèmes. Avant d'utiliser le coffrage glissant, il est important de bien connaître les avantages et les inconvénients pour éviter une ou plusieurs erreurs graves qui conduisent à une catastrophe financière et mettent la sécurité des travailleurs en danger.

### 3.7.2 Principe général

Le coffrage glissant est similaire à un procédé d'extrusion. Du béton plastique est coulé dans le coffrage et la vitesse de levée du coffrage est ajustée de telle sorte que la paroi coffrante quitte le béton lorsque celui-ci est suffisamment résistant pour garder sa forme tout en supportant son poids propre.

Les levées de coffrage se font pratiquement en continu, la vitesse dépendant du type d'équipements et du béton utilisés. Lors des premières applications du coffrage glissant, la vitesse de levée était de l'ordre de 150 mm/hre (6"/hre). De nos jours, la vitesse de 300 mm/hre (12"/hre) est considérée comme la vitesse moyenne courante.

Dans certaines applications la vitesse de coulée du béton est de 450 mm/hre (18"/hre). On s'achemine très bientôt vers une vitesse de levée de l'ordre de 600 mm/hre (24"/hre). Ceci sera rendu possible grâce à l'utilisation de ciment à haute résistance initiale, des adjuvants accélérateurs de prise, un meilleur système de vérins et surtout une meilleure planification du chantier de coffrage.

Dans l'ensemble, tous les coffrages glissants opèrent de la même façon. Seuls les systèmes de vérins et les systèmes d'appui les différencient. Ils s'appuient tous sur des tiges encastrées dans le béton par l'intermédiaire d'un système de vérins hydrauliques. Suivant le procédé, les tiges sont soit noyées dans le béton et perdues, ou récupérables. Dans ce cas, les tiges coulisent dans des gaines où elles sont graissées de façon à ne pas adhérer au béton et, à la fin du bétonnage, ces gaines sont bouchées par du mortier.

### 3.7.3 Structure

Le coffrage glissant est composé de:

- deux banches, possédant une légère dépouille pour réduire le frottement entre le béton et la paroi coffrante. Les deux banches peuvent être soit face à face (Fig. 3.11) ou forment une jupe intérieure et une jupe extérieure (Fig. 3.12); dans certains cas la jupe extérieure est plus haute que la jupe intérieure pour éviter l'éclaboussement du béton;
- cavaliers munis de vérins hydrauliques à pinces qui s'accrochent sur les tiges d'appui métalliques verticales;
- une ossature en métal ou bois, assez rigide pour encaisser la poussée du béton;
- un ensemble de raidisseurs contreventés;
- une plateforme générale de travail, aménagée à la hauteur du sommet de la jupe;
- une plate-forme périphérique au-dessus pour guider les approvisionnements et faciliter le ferrailage;
- une passerelle de ragréage à l'intérieur et à l'extérieur.

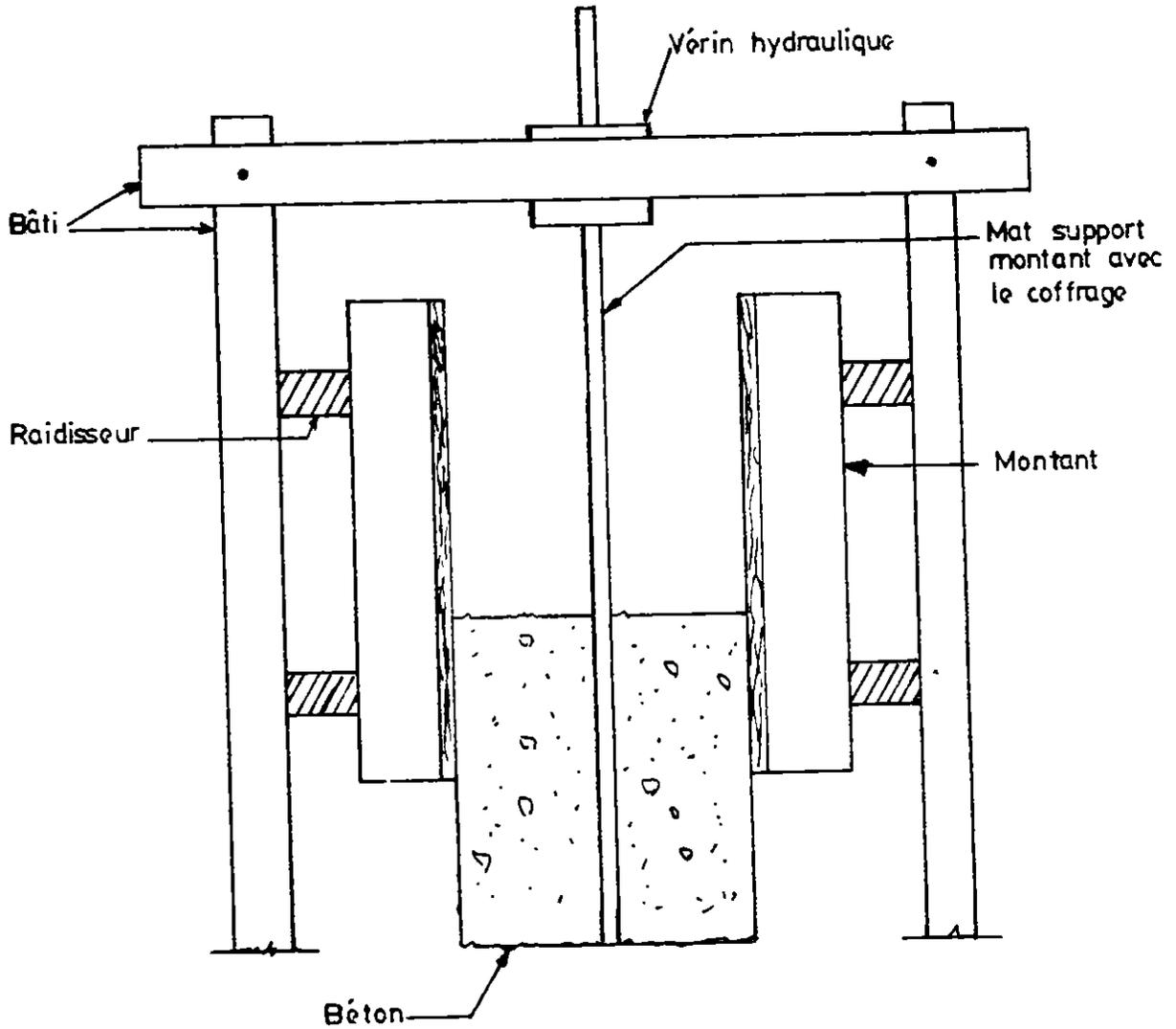


Fig. 3.11 Coupe schématique de coffrage glissant pour murs (face à face)

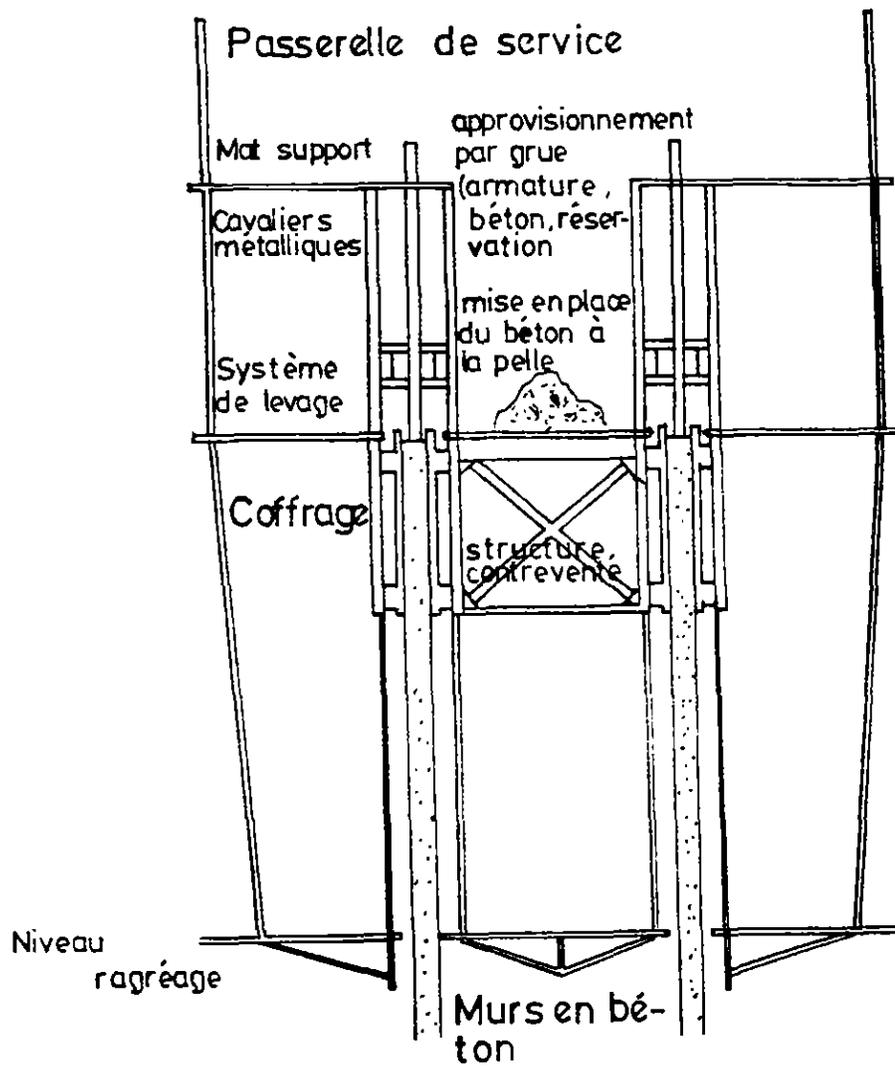


Fig. 3.12 Coupe schématique d'un coffrage glissant pour des structures fermées

#### 3.7.4 Processus d'exécution

Le coffrage glissant élimine les étapes successives de coffrage et décoffrage. Le ferrailage et le bétonnage sont réalisés en même temps au fur et à mesure que le coffrage monte. Le travail se fait presque à la chaîne et on atteint une cadence irréalisable avec le coffrage traditionnel. Chaque entreprise spécialisée en coffrage glissant opère suivant le matériel, le personnel dont elle dispose et surtout d'après son expérience. Généralement, on débute l'exécution en réalisant à la base de la structure un coffrage de faible hauteur (1 à 1.25 m (3' à 4')) qui épouse la forme des parois à ériger. Dès que le coffrage glissant est installé sur cette base, on règle la verticalité d'ensemble et le bétonnage peut commencer. La première coulée et la première levée sont très importantes. Il faut prendre toutes les précautions possibles pour s'assurer de bien partir droit, sinon on risque d'avoir des problèmes graves de verticalité et d'alignement.

L'approvisionnement général (béton, armatures) se fait à l'aide de la grue, sur la plate-forme périphérique du dessus, sous la surveillance du responsable de chantier. Le béton est coulé par couches de 150 à 300 mm (6" à 12" (indicatif)) dans le coffrage qui monte au fur et à mesure que le béton fait sa prise. La vitesse de montée est réglée de telle sorte que la paroi coffrante quitte le béton après que celui-ci soit suffisamment résistant pour garder sa forme tout en supportant son propre poids. Si le coffrage monte trop vite, le béton se déforme; trop lentement, le béton adhère aux parois.

Le coulage se fait en continu, 24 heures sur 24, ce qui peut poser un problème de main-d'oeuvre. Dans les zones habitées, le bruit, les projecteurs pour le travail de nuit incommode énormément les gens, et posent des problèmes de voisinage qui risquent de devenir épineux pour le bon déroulement du chantier.

### 3.7.5 Critères d'utilisation et fonctionnements techniques

Le coffrage glissant ne convient pas à tous les ouvrages verticaux. Pour faciliter sa mise en oeuvre, le concepteur doit s'assurer qu'un certain nombre de précautions soient prises dès le départ:

- a) l'épaisseur du mur de la structure ne doit pas être inférieure à 125 mm, sinon le poids et la cohésion ne pourront pas compenser les forces de frottement;
- b) les arêtes vives en creux ou en saillie sont à éviter;
- c) les ouvertures seront alignées verticalement de préférence;
- d) les trous des tiges d'appui sont remplis de mortier;
- e) le ragréage continu de la surface se fait là où le béton s'arrache;
- f) le montage et le démontage sont longs et fastidieux; cet aspect est à considérer pour des ouvrages de faible hauteur;
- g) sauf en cas d'accidents ou d'incidents, il faut à tout prix éviter d'arrêter le bétonnage; le redémarrage du procédé est très complexe;
- h) toutes les précautions possibles doivent être prises pour démarrer le bétonnage bien droit;
- i) le ferrailage, du fait de l'encombrement supplémentaire, coûte plus cher;
- k) le bétonnage est fait en petit volume à cause de l'encombrement;
- l) les planchers intérieurs sont réalisés avec le coffrage traditionnel;
- m) le coffrage glissant est l'affaire d'une entreprise spécialisée;
- n) le travail avec le coffrage glissant se fait en élévation et par conséquent, il est important d'accorder une attention particulière aux coups de vent.

### 3.7.6 La sécurité dans le coffrage auto-grimpant et glissant

Le coffrage auto-grimpant ou glissant transforme de façon profonde le travail du charpentier-menuisier. L'importance de la mise en place et du réglage par l'utilisation de vérins puissants font davantage appel à des compétences en mécanique. Ainsi comme l'indiquent les paragraphes précédents, chaque étape de la construction doit être prévue. La

personne qui décide de faire appel à une entreprise spécialisée en coffrage glissant, doit dès le départ s'assurer que cette entreprise possède un technicien qualifié et compétent.

La sécurité et la santé du personnel doivent être intégrées et adaptées à cette technique particulière de construction, car avant tout, c'est l'ensemble des intervenants qui assure la réussite de cette technique. La réalisation de l'ouvrage impose des exigences relatives aux conditions de travail à grande hauteur. La montée progressive du coffrage permet aux travailleurs de s'habituer à des hauteurs plus élevées. Dans la mesure du possible, il faut éviter d'introduire du nouveau personnel lorsque l'ouvrage a atteint une hauteur importante. Si le besoin s'en fait sentir, on s'assurera que ce personnel ait l'expérience du coffrage glissant.

Les accès sont primordiaux dans le coffrage glissant. Ils conditionnent la facilité d'utilisation et surtout déterminent la sécurité de l'opération du coffrage. Il importe donc, dès le départ, que les accès et plans de travail soient prévus au fur et à mesure que l'ouvrage progresse.

Pour les ouvrages de faible hauteur, les accès par échelles protégées, avec des paliers de repos, sont satisfaisants. Par contre, pour les ouvrages de grande hauteur, il faut prévoir le transport par ascenseurs, nacelles ou appareils de levage spéciaux. Le transport par harnais est à proscrire.

Durant la coulée, les travailleurs assurent la surveillance du bon fonctionnement du système en même temps que le guidage de la coulée et la vibration du béton. Le travail physique dynamique se transforme en un travail statique plus exigeant. Le travail mental requiert une activité d'anticipation et de détection des incidents. Le travailleur doit par exemple prévenir tout blocage du système d'avancement du coffrage ou effectuer des corrections concernant des variations par rapport à la verticalité. L'approvisionnement en béton et armatures doit être bien planifié à l'avance. L'intervention du travailleur

dans une situation de récupération comme l'a montré Faverge<sup>3</sup> comporte davantage de risque. De plus, les lieux de réparation sont pas toujours facilement accessibles. Ces situations d'incidents ne sont pas toujours bien connues des concepteurs ou des organisateurs du travail ce qui peut conduire à sous-estimer ces problèmes et leur importance pour la production et la sécurité.

Le plancher de la passerelle peut devenir encombré et surchargé, ce qui rend plus difficile les manutentions et les déplacements rendus plus dangereux du fait de la hauteur de travail et des conditions climatiques. Évidemment, pour éviter tout risque de chute de hauteur, tous les accès aux plans de travail doivent être protégés à l'aide de gardes-corps, complétés par un grillage et des filets souples. Des dispositifs de protection individuelle doivent être également disponibles. En cas de vent, il faut limiter les dimensions du coffrage (prise au vent). Comme le travail se passe en élévation, il y a possibilité de chute d'outils ou de matériel. Il est donc nécessaire de placer des filets aux mailles suffisamment étroites ou de limiter l'accès au sol près de la zone de chute. Dans ce dernier cas, il s'agit de bien s'assurer que cette mesure peut être facilement respectée.

Dans le cas du coffrage glissant qui est continu, les équipes de travail se relayent jour et nuit; par conséquent apparaissent les problèmes relatifs au travail par équipes alternantes. Le travail de nuit comporte des inconvénients bien connus et il n'existe pas une solution unique pour organiser le travail par équipes alternantes. Il s'agit dans ce cas, en considérant différents éléments, de choisir l'organisation temporelle la plus acceptable, ce qui nécessite la participation des travailleurs concernés, comme le proposent certains auteurs.

Le démontage est une phase très délicate dans le coffrage glissant. Il doit être conçu dès la conception de l'ouvrage. Cette étape a lieu évidemment à la fin du chantier et il faut redoubler de précaution. En effet, non directement reliée à l'activité de production, cette étape, perçue comme secondaire, peut être négligé et devenir dangereuse.

### 3.7.7 Bilan économique et domaines d'application

Le coffrage glissant est un coffrage-outil hautement perfectionné, conçu pour l'exécution rapide de murs de moyenne ou grande hauteur. Sa rentabilité n'est assurée que pour des ouvrages dépassant 12 m. Avant d'utiliser le coffrage glissant, il faut savoir d'une part qu'il faut fonctionner en continu, 24 heures par jour; et d'autre part que souvent le temps de mise en oeuvre et le temps de démontage du coffrage glissant au début et à la fin des travaux peuvent être aussi long que le temps d'exécution de l'ouvrage lui-même. De plus, une fois le mur coulé, il devient plus difficile d'exécuter les ouvrages intérieurs et ceci augmente leur prix de revient. Il faut prévoir également les nombreux ragréages et réparations causés par les déplacements des petits morceaux de polystyrène mis en place pour réaliser des ouvertures.

Le coffrage glissant est particulièrement rentable pour les structures ne recevant pas d'ouvrages périphériques en béton, c'est-à-dire pour des immeubles à structure périphérique métallique, pour des cheminées, des silos... Pour des ouvrages avec planchers en béton, l'emploi du coffrage glissant risque d'être très insatisfaisant tant du point de vue technique que du point de vue financier.

## Chapitre 4

COFFRAGES POUR PLANCHERS4.1 PLANCHERS4.1.1 Généralités

De par sa fonction, le coffrage pour planchers est le plus exigeant de tous les coffrages. En phase coffrage, il doit pouvoir permettre le coulage du béton correctement et sécuritairement. Pour cela, il doit être suffisamment résistant pour reprendre les diverses sollicitations rencontrées durant le coulage, c'est-à-dire les charges permanentes (poids propre du coffrage, du béton et autres), les surcharges (le poids des travailleurs, les charges dynamiques des engins, le vent,) et les charges d'impact. En même temps le coffrage doit être suffisamment rigide pour donner au béton la géométrie voulue et surtout éviter des flèches excessives, qui gâchent l'apparence et le fini de l'ouvrage.

En phase décoffrage, il doit être facilement démontable, c'est-à-dire permettre l'enlèvement aisé de diverses membrures qui ont permis la réalisation du coffrage. La facilité avec laquelle peut se décoffrer le plancher détermine la valeur du coffrage.

4.1.2 Types de planchers (Fig. 4.1)

Il existe plusieurs types de planchers (dalles):

- le plancher reposant sur des poutres,
- le plancher dalle sur mur,
- le plancher dalle sur poteaux avec ou sans chapiteaux,
- le plancher évidé,
- le plancher champignon,
- le plancher supporté par une ossature en acier ou par des poutres préfabriquées.

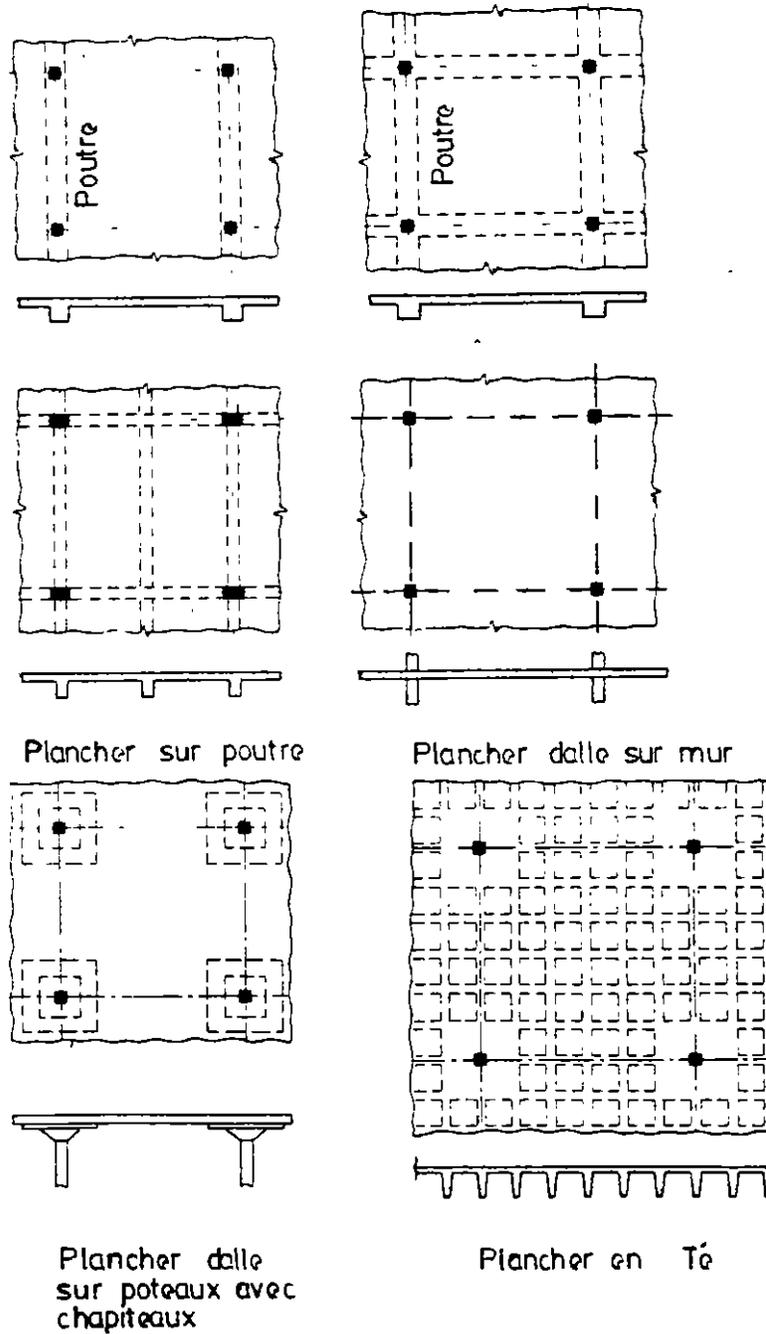


Fig. 4.1 Types de planchers

## 4.2 COFFRAGE TRADITIONNEL POUR PLANCHERS

### 4.2.1 Principe général (Fig. 4.2)

Le coffrage traditionnel pour plancher comporte deux éléments: l'étalement et le platelage. Le coffrage est érigé de bas en haut. L'étalement est d'abord monté, puis le platelage vient prendre appui celui-ci.

### 4.2.2 L'étalement

Les premiers étalements étaient composés de bois ronds simplement écorcés (par exemple troncs de sapins). L'étais typique était coupé à la hauteur à partir d'un tronc d'arbre. Il reposait à sa base sur une longrine en bois et le réglage final était assuré par des coins enfoncés à la masse. Un peu plus tard, le bois raboté de section rectangulaire ou carrée remplaçait les rondins. De nos jours, ce système d'étalement a presque disparu, sauf pour des travaux simples et dans les pays où la main-d'oeuvre et le bois sont encore abondants et bon marché.

Actuellement, ce système a disparu presque partout à travers l'Europe et le continent Américain qui utilisent de préférence des étais tubulaires métalliques réglables par des vérins à vis. Ces étais sont plus légers et leur mise en oeuvre est plus rapide du fait qu'on élimine le sciage et le réglage à la masse. Leur hauteur est réglable et ils permettent le réemploi, ce qui constitue un avantage majeur. Il existe plusieurs types d'étais métalliques proposés par les fabricants. En général, ils ont de 3 à 4.6 m (10' à 15') de hauteur, pouvant même atteindre 6 m (20'). Au delà de 6 m (20'), le poids de l'étais ne permet plus la fabrication d'étais d'une seule pièce, manutentionnables par un travailleur. La résistance au flambement est très difficile à réaliser et on utilise de préférence des tours d'étalement.

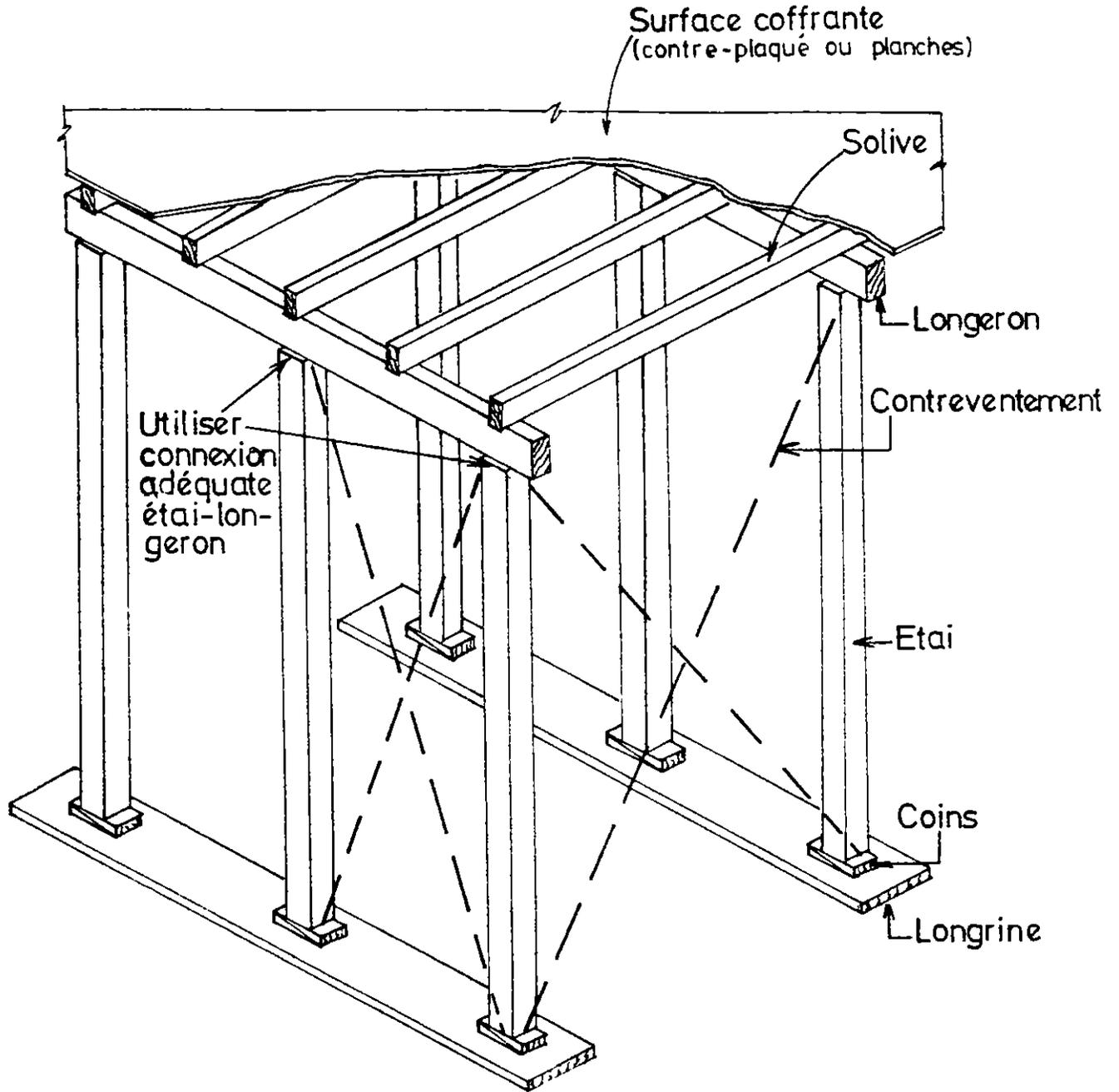


Fig. 4.2 Coffrage traditionnel pour plancher

Il est important de contreventer l'étalement. Si on utilise un étalement en bois, on peut le contreventer par des planches clouées en diagonales. Les étais métalliques comportent des emplacements prévus pour fixer des tiges de contreventement.

#### 4.2.3 Le platelage

Essentiellement, le platelage est constitué d'un ensemble de raidisseurs sur lesquels repose la paroi coffrante. Suivant l'épaisseur de la paroi coffrante, l'ensemble de raidisseurs peut être constitué soit d'un lit de raidisseurs agissant comme des longerons sur chant cloué ou sur un système de profilés en U en tête des étais soit de deux lits, le premier lit agissant comme des solives, supportant directement la paroi coffrante, et le deuxième lit agissant comme des longerons qui supportent l'ensemble solives-paroi coffrante; les longerons à ce moment là, sont soit sur chant cloué soit sur un système de profilés en U reposant sur les étais.

La paroi coffrante est généralement composée de planches ou du contre-plaqué. Si les planches ou contre-plaqué sont assez épais, on n'utilise qu'un lit de longerons. Dans ce cas, les planches ou plaques de contre-plaqué peuvent être clouées directement sur les longerons. Lorsque la paroi coffrante est un contre-plaqué plus mince, on utilisera un lit de solives qui reposent dès lors sur un lit de longerons. Dans ce cas, les plaques de contre-plaqué sont simplement pointées avec quelques clous pour éviter qu'elles ne se déplacent pas sous l'action des charges de bétonnage.

L'espacement des raidisseurs (longerons, solives-longerons) doit être bien calculé pour éviter toute flèche excessive apparente qui gâchera l'apparence de l'ouvrage. L'ajustage des plaques doit être réalisé avec soins pour éviter toute fuite de laitance qui pourrait occasionner des coulées ou des balèvres. On essaiera de toute évidence d'utiliser des plaques de grande dimension pour réduire le nombre de raccords de plaques.

### 4.3 PROCESSUS D'EXÉCUTION (voir Fig. 4.3)

#### 4.3.1 Principe général

##### 4.3.1.1 Coffrage

Les techniques d'exécution du coffrage traditionnel sont multiples et variées. Chaque entreprise opère différemment suivant l'équipement et le personnel qu'elle a et surtout, suivant son expérience de chantier.

Le choix de l'emplacement de l'érection de la première filière (longerons sur chants cloués ou longerons logés sur des profilés en U sur des étais) se fait en fonction de la structure de l'ouvrage.

Avec une structure de murs porteurs, il est avantageux de débiter l'étalement près des murs. Les travailleurs peuvent disposer la première filière en la fixant aux murs à l'aide des serre-joints qui empêchent la filière de se coucher et en même temps servent de contreventement. En l'absence de murs, les travailleurs érigent la première filière à un emplacement judicieux. Dans ce cas, il faut contreventer et stabiliser la filière à l'aide des contre-fiches pour l'empêcher de basculer.

L'étalement est réalisé soit avec des étais en bois ou avec des étais tubulaires métalliques. La paroi coffrante peut être faite de planches ou de feuilles de contre-plaqué.

Brièvement, le processus d'exécution est le suivant:

a) traçage d'un trait de niveau sur un repère choisi (par exemple les murs ou colonnes); érection de l'étalement, qu'il faut contreventer temporairement; réglage de l'horizontalité par des coins enfoncés à la masse ou réglage de la hauteur des étais métalliques (étape a);

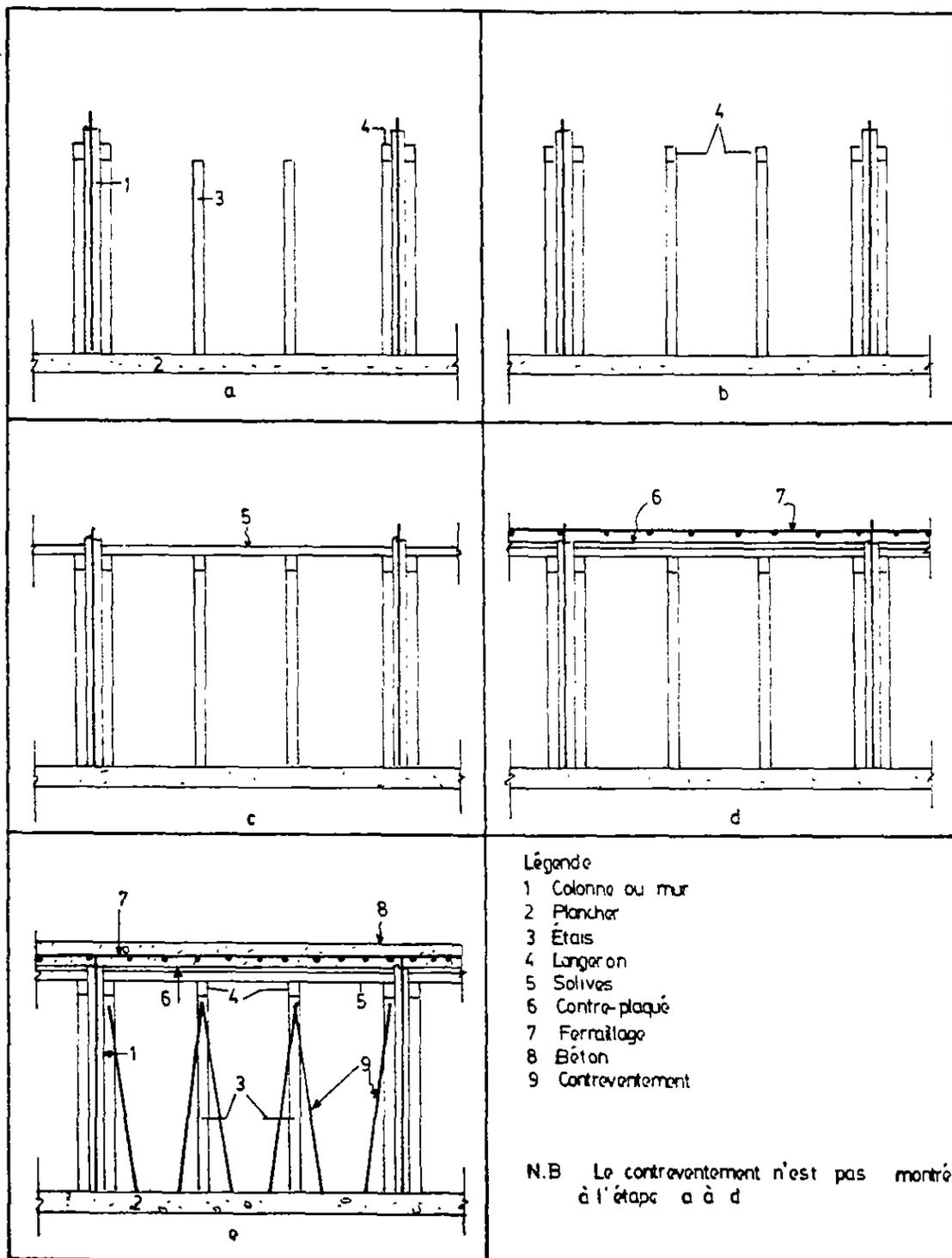


Fig. 4.3 Processus d'exécution de coffrage de plancher

b) mise en place des longerons sur l'étalement; les travailleurs clouent quelques planches transversales aux filières; celles-ci tiendront en place les filières supplémentaires que les travailleurs disposent à l'emplacement indiqué par le plan de l'ingénieur (étape b);

c) mise en place des solives; si l'épaisseur des solives est petite par rapport à la hauteur, il faudra les bloquer (clouage, par exemple) pour éviter qu'ils ne basculent pas lorsque les travailleurs se déplacent sur ces solives (étape c);

d) mise en place de la paroi coffrante sur les solives par simples pointées; réglage soigné de l'horizontalité du coffrage (coins enfoncés à la masse pour des étais en bois et mise à la longueur par le vis de réglage pour des étais tubulaires métalliques); mise en place du contreventement final; mise en place des règles d'arrêt de coulage, réservations et dispositifs de sécurité (étape d);

e) bourrage de joints entre les plaques (feuilles de contre-plaqué ou planches) et les ceuillis avec du plâtre; huilage de la paroi coffrante au besoin; mise en place du ferrailage; vérification finale de la fausse charpente; coulage du béton (étape e).

#### 4.3.1.2 Décoffrage

Après un temps de prise suffisant (indiqué par l'ingénieur) on peut décoffrer l'ouvrage. Suivant les soins apportés pendant l'exécution du coffrage, le décoffrage sera plus ou moins difficile. Les travailleurs commencent d'abord par enlever les étais. Si le coffrage a été bien exécuté, ils peuvent facilement enlever progressivement l'ensemble des raidisseurs (longerons ou longerons-solives) et la paroi coffrante. Ensuite les travailleurs récupèrent une à une les planches ou les plaques de contre-plaqué qui adhèrent au plafond en rompant l'adhérence panneau-béton à l'aide d'un pied-de-biche.

Lorsque le coffrage a été mal exécuté, les travailleurs ne pourront pas décoffrer les diverses membrures progressivement. Ils doivent procéder par la méthode de la chute libre, c'est-à-dire enlever la totalité des étais et laisser le platelage entier chuter au sol. Cette façon de procéder est dangereuse et, hélas, arrive trop fréquemment dans bon nombre de chantiers. Non seulement elle met en danger la sécurité des travailleurs, mais elle détériore aussi le matériel.

Aussitôt le décoffrage terminé, les travailleurs grattent les coulures, balèvres, bosses, avant que le béton ait terminé sa cure.

#### 4.4 LA SÉCURITÉ DANS LE COFFRAGE TRADITIONNEL DE PLANCHER

Le montage du coffrage traditionnel de plancher se subdivise en trois étapes principales: l'érection de la structure portante, la pose du plancher (paroi coffrante) et l'ajustement de l'horizontalité du coffrage. Ces trois étapes requièrent des modes d'exécution différents entraînant certains problèmes de sécurité.

##### 4.4.1 La sécurité lors de l'érection de la structure portante

La structure portante est constituée d'étais en bois ou métalliques sur lesquels reposent des longerons. Les étais métalliques sont le plus fréquemment utilisés à cause de leur plus grande longévité et de la facilité d'ajustement qu'offrent les vérins. Il existe deux types d'étais métalliques, les tubes et les échafaudages portants.

a) La structure de tubes métalliques peut se monter suivant deux méthodes différentes.

Pour la première, le charpentier-menuisier responsable du montage de la structure travaille en équilibre sur les longerons une fois les premiers mis en place. Deux manoeuvres transportent et aident à placer les étais métalliques et les longerons. Le charpentier cloue le

longeron à la plaque d'appui du tube métallique et à l'autre longeron qu'il joint. Pour ce faire, le charpentier-menuisier doit se déplacer et faire le montage en équilibre sur les longerons de 89 mm à 140 mm (4 à 6") de large, à une hauteur de 2.5 m (8') environ. La stabilité de la structure est assurée à la fois par la fixation des pièces entre elles et la pose de contreventements. Cette méthode comporte des risques de chute soit par effondrement de la structure soit par la perte d'équilibre du charpentier-menuisier. De plus, celui-ci doit adopter des postures inconfortables, telle la position à genoux. En équilibre sur la structure, le charpentier-menuisier n'a pas toujours les mains libres pour se tenir lorsqu'il se déplace. En effet, il utilise un gabarit en bois, lui permettant de maintenir des distances identiques entre les longerons. Ce gabarit sert également à stabiliser la structure durant la mise en place d'un nouveau longeron. Les problèmes d'équilibre dus à la surface d'appui étroite sont donc aggravés par des possibilités de douleurs musculo-squelettique dues à la prise de postures inconfortables et au fait que le charpentier-menuisier n'a pas toujours les mains libres pour se déplacer. Cette méthode demande une grande expérience de travail et une bonne coordination entre le charpentier-menuisier et les manoeuvres pour effectuer le travail de montage qui se trouve à la limite de l'équilibre de la structure elle-même.

La deuxième méthode permet au charpentier-menuisier d'effectuer le même travail à partir d'un escabeau. Elle réduit les difficultés d'équilibre et les contraintes posturales. Elle nécessite par contre le déplacement fréquent de l'escabeau ainsi que de monter et descendre souvent de ce dernier. Il est nécessaire par conséquent de disposer d'un escabeau facile à déplacer, pas très lourd, dont le système de blocage de l'échelle avec le support arrière est facile à utiliser et efficace. Le sol ne doit pas être encombré ou très irrégulier. Avec cette méthode, le charpentier-menuisier est plus mobile et participe davantage au travail s'effectuant au niveau du sol avec les deux manoeuvres.

b) Les échafaudages portants sont principalement utilisés lorsque la distance entre deux planchers dépasse 3 m (10'). La tâche consiste d'abord à monter les échafaudages. Généralement les manoeuvres transportent le matériel nécessaire et le charpentier-menuisier assure le montage. La première section posée, le charpentier-menuisier monte un plancher pour assembler la deuxième section et ainsi de suite suivant le nombre de sections. Les échelles sont peu utilisées pour accéder au plancher de l'échafaudage. Le charpentier-menuisier monte, soit par la section, soit par les croisillons, ce qui est plus risqué; les croisillons peuvent être mal installés et céder sous le poids du travailleur. Une attention particulière doit être portée à la conception du plancher de l'échafaudage qui doit être conçu selon les normes en vigueur. À cette fin, il est important de prévoir le matériel nécessaire à sa construction et de donner des consignes claires à ce sujet. Il est préférable de ne pas attendre le dernier moment où le charpentier-menuisier en a besoin rapidement, mais plutôt de le construire lors de l'étape de préparation du matériel nécessaire à l'érection du coffrage.

Le manoeuvre fait passer le matériel au charpentier-menuisier, soit à la main, soit à l'aide d'une corde lorsque l'échafaudage est plus haut. Le charpentier-menuisier est amené à se pencher en dehors du plancher ce qui augmente le risque de chute et de lombalgie dû fait de l'adoption de postures penchées. De plus, les pièces peuvent s'accrocher à la structure déjà montée. L'utilisation de poulies ou de cabestans pourrait faciliter cette tâche. Le manoeuvre transporte les pièces de l'échafaudage. Une section peut peser une quarantaine de kilogrammes ce qui constitue un poids non négligeable. Le matériel placé par la grue proche de la zone de montage évitera les transports inutiles et les risques dus aux déplacements trop longs. Le risque de lombalgie pouvant notamment être augmenté par la fréquence de manutention, il faut veiller à répartir cette tâche entre plusieurs manoeuvres plutôt que de la faire réaliser par un seul.

Après le montage de l'échafaudage à la bonne hauteur, le charpentier-

menuisier place les vérins et les longerons. Le plancher de l'échafaudage est parfois trop bas pour effectuer cette tâche. Dans ce cas, le charpentier-menuisier travaille souvent en appui sur les croisillons ou les tubes de la section de l'échafaudage, ce qui entraîne un travail en équilibre avec de fortes contraintes posturales. La durée de travail dans cette situation dépend de la facilité de réglage du vérin et de l'adaptation du longeron à la fourchette le maintenant. L'utilisation de profilés en U trop larges nécessite l'utilisation de cales pour maintenir le longeron.

#### 4.4.2 La sécurité lors du montage du plancher

Le montage du plancher s'effectue d'abord par la mise en place des solives et ensuite par la pose des feuilles de contre-plaqué. Les solives, entièrement en bois ou en aluminium avec une languette de bois, sont espacées à une distance définie sur les plans de coffrage.

La pose des solives doit se faire avec précaution afin d'éviter que celles-ci ne tombent entre les longerons. Pour ce faire, le charpentier-menuisier doit se pencher en avant au bord du vide. Cette opération est d'autant plus dangereuse que le charpentier-menuisier prend appui directement sur une solive. En effet, les feuilles de contre-plaqué ne sont pas toujours posées sur les solives au fur et à mesure.

Les solives n'étant généralement pas clouées sur les longerons, elles peuvent se déplacer sous le poids du travailleur et entraîner sa chute. Ce risque peut être également présent pendant la pose des feuilles de contre-plaqué. Celles-ci sont transportées sur le dos (Fig. 4.4) de façon à ne pas obstruer le champ visuel et afin de minimiser la fatigue musculaire. Les exigences de manutention seront augmentées par l'encombrement au sol, les dénivellations du plancher et principalement le vent. Il s'avère par conséquent important de réduire les distances de manutention, d'avoir un sol dégagé et non glissant ainsi que de faire transporter les feuilles de contre-plaqué par deux travailleurs

lorsqu'il y a du vent. Les feuilles de contre-plaqué sont quelquefois sciées. Les mêmes difficultés que celles mentionnées lors du coffrage traditionnel de mur se retrouvent dans ce cas. Le sciage au centre dans le sens de la longueur des feuilles de contre-plaqué avec une scie ronde portative est particulièrement difficile.

Certaines ouvertures laissées dans le coffrage du plancher correspondent à l'emplacement de colonnes et d'escaliers. Elles peuvent entraîner des chutes du fait de l'absence de protection ou de l'utilisation de matériel insuffisamment résistant pour les recouvrir. Même si l'ouverture apparaît comme parfaitement visible, de nombreuses circonstances peuvent provoquer la chute du travailleur dans celle-ci. Il est par conséquent important de prévoir dès le début des travaux des gardes ou des matériaux recouvrant l'ouverture pour assurer une protection suffisante.

#### 4.4.3 La sécurité lors de la pose de l'acier d'armature

Une fois le plancher construit et huilé, les ferrailleurs posent l'acier d'armature. Cette tâche comporte de fortes contraintes posturales ainsi que la nécessité de manutentionner les barres d'acier dont le poids peut dépasser 30 kg (65 livres). L'étude de Saari et Wickström<sup>5</sup>, en Finlande, montre que durant 58 % du temps de travail, le ferrailleur adopte des postures penchées à plus de 90 °. Cette posture permet de brocher les barres d'acier avec des pinces. À la suite de cette étude, un outil a été développé et permet d'effectuer cette opération sans se pencher (Fig. 4.5).

Les risques relatifs à la manutention des barres d'acier sont minimisés par l'utilisation appropriée de la grue amenant les barres d'acier à proximité du lieu de pose. Par la suite, la manutention des barres les plus lourdes et longues, par deux ferrailleurs, évite les efforts excessifs et les risques de frapper d'autres travailleurs présents dans la zone.

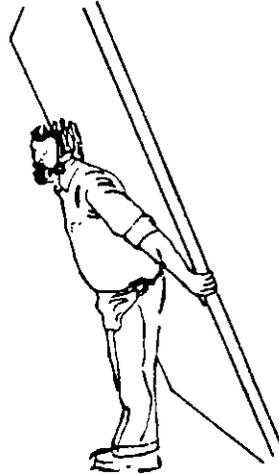


Fig. 4.4 Transport de feuilles de contre-plaqué



Fig. 4.5 Outil pour brocher les armatures

#### 4.4.4 La sécurité lors de la coulée du béton

Avant la coulée du béton, la qualité et la résistance du coffrage sont vérifiées par l'ingénieur qui autorise la coulée. Pour éviter tout risque possible d'effondrement lors de la coulée de béton, une personne qualifiée doit surveiller le comportement du coffrage afin de détecter tout signal de faiblesse de la structure. De la même façon que pour la coulée du mur, la coulée de la dalle s'effectue à l'aide d'une pompe ou d'une benne. Le risque d'être frappé par ces équipements reste donc présent. De plus, le manoeuvre-cimentier doit marcher sur l'acier d'armature ce qui constitue toujours un risque élevé de chutes et de blessures aux membres inférieurs.

Le béton est étalé à l'aide de râteliers et de pelles, il est vibré puis mis à niveau par un manoeuvre spécialisé. Cette opération se fait le plus souvent avec une pièce de 38 mm x 89 mm (2" x 4") et de 1.5 à 2 m (5' à 6'6") de long qui sert à étendre le béton uniformément. Pour ce faire, il travaille penché à plus de 90 °. Lorsque la surface du béton n'est pas trop irrégulière, il peut utiliser une pièce de 38 mm x 89 mm (2" x 4") plus courte comportant un manche. Il existe également des machines plus ou moins sophistiquées permettant de niveler le béton. L'utilisation de ces machines n'est malheureusement pas encore possible dans toutes les situations.

Du fait des possibilités de contacts avec le béton, il existe des risques de dermatose, particulièrement aux mains. Il est donc nécessaire de prévoir des gants à la fois solides et suffisamment confortables pour effectuer cette tâche.

#### 4.4.5 La sécurité lors du décoffrage

Le coffrage traditionnel de mur et de plancher comporte les mêmes dangers dus à la chute du matériel, l'encombrement du sol, les clous en saillies, la coordination des activités de plusieurs manoeuvres, l'absence d'outils adaptés pour arracher le matériel.

Lorsque la structure est constituée de tubes métalliques, ces derniers sont enlevés avec le longeron (les solives ne tombent généralement pas car elles s'appuient sur d'autres longerons et tubes métalliques), certains tubes sont remplacés de façon inclinée juste assez pour maintenir le plancher. Le manoeuvre procède ainsi sur une surface plus ou moins grande. Ensuite, il jette une poutre sur des tubes qui, en tombant, fait s'écrouler le plancher. Tout le plancher peut être ainsi décoffré en une seule fois tel un château de cartes qui s'écroule. Toutefois, il arrive que des surfaces devant s'effondrer tiennent encore, il faut alors les arracher. Cette façon de décoffrer n'est pas exceptionnelle, ou si elle l'est ce n'est uniquement que par la grandeur de la surface à décoffrer en une seule fois.

On retrouve ici les problèmes relatifs aux tâches dont l'intérêt réside moins dans la qualité du résultat que la rapidité d'exécution. Dans le cas de structures de coffrage constituées d'échafaudages portants, les vérins sont dévissés de façon à abaisser les longerons, les solives et les longerons sont enlevés, et les panneaux de contre-plaqué arrachés. Ces opérations se font à partir du plancher de l'échafaudage qui n'est pas toujours conforme aux normes de sécurité, ou en prenant appui sur la structure même de l'échafaudage, la section et les croisillons. Un problème de sécurité relatif aux accès peut se poser au cours du décoffrage d'échafaudages portants.

#### 4.5 LES COFFRAGES DE PLANCHERS EN ÉLÉMENTS ASSEMBLABLES ET DÉMONTABLES

##### 4.5.1 Le coffrage de plancher avec des poutrelles extensibles et platelage en bois

Ce type de coffrage est constitué de poutrelles métalliques en treillis (Fig. 4.6). La paroi coffrante, en planches ou contre-plaqué, repose directement sur les poutrelles qui prennent appui sur une filière (longerons sur chant cloué sur des étais ou longerons logés dans des profilés en U en tête des étais) de chaque côté.

Les poutrelles sont conçues avec une contre-flèche en deux ou trois éléments extensibles pour être facilement manutentionnables manuellement, s'adapter à toutes les côtés et compenser la flèche due aux charges de bétonnage.

Par rapport au coffrage traditionnel, on économise énormément de bois et d'étais. En présence d'un sol irrégulier et pour des grandes portées, les poutrelles permettent de réaliser des économies importantes de main-d'oeuvre.

Cependant, il est très difficile d'obtenir une surface plane et régulière de la face inférieure de l'ouvrage avec les poutrelles. La compensation de la contre-flèche des poutrelles à la flèche due aux charges de bétonnage est très difficile à maîtriser. Ce problème s'amplifie avec les déformations entraînées par les chocs dus à la chute des poutrelles lors du décoffrage.

#### 4.5.3 Plateaux de petite dimension (Fig. 4.7)

Le plateau est constitué d'un cadre raidisseur avec une paroi coffrante, généralement en contre-plaqué, clouée ou vissée sur le cadre. Le plateau peut être métallique, en bois ou mixte. La dimension courante est de 1 m x 2 m (3'3" x 6'6") pour que le plateau soit suffisamment léger pour être manutentionnable par deux travailleurs. Le raccord entre plateaux se fait par un système de verrous ou de charnières qui permet de les solidariser.

Les plateaux reposent sur des filières (rangées d'étais supportant un longeron sur chant), ou sur des étais placés à chaque angle, approximativement un étai par plateau.

Ce système convient bien surtout si la hauteur sous plafond ne dépasse pas 2.75 m (9') car il permet au décoffrage une récupération aisée par deux hommes installés sur une petite plate-forme mobile.

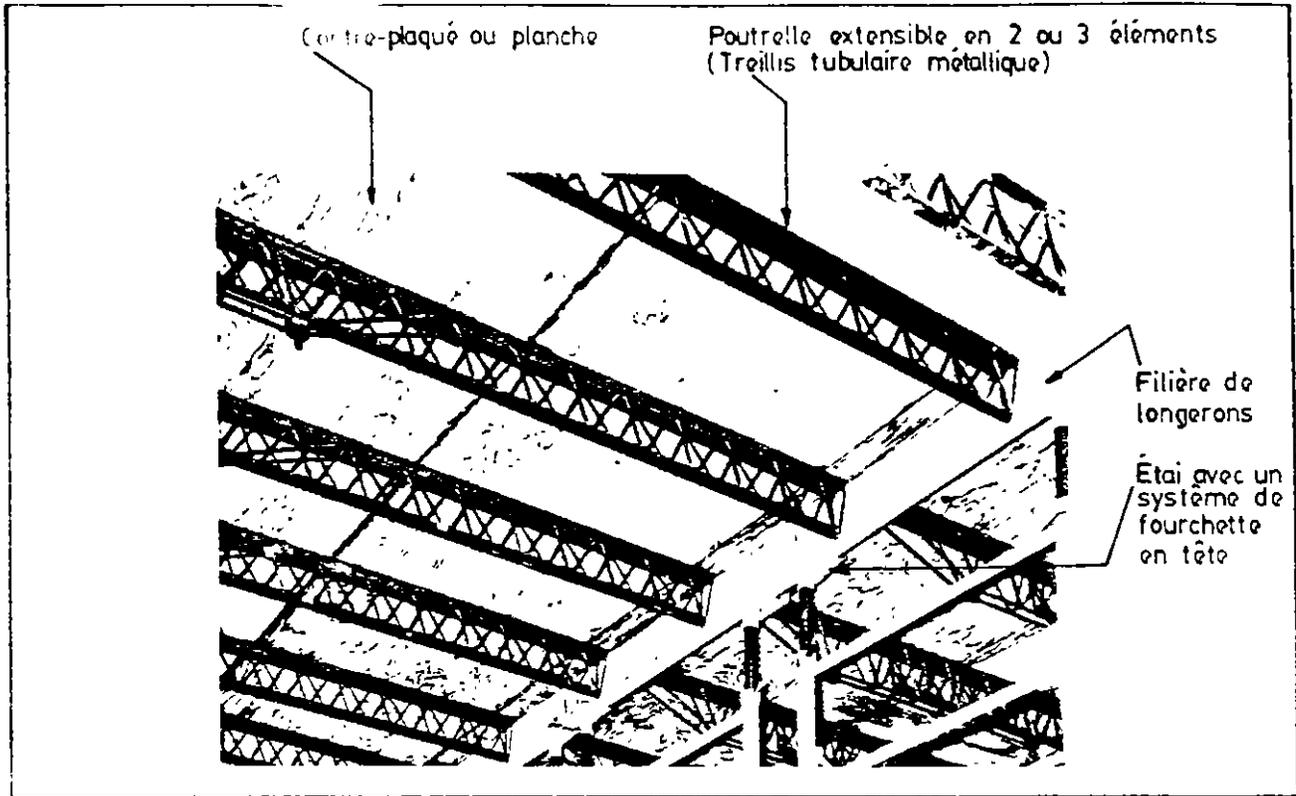


Fig. 4.6 Poutrelles extensibles et platelage en contre-plaqué ou bois

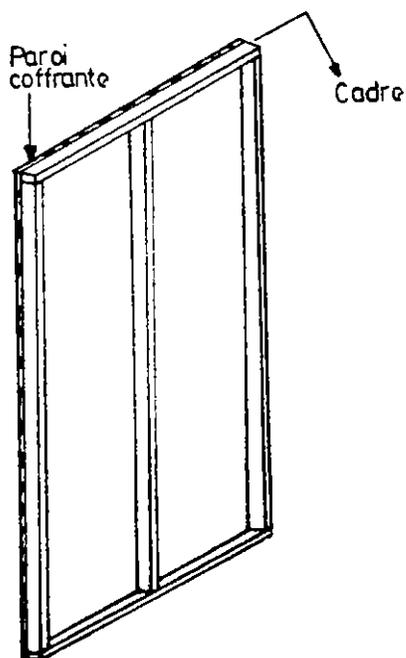


Fig. 4.7 Plateaux de petite dimension

#### 4.5.4 Processus d'exécution

La réalisation du coffrage pour plancher avec des poutrelles métalliques ou avec des petits plateaux s'apparente au coffrage traditionnel.

Les travailleurs exécutent d'abord l'étaçonnement suivant les mêmes techniques qu'en coffrage traditionnel. L'espacement des filières est en fonction de la portée de poutres ou petits plateaux. Une fois l'étaçonnement réalisé, les travailleurs mettent en place sur l'étaçonnement, soit des poutrelles en treillis métallique avec la paroi coffrante en planches ou plaques de contre-plaqué (Fig. 4.6), soit des petits plateaux (Fig. 4.7).

Après le réglage de l'horizontalité et la mise en place du ferrailage, on coule le béton. Le décoffrage s'effectue d'abord en enlevant l'étaçonnement et les poutres. Ensuite, la paroi coffrante est décollée par élément qu'on range au fur et à mesure.

### 4.6 LES COFFRAGES DE PLANCHERS PAR PLATEAUX DE GRANDE DIMENTION

#### 4.6.1 Principe (Fig. 4.8)

Si une grue est disponible au chantier, il sera avantageux d'utiliser des plateaux coffrants de grande dimension qui couvrent la totalité de la surface à coffrer. Ainsi, on réduit le temps de mise en oeuvre.

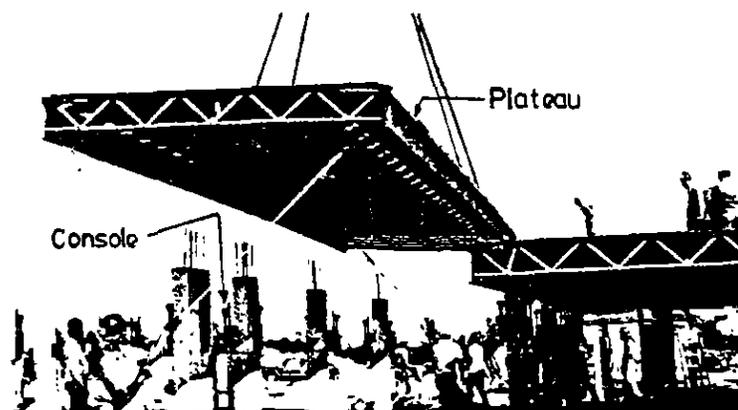


Fig. 4.8 Plateaux de grande dimension

Le système de plateaux coffrants convient bien pour les travées relativement étroites, de l'ordre de 3.5 m (12'). Au-delà, pour éviter une flèche excessive, il faut prévoir une file d'étais, ou renforcer la structure. Dans ce cas, ce procédé de coffrage devient trop onéreux et perd son attrait. Le plateau coffrant repose sur des consoles boulonnées sur les murs ou colonnes. Ces consoles possèdent des appuis réglables qui permettent la mise à hauteur et l'horizontalité du plateau. Ces appuis supportent des rouleaux qui permettent de glisser le plateau pour faciliter son évacuation. À noter que pour pouvoir évacuer les plateaux coffrants, les façades ne peuvent être construites qu'après l'exécution des planchers. Le principal attrait des plateaux coffrants est l'économie d'étalement réalisée, avec un coût d'immobilisation qui n'atteint que 40% de celui des tables coffrantes.

#### 4.6.2 Constitution

Les plateaux coffrants sont constitués d'un cadre raidi, lequel est constitué de profilés en tôle pliée et d'une paroi coffrante en contre-plaqué, fixée sur le cadre. Pour des travées peu importantes, quelquefois le plateau coffrant est entièrement en bois. Par contre, pour des travées supérieures à 3 m (10'), le cadre est parfois renforcé par des poutres en treillis tubulaires.

#### 4.6.3 Processus d'exécution

La mise en place et le décoffrage sont similaires à ceux de la table de coffrage (voir paragraphe 4.9). On peut utiliser les plateaux pour des planchers encombrés ou de formes irrégulières. Pour des planchers plats, la manutention est aisée. Seuls le montage et le démontage des consoles pour supporter les plateaux sont longs et difficiles.

#### 4.6.4 La sécurité dans le coffrage de planchers par plateaux

Le procédé d'exécution et les problèmes de sécurité dans le coffrage par petits plateaux sont sensiblement identiques à ceux du coffrage

traditionnel. La structure portante est similaire, seule varie l'exécution du plancher, le petit plateau étant posé directement sur les longerons et le grand plateau étant posé sur des consoles boulonnées aux murs ou colonnes. Les petits plateaux sont posés manuellement, les plateaux de grandes dimensions sont placés avec la grue. Les risques, dans ce dernier cas, sont relatifs aux problèmes de manutention et de positionnement de grandes pièces. Le décoffrage de ces plateaux s'effectue suivant le même principe que le décoffrage des tables coffrantes.

#### 4.6.5 Créneaux d'emploi

Les petits plateaux de coffrage conviennent mieux que le coffrage traditionnel pour les petits chantiers présentant une architecture assez complexe. Ils sont surtout utilisés avantageusement dans des chantiers où l'encombrement ne permet pas d'utiliser une grue; pour des chantiers importants et complexes de génie civil, le coffrage traditionnel reste préférable.

Les plateaux de grandes dimensions sont recommandés pour des chantiers assez importants où on a de longs planchers plats ou nervurés dont les travées ne dépassent pas 3 m (10'). L'avantage majeur, c'est qu'aucune grue est nécessaire car la manutention peut se faire à l'aide d'un chariot mobile muni d'un vérin hydraulique ou d'une crémaillère qui permet de décinterrer les plateaux, de les déplacer et de les remettre en place.

### 4.7 LES TABLES POUR LE COFFRAGE DES PLANCHERS (Fig. 4.9)

#### 4.7.1 Description

La table de coffrage est un coffrage-outil conçu pour mouler le béton des planchers coulés en place. C'est un ensemble monolithique constitué d'un plateau coffrant et d'un étaielement qui le rend indépendant de tout support extérieur. Divers équipements incorporés à la table facilitent son emploi.

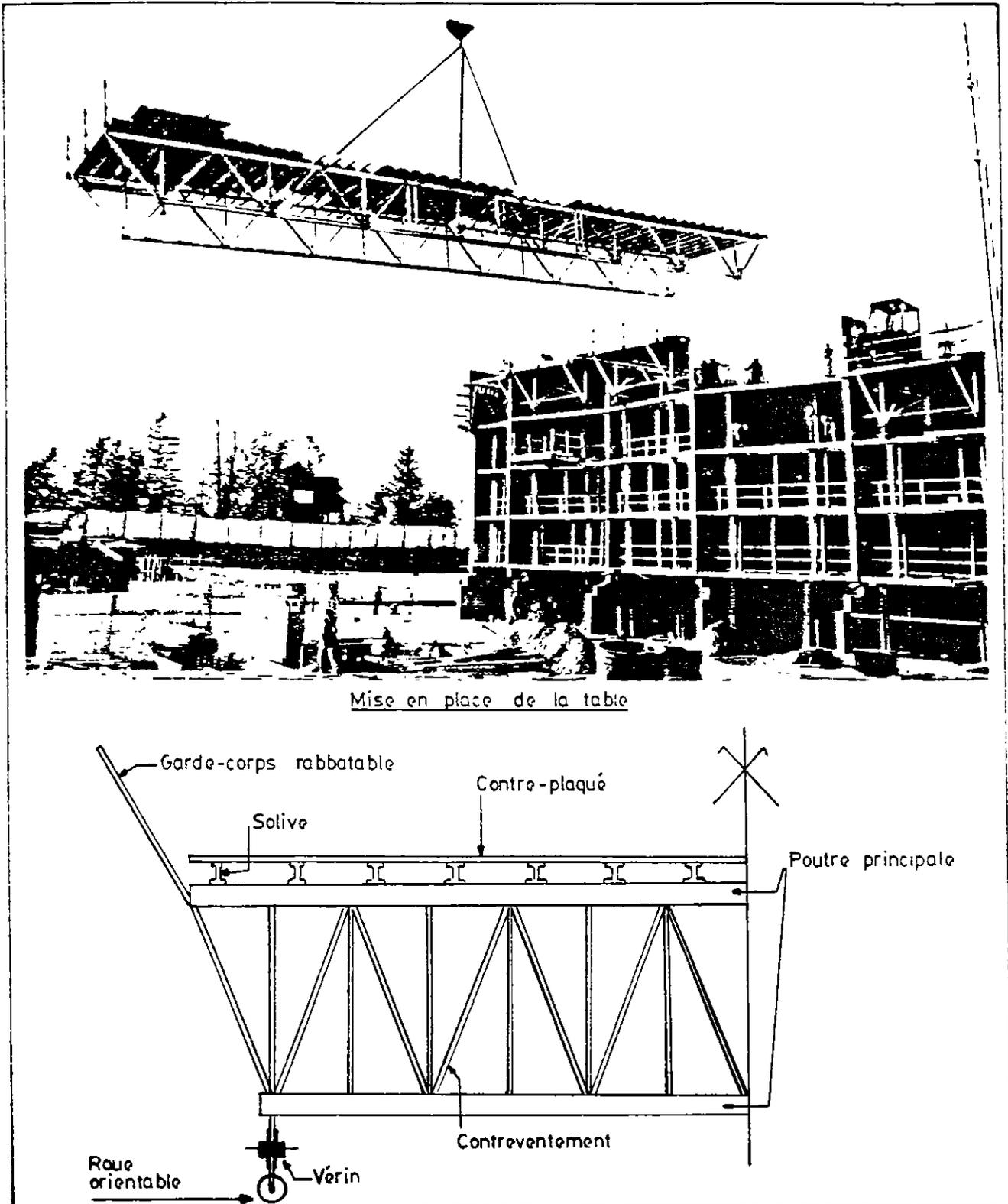


Fig. 4.9 Tables pour le coffrage des planchers

#### 4.7.2 Structure

Comme structure de base, les tables sont constituées d'un plateau coffrant et d'un étaielement contreventé.

##### Plateau

De dimensions très variables, le plateau coffrant comprend:

- une paroi coffrante, soit en contre-plaqué soit en tôle;
- un lit de raidisseurs, en tôle pliée et parfois en bois;
- un ensemble de poutres horizontales qui assurent la liaison entre les raidisseurs, et le transfert des charges sur les pieds.

Pour utiliser des tables de grandes dimensions, il faut renforcer la structure. La multiplication d'éléments de renforcement et l'augmentation du poids de la table freinent considérablement la rapidité de manoeuvre.

##### Étaielement

L'étaielement est constitué soit de pattes au nombre de 4 à 8, soit de deux poutres maîtresses de chaque côté de la table, destinées à prendre appui sur le plancher inférieur, contreventées pour assurer la stabilité et la solidité de l'ensemble lors des manutentions. Dans les tables avec poutres maîtresses, la hauteur de la poutre correspond pratiquement à la hauteur du plancher, éliminant ainsi les pieds. Les pattes ou poutres sont équipées pour permettre de déplacer la table sur la surface de pose (sol, plancher) et de régler l'horizontalité de la table. Le dispositif de réglage possède une course importante avec la possibilité d'un réglage fin.

Les équipements seront de préférence rabattables pour diminuer l'encombrement, et pour pouvoir dégager la table quand il y a une allège ou une retombée en façade.

#### 4.7.3 Particularités de la table de coffrage

##### Lors du coffrage:

- dimensions adaptables;
- rives réglables;
- hauteur réglable;
- indéformable;
- stable.

##### Lors du décoffrage:

- largeur réductible;
- hauteur réductible;
- translation horizontale.

##### Plate-forme de travail:

- stabilité;
- accès surs et sécuritaires;
- protection aux travailleurs.

#### 4.8 ÉQUIPEMENT

L'équipement d'une table de coffrage est multiple et complexe. Citons les plus importants.

##### Les vérins de réglage

Lors de la mise en place, les vérins permettent le réglage de la hauteur et de l'horizontalité de la table. Au décoffrage, ils permettent le décintrement de la table. Habituellement, elle est pourvue d'un vérin à vis, avec une course limitée. Pour décintrer sur une hauteur plus importante, on peut remplacer le vérin à vis par un vérin hydraulique.

### Les roues

Elles permettent le déplacement de la table. Elles seront de préférence orientables, mais il est souhaitable qu'on puisse les bloquer dans une direction donnée. Les roues doivent être:

- solides, car elles encaissent parfois des efforts importants et imprévus;
- d'assez grand diamètre pour faciliter le passage d'obstacle;
- légères.

Le niveau des roues doit être réglable pour faciliter le nivellement de la table de coffrage.

### Les garde-corps et les dispositifs de sécurité

Pour éviter les chutes, les extrémités de la table sont munies de garde-corps. Si la table est munie de garde-corps aux deux extrémités, il faudra que l'un des deux soit escamotable, par exemple par pivotement et clavetage de sécurité. Les piétements des tables peuvent être munis de garde-corps d'extrémité pour assurer la sécurité à l'étage inférieur, mais celle-ci disparaîtra forcément lors de l'évacuation de la table. Le maintien de cette sécurité nécessitera alors soit des garde-corps continus basculables, fixés en extrémité de plancher soit une passerelle de service avec garde-corps basculable en extrémité soit un filet à l'étage inférieur.

### Les règles de coffrage pour niveller la surface de béton.

Les arrêts de coulage pour accommoder les dimensions de la surface du plancher.

#### 4.9 PROCESSUS D'EXÉCUTION (Fig. 4.9)

C'est le grutier qui dépose la table à son emplacement. Durant cette

manoeuvre, des travailleurs aident le grutier en orientant la table convenablement. Ces travailleurs dosent leur effort selon l'inertie de la table. S'il y a du vent, il faudra redoubler de prudence, car la table risque de tourner, ce qui est extrêmement dangereux. Dans ce cas, les travailleurs se trouvant sur le plancher inférieur, guident la table pendant l'ensemble de la manoeuvre à l'aide de cordes fixées à la structure. La mise en place de la table est une manoeuvre de précision, le jeu entre la table et les murs étant très faible.

Dès que la table est en place et décrochée, les travailleurs la fixent aux murs, aux colonnes ou au plancher inférieur pour éviter le basculement. Les travailleurs règlent la hauteur et l'horizontalité avec les vérins de réglage et les traits de niveau tracés précédemment sur le repère choisi.

La table est grattée et si nécessaire huilée. S'il y a plusieurs tables côte à côte dans la même travée, elles sont reliées pour éviter tout mouvement relatif du coffrage. Les travailleurs mettent en place les règles de décoffrage et bourrent de plâtre tous les joints et raccords pour rendre étanche la table de coffrage. Les arrêts de coulée, les pièces de plastique incorporés dans la dalle et les armatures sont ensuite mis en place. Après vérification par une personne compétente on coule le béton d'après les règles de l'art. Après la coulée, on vérifie s'il n'y a eu aucun affaissement et aucune déformation excessive. Aussitôt la coulée terminée, les travailleurs lavent au jet le dessous de la table. L'ingénieur juge si la prise du béton est suffisante pour autoriser le décintrage.

En premier lieu la table est décollée, puis abaissée suffisamment pour permettre sa manutention. Parfois, si on n'a pas bien suivi les règles de bétonnage (huilage insuffisant, nettoyage mal fait), la table est difficile à décoller. La table est manutentionnée suivant le procédé choisi et elle est ensuite transportée à l'aide de la grue à l'emplacement suivant.

Si on a deux tables côte à côte dans la même travée, il est recommandé de placer une file d'étais à proximité de la deuxième table après avoir enlevé la première table. Cette disposition assure la continuité de soutien du plancher et apporte une meilleure sécurité et évite les risques de flèche prématurée et de fissuration.

Si on n'a qu'une seule travée, on placera une file d'étais sous la dalle dès l'évacuation de la table pour éviter tout risque de fluage. L'ingénieur précisera la durée pendant laquelle la file d'étais restera en place. Dès l'évacuation de la table, on dépose les réservations et on gratte les balèvres ou coulées en sous-face. Le durcissement du béton rendra cette tâche plus ardue.

#### 4.10 LA SÉCURITÉ DANS LE COFFRAGE DE PLANCHER PAR TABLES COFFRANTES

##### 4.10.1 Le positionnement des tables

L'avantage de l'utilisation des tables volantes réside dans le fait que des parties importantes du coffrage du plancher sont déjà construites, ce qui diminue le nombre d'opérations à effectuer. Il suffit par conséquent de les assembler pour obtenir la presque totalité du coffrage de plancher. La table coffrante est placée à l'aide de la grue, le positionnement final étant effectué par les charpentiers-menuisiers. Ces derniers déplacent manuellement la table coffrante qui repose alors sur des roulettes. L'effort à fournir est fonction du type et de la qualité des roulettes ainsi que du nombre de travailleurs. Les roulettes peuvent être incorporées à la table ou appartenir à un chariot placé sous la table coffrante. Certaines difficultés telles le coincement d'une roulette ou le chariot qui a tendance à quitter sa place, contribuent à augmenter les risques d'accident. L'utilisation des tables n'exclut pas totalement le coffrage traditionnel du fait des contraintes architecturales et de la nécessité de raccorder les tables entre elles. La pose de l'acier et la coulée de béton restent inchangées.

#### 4.10.2 La sécurité lors du décoffrage

Le décoffrage de la table coffrante nécessite d'abord de décoller le plancher en abaissant la table grâce au système de vérins. Le matériel faisant la jonction entre les tables est décoffré de façon plus traditionnelle. Certaines parties de coffrage peuvent donc s'effondrer de façon imprévue particulièrement lorsque la table est sortie avant d'avoir complètement enlevé le coffrage traditionnel à proximité. C'est la phase la plus difficile et certainement la plus délicate dans l'utilisation des tables coffrantes. La difficulté majeure, consiste à aller chercher les tables sous le plancher déjà coulé dans un espace encombré en élévation. Ainsi, dès la conception des tables coffrantes, le concepteur doit étudier les dispositifs de sécurité pour assurer la sécurité des travailleurs à tous les stades du processus.

Les techniques de manutention de tables coffrantes sont variées. Chaque entreprise opère suivant l'expérience de son personnel au chantier et en fonction de moyens de levage dont elle dispose. Nous allons décrire une méthode observée sur plusieurs chantiers:

Chaque fois qu'elle est abaissée, la table coffrante est poussée sur ses roulettes vers l'extérieur. L'élingage de la table en 4 points (2 à 2) s'effectue en deux fois. La première fois, les deux points situés vers l'extérieur sont accrochés; la seconde fois, après que la table soit sortie au trois quarts, les deux autres points sont accrochés. L'élingueur travaille au bord si ce n'est dans le vide à la hauteur de l'étage décoffré. Il doit monter sur la structure de la table qui dépasse la dalle de béton.

Dans cette situation, il enlève les plaques de bois du plancher, attrape les crochets de la grue, les passe dans le trou du plancher pour venir les accrocher à la structure de la table. Pour effectuer cette opération, l'élingueur est généralement attaché à l'aide d'une ceinture de sécurité. Toutefois ceci n'est pas toujours possible parce que ses mouvements sont restreints par celle-ci. En effet, il est

souvent difficile d'attraper les crochets de la grue qui pendent parallèlement à la façade. L'élingueur utilise une tige de fer courbée à son extrémité, mais celle-ci n'est quelquefois pas assez longue et il doit dans ce cas se pencher et s'étirer, se déplacer sur la structure dans le vide. Lorsque la table coffrante est sortie aux trois quarts, il est nécessaire de la retenir. Pour cela, les manoeuvres l'ancrent à l'aide de cordes aux colonnes. De plus, des cales doivent être placées entre le plancher de la table et le plafond à cause du porte à faux.

La sortie de la table coffrante selon cette méthode comporte des risques importants de chute dans le vide. La technique et la méthode d'élingage devraient éviter à l'élingueur de devoir travailler au-dessus du vide.

Il existe, d'ailleurs, certains moyens pour faciliter la manutention de la table:

a) Le palonnier équilibré convient bien pour manutentionner les petites tables. Cette méthode ne requiert aucun dispositif spécial sur les tables, sauf un dispositif de centrage. Cependant il ajoute un poids mort important à manutentionner.

b) La passerelle de service permet la manutention des tables importantes ou lorsqu'on a une grue de puissance limitée. Elle permet de sortir partiellement la table pour permettre son accrochage avec des élingues ou avec un triangle boulonné sur des points resserrés au centre de gravité de la table pour améliorer la stabilité. Cette technique supprime le poids mort, mais néanmoins on doit manutentionner la passerelle de service par la suite (Fig 4.10).

c) L'utilisation des élingues dissymétriques (Fig. 4.11) permet de manutentionner les tables relativement longues; cependant, il faut prendre beaucoup de précautions pour assurer la sécurité des

travailleurs.

d) Le treuil électrique (Fig. 4.12) permet de manutentionner les très grandes tables, mais la manoeuvre est longue et d'une fiabilité douteuse quant à sa stabilité.

#### 4.11 DOMAINE D'UTILISATION

Dès sa conception, les tables coffrantes ont connu une utilisation intensive dans les chantiers pour coffrer des planchers largement répétitifs. Elles sont encore très utilisées à travers le continent Nord-Américain, surtout au Québec.

Cependant en Europe, la prédalle (Fig. 4.13) et le coffrage de plancher par petits plateaux commencent à les remplacer progressivement. En effet, de nos jours, le nombre de chantiers de grande taille diminue en fréquence, ce qui rend l'amortissement d'un tel matériel difficile. On s'achemine plutôt vers la construction architecturale, personnalisée, comportant des opérations de plus en plus complexes et le réemploi du matériel de coffrage dans ce type de construction devient de plus en plus difficile.

On maîtrise mieux la technique de la prédalle et le coffrage par petits plateaux et ceci permet d'atteindre un rendement comparable à celui des tables, mais à moindre coûts, sur des constructions un peu plus complexes. Il faut aussi noter l'économie réalisée avec les prédalles et les petits panneaux dans la réalisation de la façade; avec les tables, les façades ne peuvent être réalisées qu'après la coulée des planchers.

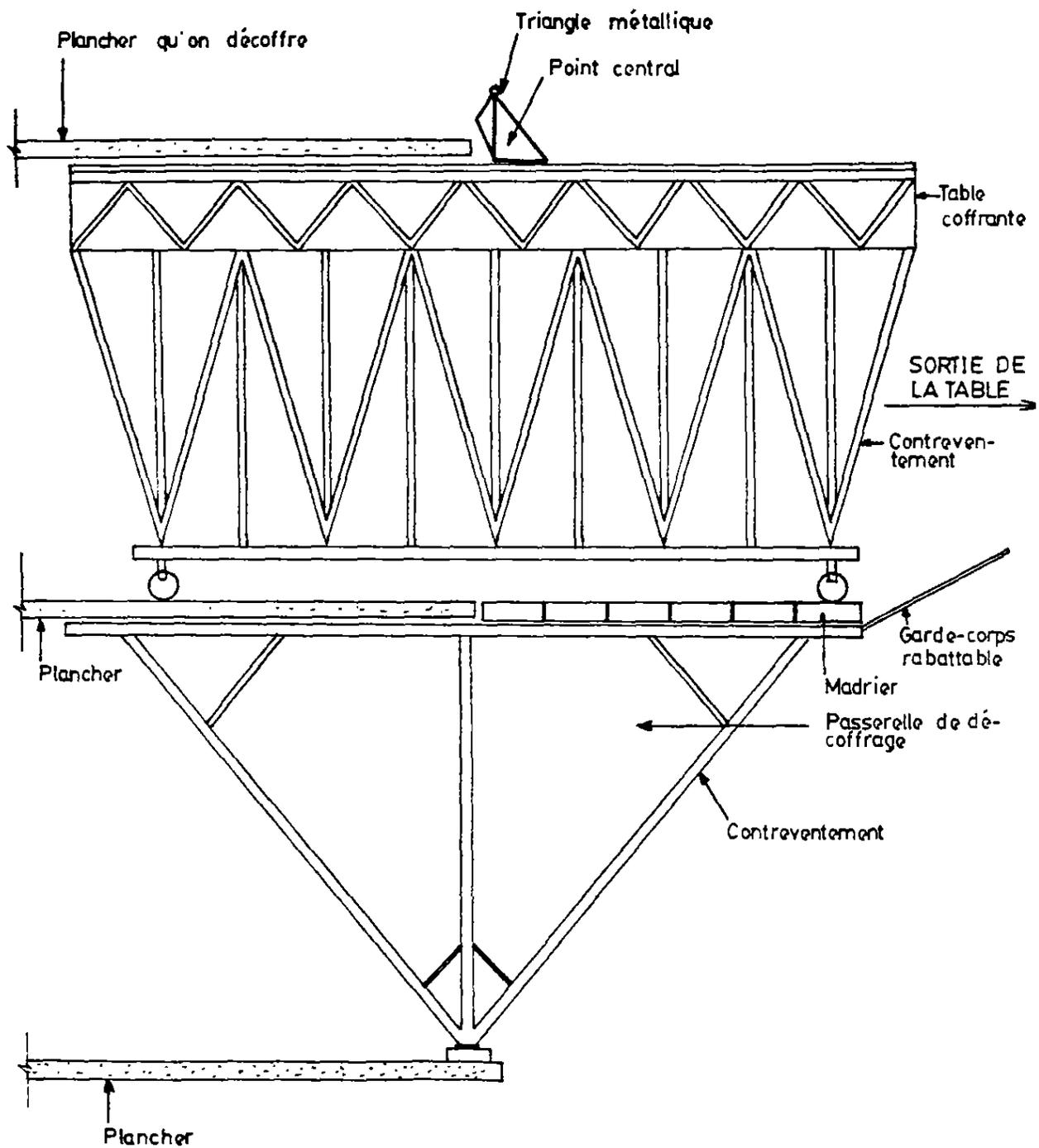


Fig. 4.10 Décoffrage par la passerelle de service -  
Tables longues ou puissance de la grue limitée

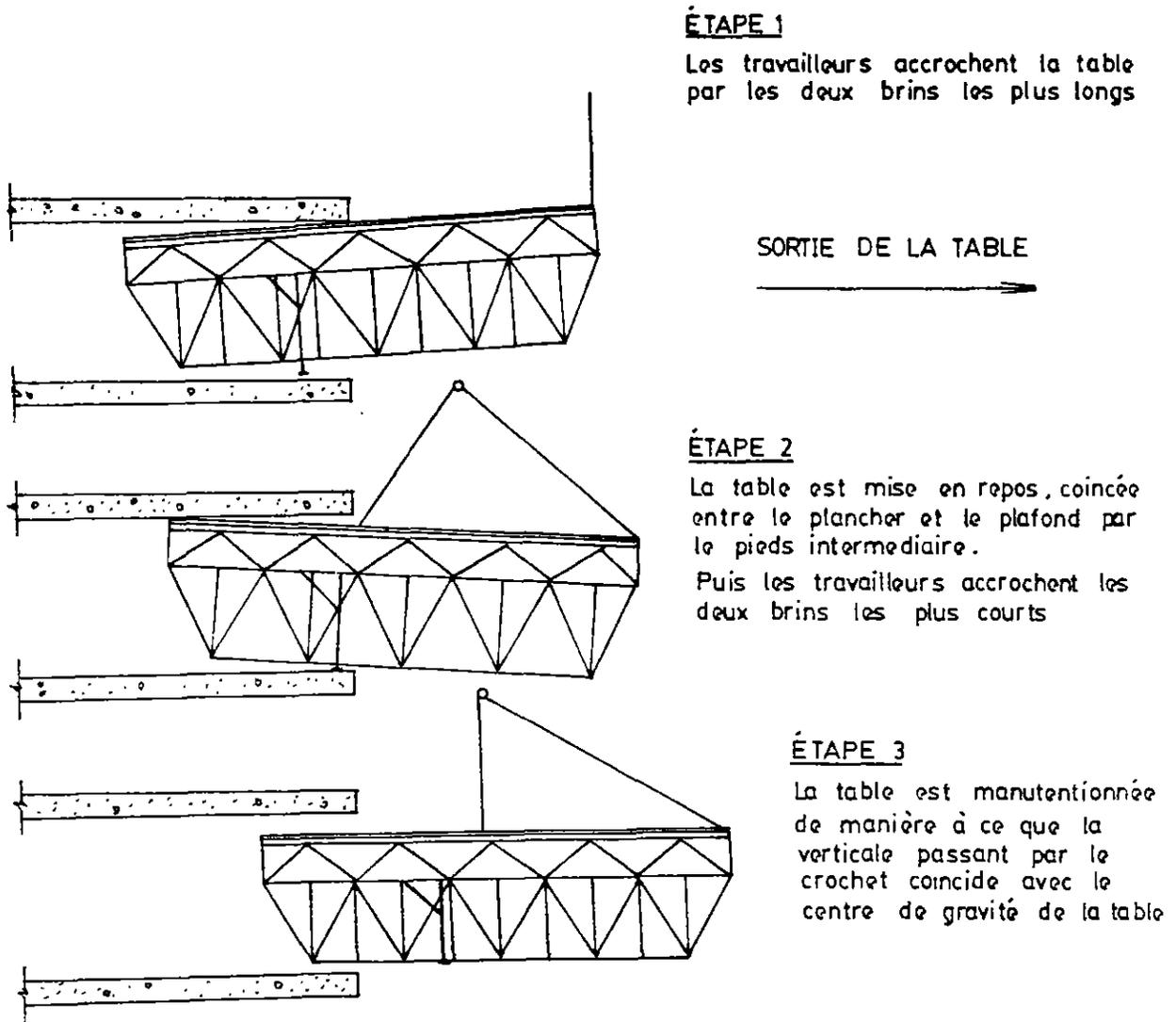


Fig. 4.11 Coupe schématique - Décoffrage avec élingues dissymétriques

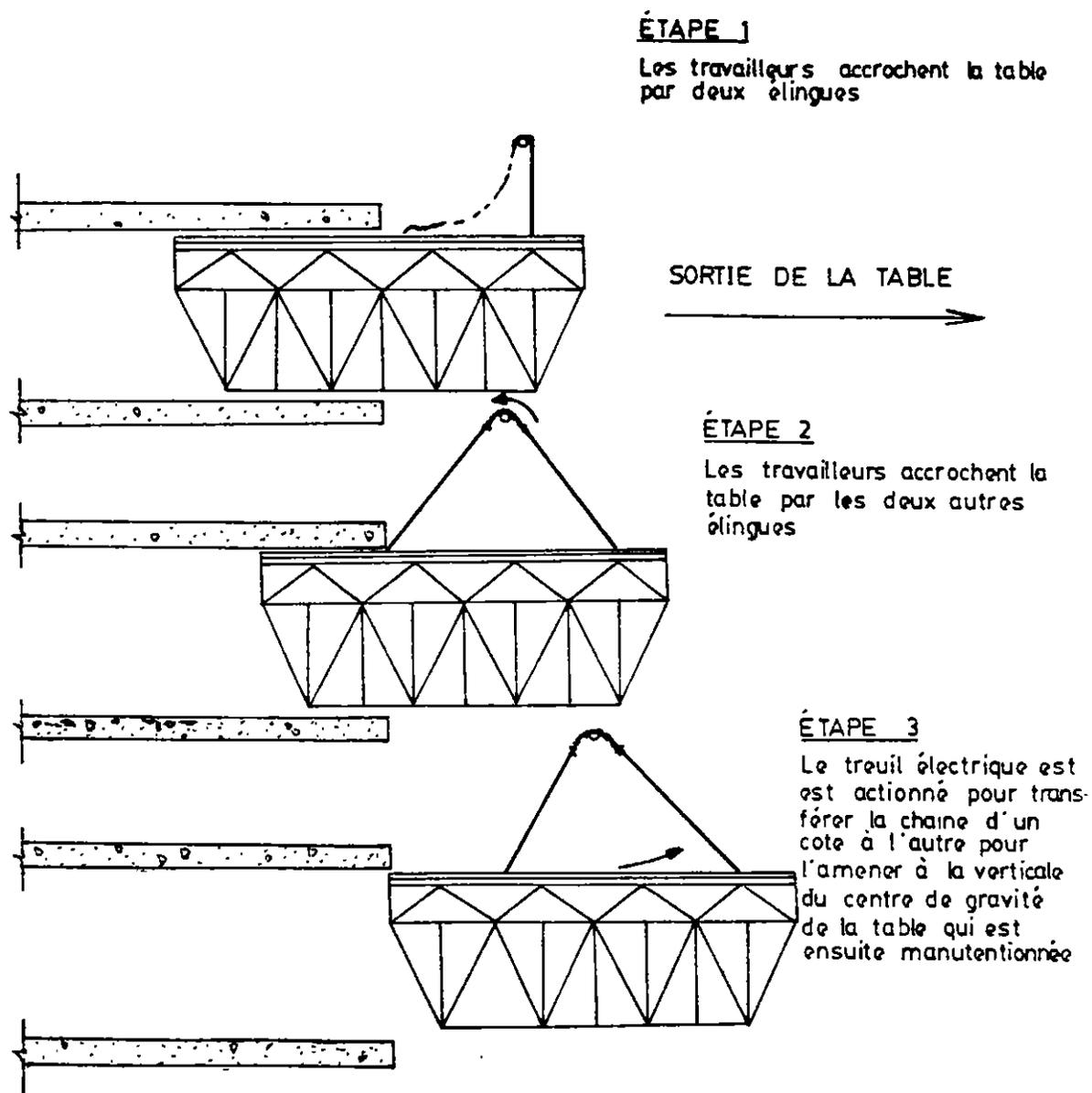


Fig. 4.12 Coupe schématique - Décoffrage avec treuil - grandes tables

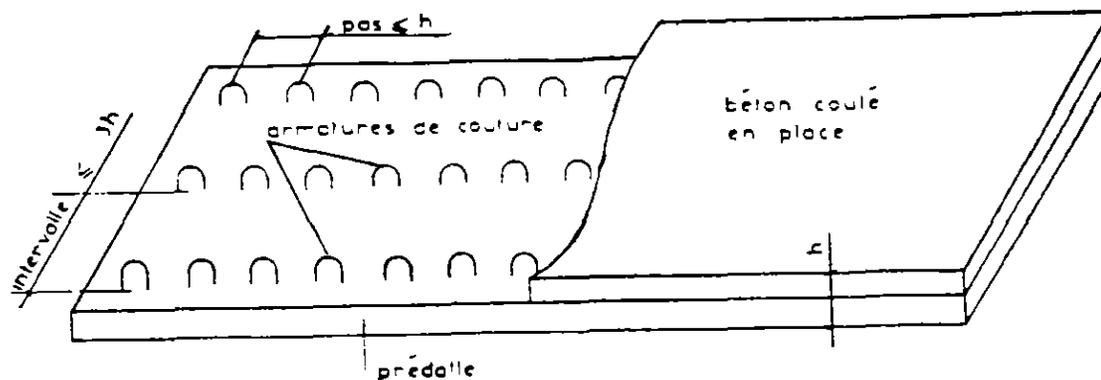
4.12 PRÉDALLES (Fig. 4.13)

Fig. 4.13 Prédalles

On appelle prédalles, des dalles préfabriquées, destinées à former la partie inférieure armée d'une dalle pleine, la dalle ainsi constituée présentant, en phase finale, un fonctionnement monolithique.

Essentiellement donc, c'est un coffrage perdu, constitué d'une plaque de béton de 40 à 70 mm d'épaisseur. L'épaisseur minimale résulte des conditions d'enrobage des armatures et de leurs tolérances de positionnement. Les prédalles sont conçues pour résister aux efforts de manutention, d'emmagasinement et de mise en place, compte tenu des dispositifs d'appui et de levage prévus dans ces opérations. En phase d'exécution, le dispositif d'étalement est conçu comme une structure supportant le coffrage. Ainsi il est recommandé que l'espacement des étais intermédiaires ne dépasse pas vingt-cinq fois l'épaisseur des prédalles.

Les prédalles peuvent être soit de petites dimensions pour être manutentionnables manuellement, soit de grandes dimensions pour accélérer la mise en oeuvre. Dans ce cas, on manutentionne la prédalle à l'aide d'une grue munie d'un palonnier à équilibrage automatique. Les problèmes majeurs rencontrés avec les prédalles concernent le raccord avec les murs et le raccord des prédalles entre elles pour éviter la fissuration.

#### 4.12.1 Emplois et exécution (Fig. 4.14)

L'attrait principal de la prédalle est la préfabrication en usine de planchers de géométrie variable sans supplément de prix. Le responsable du chantier est libéré du problème de réemploi du coffrage. Ainsi la prédalle se prête bien pour la construction de logements de taille moyenne ou pour des planchers de géométrie complexe. Son principal défaut, outre le problème de raccords, réside dans ses faibles capacités ignifuges.

Le processus d'exécution est similaire au coffrage traditionnel de plancher. Après le traçage de niveau sur les murs ou poteaux, les ouvriers disposent les filières de longerons supportées par des étais munis d'une embase en trépied assurant la stabilité.

Les ouvriers règlent l'horizontalité et la prédalle est ensuite mise en place grâce à un palonnier spécial. Les joints sont ensuite bourrés de mortier; on dispose des arrêts de coulée en rive, puis le reste du ferrailage et on procède à la coulée de béton.

Le lendemain, une partie des étais peut être enlevée, l'autre partie étant progressivement enlevée sur une période d'une vingtaine de jours.

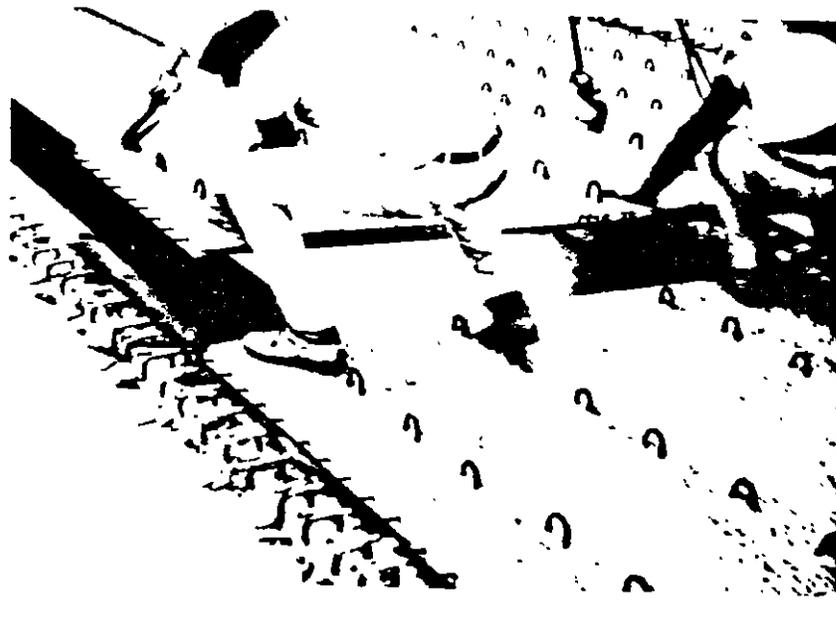
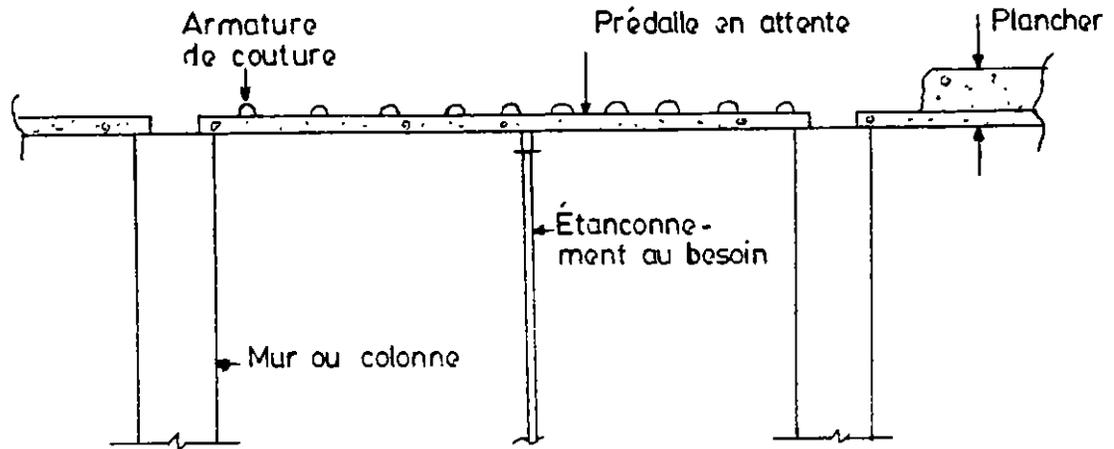


Fig. 4.14 Exemple d'utilisation de prédalles

## Chapitre 5

### COFFRAGES POUR COLONNES ET POUTRES

#### 5.1 COFFRAGE POUR COLONNES

##### 5.1.1 Généralités

Dans une structure colonnes-planchers, les colonnes constituent l'élément porteur principal supportant toute la charge de la structure pour la transmettre à travers les fondations jusqu'au sol. Cette transmission de charge s'effectue correctement d'étage en étage successif jusqu'aux fondations si toutes les colonnes ont été bien exécutées, c'est-à-dire qu'elles sont bien alignées verticalement et bien réalisées pour offrir la résistance requise pour supporter les charges qu'elles encaissent.

Comme on l'a vu dans les chapitres précédents, sans un coffrage bien conçu, on ne peut pas obtenir d'ouvrages en béton de bonne qualité. Vue l'importance des colonnes dans une structure, on doit accorder tous les soins possibles pour réaliser un bon coffrage pour permettre l'exécution soignée des colonnes.

À première vue, le coffrage de colonnes paraît très simple. Cependant, il faut noter que les colonnes ont des sections relativement petites et qu'avec les moyens rapides de bétonnage dont on dispose, on comble le volume de béton, nécessaire pour la construction de la colonne, en un temps relativement court dont il faut tenir compte. Ceci occasionne des poussées considérables sur le coffrage de colonnes. Aussi, il faut prévoir des joints étanches et un ancrage adéquat à la base de la colonne pour absorber ces poussées parfois considérables. Les petites sections de colonnes permettent cependant d'utiliser des équerres réglables, métalliques ou en bois, clavetées pour bloquer les faces du coffrage au lieu des tirants transversaux métalliques.

Habituellement, une ossature de 38 mm x 89 mm (2" x 4"), clouée aux parois, permet de positionner et d'ancrer le coffrage. Pour des colonnes élevées, il est recommandé de prévoir à intervalles réguliers le long du coffrage, une ouverture pour faciliter la mise en oeuvre du béton. Avant le bétonnage, il faut prendre soin de nettoyer le fond du coffrage des colonnes pour obtenir une bonne adhérence avec le béton existant.

### 5.1.2 Types de colonnes

Les colonnes peuvent être rectangulaires ou carrées, circulaires, en forme de L, ou de toute forme architecturale possible.

### 5.1.3 Le coffrage traditionnel pour colonnes

Essentiellement le coffrage traditionnel pour colonnes s'apparente au coffrage traditionnel de mur. La particularité dans ce type de coffrage est la faible section des colonnes. Ceci permet d'utiliser des équerres métalliques ou en bois, réglables et clavetables au lieu de tirants pour bloquer les faces du coffrage. Par conséquent, ceci améliore le fini de la surface, élimine le sciage des tirants et le ragréage au décoffrage. Si les dimensions des colonnes se répètent, il sera avantageux de préparer des panneaux en menuiserie.

### 5.1.4 Processus d'exécution

#### 5.1.4.1 Principe général

Le principe général peut s'énoncer en fonction des étapes suivantes:

- si l'amorce de la colonne n'est pas exécutée, les travailleurs implantent celle-ci sur le plancher, sol ou empattement;
- implantation précise du coffrage à l'aide d'un gabarit;
- ferrailage de la colonne en liaisonnant la cage d'armatures avec les goujons;
- nettoyage et huilage des faces du coffrage;

- érection des faces de coffrage;
- réglage de la verticalité du coffrage;
- coulage du béton et vérification de la verticalité;
- décoffrage de la colonne.

## 5.2 COFFRAGE DE COLONNE ASSEMBLÉ ET MIS EN PLACE

### 5.2.1 Généralités

La séquence et la méthode d'érection du coffrage varient quelque peu suivant l'horaire des travaux, les moyens de manutention disponibles et l'organisation du travail des ferrailleurs. Le coffrage peut être assemblé soit sur place, panneau par panneau, soit assemblé en une boîte et mis en place comme une unité de coffrage.

De même les armatures peuvent être montées sur place ou préfabriquées en cages d'armature et mises en place, avant ou après que le coffrage soit érigé, suivant les contraintes du chantier. Par exemple si on a des tirants qui passent à travers le coffrage, la cage d'armature sera mise en place, puis liaisonnée aux gougeons de la colonne. Le coffrage est ensuite mis en place autour de la cage d'armatures et les tirants enfilés à travers le coffrage. Pendant le ferrailage, on veillera à apporter tous les soins possibles pour éviter le vrillage de la cage d'armatures lors de la coulée du béton.

Si les panneaux sont assemblés sur place, le premier est aligné et contreventé temporairement. Puis les autres panneaux sont ajoutés et l'ensemble est contreventé. Si on dispose d'une grue, ce sera préférable d'assembler le coffrage et puis de le mettre en place.

#### 5.2.1.1 Le coffrage de colonne en petits panneaux

- même technique que pour les murs, mais d'un emploi plus facile.
- le montage de panneaux à angle droit élimine le problème d'alignement.

5.2.1.2 Coffrage par banches

- même technique que pour le coffrage de mur, mais également un système simple.

5.2.1.3 Coffrages en demi-coquilles (Fig. 5.1 et 5.2)

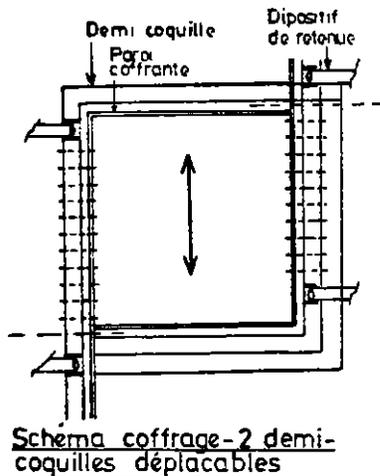


Fig. 5.1

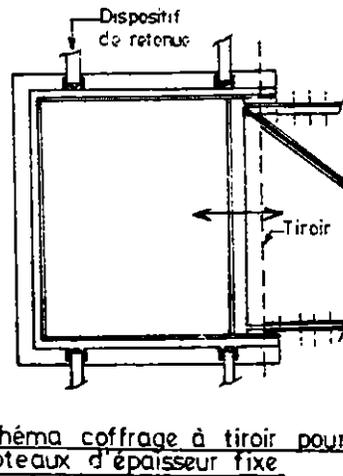


Fig. 5.2

Ce procédé de coffrage comporte 2 demi-coquilles qu'on assemble ensemble dans les angles opposés par verrouillage, clavetage ou boulonnage. C'est un système très simple et facile à mettre en place. Les dimensions sont fixes, mais on peut les faire varier en introduisant des caissons ou des fourrures à l'intérieur du coffrage.

5.2.1.4 Coffrages par panneaux indépendants

Ce procédé comporte 4 panneaux indépendants qu'on va assembler pour former le coffrage de la colonne. L'assemblage est réalisé en angle aux extrémités des panneaux.

#### 5.2.1.5 Coffrage de colonnes hauteur d'étage avec les banches

Le coffrage de colonne hauteur d'étage s'apparente au coffrage de mur avec les banches.

#### 5.2.2 Processus d'exécution

Essentiellement le processus d'exécution du coffrage de colonnes avec les petits panneaux, banches, demi-coquilles, panneaux indépendants s'apparente.

Les faces sont grattées et si requis, huilées. Si l'amorce de la colonne a été exécutée, les travailleurs débutent l'érection du coffrage à partir de celle-ci, sinon les travailleurs tracent sur le plancher, sol ou empattement, l'emplacement de la colonne; ils l'implantent et le positionnent à l'aide d'un gabarit fixé au plancher, sol ou empattement. Puis le ferrailage est mis en place. Généralement, le ferrailage de la colonne est suffisamment dense pour se tenir en place sans avoir à l'appuyer contre le coffrage. La première face est ensuite amenée contre l'amorce ou le gabarit, contreventée temporairement et sa verticalité est grossièrement réglée. Sans l'amorce ou les gabarits pour retenir le coffrage, ce dernier va se déplacer à la coulée de la première benne de béton.

Ensuite les autres faces sont amenées en place et l'ensemble est liaisonné par un dispositif de verrouillage, clavetage ou boulonnage. Le contreventement est mis en place et on règle la hauteur de la colonne et la verticalité du coffrage. La colonne est ensuite coulée, la verticalité vérifiée une dernière fois, réajustée si nécessaire après le coulage. Le décoffrage se fait par enlèvement successif de chaque face.

### 5.3 COLONNES RECTANGULAIRES OU CARRÉES

Pour les colonnes carrées ou rectangulaires de dimensions courantes, rencontrées dans des édifices commerciaux et résidentiels, on exécute le

coffrage soit d'une façon traditionnelle, soit par petits panneaux, banches, demi-coquilles, panneaux indépendants, soit par un système de panneaux préfabriqués. Pour de très grosses colonnes rencontrées en génie civil et travaux publics, le principe du coffrage est essentiellement le même, sauf que l'ensemble de membrures est considérablement renforcé pour absorber la plus grande poussée du béton. Pour des colonnes de forme irrégulière, on monte sur place le coffrage de façon traditionnelle, en bois ou en contre-plaqué.

D'une façon générale, l'érection du coffrage dépend du procédé de coffrage utilisé, des matériaux utilisés, de moyens de blocage, des moyens de moiser le coffrage et des moyens de manutention disponibles.

La figure 5.3 illustre un type de coffrage de grosses colonnes rencontrées dans les travaux de génie civil.

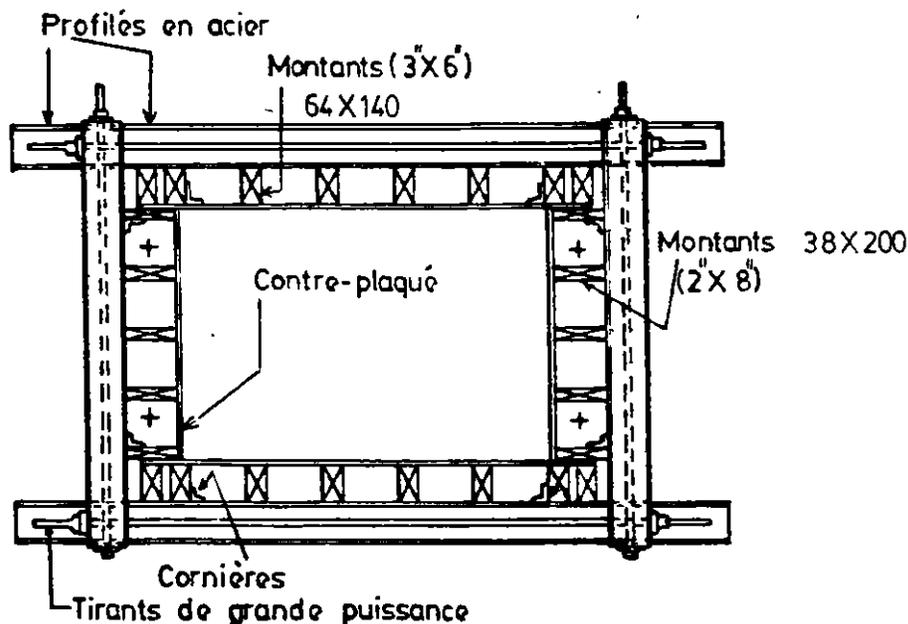
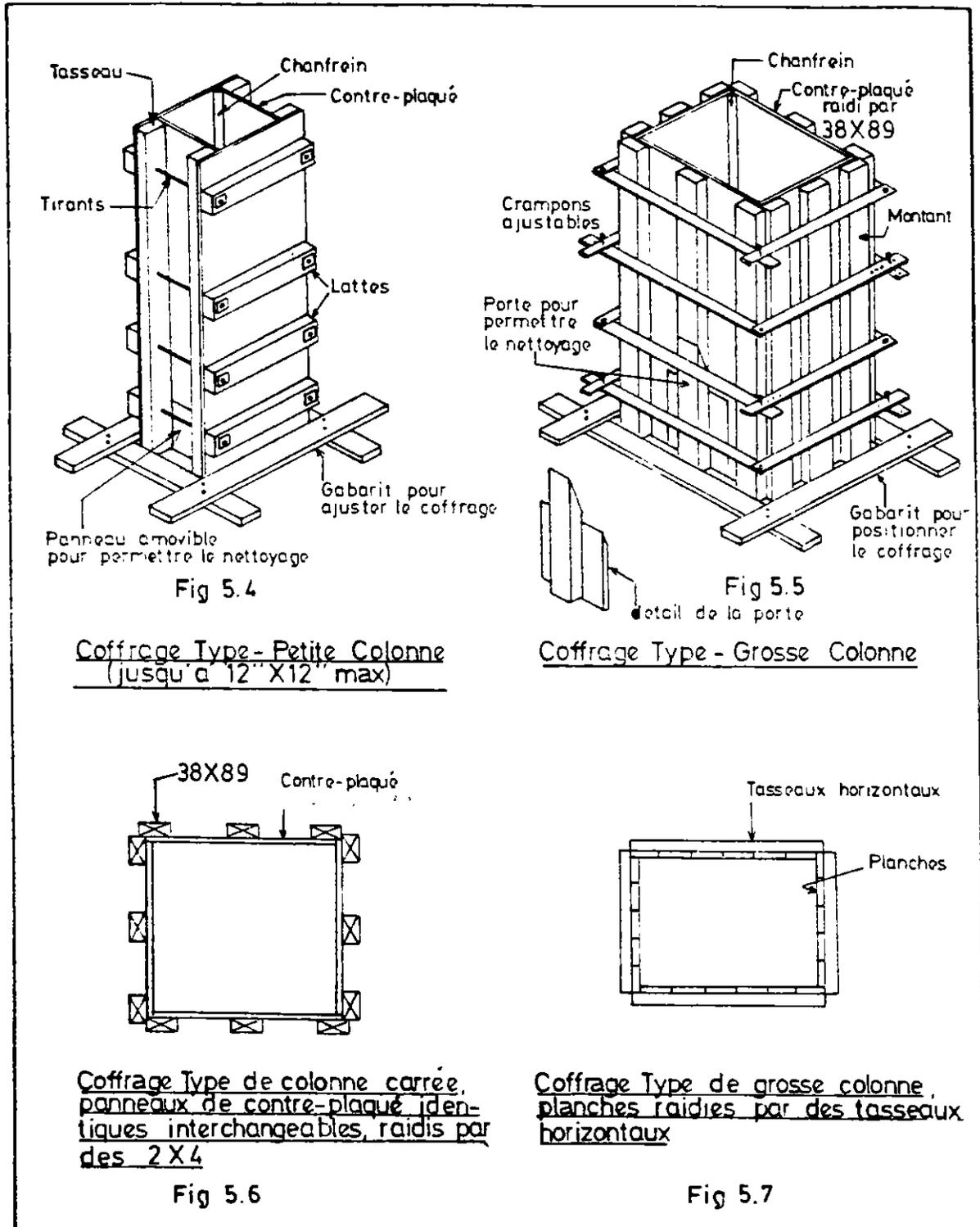


Fig. 5.3 coffrage type - Grosse colonne en Travaux Publics

Les figures 5.4 à 5.7 illustrent quelques-unes des techniques utilisées pour des colonnes de dimensions courantes.

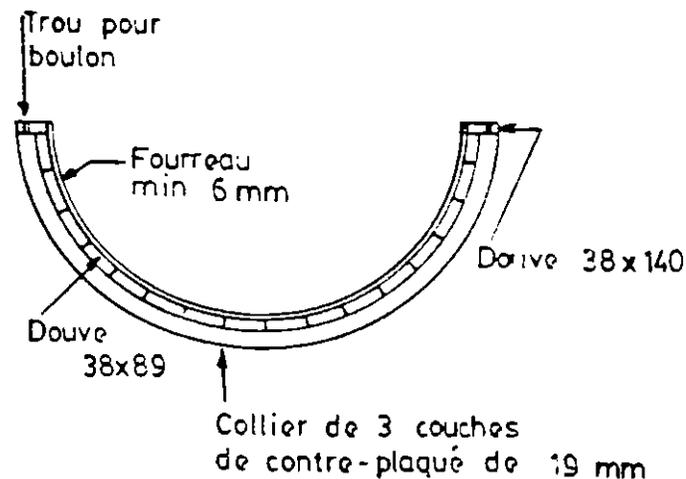


## 5.4 COLONNES CIRCULAIRES (Fig. 5.8)

### 5.4.1 Généralités

On obtient les coffrages de colonnes circulaires soit en réalisant un coffrage spécial en bois ou tôle de deux coquilles, soit en introduisant des fourrures en bois dans un coffrage carré, soit en utilisant des éléments droits ou courbes standards raccordés par des verrous ou assemblés sur couronnes réglables.

Le coffrage en bois est onéreux. On en construit que très rarement sauf si le nombre de colonnes est limité ou quand on cherche un fini qu'on ne peut pas avoir avec d'autres matériaux. Généralement le coffrage circulaire comporte 2 ou 3 segments circulaires, assemblés par boulonnage.



N.B : Seul un segment est montré

Fig. 5.8 Coupe schématique d'un coffrage circulaire - 2 segments

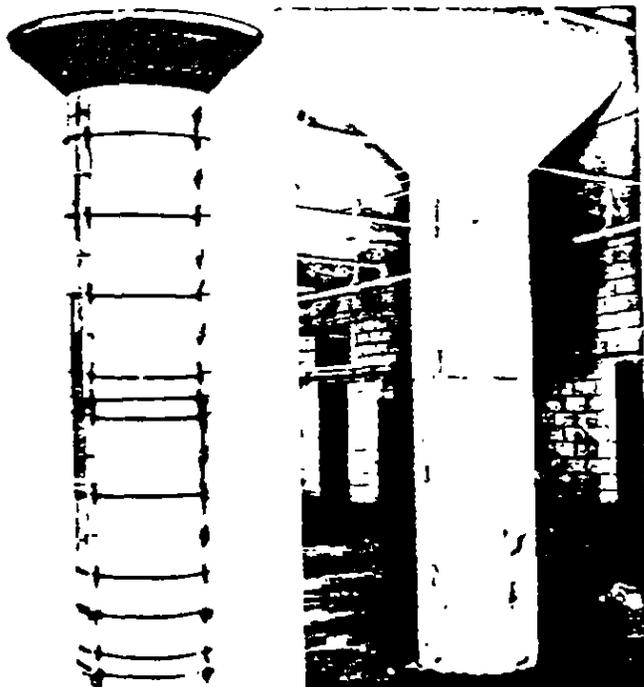
Le coffrage des colonnes circulaires peut être en bois, mais on utilise de préférence des coffrages préfabriqués réutilisables ou des coffrages à usage simple. Les coffrages réutilisables peuvent être en bois ou métalliques ou en fibre de verre et les coffrages à usage unique peuvent être en carton ou en fibro-ciment (Fig. 5.9).



Coffrage en fibre jetable



Coffrage à 2 pièces



Coffrage outil  
en acier

Ouvrage fini



Coffrage et chapiteaux en fibres  
de verre

Fig 5.9

Coffrages circulaires

Fig. 5.9 Exemples de coffrages circulaires préfabriqués

#### 5.4.2 Processus d'exécution

Le montage est simple; on joint ensemble les différents segments circulaires, on les met en place et on contrevente l'ensemble pour garder l'alignement. Aucune moise extérieure n'est requise comme la poussée du béton est reprise par des efforts de membrane des panneaux circulaires. Si on utilise des coffrages préfabriqués, ces derniers sont mis en place, contreventés pour garder l'alignement. La colonne est ensuite coulée et on décoffre suivant le procédé de coffrage utilisé.

### 5.5 TECHNIQUES PARTICULIÈRES DE COFFRAGE DE COLONNES

#### 5.5.1 Coffrage de colonnes supportant des poutres préfabriquées

Le coffrage comporte 4 panneaux indépendants munis de vérins pour permettre le décintrage du coffrage avant son retrait. Les panneaux sont utilisés à cause de leur souplesse d'emploi lors du décoffrage. La partie supérieure du coffrage où la jonction poutre-colonne se fait, comporte des ouvertures pour permettre l'insertion de la poutre et la coulée du noeud de tête de la colonne et, en même temps, la jonction poutre-colonne. Quelquefois, la densité du ferrailage gêne le bétonnage. Cette technique coûte chère et elle n'est utilisée qu'en cas de nombreux réemplois pour amortir l'investissement.

#### 5.5.2 Coffrages pour colonnes groupés en batteries

Ce système convient bien lorsqu'on a un grand nombre de colonnes avec un entre-axe constant et pas très grand. Il est alors intéressant de liasonner plusieurs coffrages en constituant des batteries, manutentionnées en une seule fois. L'investissement est important, mais la rentabilité est accrue. Autre avantage, il est possible avec un tel système de coffrer et de couler en même temps les colonnes et les poutres filantes qu'elles supportent.

### 5.5.3 Les coffrages perdus pour colonnes

La faible section des colonnes, en général, permet d'utiliser assez facilement des coffrages perdus; cette technique est particulièrement adaptée pour les poteaux circulaires. On utilise dans ce cas des tuyaux en fibro-ciment. On peut aussi coffrer des poteaux carrés mais en prenant des précautions lors de la coulée de béton. Des coffrages perdus en carton ou en plastique ont été expérimentés, mais la rentabilité laisse à désirer.

### 5.6 LA SÉCURITÉ DANS LE COFFRAGE DE COLONNES

Les problèmes de sécurité relatifs au coffrage de colonnes dépendent à la fois de leur mode de construction, de l'étroitesse de la surface d'appui que peuvent offrir les parois de la colonne et de leur situation sur le chantier.

Le coffrage de colonnes s'apparente au coffrage de mur et suit les différentes techniques de coffrage: coffrage traditionnel, en panneaux, préfabriqué ou coffrage perdu. Toutefois, lors du coffrage du plancher, le trou de l'emplacement de la colonne doit être prévu. La colonne étant généralement coulée avant le plancher, il se peut que le charpentier-menuisier ait à déterminer l'emplacement de la colonne avant la pose du plancher. Il doit, dans ce cas, travailler en équilibre, le plus souvent à genoux sur les solives. Cette situation constitue un exemple des difficultés de coordination temporelle des tâches de coffrage. La construction de la colonne nécessite l'accès à des plans de travail en hauteur. L'utilisation de l'échelle est plus difficile du fait de l'étroitesse des parois de la colonne et l'escabeau peut être déséquilibré par l'application des forces nécessaires pour monter et ajuster le coffrage. L'emploi d'un échafaudage de service apparaît le moyen d'accès le plus approprié. Toutefois, son utilisation peut être restreinte à cause d'un manque d'espace.

Certaines colonnes sont placées aux coins de l'édifice, au bord de la façade. En l'absence de plate-forme de travail facilitant l'accès sur la façade, le charpentier-menuisier doit grimper sur les crampons qu'il vient de placer et il se trouve ainsi au-dessus du vide. Bien qu'il soit généralement attaché par une ceinture de sécurité dont le lien de retenue est plus ou moins long; cette méthode de travail peut être considérée comme dangereuse. Il faut se souvenir que la ceinture de sécurité diminue la hauteur de la chute et n'aide qu'à limiter la gravité de la blessure.

L'acier d'armature est placé soit avant ou après la construction du coffrage. La structure d'acier d'armature est fréquemment montée au sol puis placée à l'aide de la grue.

La coulée du béton s'effectue à partir du plancher de coffrage. Le décoffrage de la colonne est similaire au décoffrage de mur suivant la technique utilisée.

## 5.7 COFFRAGE DE POUTRES

### 5.7.1 Généralités (Fig. 5.10)

Généralement, les poutres sont coulées en même temps que le plancher et de ce fait le coffrage de poutre fait partie intégrante du coffrage de plancher. Les paragraphes suivants font la description des poutres tout en gardant à l'esprit le monolithisme plancher-poutre.

Le coffrage de poutres comprend une paroi inférieure et deux parois latérales, plus les tirants et les contreventement nécessaires. Généralement la paroi inférieure est coupée à la dimension exacte de la poutre et repose directement sur la tête de l'étais. Les deux parois latérales dépassent légèrement la paroi inférieure et reposent elles aussi sur les étais. Le détail de mise en oeuvre varie selon le matériel utilisé, l'emplacement de la poutre dans l'ouvrage, la méthode de décoffrage utilisée, et des charges que supporte la poutre.

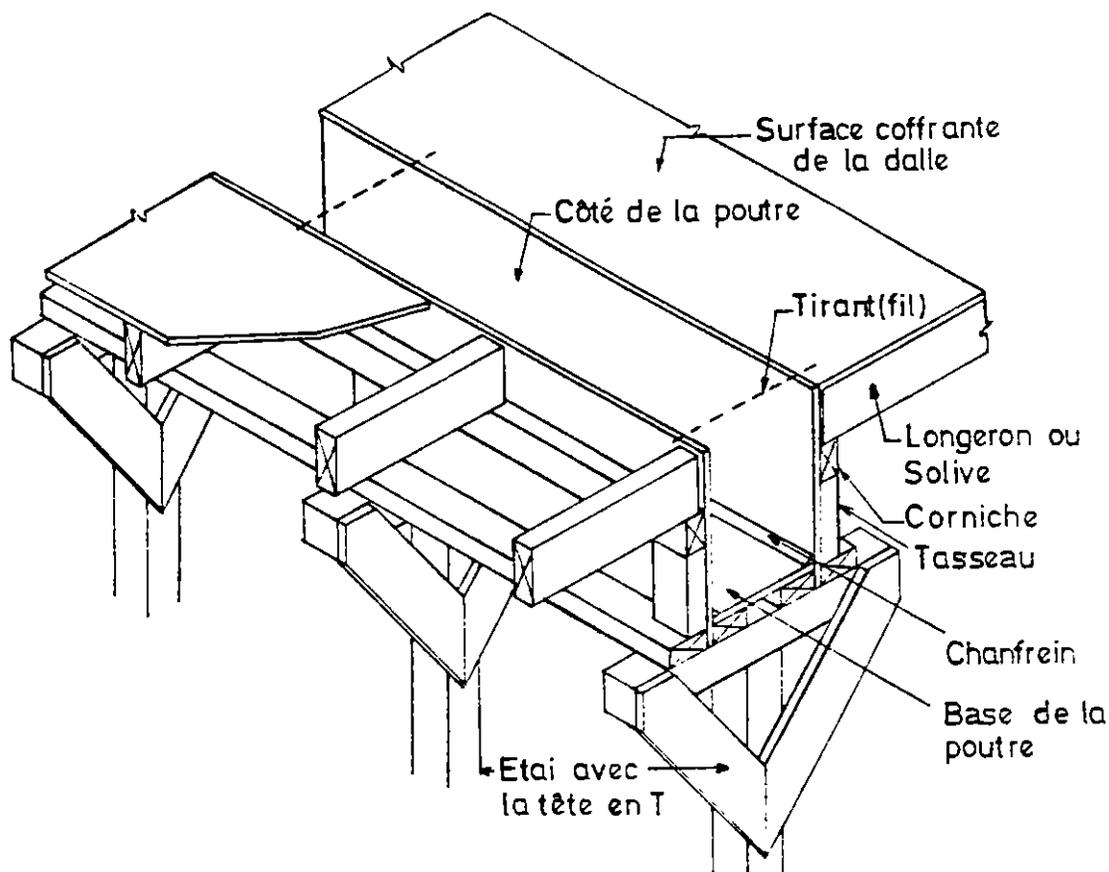


Fig. 5.10 Coffrage de poutre

La mise en oeuvre dépend des moyens de manutention disponibles. Si on a une grue, on pourra monter le coffrage et puis le manutentionner. Dans le cas contraire, on manutentionne progressivement chaque membrure du coffrage séparément. Les figures 5.11 à 5.13 illustrent les divers procédés de coffrage de poutres.

### 5.7.2 Paroi inférieure du coffrage

Habituellement pour la paroi inférieure on utilise du contre-plaqué de 19 mm (3/4") d'épaisseur ou plus, avec des membrures de support, et des pièces de 38 mm x 89 mm (2X4"), le long de la paroi inférieure. L'écartement des pièces de 38 mm x 89 mm (2X4") dépend de la charge à supporter.

### 5.7.3 Parois latérales

Ces parois peuvent être faites de planches ou plaques de contre-plaqué. Si on utilise des planches, il faudra prévoir des petits montants espacés de 600 mm à 750 mm (2' à 2 1/2') d'intervalle. Les parois latérales en contre-plaqué éliminent les petits montants, mais dans ce cas, un ensemble de raidisseurs est nécessaire. Sur chaque paroi latérale, on cloue une corniche au-dessous du haut du coffrage pour accommoder les solives du coffrage de la dalle qui prennent appui sur les côtés de ce coffrage.

### 5.7.4 Poutres de rive (Fig. 5.14)

Les poutres de rives nécessitent un coffrage soigneux à cause de leur emplacement particulier, où un alignement précis est nécessaire pour une bonne finition de l'ouvrage malgré qu'elles soient recouvertes par d'autres matériaux en façade.

### 5.7.5 La sécurité dans le coffrage de poutres

Le coffrage de poutres s'incorpore habituellement au coffrage de plancher. Il peut être construit directement à partir du plancher ou monté au sol puis placé à l'endroit voulu. Le coffrage de poutres est assimilable au coffrage de plancher. Il doit reposer sur des étais et des longerons. Le montage au sol peut être moins exigeant sur le plan postural si le coffrage est placé sur des supports. La manutention est ensuite effectuée à l'aide de la grue et les risques, dans ce cas, sont identiques à ceux relatifs au positionnement de matériel lourd.

L'acier d'armature monté au sol est placé ensuite dans le coffrage de la poutre et la coulée de béton s'effectue généralement en même temps que la coulée du plancher.

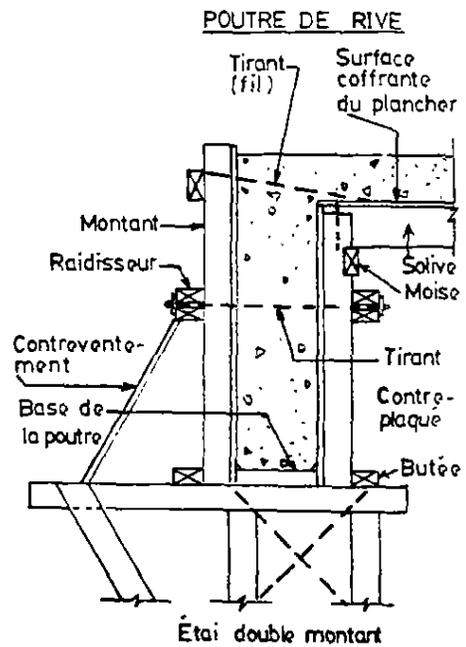
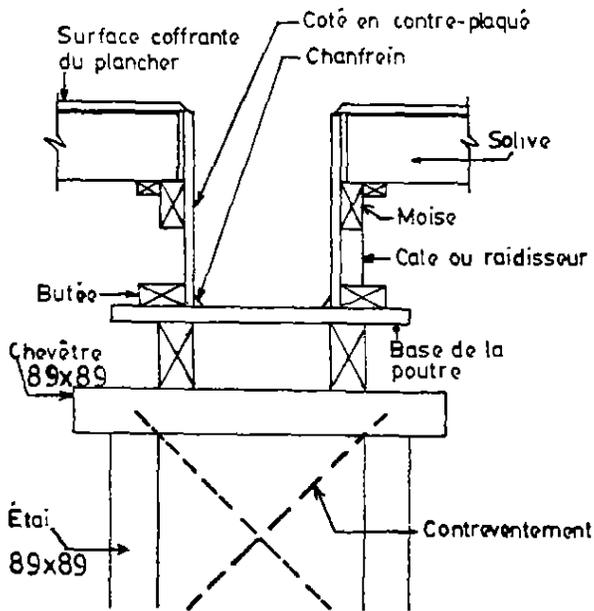
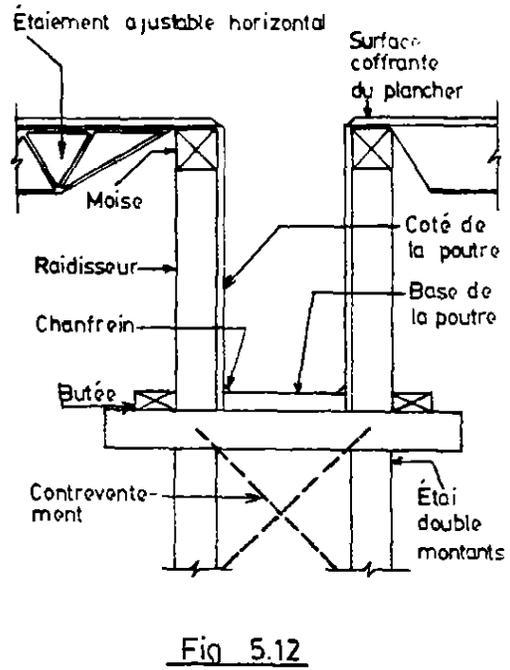
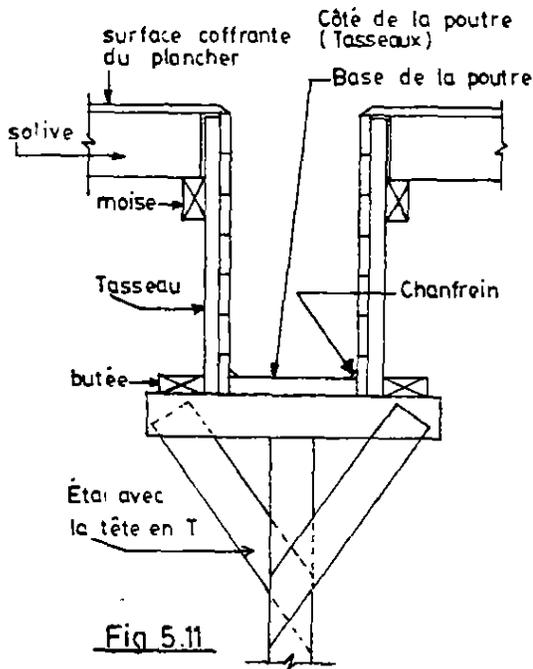


Fig. 5.11 à 5.14 Coupes schématiques de coffrage de poutres



## Chapitre 6

### CHARGES ET POUSSÉES AGISSANT SUR LE COFFRAGE

#### 6.1 GÉNÉRALITÉS

Le coffrage doit être conçu pour supporter l'ensemble des charges (verticales, horizontales et inclinées) auxquelles il est soumis pendant le bétonnage jusqu'à ce que toutes ces charges puissent être reprises par la structure elle-même.

Les charges agissant sur le coffrage sont:

- le poids d'armatures d'acier;
- le poids du béton plastique (frais);
- le poids du coffrage;
- les diverses surcharges pendant les phases de la construction.

La décharge brutale du béton, le mouvement d'équipement de construction, et l'action du vent peuvent engendrer des forces latérales qui doivent être reprises par la fausse charpente du coffrage pour éviter sa rupture. La conception du coffrage doit aussi considérer:

- le placement dissymétrique du béton;
- l'impact des engins mécanisés transportant le béton;
- le soulèvement du coffrage dû aux charges excentrées;
- les charges concentrées dues à l'emmagasinage de matériaux sur le coffrage lors du bétonnage;
- les charges concentrées sur le plancher jusqu'à ce que l'ouvrage devienne porteur.

Les charges permanentes sont facilement chiffrables. Par contre, pour les autres charges (dynamiques surtout), le concepteur en est réduit à faire des hypothèses ou à l'utilisation des coefficients multiplicateurs pour tenir en compte des conditions qu'on rencontre très souvent pendant le bétonnage.

### 6.1.1 Charges verticales

Les charges verticales agissant sur le coffrage sont:

- le poids propre du béton armé;
- le poids propre du coffrage;
- les surcharges pendant la construction (emmagasinement de matériaux, travailleurs, équipement). Si on a une construction multi-étagée, on tiendra d'une transmission de charges suivant le code local en vigueur.

### 6.1.2 Quelques valeurs de charges

À titre d'exemple, les charges couramment exercées par quelques composantes sont énumérées:

- béton armé:  $25 \text{ KN/m}^3$ ;
- coffrage:  $0.15$  à  $0.75 \text{ KN/m}^2$ ;
- surcharge (d'après le comité ACI 347):  $2.4 \text{ KN/m}^2$  minimum pour le poids des travailleurs, pistes, règles à niveler, et autres équipements;
- chariots mécanisés:  $3.6 \text{ KN/m}^2$  minimum;

### 6.1.3 Soulèvement du coffrage (Fig. 6.1)

Lors du bétonnage, on rencontre toujours des membrures continues sur plusieurs portées. La décharge du béton dans une travée produit un effet de soulèvement dans les autres travées du coffrage. Ainsi donc le projeteur doit concevoir le coffrage pour résister à ce soulèvement. Pour éviter cela, on peut construire un coffrage simplement appuyé, mais dans ce cas, le coût est plus élevé.

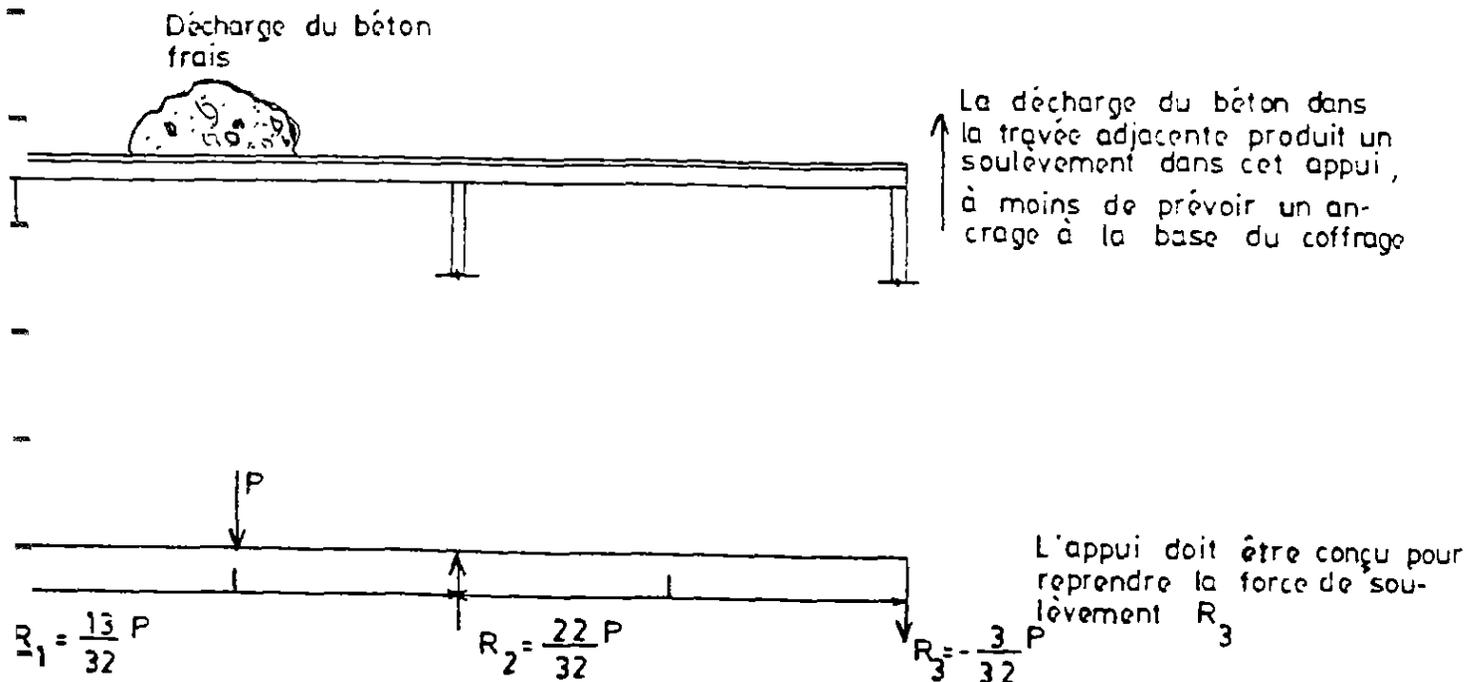


Fig. 6.1 Soulèvement du coffrage

## 6.2 POUSSÉES DUES AU BÉTON PLASTIQUE (FRAIS)

La poussée due au béton frais sur les parois du coffrage d'un mur ou d'une colonne est différente de la charge gravitaire sur le coffrage horizontal. Le béton frais agit temporairement comme un fluide produisant une pression hydrostatique qui agit perpendiculairement sur les parois du coffrage. Cette poussée est comparable à une poussée d'une colonne de liquide quand le béton est placé à sa hauteur totale, aussi longtemps que le béton n'a pas fait sa prise. Ainsi lorsqu'on bétonne lentement, le béton au fond du coffrage durcit. La poussée est inférieure à la pression hydrostatique totale jusqu'au moment où on complète le bétonnage.

Les facteurs suivants influencent la poussée du béton:

- le poids du béton;
- la vitesse de bétonnage;
- la température du mélange;
- l'utilisation de retardateur de prise;
- la vibration ou autres méthodes de compaction.

#### 6.2.1 Poids du béton

Le poids du béton influence directement la poussée latérale. En effet, la pression hydrostatique à n'importe quel point du fluide est créée par le poids superimposé de liquide. La pression hydrostatique est la même dans toutes les directions à une profondeur donnée du fluide. Cette pression agit perpendiculairement à toute surface contenant le fluide.

Ainsi, si on considère le béton comme un vrai fluide, la pression sera égale au produit de la densité ( $\text{kN/m}^3$ ) par la profondeur en mètres du point considéré. Or le béton frais est un mélange de solides (granulats, eau, adjuvants) avec un comportement fluide uniquement pendant la période initiale avant sa prise. On est donc amené à utiliser des formules empiriques pour calculer la poussée du béton.

#### 6.2.2 Vitesse de bétonnage

La vitesse moyenne d'ascension à laquelle le béton monte dans le coffrage est appelée "la vitesse de bétonnage". Au fur et à mesure que le bétonnage progresse, la pression en un point donné augmente.

Lorsque le béton durcit et se consolide, il tend à devenir auto-portant, ne causant ainsi aucune poussée sur le coffrage. La vitesse de bétonnage n'influence la poussée qu'au début. Aussi longtemps que le béton reste fluide, la poussée maximale développée dépend directement de la vitesse de bétonnage.

### 6.2.3 Vibration

La vibration interne est le moyen le plus courant pour compacter le béton. Elle engendre une surpoussée temporaire de l'ordre de 10 à 20 % supérieure à celle qu'on obtient lorsqu'on pratique le piquage parce que la vibration rend le béton complètement fluide, et l'amène à se comporter comme un fluide sur la profondeur totale de vibration. Aussi, le coffrage doit être conçu pour reprendre cette surpoussée due à la vibration.

### 6.2.4 Température

La température du béton lors du coulage a une grande influence sur la poussée parce qu'elle affecte le temps de prise du béton. À une basse température, le temps de prise du béton est assez long. On peut bétonner une plus grande hauteur avant que le béton, au fond du coffrage, fasse sa prise pour devenir porteur. Par conséquent une plus grande tête de fluide se développe, causant ainsi une plus grande poussée.

Cet aspect est particulièrement important pour le bétonnage par temps froid (bétonnage en hiver) et aussi lorsqu'on utilise les cendres volantes et/ou des retardateurs de prise.

### 6.2.5 Autres variables

La consistance du béton, la densité de renforcement, la température ambiante, la pression interstitielle, le type de ciment en autres influencent aussi la poussée. Cependant l'influence de ces facteurs est négligeable par rapport aux autres 5 facteurs mentionnés précédemment.

## 6.3 VALEURS DE LA POUSSÉE

En dépit de longues années de recherche, de discussions, d'essais en laboratoire et sur les chantiers, il y a toujours divergence quant à

l'importance relative de chacune de ces variables mentionnées ci-dessus.

On n'arrivera peut-être jamais à tout solutionner parce que les méthodes de bétonnage évoluent continuellement et que de plus en plus on utilise de nouveaux adjuvants.

Ainsi l'entrepreneur en coffrage doit adopter des critères de conception sécuritaires éprouvés au lieu de procéder par tâtonnements.

### 6.3.1 Recommandations du comité ACI 347

Le comité ACI 347 a développé les formules suivantes pour le calcul de la poussée maximale agissant sur le coffrage pour les coffrages et selon les critères qui suivent:

#### 6.3.1.1 Coffrage de mur:

- béton placé à une vitesse contrôlée;
- température du bétonnage connue;
- vitesse du bétonnage connue;
- vibration connue;
- densité du béton connue;
- affaissement connu.

Pour  $R < 2$  mètres par heure

$$p = 7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \quad (1)$$

maximum  $p =$  minimum (95.8 kN/m<sup>2</sup>, 23.5h, formule 1)

Pour  $2 < R < 3$  mètres par heure

$$p = 7.2 + \frac{1156}{T + 17.8} + \frac{244R}{T + 17.8} \quad (2)$$

maximum  $p =$  minimum (95.8 kN/m<sup>2</sup>, 23.5h, formule 2)

Pour  $R > 3$  mètres par heure

$$p = 23.5h \quad (3)$$

Où:         $p$  = pression maximale,  $\text{kN/m}^2$   
              $R$  = vitesse de bétonnage, mètres/heure  
              $T$  = température du béton dans le coffrage,  $^{\circ}\text{C}$   
              $h$  = hauteur maximale du béton frais dans le coffrage en  
                 mètres

Les formules ci-dessus sont empiriques, basées sur des données expérimentales et elles sont valables pour:

- béton, vibration interne;
- béton de densité normale, ciment Type 10, ne contenant ni pouzzolanes ou adjuvants;
- affaissement inférieur à 100 mm.

Note: La pression calculée par les formules ci-dessus est une pression enveloppe, c'est-à-dire qu'on surestime la pression réelle développée dans le fluide pendant le bétonnage.

#### 6.3.1.2 Coffrage de colonne

Dans plusieurs types de construction, les colonnes sont relativement petites et on peut bétonner toute la colonne en peu de temps. La vibration du béton rend toute la colonne du béton fluide. Ainsi donc la poussée maximale résultante est supérieure à celle qu'on rencontre pour les murs. Si toute la coulée s'effectue en moins de temps que le temps de prise du béton, à ce moment là, la pression sera essentiellement hydrostatique, c'est à dire zéro en haut du coffrage et maximale à la base du coffrage.

La formule suivante a été développée par le comité ACI 347

$$p = 7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \quad (4)$$

maximum  $p = \text{minimum}(144 \text{ kN/m}^2, 23.5h, \text{ formule } 4)$

Où:  $p$  = pression maximale,  $\text{kN/m}^2$   
 $R$  = vitesse de bétonnage, mètres/heure  
 $T$  = température du béton dans le coffrage, deg. C  
 $h$  = hauteur maximale du béton frais dans le coffrage en mètres

Cette formule est valable pour:

- béton normal (densité  $25 \text{ kN/m}^3$ ) confectionné avec du ciment Type 10 ne contenant ni pouzzolanes ou adjuvants.

La formule ci-dessus est dérivée des données et des essais expérimentaux. Elle est recommandée pour des colonnes n'excédant pas 5.5 mètres de hauteur et 1.8 mètres de largeur. Pour des colonnes excédant 1.8 mètres de largeur, on utilisera la formule du mur.

Remarque: Avec les méthodes modernes de bétonnage et de compactage, on peut avoir le béton fluide pendant toute la durée du coulage.  
Dans ce cas:

$$p = 23.5h \text{ kN/m}^2$$

$h$  = hauteur du béton, mètres

## 6.4 EXEMPLES

### 6.4.1 Mur:

Données:

- 5 mètres de hauteur
- $R = 2.75 \text{ m/h}$ .
- $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Formule (2)

$$p = 7.2 + 1156/(T + 17.8) + 244R/(T + 17.8)$$

$$p = 7.2 + 1156/(20 + 17.8) + (244 \times 2.75)/(20 + 17.8)$$

$$p = 7.2 + 30.6 + 17.8$$

$$p = 55.6 \text{ kN/m}^2$$

max p = min(95.8 kN/m<sup>2</sup>, 23.5h kN/m<sup>2</sup>, formule 2) = min(95.8, 117.5, 55.6)

Utiliser p = 55.6 kN/m<sup>2</sup>

Comme ceci est comparable à la pression hydrostatique jusqu'au moment où le béton durcit, n'importe quel point à l'intérieur de 55.6/23.5 = 2.4 m à partir du haut du coffrage aura proportionnellement moins de poussée que la poussée maximale.

Le maximum de 55.6 kN/m<sup>2</sup> est utilisé pour calculer le coffrage des 2.6 mètres inférieurs restants (Fig. 6.2).

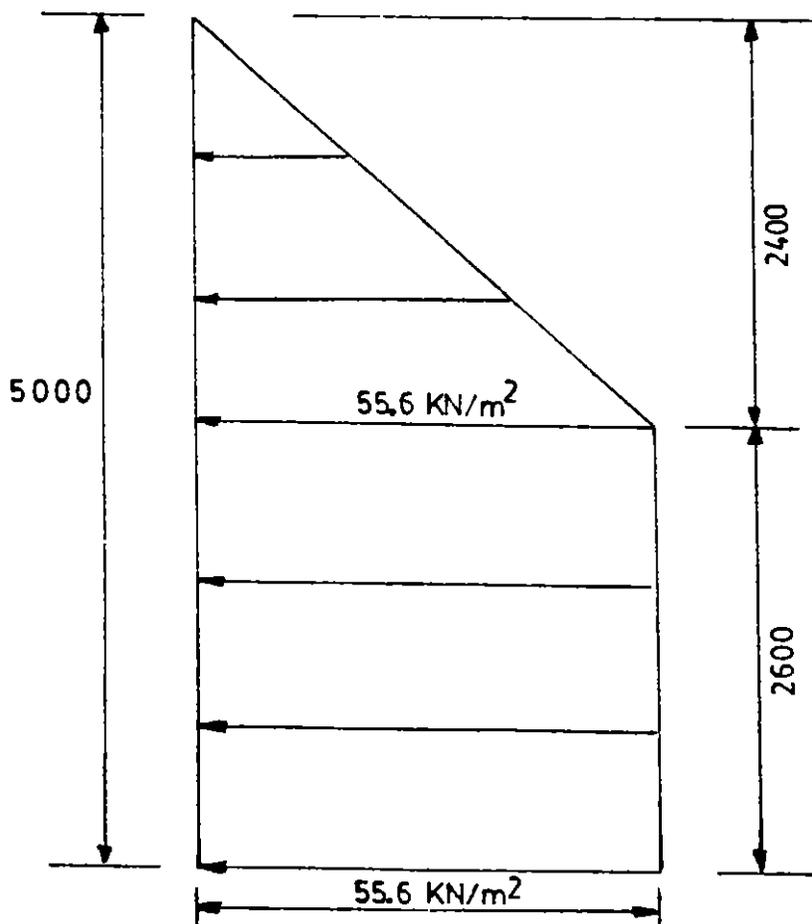


Fig. 6.2 Distribution de la pression sur le coffrage du mur

Si le mur a 2 mètres de haut, bétonné à  $R = 2.75 \text{ m/h}$ ,  $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$ , la limite  $23.5h$  s'appliquera comme elle est plus petite que la valeur donnée par la formule 2.

En effet d'après la formule (2)

$$p = 7.2 + \frac{1156}{T + 17.8} + \frac{244R}{T + 17.8}$$

$$p = 7.2 + \frac{1156}{20 + 17.8} + \frac{244 \times 2.75}{20 + 17.8}$$

$$p = 55.6 \text{ kN/m}^2$$

$$23.5h = 23.5 \times 2 = 47 \text{ kN/m}^2$$

$$\max p = \min(95.8, 23.5 h, \text{ formule 2}) = \min(95.8, 47, 55.6)$$

utiliser  $p = 47 \text{ kN/m}^2$

L'enveloppe de la pression maximale dans ce cas est (Fig. 6.3):

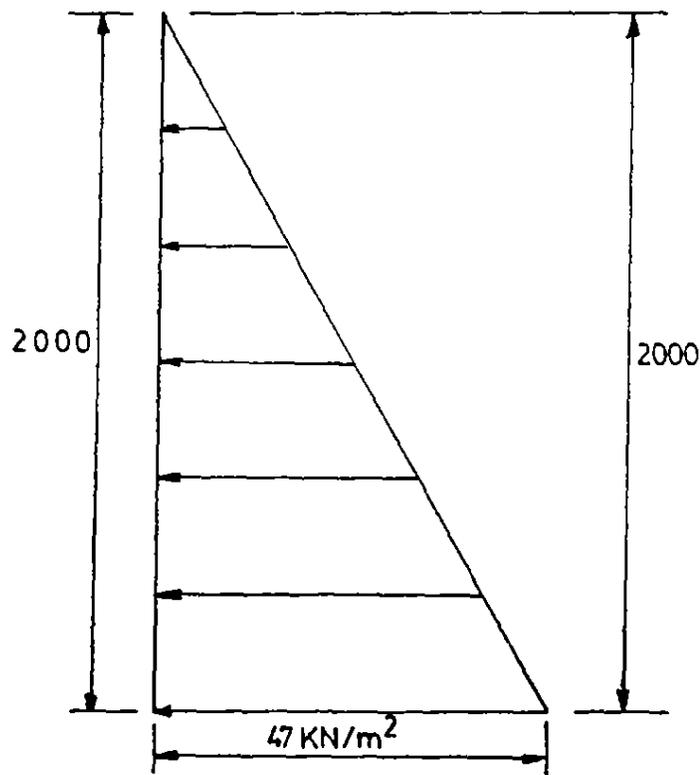


Fig. 6.3 Distribution de la pression sur le coffrage de mur

6.4.2 Colonne:

Données:

5 mètres de hauteur

$R = 2.5 \text{ m/h}$

$T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\text{Formule (4)} \quad p = 7.2 + \frac{785R}{T + 17.8}$$

$$\text{Formule (4)} \quad p = 7.2 + \frac{785 \times 2.5}{10 + 17.8}$$

$$= 7.2 + 70.6$$

$$= 77.8 \text{ kN/m}^2$$

$$23.5h = 23.5 \times 5 = 117.5$$

$$\text{max } p = \min(144, 23.5h, \text{ formule 4}) \text{ kN/m}^2$$

$$= \min(144, 117.5, 77.8) \text{ kN/m}^2$$

Utiliser  $p = 77.8 \text{ kN/m}^2$

On a la pression maximale à  $77.8/23.5 = 3.3 \text{ m}$  à partir du haut du coffrage (Fig. 6.4).

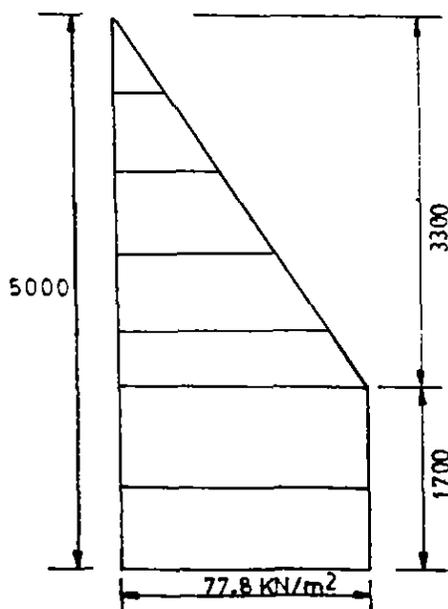


Fig. 6.4 Distribution de la pression sur le coffrage de la colonne

La même colonne, bétonnée à 4 m/h, à  $T = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (par exemple, bétonnage par temps froid)

$$p = 7.2 + \frac{785 \times 4}{5 + 17.8} = 145 \text{ kN/m}^2$$

$$23.5h = 23.5 \times 5 = 117.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\max p = \min (144, 117.5, 145) \text{ kN/m}^2$$

Utiliser  $p = 23.5h = 117.5 \text{ kN/m}^2$  (Fig. 6.5).

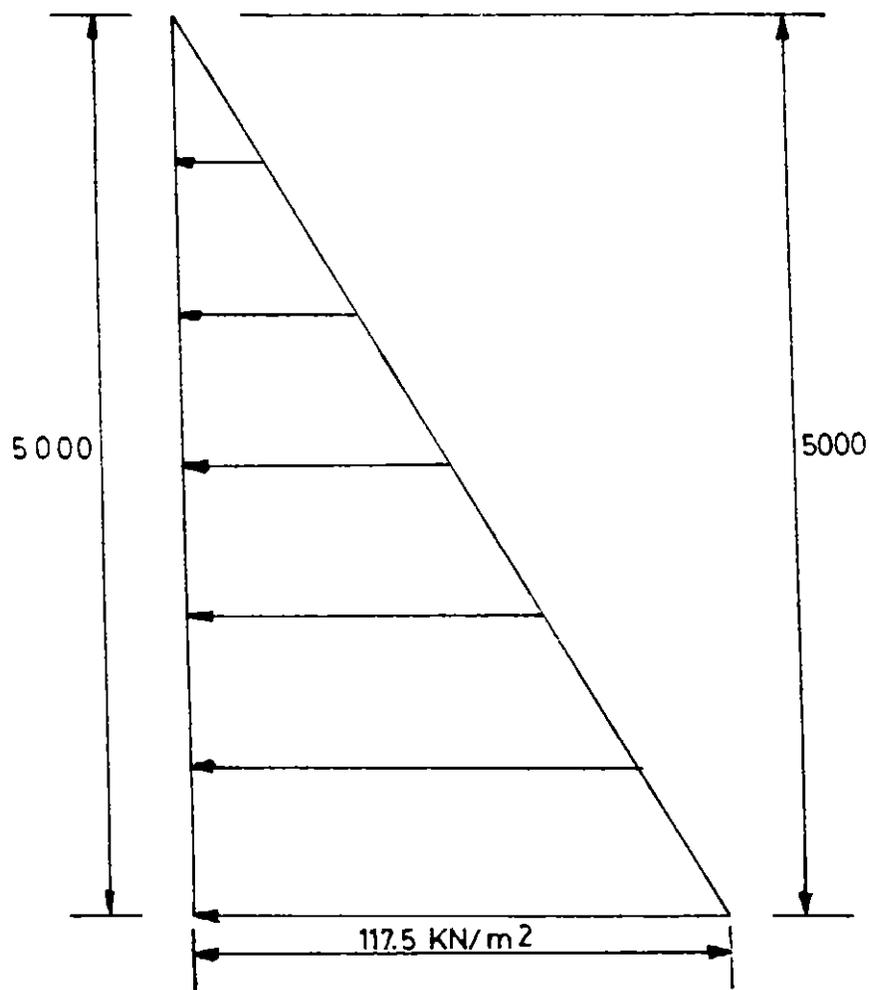


Fig. 6.5 Distribution de la pression sur le coffrage de la colonne

## 6.5 CHARGES LATÉRALES

La fausse charpente du coffrage doit être contreventée pour résister à l'ensemble des charges latérales prévisibles telles le vent, la tension des cables, les supports inclinés, la décharge dissymétrique du béton ou les charges d'impact (démarrage et arrêt d'équipement). En l'absence d'un cahier des charges ou d'informations précises, le comité ACI 347 recommande que le coffrage soit contreventé pour les charges minimales suivantes, agissant dans toutes les directions.

### 6.5.1 Dalle

Max 1.5 kN/m linéaire ou 2 % du poids permanent total sur le coffrage distribué comme une charge uniforme par mètre linéaire sur le périmètre de la dalle.

### 6.5.2 Murs

Pression du vent selon le code local, mais pas inférieure à 0.72 kN/m<sup>2</sup>. Le contreventement pour le coffrage des murs est calculé pour une force horizontale d'au moins 1.5 kN/m linéaire agissant au sommet du coffrage. Les murs exposés ou de grande hauteur feront l'objet de considérations spéciales.



## Chapitre 7

### CALCULS ET CONCEPTIONS DES COFFRAGES

#### 7.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX

Pour calculer et concevoir un coffrage, on considère:

- 1) si on possède déjà un coffrage et que l'on recherche ses possibilités optimales d'emploi;
- 2) on ne possède pas un coffrage; on a déterminé les possibilités optimales d'emploi et on conçoit le coffrage correspondant.

La figure 7.1 illustre la pratique actuellement suivie dans les chantiers.

##### 7.1.1 Charges et surcharges appliquées à un coffrage

On commence par déterminer ou estimer les efforts que le coffrage est susceptible de supporter.

Ces efforts sont:

- la poussée dynamique du béton au moment du coulage (chute du béton dans le coffrage);
- la poussée dynamique du béton lors de la vibration;
- la surcharge des équipements et des ouvriers;
- le poids propre, notamment lors de la manutention ou l'emmagasinage sur terrains irréguliers;
- la poussée statique du béton juste après le coulage.
- les actions parasites ou accidentelles: par exemple vent, chocs.

Certaines de ces charges sont chiffrables assez aisément. Par contre, pour les autres, on est réduit à des hypothèses ou à l'utilisation des coefficients multiplicateurs dont on vérifiera la valeur lors d'expérimentations pratiques en laboratoire ou sur les chantiers.

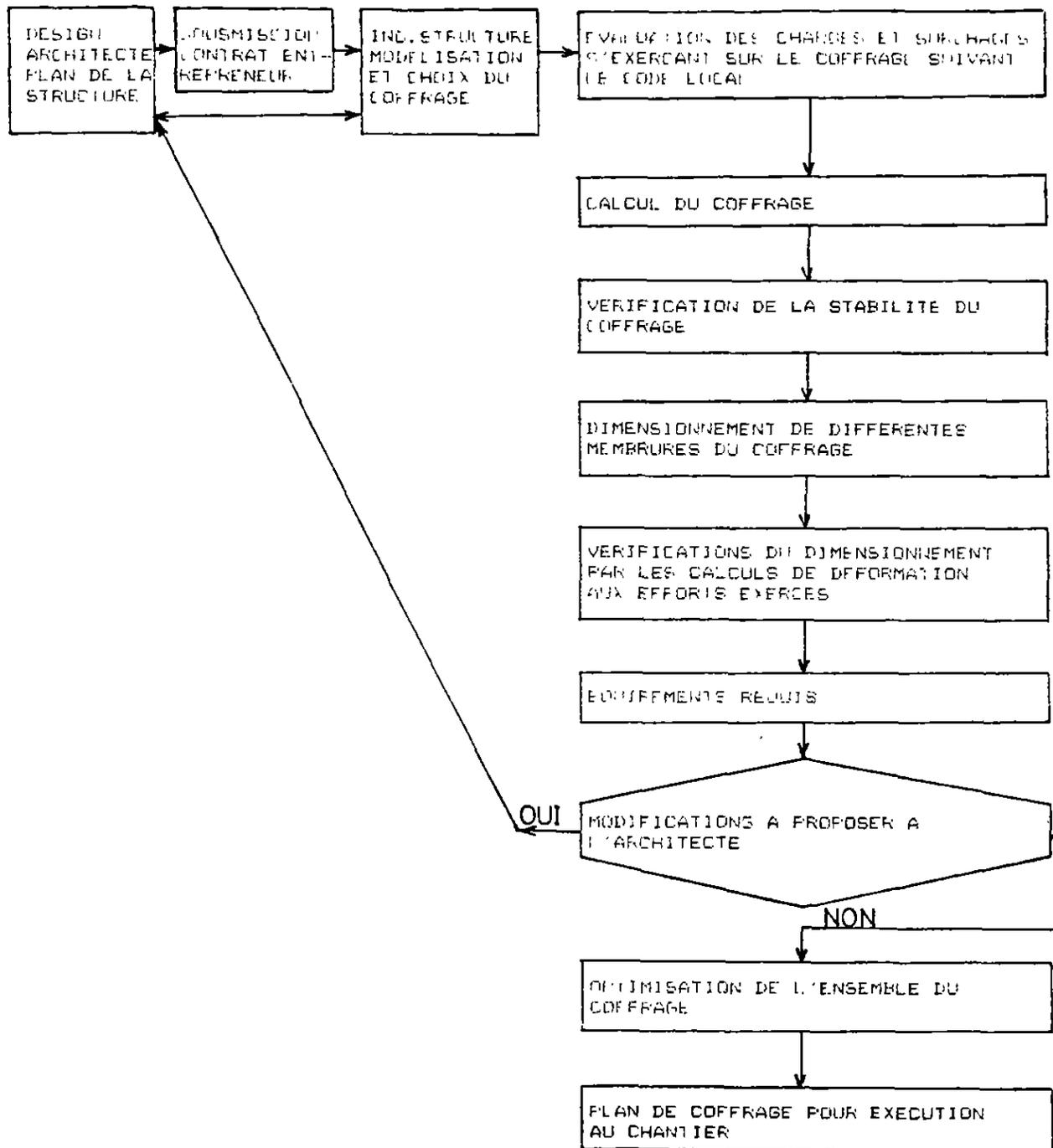


Fig. 7.1 Cheminement de calcul d'un plan de coffrage

Par ailleurs, très souvent sur les chantiers, le manque d'informations sur le bétonnage et des circonstances imprévues peuvent conduire à des sollicitations supérieures à celles évaluées à la conception.

Muni de ces renseignements, le concepteur choisit d'abord le(s) matériau(x) qu'il va utiliser pour le coffrage suivant le fini des travaux qu'il veut avoir et la disponibilité locale des matériaux.

Il conçoit alors le coffrage qui doit être:

- 1) suffisamment résistant pour supporter sécuritairement les charges anticipées;
- 2) assez rigide pour garder sa géométrie initiale (ou du moins accepter une déformation admissible) quand le coffrage est soumis à la charge totale.

Le coffrage ne cesse d'évoluer. On utilise de plus en plus de nouveaux matériaux et des nouvelles techniques de coffrages, consistantes avec la sécurité, d'où l'utilité de pouvoir faire un calcul rationnel pour dimensionner le coffrage avec le souci d'efficacité et d'économie.

Ce calcul est basé sur la connaissance de la résistance des matériaux utilisés et les charges de sollicitation anticipées. Sur un chantier (petit, moyen, ou grand), une bonne gestion du coffrage peut sauver du temps et réduire les coûts.

Le bois, le contre-plaqué, les membrures d'acier sont encore les matériaux de base pour le coffrage quoiqu'on utilise de plus en plus des matériaux nouveaux. Quelque soit le matériau utilisé, les mêmes principes généraux de calculs s'appliqueront si on connaît les caractéristiques mécaniques du matériau (Module de Young, contrainte admissible, etc, ...).

### 7.1.2 Notation

La notation suivante sera utilisée tout au long de ce chapitre. Le système d'unité utilisé est le système international SI.

- A : aire de la section,  $\text{mm}^2$   
b : largeur de la poutre, mm  
c : contrainte admissible, en compression parallèle aux veines,  $\text{N}/\text{mm}^2$   
c' : contrainte admissible, en compression parallèle aux veines, ajustée pour le rapport  $l/d$ ,  $\text{N}/\text{mm}^2$   
 $c_{\perp}$  : contrainte admissible,  $\text{N}/\text{mm}^2$ , en compression,  $\perp$  aux veines  
f<sub>l</sub> : déflexion, mm  
f<sub>lmax</sub> : déflexion maximale, mm  
E : module d'élasticité de Young,  $\text{N}/\text{mm}^2$   
f : contrainte dans la fibre extrême en flexion,  $\text{N}/\text{mm}^2$   
H : contrainte de cisaillement horizontal,  $\text{N}/\text{mm}^2$   
h : hauteur de la poutre, mm  
I : moment d'inertie,  $\text{mm}^4$  (=  $bh^3/12$  pour une section rectangulaire)  
L : portée, mètres  
l : portée, mm  
 $l/d$  : rapport longueur entre appui à la plus petite dimension pour des membrures en compression dans la direction considérée  
 $M_{\text{max}}$  : moment fléchissant maximum, KN.m ou N.m comme indiqué  
 $M_r$  : moment résistant, (=  $fS$ ), KN.m ou N.m comme indiqué  
p : pression ou poussée,  $\text{N}/\text{m}^2$  (Pascal)  
r : rayon de giration, mm  
S : module de section,  $\text{mm}^3$  (=  $bh^2/6$  pour une section rectangulaire)  
s : espacement des membrures, mm  
v : contrainte de cisaillement moyenne, ou contrainte de cisaillement horizontal moyenne,  $\text{N}/\text{m}^2$  (Pascal)  
V : effort tranchant vertical maximum, KN ou N (identique à des réactions d'appuis pour une poutre simplement appuyée)  
w : charge uniformément distribuée, N/m  
W : charge totale uniformément distribuée, KN ou N (=  $wL$ )

### 7.1.3 Critères de conception

#### 7.1.3.1 Contrainte admissible

Le coffrage est généralement considéré comme une structure temporaire. Très souvent, pour rentabiliser un coffrage, on est amené à le réemployer. Dans ce cas, le comité ACI 347 recommande de ne plus considérer les membrures de coffrage employées à plusieurs reprises comme des structures temporaires même si elles ne sont chargées pendant la prise du béton. À ce titre, le comité ACI 347 recommande de considérer le coffrage qui sera employé plusieurs fois comme une structure permanente qui supportera les charges appliquées.

Le critère de conception est le critère de "contrainte admissible". On dimensionnera les membrures de telle sorte que la contrainte de sollicitation dans les fibres extrêmes des membrures n'excède pas la contrainte admissible du matériau utilisé.

#### 7.1.4 Coefficients de sécurité pour les différentes composantes de coffrages

<u>Accessoires</u>	<u>Types de construction</u>	<u>Coefficients de sécurité</u>
Tirants	Coffrage léger, inférieur ou égal à 2.5 m de hauteur	1.5
	Tout coffrage supérieur à 2.5 m de hauteur	2.0
Ancrage	Coffrage supportant le poids propre et la pression du béton seulement	2.0
	Coffrage supportant le poids propre du coffrage, béton, surcharges de construction et impact	3.0
Suspentes	Toute application	2.0
	Panneaux de coffrage de béton préfabriqué	2.0

## 7.2 CALCULS DE COFFRAGES

Outre les calculs de stabilité incluant la détermination des efforts exercés sur les encastremets ou les contreventements, les calculs comprennent:

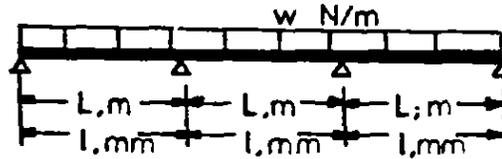
- la résistance au flambement de l'étaie et jambes de forces;
- la résistance à la rupture, en traction, des tirants et tiges d'entretoises;
- la résistance à l'effort tranchant des différents éléments.

Tous les calculs sont faits à l'aide des formules classiques de résistance des matériaux.

### 7.2.1 Formules classiques de résistance des matériaux

Les figures 7.2 à 7.5 illustrent les différentes formules de poutres utilisées pour les cas de charges rencontrés.

POUTRE CONTINUE SUR 3 APPUIS OU PLUS, CHARGÉE UNIFORMÉMENT (VALEUR APPROCHÉE)



$$M_{\max} = \frac{wL^2}{10} \text{ N.m} = \frac{wl^2}{10000} \text{ N.mm}$$

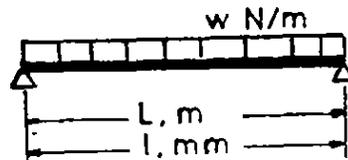
$$fl_{\max} = (wl^4)/(145 \times 1000EI) \text{ mm}$$

$$V_{\max} = 0.6 wL \text{ N}$$

$$V = 0.6 w(L - 2h/1000) \text{ N (valeur modifiée en négligeant la charge à l'intérieur d'une distance h des appuis)}$$

---

POUTRE SIMPLEMENT SUPPORTÉE, CHARGÉE UNIFORMÉMENT



$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8} \text{ N.m} = \frac{wl^2}{8000} \text{ N.mm}$$

$$fl_{\max} = (5wl^4)/(384 \times 1000EI) \text{ mm}$$

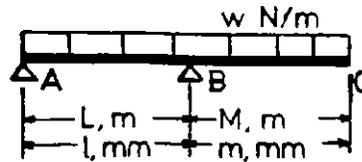
$$V_{\max} = wL/2 \text{ N}$$

$$V = (w/2) \times (L - 2h/1000) \text{ N (valeur modifiée en négligeant la charge à l'intérieur d'une distance h des appuis)}$$

---

Fig. 7.2 Formules classiques de résistance des matériaux

POUIRE AVEC UNE PORTÉE EN PORTE À FAUX, CHARGÉE UNIFORMÉMENT



$$M_{\max A - B} = (w/8L^2) (L + M)^2 (L - M)^2 \text{ N.m}$$

$$= (w/8000l^2) (1 + m)^2 (1 - m)^2 \text{ N.mm}$$

$$M_B = wM^2/2 \text{ N.m}$$

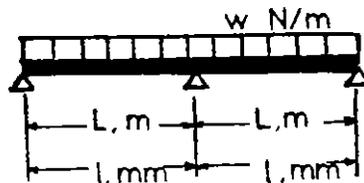
$$= wm^2/2000 \text{ N.mm}$$

$$fl_C = wm(4m^2l - l^3 + 3m^3)/(1000 \times 24EI) \text{ mm}$$

$$fl_x \text{ à } x \text{ mm de A} = wx(l^4 - 2l^2x^2 + lx^3 - 2m^2l^2 + 2m^2x^2)/(1000 \times 24EI) \text{ mm}$$

$$V_{\max B} = w(L^2 + M^2)/2L \text{ N}$$

POUIRE CONTINUE SUR 2 PORTÉES ÉGALES, CHARGÉE UNIFORMÉMENT



$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8} \text{ N.m} = \frac{wl^2}{8000} \text{ N.mm}$$

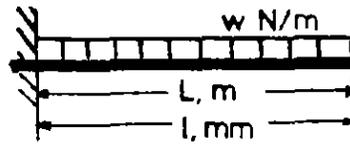
$$fl_{\max} = (wl^4)/(185 \times 1000EI) \text{ mm}$$

$$V_{\max} = (5wL)/8 \text{ N}$$

$V = (5w/8) (L - 2h/1000) \text{ N}$  (valeur modifiée en négligeant la charge à l'intérieur d'une distance h des appuis)

Fig. 7.3 Formules classiques de résistance des matériaux

POIVRE ENCASTRÉE À UNE EXTRÉMITÉ, CHARGÉE UNIFORMÉMENT

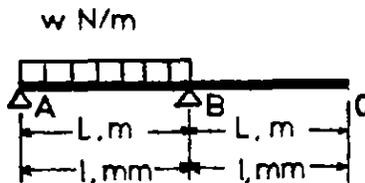


$$M_{\max} = \frac{wL^2}{2} \text{ N.m} = \frac{wl^2}{2000} \text{ N.mm}$$

$$fl_{\max} = (wl^4)/(1000 \times 8EI) \text{ mm}$$

$$V_{\max} = wL \text{ N}$$

POIVRE AVEC UNE PORTÉE EN PORTE À FAUX, CHARGÉE UNIFORMÉMENT SUR UNE TRAVÉE



$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8} \text{ N.m} = \frac{wl^2}{8000} \text{ N.mm}$$

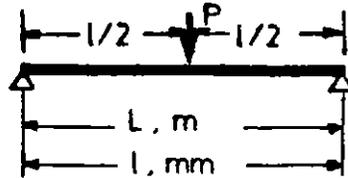
$$fl_{\max} = (5wl^4)/(384EI \times 1000) \text{ mm}$$

$$fl_C = (wl^3m)/(1000 \times 24EI) \text{ mm}$$

$$V_{\max} = wL/2 \text{ N}$$

Fig. 7.4 Formules classiques de résistance des matériaux

POUIRE SUR 2 APPUIS, CHARGE CONCENTRÉE À MI-PORTÉE



$$M_{\max} = PL/4 \text{ N.m}$$
$$= PL/4 \text{ N.mm}$$

$$fl_{\max} = Pl^3/4000EI \text{ mm}$$

---

Légende:

- $M_{\max}$  = Moment fléchissant maximal
- $fl_{\max}$  = Flèche maximale
- $V_{\max}$  = Effort tranchant maximal
- $V$  = Effort tranchant
- $E$  = Module de Young  $N/mm^2$
- $I$  = Moment d'inertie de la section  $mm^4$

Fig. 7.5 Formules classiques de résistance des matériaux

### 7.2.2 Déflexion

La qualité de la finition des travaux détermine la flèche admissible. Le coffrage doit être dimensionné pour que les déflexions n'excèdent pas la flèche admissible. Autrement les vagues, bosses, et possiblement des fissures vont gâcher l'apparence du béton malgré que l'ouvrage soit structuralement résistant.

La flèche maximale approchée pour une poutre continue sur 4 appuis et plus (3 portées et plus) est:

$$f_{l_{\max}} = \frac{wl^4}{145EI \times 1000} \quad \text{mm}$$

Avec:  $f_{l_{\max}}$  = flèche maximale, mm  
 $w$  = charge uniformément répartie, N/m  
 $l$  = portée, mm

Le Code national du bâtiment du Canada suggère 1/360 comme flèche admissible.

En faisant  $f_{l_{\max}} = 1/360$ , on détermine la portée admissible d'une membrure de coffrage.

$$\begin{aligned} \frac{l}{360} &= \frac{wl^4}{1000 \times 145EI} \\ l &= \sqrt[3]{\frac{1000 \times 145EI}{360w}} \\ l &= 7.385 \sqrt[3]{EI/w} \quad \text{mm} \quad \text{(I)} \end{aligned}$$

De même, pour une poutre simplement appuyée (supportée) sur 2 appuis

$$f_{l_{\max}} = \frac{5wl^4}{384EI \times 1000} \quad \text{mm}$$

En faisant  $f_{l_{\max}} = 1/360$  la portée admissible devient

$$\begin{aligned} l &= \sqrt[3]{\frac{384 \times 1000 \times EI}{5w \times 360}} \\ \text{soit} \quad l &= 5.975 \sqrt[3]{\frac{EI}{w}} \quad \text{mm} \quad \text{(II)} \end{aligned}$$

Avec:

$f_{l_{max}}$ : flèche maximale en mm

w: charge uniformément répartie en N/m

l: portée en mm

E: module de Young en N/mm<sup>2</sup>

I: moment d'inertie en mm<sup>4</sup>

### 7.2.3 Flexion

Le critère de conception pour la flexion est basé sur la contrainte admissible en flexion du matériau utilisé.

1) Pour une poutre simplement appuyée, chargée uniformément, le moment fléchissant maximal est:

$$M_{max} = \frac{wl^2}{8}$$

2) Pour une poutre continue sur 3 appuis et plus, chargée uniformément, le moment fléchissant maximal est:

$$M_{max} = \frac{wl^2}{10}$$

Où:

w = charge uniformément répartie

l = portée

Le moment résistant de la membrure est donné par la formule d'équarrissage:

$$M_r = fS$$

$M_r$ : moment résistant

f : contrainte de flexion admissible dans la fibre extrême

S : module de section ( $bh^2/6$  pour une membrure rectangulaire)  
Comme le moment résistant de la membrure doit être égal ou supérieur au moment de sollicitation, la portée admissible maximale est obtenue en faisant

$$M_r = M_{\max}$$

Pour une poutre simplement appuyée, chargée uniformément

$$\begin{aligned}M_{\max} &= wl^2/8000 \text{ N.mm} \\fS &= wl^2/8000 \\l &= 89.44 \sqrt{fS/w} \text{ mm} \quad (\text{III})\end{aligned}$$

Pour une poutre continue, 3 portées et plus

$$\begin{aligned}M_{\max} &= wl^2/10000 \text{ N.mm} \\fS &= wl^2/10000 \\l &= \sqrt{10000fS/w} \\l &= 100 \sqrt{fS/w} \text{ mm} \quad (\text{IV})\end{aligned}$$

Où:

$M_{\max}$ : moment fléchissant maximum en N.mm

w: charge uniformément répartie en N/m

l: portée en mm

f: contrainte en  $N/mm^2$

S: module de section en  $mm^3$  ( $=bh^2/6$  pour une section rectangulaire)

7.2.4 Cisaillement (voir Fig. 7.6)

Soit une poutre chargée AB

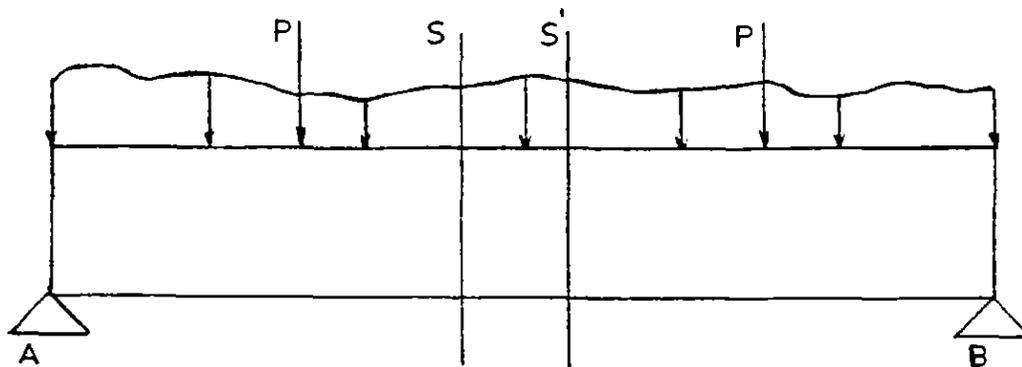


Fig. 7.6 Cisaillement

Considérons deux sections voisines S et S' infiniment proches. (Fig. 7.7)

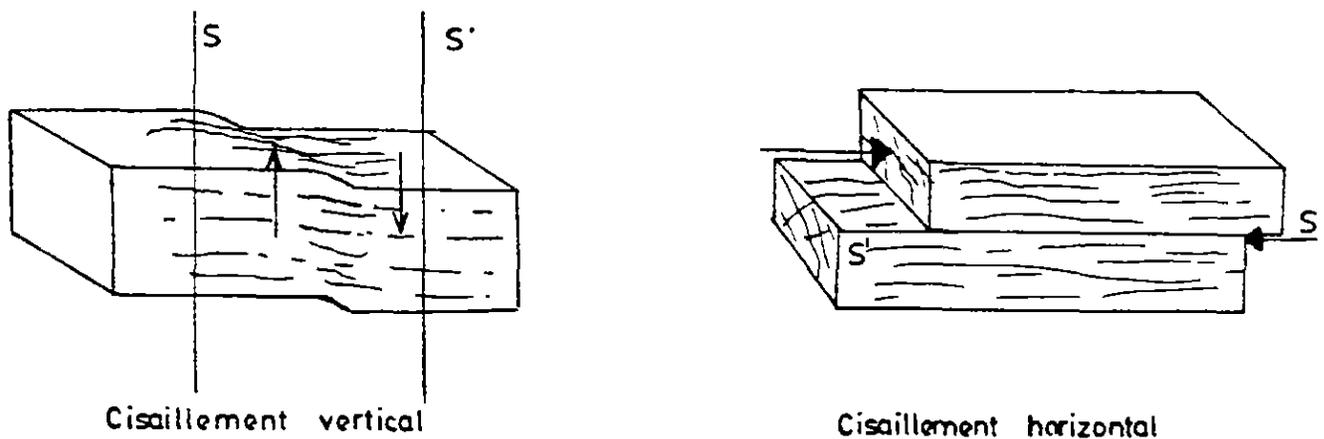


Fig. 7.7 Cisaillement horizontal et vertical

Sous l'effet du chargement, la section S a tendance à se déplacer verticalement par rapport à sa section voisine S'.

Cette tendance à se déplacer perpendiculairement par rapport à l'axe de la poutre s'appelle le cisaillement vertical. Si le déplacement a lieu horizontalement, parallèle à l'axe de la poutre, c'est le cisaillement horizontal.

#### 7.2.4.1 Poutres en bois

La contrainte de cisaillement horizontal dans une poutre uniformément chargée est donnée par la formule suivante:

$$H = \frac{3V}{2bh} \text{ N/mm}^2 \quad (V)$$

Où:

V =  $wL/2$  poutre sur deux appuis, uniformément chargée

V =  $0.6wL$  poutre sur 4 appuis, et plus, uniformément chargée

L = portée en m

w = charge uniforme, N/m

b = largeur de la poutre, mm

h = hauteur de la poutre, mm

#### 7.2.4.2 Poutres en acier

$$v = V/A \text{ N/mm}^2 \quad (VI)$$

Où:

V = effort tranchant maximum, en N

A = aire de l'âme de la poutre,  $\text{mm}^2$

#### 7.2.4.3 Contre-plaqué

$$v = VQ/bI \text{ N/mm}^2 \quad (VII)$$

Pour 7.2.4.2 et 7.2.4.3

$V = wL/2$  poutre simplement appuyée, uniformément chargée

$V = 0.6wL$  poutre 4 appuis et uniformément chargée

$L$  = portée en m

$w$  = charge uniforme, N/m

$b$  = largeur de la poutre, mm

$h$  = hauteur de la poutre, mm

$I$  = moment d'inertie, mm<sup>4</sup>

Le terme  $Ib/Q$  (mm<sup>-2</sup>) pour le contre-plaqué est donné par les tables du manufacturier.

#### 7.2.5 Charges concentrées

Les méthodes "simplifiées de calcul" explicitées ici supposent qu'on a des charges uniformément réparties. Cette simplification est justifiée dans la majorité des cas de coffrage rencontrés. Cependant si on a des charges concentrées espacées de plus du tiers à la moitié de la portée entre les appuis, on fera un calcul plus précis avec les charges concentrées pour déterminer les sollicitations les plus critiques dans ces cas de chargement.

#### 7.2.6 Contrainte de portance

La contrainte de portance (bearing stress) est un élément très important dans la conception des membrures en bois. En effet dans un coffrage de plancher, les solives reposent sur des longerons qui sont eux-mêmes supportés par des étais. Dans un coffrage de mur, les montants s'appuient sur les raidisseurs qui sont eux-mêmes retenus en place par un système de coins et de tirants. Toutes ces membrures doivent, soit avoir une surface portante suffisante, soit un moyen d'ajustement pour éviter l'écrasement du bois. Autrement le coffrage va se tasser et il perdra son alignement.

Pour des surfaces portantes, moins de 152.4 mm (6") de long et pas plus de 76.2 mm (3") de l'extrémité d'une membrure, la contrainte de compression maximale admissible est égale à la contrainte de

compression perpendiculaire aux veines  $\times (1 + 10)/1 \text{ N/mm}^2$ .

Où:

$l$  : longueur de la surface portante en mm, mesurée le long des veines.  
Pour des surfaces de contact circulaires,  $l$  sera pris égal au diamètre.

Pour des surfaces de contact étroites, le comité ACI 347 recommande les coefficients multiplicateurs suivants:

Longueur de la surface en mm	12.7	25.4	38.0	51.0	76.2	102.0	152.4
Coefficient multiplicateur	1.75	1.38	1.25	1.19	1.13	1.10	1.0

On va illustrer à l'aide de deux exemples suivants le calcul de la contrainte de portance.

#### 7.2.6.1 Exemple de calcul de la contrainte de portance rondelles-bois:

(Fig. 7.8)

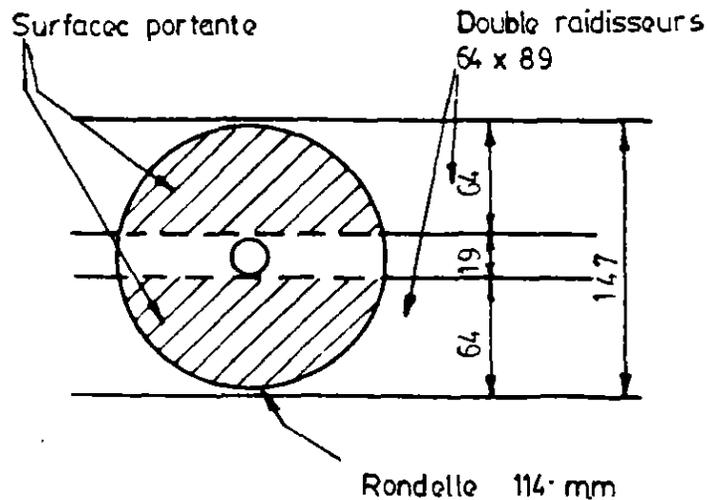


Fig. 7.8 Contrainte d'appui rondelles - bois

Données:

- sapin Douglas
- double raidisseur 64 x 89
- tirants de 19.05 mm (3/4 ") de diamètre
- charge sollicitant les tirants 20 kN
- rondelles de 114 mm (4.5 ") de diamètre
- contrainte admissible  $\perp$  aux veines = 2.65 N/mm<sup>2</sup>

Comme la longueur de la surface portante est inférieure à 152.4 mm, la contrainte admissible  $\perp$  aux veines est pondérée par le facteur  $(1 + 10)/1$ , soit:

$$\begin{aligned}\text{Contrainte admissible utilisée} &= 2.65 \times (114 + 10)/114 \\ &= 2.65 \times 1.087 \\ &= 2.88 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Surface portante} &= \text{surface de la rondelle} - \text{surface de la bande de} \\ &\quad 19 \text{ mm qui n'est pas en contact avec le bois} \\ &= \frac{\pi d^2}{4} - 114 \times 19 \\ &= \frac{22 \times 114^2}{7 \times 4} - 2166 \\ &= 8045.1 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Contrainte de portance = 20000/8045.1 = 2.48 N/mm<sup>2</sup>, ce qui est inférieure à la contrainte admissible

#### 7.2.6.2 Exemple de calcul de la contrainte de portance dans un coffrage de plancher (Fig. 7.9)

Données:

Solives 38 mm x 89 mm S4S @ 400mm c/c

Longerons 64 mm x 140 mm S4S @ 1200 mm c/c

Étais en bois 89 mm x 89 mm @ 1200 mm c/c

Charge supportée 8 kN/m<sup>2</sup>

Charge moyenne par étai = surface tributaire x 8 kN/m<sup>2</sup>

$$\text{Charge moyenne par étai} = \frac{1200}{1000} \times \frac{1200}{1000} \times 8 = 11.52 \text{ kN}$$

Longueur de la surface portante = 89 mm

$c_{\perp}$  : contrainte perpendiculaire.

$c_{\perp}$  aux veines =  $2.65 \text{ N/mm}^2$

$c_{\perp}$  ajustée, admissible =  $2.65 \times (89 + 10)/89 = 2.65 \times 1.11$   
=  $2.95 \text{ N/mm}^2$

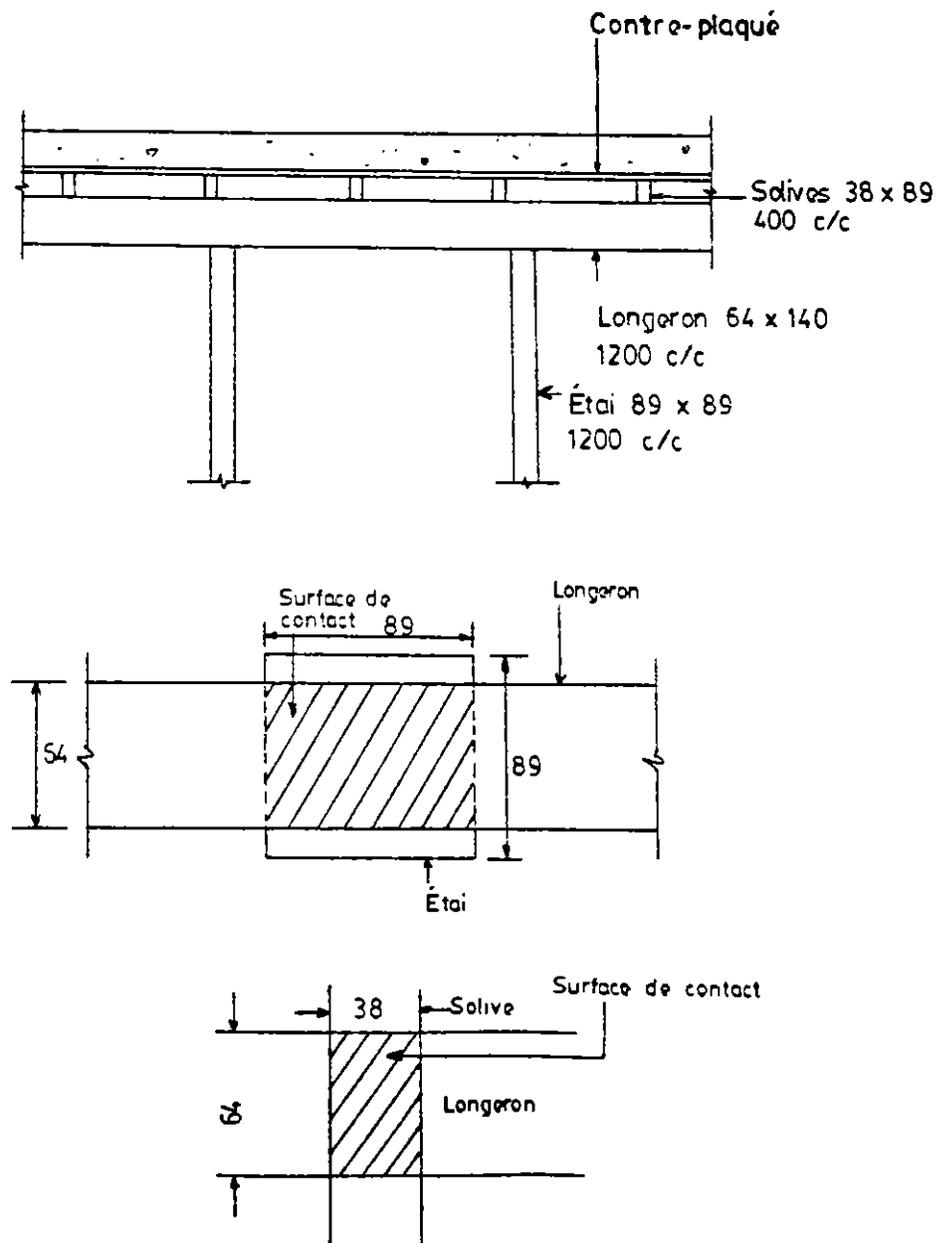


Fig. 7.9 Calcul de la contrainte de portance dans un coffrage de plancher

### 7.2.6.3 Étai - Longeron

Surface de contact entre l'étais et le longeron

$$64 \times 89 = 5696 \text{ mm}^2$$

$$c_{\perp} \text{ aux veines} = 11520/5696 = 2.02 \text{ N/mm}^2 < c_{\perp} = 2.95 \text{ N/mm}^2$$

### 7.2.6.4 Longeron - Solive

Charge moyenne transmise au longeron par la solive

$$\frac{400}{1000} \times \frac{1200}{1000} \times 8 = 3.84 \text{ kN}$$

Longueur de la surface portante = 64 mm

$$c_{\perp} \text{ admissible} = 2.65 \times (64 + 10)/64 = 3.6 \text{ N/mm}^2$$

Aire de contact = 38 x 64 = 2432 mm<sup>2</sup>

$$c_{\perp} \text{ actuelle} = 3840/2432 = 1.6 \text{ N/mm}^2 < c_{\perp} = 3.6 \text{ N/mm}^2$$

satisfaisant

### 7.2.7 Contreventement latéral pour le coffrage de mur

Le code local renseignera sur les sollicitations minimales pour lesquelles le coffrage doit être contreventé. Comme les forces latérales peuvent agir dans n'importe quelle direction, on doit prévoir le contreventement pour reprendre des forces de traction et de compression.

## 7.3 CONCEPTION DU COFFRAGE POUR LES MURS, DALLES ET POUTRES

### 7.3.1 Principes

On suppose que la poussée exercée par le béton sur le coffrage est connue, ainsi que les tolérances de déformation sous cette poussée. Il faut alors résoudre successivement un certain nombre de problèmes:

- 1) Nature et épaisseur de la paroi coffrante qui conditionnent l'écartement des raidisseurs primaires (solives par exemple);

2) Nature et dimensionnement des raidisseurs primaires qui conditionneront la position et l'écartement des raidisseurs secondaires (longerons par exemple).

En fait on cherchera toujours à définir d'abord le schéma général qui comprend:

- (a) la nature et l'épaisseur de la paroi coffrante;
- (b) le nombre et la position des tiges d'entretoise;
- (c) le nombre de lits de raidisseurs et la nature de ceux-ci.

En fonction de ces hypothèses, on détermine alors le dimensionnement et l'écartement des raidisseurs.

#### 7.4 MURS:

Habituellement pour faciliter la construction, les montants et le contre-plaqué ont la même épaisseur sur toute la hauteur du coffrage. Les tirants et les raidisseurs sont aussi espacés régulièrement sur toute la hauteur du mur pour faciliter le montage et pour assurer un bon fini des ouvrages après le décoffrage.

##### 7.4.1 Méthode

- 1) Estimer la pression maximale de calcul d'après les conditions du bétonnage.
- 2) Déterminer l'épaisseur du contre-plaqué et l'espacement des montants. Un des deux sera prédéterminé, basé sur la disponibilité des matériaux et des coûts.

##### 7.4.1.1 Flexion

A. Si on fixe l'épaisseur du contre-plaqué, on calcule la portée maximale admissible du contre-plaqué, qui est l'espacement requis des

montants.

B. Si on fixe l'espacement des montants, on calcule le module de section  $S$  requis, puis on sélectionne le bois, contre-plaqué et autres matériaux à partir des tables de manufacturier.

#### 7.4.1.2 Déflexion

A. Si on fixe l'épaisseur du contre-plaqué, on calcule la portée maximale admissible du contre-plaqué qui respectera le critère de déflexion.

B. Si on fixe l'espacement des montants, on calcule le moment d'inertie  $I$  et on sélectionne le contre-plaqué requis à partir des tables du manufacturier.

#### 7.4.1.3 Cisaillement

A. L'épaisseur du contre-plaqué étant fixée, on calcule la portée maximale du contre-plaqué qui satisfait le critère de cisaillement.

B. L'espacement des montants étant fixé, on calcule la section  $bh$ , ou le terme  $IQ/b$  du contre-plaqué, puis on sélectionne le matériau à partir des tables.

### 7.5 DIMENSION DES MONTANTS ET ESPACEMENT DE LEURS RAIDISSEURS

Un des deux est fixé, et l'autre sera calculé pour correspondre avec celui-ci. Si on fixe la dimension des montants, la portée admissible des montants est égale à l'espacement des raidisseurs.

#### 7.5.1 Flexion

A. Connaissant la dimension du montant, on calcule la portée maximale admissible qui est l'espacement requis des raidisseurs. Les montants sont habituellement supposés continus sur 3 portées ou plus, mais pour

des murs de faible hauteur où une ou deux portées sont requises, on utilise la formule de poutre simplement appuyée.

B. Si la portée est prédéterminée par des tirants fixés ou par l'espacement des raidisseurs, on transpose l'équation d'équarrissage pour résoudre le module de section requis  $S$  et puis on sélectionne une membrure avec le module de section requis.

### 7.5.2 Déflexion

A. Si on connaît les dimensions du montant, on calcule la portée maximale admissible qui respecte le critère de flèche admissible.

B. Si la portée du montant est fixée par l'espacement des tirants, résoudre l'équation de la flèche pour  $I$ , et choisir une membrure qui respecte le critère de flèche admissible.

### 7.5.3 Cisaillement

Quand on a choisi l'espacement d'une combinaison de montants et raidisseurs en fonction des critères de flexion et déflexion, on doit vérifier le cisaillement horizontal dans le montant. Si le cisaillement horizontal excède la contrainte admissible, on doit modifier soit la dimension des montants soit changer la portée.

## 7.6 DIMENSION DES RAIDISSEURS ET ESPACEMENT DES SUPPORTS

L'espacement requis pour les supports des raidisseurs détermine l'espacement des tirants. Comme pour les autres membrures, soit la dimension des raidisseurs ou l'espacement des supports est présélectionné et les autres membrures sont conçues pour correspondre. Les raidisseurs comprennent habituellement une double-membrure pour éviter de percer des trous pour loger les tirants. Les doubles membrures offrent aussi une meilleure résistance au voilement.

Les raidisseurs sont sollicités par une série de charges concentrées

provenant des montants; néanmoins pour simplifier les calculs, on peut considérer ces charges concentrées comme une charge équivalente uniformément répartie.

#### 7.6.1 Flexion

A. Si on connaît la dimension des raidisseurs, on calcule la portée maximale admissible qui détermine l'espacement des tirants.

B. Si on présélectionne l'espacement des tirants, on résout l'équation pour  $S$  et on choisit le(s) raidisseur(s) avec le module de section requis. Si on utilise des raidisseurs à double membrure,  $S$  sera le module de section de deux membrures.

#### 7.6.2 Cisaillement

A. Si on connaît la dimension des raidisseurs, on détermine la portée maximale admissible pour satisfaire les critères de cisaillement horizontal.

B. Si on connaît l'espacement des tirants, on résout l'équation pour  $bh$ , qui est l'aire requise de la section du raidisseur. On choisit une paire de membrures convenables pour le cisaillement. À noter que  $bh =$  aire totale de deux membrures.

#### 7.6.3 Déflexion

La déflexion est rarement critique pour les raidisseurs.

#### 7.7 TIRANTS

Si on utilise des tirants ordinaires, on calcule aisément les dimensions des tirants par l'équation suivante:

$$A_{\text{tirant}} = P_{\text{av}} \times A_{\text{contre-plaqué}} / f_s$$

Où:

$A_{\text{tirant}}$  : section tirant,  $\text{mm}^2$

$p_{\text{av}}$  : poussée moyenne sur la surface du contre-plaqué considérée,  $\text{N}/\text{mm}^2$

$A_{\text{contre-plaqué}}$  : section tributaire de contre-plaqué,  $\text{mm}^2$

$f_s$  : contrainte admissible de travail du tirant,  $\text{N}/\text{mm}^2$  (150  $\text{N}/\text{mm}^2$  pour de l'acier de charpente; pour les autres matériaux, on utilise les suggestions du manufacturier).

## 7.8 EXEMPLE D'APPLICATION DU CALCUL DE COFFRAGE DE MUR

Dimensionner le coffrage suivant:

Données:

- mur de 4.60 m de hauteur
- vitesse de bétonnage 1.2 m/h
- vibration interne
- température 15 °C
- coffrage utilisé une seule fois
- contre-plaqué de 22 mm (7/8") en feuille de 1220 x 2440 mm (4'x8')
- tirants de 10 kN

### 7.8.1 Étape 1

#### 7.8.1.1 Détermination de la poussée du béton sur le coffrage

Formule (1) chapitre 6

$$p = 7.2 + \frac{785R}{T + 17.8}$$

$$p = 7.2 + \frac{785 \times 1.2}{15 + 17.8}$$

$$p = 7.2 + 28.7$$

$$p = 35.92 \text{ kN}/\text{m}^2; \text{ on utilise } p = 36 \text{ kN}/\text{m}^2 \text{ pour les calculs}$$

$$23.5h = 23.5 \times 4.6 = 108.1 \text{ kN}/\text{m}^2$$

$$\max p = \min(95.8, 108.1, 36) \text{ kN}/\text{m}^2$$

Utiliser  $p = 36 \text{ kN/m}^2$

La pression est maximale à partir de  $p/23.5 = 36/23.5 = 1.5 \text{ m}$  du haut du coffrage. La distribution de la pression sur le coffrage est (Fig. 7.10):

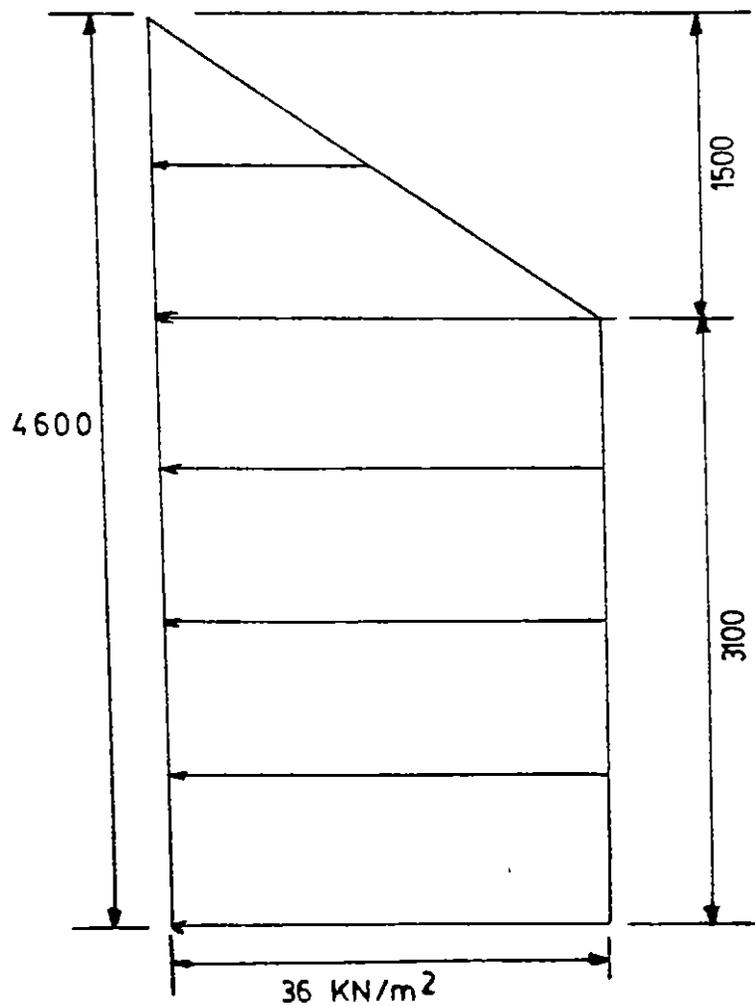


Fig. 7.10 Distribution de la pression sur le coffrage de mur

### 7.8.2 Étape 2 - Détermination de l'espacement des montants

L'épaisseur de la paroi coffrante sera la même sur toute la hauteur du mur et les montants seront uniformément espacés. Comme on utilise des feuilles de contre-plaqué de 1220 mm x 2440 mm (4'x8'), les montants seront espacés pour qu'ils tombent sur les côtés des panneaux. On utilise le contre-plaqué dans la direction forte, c'est-à-dire avec les veines dans le sens de la portée de la poutre. Dans ce cas, ceci implique de placer les 2440 mm (8') du panneau de contre-plaqué horizontalement. Les panneaux vont agir comme des poutres continues.

La détermination de l'espacement des montants se fera d'après les trois vérifications suivantes:

- vérification à la flexion;
- vérification à la déflexion;
- vérification au cisaillement.

#### 7.8.2.1 Vérification à la flexion

Considérons une bande de 1000 mm de largeur de contre-plaqué (Fig. 7.11).

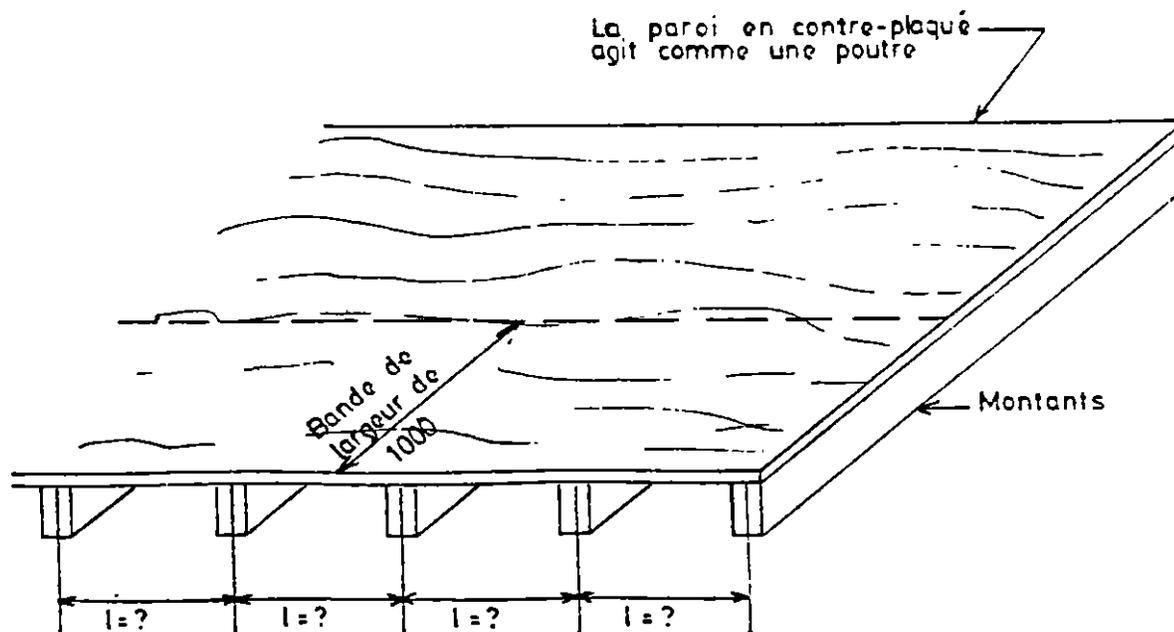


Fig. 7.11 Vérification à la flexion du contre-plaqué

Portée admissible - Résistance à la flexion

$$l = 100 \sqrt{fS/w} \quad \text{formule IV}$$

Table du manufacturier

$$f = 10.65 \text{ N/mm}^2 \quad (1545 \text{ lb/po}^2)$$

Comme on utilise le contre-plaqué une seule fois, on peut augmenter la contrainte admissible "f" de 25 %. D'où

$$f = 10.65 \times 1.25 = 13.31 \text{ N/mm}^2$$

Table du manufacturier

Pour une tranche de 1000 mm de largeur

$S_{\text{effectif}} = 29400 \text{ mm}^3$  quand les veines sont parallèles à la portée.

$$p = 36 \text{ kN/m}^2 = 36000 \text{ N/m}$$

Par mètre linéaire,

$$w = 36 \text{ kN/m}$$

$$l = 100 \sqrt{(13.31 \times 29400/36000)} = 329.7 \text{ mm}$$

C'est la portée maximale admissible pour résister au moment fléchissant.

7.8.2.2 Vérification à la déflexion

La déflexion maximale admissible est d'après le Code national du bâtiment du Canada:

$$1/360 \text{ ou } 1.6 \text{ mm (1/16")}$$

$$\text{Pour } fl = 1/360 ; l = 7.385 \sqrt[3]{EI/w} \quad \text{formule I}$$

$$\text{Pour } fl = 1.6 \text{ mm}; 1.6 = \frac{wl^4}{145EI \times 1000}$$

$$l = 21.95 \sqrt[4]{EI/w}$$

Pour le contre-plaqué :  $E = 10342.5 \text{ N/mm}^2$  (1 500 000 lb/pi<sup>2</sup>)

$I = 379536.45 \text{ mm}^4$  pour le contre-plaqué parallèle à la portée

$$\text{Pour } fl = 1/360, \quad l = 7.385 \times \sqrt[3]{(10342.5 \times 379536.45)/36000} \\ = 352.8 \text{ mm.}$$

$$\text{Pour } fl = 1.6 \text{ mm}, \quad l = 21.95 \times \sqrt[4]{(10342.5 \times 379536.45)/36000} \\ = 398.9 \text{ mm}$$

### 7.8.2.3 Vérification au cisaillement (laminage)

$$v = VQ/Ib = 0.6wL \times Q/Ib \quad \text{formule XI}$$

Table du manufacturier,  $v$  (contrainte de cisaillement admissible pour le laminage) =  $0.45 \text{ N/mm}^2$  ( $65 \text{ lb/po}^2$ )  $\times 1.25$ , soit  $0.56 \text{ N/mm}^2$

Table du manufacturier,  $Ib/Q = 17405 \text{ mm}^2$  ( $8.225 \text{ po}^2$ )

$$0.56 = 0.6 \times 36000 L \times 1/17405$$

$$L = 0.56 \times 17405 / 0.6 \times 36000 = 0.451 \text{ m} = 451 \text{ mm}$$

Les trois vérifications donnent:

- . flexion: portée maximale du contre-plaqué 329.7 mm
- . déflexion: portée maximale du contre-plaqué 352.8 mm
- . cisaillement: portée maximale du contre-plaqué 451 mm

La flexion gouverne. Les montants ne peuvent pas être espacés de plus de 330 mm. Comme le panneau de 1220 x 2440 mm (4'x8') doit avoir des montants de chaque bord pour les supporter, et comme on cherche un espacement égal, le panneau de 2440 mm peut être divisé en 8 espaces égaux, soit  $2440/8 = 305 \text{ mm}$ . On utilise donc cet espacement de 305 mm pour des raisons pratiques de construction.

### 7.8.3 Étape 3

#### 7.8.3.1 Dimension des montants et espacement des raidisseurs (Fig. 7.12)

Pour les montants, on utilise des 38 mm x 89 mm (2"x4") S4S, espacés

à 305 mm.

Poussée maximale agissant sur les montants:  $36 \text{ kN/m}^2 \times \text{espacement des montants en m}$

$$w(\text{montant}) = 36 \text{ kN/m}^2 \times \frac{305}{1000} = 10.98 \text{ kN/m linéaire.}$$

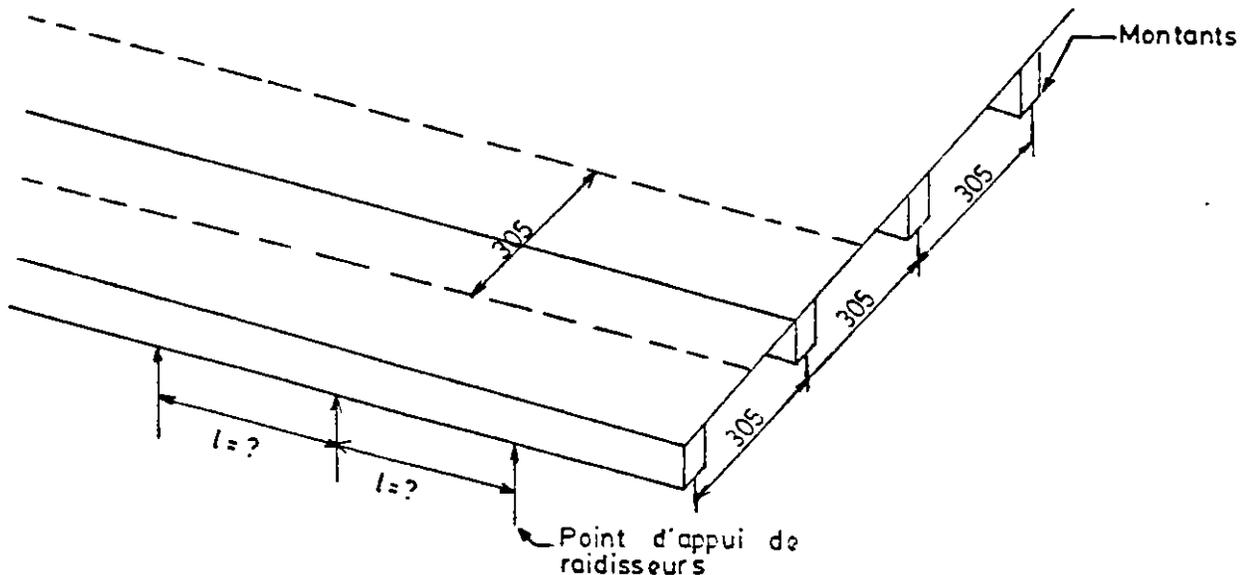


Fig. 7.12 Dimension des montants et espacement des raidisseurs

### 7.8.3.2 Vérification à la flexion

$$l = 100 \sqrt{fS/w} \quad \text{formule IV}$$

$$f = 7.24 \text{ N/mm}^2 \quad (1050 \text{ lb/po}^2)$$

Comme on utilise le coffrage une seule fois, on peut majorer la contrainte admissible de 25 %.

$$f = 7.24 + 25\% \text{ de } 7.24$$

$$f = 9 \text{ N/mm}^2$$

Pour un 38 x 89 S4S

$$S = 50144.41 \text{ mm}^3$$

$$l = 100 \sqrt{9 \times 50144.41 / 10980}$$

$$= 100 \sqrt{41.1}$$

$$l = 641.1 \text{ mm}$$

### 7.8.3.3 Vérification à la déflexion

Déflexion admissible Min (1/360, 3.2 mm (1/8"))

Pour  $f_l = 1/360$

$$l = 7.385 \sqrt[3]{EI/w} \quad \text{formule I}$$

Pour  $f_l = 3.2 \text{ mm}$

$$3.2 = \frac{wl^4}{1000 \times 145EI}$$

$$l = 26.1 \sqrt[4]{EI/w}$$

$$I = 2\,231\,000 \text{ mm}^4 \quad (5.36 \text{ po}^4)$$

$$E = 10342.5 \text{ N/mm}^2 \quad (1\,500\,000 \text{ lb/po}^2)$$

$$w = 10980 \text{ N/m linéaire}$$

Pour  $f_l = 1/360$

$$l = 7.385 \sqrt[3]{10342.5 \times 2\,231\,000 / 10980}$$

$$l = 945.9 \text{ mm}$$

Pour  $f_l = 3.2 \text{ mm}$

$$l = 26.1 \sqrt[4]{10342.5 \times 2\,231\,000 / 10980}$$

$$l = 993.7 \text{ mm.}$$

### 7.8.3.4 Vérification au cisaillement

$$H = 0.96 \text{ N/mm}^2 \quad (140 \text{ lb/po}^2) + 25\% \text{ de } 0.96 = 1.21 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{un seul usage})$$

$$\text{Poutre continue : } H = \frac{0.9w}{bh} \times \left( L - \frac{2h}{1000} \right) \text{ N/mm}^2$$

Où

h : hauteur de la poutre, mm

b : largeur de la poutre, mm

w : charge uniforme/m linéaire

$$L = Hbh/0.9w + 2h/1000 \text{ m}$$

38 mm x 89 mm S4S:

$$b_{\text{actuel}} = 38 \text{ mm}$$

$$h_{\text{actuel}} = 89 \text{ mm}$$

$$w = 10980 \text{ N/m}$$

$$L = (1.21 \times 38 \times 89 / 0.9 \times 10980) + \frac{2 \times 89}{1000}$$

$$= 0.4141 + 0.178$$

$$= 0.5921 \text{ m} = 592.1 \text{ mm}$$

Les trois vérifications donnent:

- . flexion: portée maximale des montants 641.1 mm
- . déflexion: portée maximale des montants 945.9 mm
- . cisaillement: portée maximale des montants 592.1 mm

Le calcul de portées maximales des montants calculées ci-dessus montre que le cisaillement gouverne et les raidisseurs porteurs ne doivent pas être espacés de plus de 592.1 mm où la pression maximale est de 36 kN/m<sup>2</sup>. Un espacement plus grand est théoriquement possible près du haut du coffrage, à partir de 1.5 m du haut où la pression passe de 36 à 0 kN/m<sup>2</sup>.

Dans cette partie du coffrage, le raidisseur de haut peut-être espacé à une distance supérieure à 592.1 mm. Habituellement, le premier raidisseur de haut est placé à 300 mm (1') du haut de coffrage et le dernier raidisseur à 300 mm (1') du bas du coffrage. Cependant, l'espacement exact est déterminé en considérant les dispositions constructives. Soit 300 mm à partir du haut et du bas du coffrage pour les raidisseurs du haut et du bas respectivement, 8 portées de montants à 500 mm, ce qui fait au total:

$$2 \times 300 + 8 \times 500 = 4600 \text{ mm (Voir Fig. 7.13)}$$

#### 7.8.4 Étape 4

##### 7.8.4.1 Dimensionnement des raidisseurs et espacement de tirants

Dessiner le diagramme de pression à côté du diagramme d'espacement de raidisseur et déterminer la charge uniformément répartie par unité de largeur (m) et en supposant que chaque raidisseur supporte la charge sur le coffrage à mi-distance des raidisseurs adjacents. Ceci donne la charge uniforme équivalente par mètre linéaire de raidisseur (Voir Fig. 7.13).



On utilise des tirants avec une charge de travail sécuritaire de 10.0 kN. L'espacement des tirants sera déterminé à l'étape 5 qui suivra. Le dimensionnement des raidisseurs se fera avec l'espacement des tirants calculé à l'étape 5.

#### 7.8.4.2 Vérification à la flexion

On connaît la portée des raidisseurs (égale à l'espacement des tirants calculé à l'étape 5) et le chargement agissant sur eux. On remplace  $M_{\max}$  par  $fS$  dans l'équation d'équarrissage et on résout pour  $S$ .

$$fS = wl^2/10$$

$$S = wl^2/10f$$

$$f = 7.24 + 25\% \text{ de } 7.24 = 9 \text{ N/mm}^2 \text{ (usage unique)}$$

$$l = \text{espacement des tirants retenu (voir étape 5)} = 500 \text{ mm}$$

$$w = 36 \text{ kN/m} \times \frac{500}{1000} = 18 \text{ kN/m}$$

$$S = (18 \times 500^2) / (10 \times 9) = 50\,000 \text{ mm}^3 \quad \text{Module de section requis}$$

On choisit un double raidisseur 38x89 (2"X4")

$$S = 2 \times \frac{bh^2}{6} = 2 \times \frac{38 \times 89^2}{6} = 100\,333 \text{ mm}^3 \quad \text{satisfaisant}$$

#### 7.8.4.3 Vérification au cisaillement

En supposant qu'on a une charge uniforme équivalente

$$H = 0.9w / bh \times (L - \frac{2h}{1000})$$

$$H = 0.9 \times 18000 / (2 \times 38 \times 89) \times (0.500 - 2 \times \frac{89}{1000})$$

$$H = 0.77 \text{ N/mm}^2 < 1.21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{satisfaisant}$$

### 7.8.5 Étape 5

#### 7.8.5.1 Conception des tirants

On suppose qu'on utilise des tirants dont la résistance admissible est de 10 kN. Tous les tirants ne reprennent pas la même charge; on calcule l'espacement pour les tirants les plus sollicités et on utilisera cet espacement pour l'ensemble du coffrage pour faciliter le percement des trous dans le contre-plaqué.

Par mètre linéaire de raidisseur, la charge sur le tirant le plus sollicité est égale à 19.8 KN (voir fig. 7.13).

$$\frac{\text{capacité du tirant}}{\text{charge sur raidisseur}} = \frac{10000}{19800} = 0.505 \text{ m} = 505 \text{ mm}$$

Prévoir des tirants à chaque 500 mm

### 7.8.6 Étape 6

#### 7.8.6.1 Vérification de la portance

Surface d'appuis.

Les points suivants doivent être vérifiés:

- contrainte de palier montant-raisseur;
- contrainte de palier coins tirants-raisseurs.

Pour la c aux veines pour le Sapin Douglas, le manufacturier recommande une contrainte de  $1.25 \times 2.62 = 3.27 \text{ N/mm}^2$  pour ce type de coffrage

Tirants:

Au point du chargement maximum, la charge agissant sur un tirant est égale à l'espacement du tirant multiplié par la charge / m linéaire sollicitant ce dernier, soit

$$\frac{500}{1000} \times 19.8 = 9.9 \text{ kN}$$

La surface du coin étant irrégulière, on suppose que la surface de contact entre les coins et les raidisseurs est égale à  $2900 \text{ mm}^2$

$$\text{Contrainte de palier} = \frac{9900}{2900} = 3.41 \text{ N/mm}^2$$

Pour une surface de contact de  $51 \text{ mm}$  ( $2''$ ) de longueur, la contrainte admissible perpendiculaire aux veines est égale à :

$$3.27 \times 1.19 = 3.89 \text{ N/mm}^2 \text{ (voir paragraphe 7.2.6)}$$

Cette contrainte est inférieure à la contrainte admissible de  $3.89 \text{ N/mm}^2$  et donc satisfaisante.

#### 7.8.6.2 Montant-raisseur (Fig. 7.14):

$$\text{Surface de contact} = 2 \times (38 \times 38) = 2888 \text{ mm}^2$$

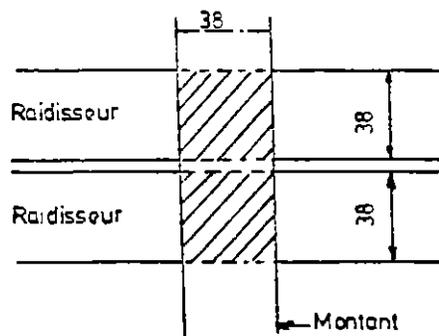


Fig. 7.14 Surface de contact montant - raidisseur

La charge maximale transférée des montants aux raidisseurs est égale à la charge maximale sur les montants multipliée par l'espacement maximum des raidisseurs, soit

$$18 \text{ kN/m}^2 \times \frac{500}{1000} = 9 \text{ kN}$$

Contrainte =  $9000 / 2888 = 3.10 \text{ N/mm}^2 < 3.89 \text{ N/mm}^2$ , ce qui est satisfaisant.

La figure 7.15 illustre le coffrage qu'on vient de calculer

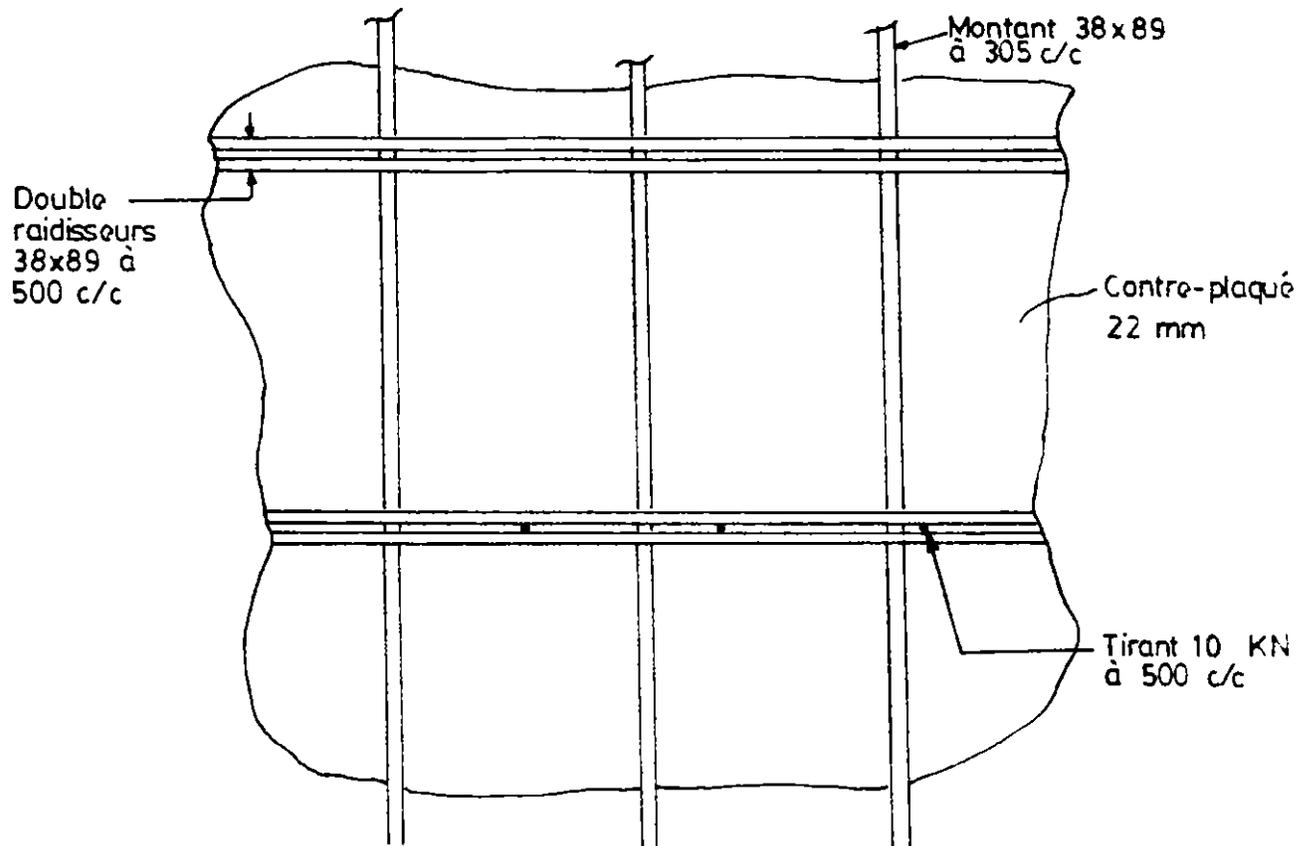


Fig. 7.15 Plan de coffrage du mur

## 7.9 EXEMPLE D'APPLICATION DE CALCUL DU COFFRAGE D'UN PLANCHER

Il n'existe pas de recette pour concevoir le coffrage d'une dalle puisque les conditions varient d'une dalle à l'autre.

Les démarches explicitées pour le mur de coffrage restent valables.

Dimensionner le coffrage de la dalle suivante:

Données:

- épaisseur de la dalle 200 mm
- densité du béton 25 kN/m<sup>3</sup>
- épaisseur de contreplaqué 25.4 mm (1")
- sapin Douglas pour l'ossature
- hauteur du plafond 2.75 m
- plancher de 9 m X 9 m

Le coffrage sera utilisé une seule fois

### 7.9.1 Étape 1

#### 7.9.1.1 Estimer le poids

$$\text{Poids permanent du béton + acier } \frac{200}{1000} \times 25 = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Surcharge recommandée} \quad 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Charge de conception} \quad 10 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Charge par mètre linéaire, } w = 10 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 10 \text{ kN/m}$$

7.9.2 Étape 2

7.9.2.1 Conception du contre-plaqué et détermination de l'espacement des solives (Fig. 7.16):

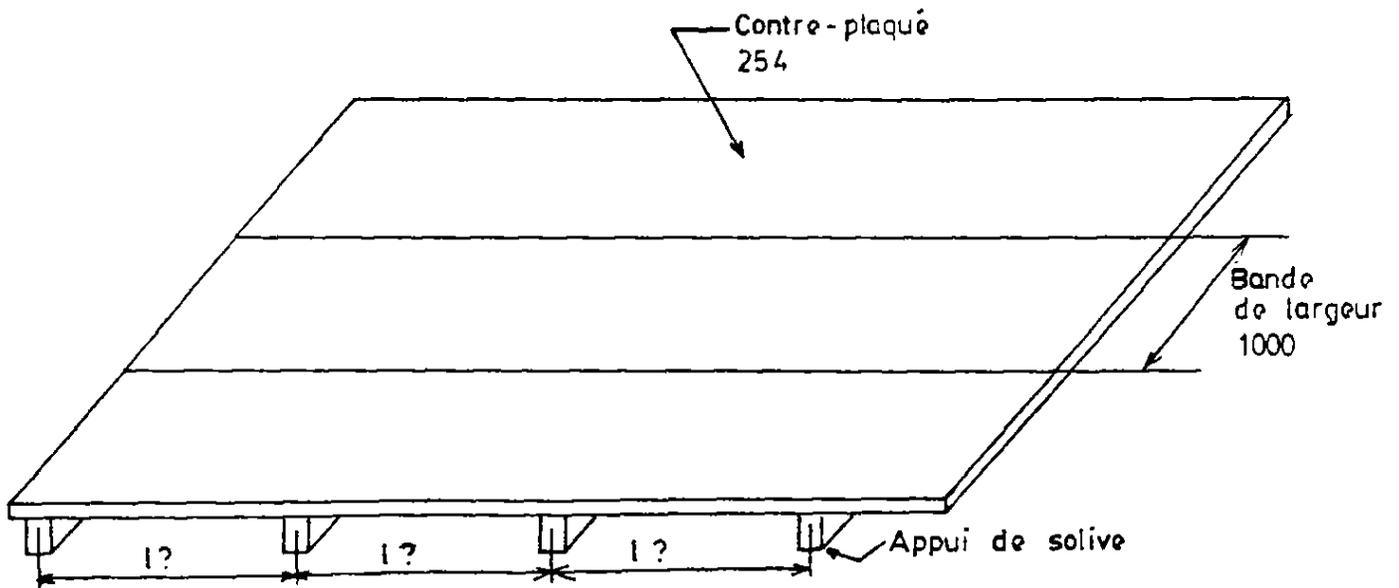


Fig. 7.16 Espacement des solives

On considère une tranche de 1000 mm de largeur. On détermine la portée maximale du contre-plaqué, qui est l'espacement des solives.

Pour une tranche de 1000 mm de largeur

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 19^3}{12} = 576107.7 \text{ mm}^4$$

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{1000 \times 19^2}{6} = 60483.75 \text{ mm}^3$$

D'après la table du manufacturier, les caractéristiques mécaniques du bois ajustées pour un chargement à court terme sont:

$$f = 7.24 \times 1.25 \times 0.86 = 7.78 \text{ N/mm}^2$$

$$H = 0.96 \times 1.25 \times 0.97 = 1.17 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 0.97 \times 10342.5 = 10032.3 \text{ N/mm}^2$$

#### 7.9.2.2 Vérification à la flexion

Pour une poutre continue:

La portée maximale admissible est:

$$l = 100 \sqrt{fS/w} \quad \text{formule IV}$$

$$l = 100 \sqrt{(7.78 \times 60483.75)/(10000)}$$

$$l = 686 \text{ mm}$$

#### 7.9.2.3 Vérification à la déflexion

$$fl_{\max} = 1/360 \text{ ou } 1.6 \text{ mm (1/16")}$$

Pour  $fl_{\max} = 1/360$ ,

$$l = 7.385 \sqrt[3]{EI/w} \quad \text{formule I}$$

$$l = 7.385 \sqrt[3]{(10032.3 \times 576107.7/10000)}$$

$$l = 615.16 \text{ mm}$$

Pour  $fl_{\max} = 1.6 \text{ mm}$ ,

$$1.6 = \frac{wl^4}{1000 \times 145EI}$$

$$l = 21.95 \sqrt[4]{EI/w}$$

$$l = 21.95 \sqrt[4]{(10032.3 \times 576107.7/10000)}$$

$$l = 605.22 \text{ mm}$$

#### 7.9.2.4 Vérification au cisaillement

$V = 0.6wL$  pour une poutre continue

$H = 3V/2bh = 3 \times 0.6 wL/2bh$  formule V

$H = 0.9wL/bh$

$L = Hbh/0.9w = \frac{1.17 \times 1000 \times 19.05}{0.9 \times 10000} = 2.4765 \text{ m} = 2476.5 \text{ mm}$

Les trois vérifications donnent:

- . flexion: portée maximale du contre-plaqué 686 mm
- . déflexion: portée maximale du contre-plaqué 605.22 mm
- . cisaillement: portée maximale du contre-plaqué 2476.5 mm

D'après les vérifications à la flexion, à la déflexion, et au cisaillement, la déflexion gouverne et l'espacement maximal admissible des solives ne doit pas excéder 605 mm. Or, comme on a un plancher de 9 m x 9 m, quinze portées de 600 mm sont satisfaisantes, soit

$$15 \times 600 = 9000 \text{ mm}$$

On choisit 16 solives (poutrelles) espacées à 600 mm c/c.

### 7.9.3 Étape 3

#### 7.9.3.1 Dimension des solives et espacement des longerons pour supporter les solives

On suppose que du bois de 38 mm x 89 mm (2" x 4") est disponible. On va s'en servir comme solives, qui seront continues sur plusieurs portées.

Pour le sapin Douglas, chargé à court terme, d'après le manufacturier

$$H = 1.21 \text{ kN/mm}^2$$

$$E = 10342.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f = 9.05 \text{ N/mm}^2$$

La charge uniforme équivalent  $w$  sur chaque solive est

$$\frac{\text{espacement des solives, mm}}{1000} \times \text{charge de calcul, N/m}^2$$

$$\text{soit } \frac{600}{1000} \times 10000 = 6000 \text{ N/m}$$

Pour les 38 X 89", S4S

$$bh = 38 \times 89 = 3382 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{38 \times 89^3}{12} = 2\,232\,401.8 \text{ mm}^4$$

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{38 \times 89^2}{6} = 50166.33 \text{ mm}^3$$

#### 7.9.3.2 Vérification à la flexion

Pour une poutre continue

$$l = 100 \sqrt{fS/w} \quad \text{formule IV}$$

$$l = 100 \times \sqrt{\frac{9.05 \times 50166.33}{6000}}$$

$$l = 100 \times 8.6987$$

$$l = 869.87 \text{ mm}$$

#### 7.9.3.3 Vérification à la déflexion

Pour une poutre continue, avec une flèche admissible  $f_l = 1/360$

$$l = 7.385 \sqrt[3]{EI/w} \quad \text{formule I}$$

$$l = 7.385 \sqrt[3]{\frac{10342.5 \times 2\,232\,401.8}{6000}}$$

$$l = 1157.26 \text{ mm}$$

#### 7.9.3.4 Vérification au cisaillement

Pour une poutre continue,

$$L = \frac{Hbh}{0.9w} + \frac{2h}{1000} \text{ m}$$

$$l = \frac{1000 Hbh}{0.9 w} + 2h \text{ mm}$$

Pour une section de 38 x 89 S4S, h = 89 mm

$$l = \frac{1000 \times 1.21 \times 38 \times 89}{0.9 \times 6000} + 2 \times 89$$

$$l = 758.76 \quad + \quad 178$$

$$l = 936.76 \text{ mm}$$

Les trois vérifications donnent:

- . flexion: portée maximale des solives 869.87 mm
- . déflexion: portée maximale des solives 1157.26 mm
- . cisaillement: portée maximale des solives 936.76 mm

En comparant les trois portées calculées ci-dessus, on constate que la flexion gouverne. La portée maximale admissible des solives, c'est-à-dire l'espacement maximal des longerons est de 869.76 mm. Comme on a un plancher de 9000 x 9000 mm, on adoptera un espacement de 820 mm pour les longerons, soit:

$$11 \times 820 = 9020 \text{ mm} \quad \text{satisfaisant}$$

#### 7.9.4 Étape 4

##### 7.9.4.1 Dimension des longerons et leur portée

La portée des longerons détermine l'espacement maximal des étais. En premier lieu, on calcule la charge uniforme équivalente w, agissant sur les longerons.

$$w = \frac{\text{espacement des longerons, mm}}{1000} \times \text{charge sur le contre-plaqué N/mm}^2$$

$$= \frac{820}{1000} \times 10000$$
$$= 8200 \text{ N/m linéaire}$$

La charge uniforme équivalente est suffisamment précise. Cependant, si la contrainte dans le(s) longeron(s) choisi(s) est proche de la contrainte admissible ou la flèche est proche de la flèche admissible, on doit reprendre les calculs avec des charges concentrées provenant des solives.

On utilise du sapin Douglas pour les longerons, dont les caractéristiques mécaniques et géométriques sont les mêmes que pour les solives.

Soit des 38 mm X 140 mm comme longerons

$$b = 38 \text{ mm} ; h = 140 \text{ mm}$$
$$bh = 38 \times 140 = 5320 \text{ mm}^2$$
$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{38 \times 140^2}{6} = 124133.33 \text{ mm}^3$$
$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{38 \times 140^3}{12} = 8\,689\,333.33 \text{ mm}^4$$

#### 7.9.4.2 Vérification à la flexion

Pour une poutre continue

$$l = 100 \sqrt{\frac{fS}{w}} \quad \text{formule IV}$$
$$= 100 \times \sqrt{\frac{9.05 \times 124133.33}{8200}}$$
$$= 1170.47 \text{ mm}$$

#### 7.9.4.3 Vérification à la déflexion

$$f_{l_{\max}} = \frac{1}{360}$$

$$l = 7.385 \sqrt[3]{\frac{EI}{W}} \quad \text{formule I}$$

$$l = 7.385 \times \sqrt[3]{\frac{10342.5 \times 2 \ 232 \ 401.8}{8200}}$$

$$l = 1042.83 \text{ mm}$$

#### 7.9.4.4 Vérification au cisaillement

Pour une poutre continue,

$$L = \frac{Hbh}{0.9w} + \frac{2h}{1000} \text{ m}$$

$$l = \frac{1000Hbh}{0.9w} + 2h \text{ mm}$$

$$= \frac{1000 \times 1.21 \times 38 \times 140}{0.9 \times 8200} + 2 \times 5.5$$

$$= 883.25 \text{ mm}$$

Les trois vérifications donnent:

- . flexion: portée maximale des longerons 1170.50 mm
- . déflexion: portée maximale des longerons 1042.83 mm
- . cisaillement: portée maximale des longerons 883.25 mm

Le cisaillement gouverne pour la portée maximale des longerons. En considérant le plancher de 9 m x 9 m et les dispositions constructives, on choisit préférentiellement une portée de 750 mm (30") pour les étais afin de faciliter leur mise en place. Cette portée de 750 (30") est l'espacement des étais.

#### 7.9.5 Étape 5

##### 7.9.5.1 Conception des étais

Solives à 600 mm c/c, longerons à 820 mm c/c, supportés par des étais à 750 mm x 820 mm.

La surface tributaire pour un étau est

$$\frac{820}{1000} \times \frac{750}{1000} = 0.615 \text{ m}^2$$

Charge sollicitant un étau

$$0.615 \text{ m}^2 \times 10 \text{ kN/m}^2 = 6.15 \text{ kN}$$

On peut utiliser des étais commerciaux, ajustables pouvant supporter jusqu'à 13.3 kN (3000 lb). Il faut bien vérifier la hauteur des étais. Si on veut utiliser des étais en bois, on consultera les tables appropriées de manufacturiers pour choisir des étais en bois ou on fera les calculs suivants.

Sapin Douglas 89 x 89 S4S

Hauteur 2.75 m

Module E = 10342.5 N/mm<sup>2</sup>

Calculer la charge que cet étau peut supporter.

Aire = 89 x 89 = 7921 mm<sup>2</sup>

$$l/d = \frac{2750}{89} = 30.9 < 50$$

$$\begin{aligned} \text{Utiliser } c' &= 0.30E/(l/d)^2 \\ &= 0.30 \times 10342.5 / (30.9)^2 \\ &= 3.25 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Charge admissible} = 3.25 \text{ kN/mm}^2 \times 7921 \text{ mm}^2 = 25.72 \text{ kN.}$$

On peut donc aussi utiliser des 89 mm x 89 mm comme étais.

#### 7.9.6 Étape 6 - Vérification de la charge (contrainte) de palier

Les étais supportent les longerons qui eux-mêmes supportent les solives. On doit vérifier pour chaque cas, étais-longerons, longerons-solives, la contrainte de portance pour qu'il n'y ait pas

d'écrasement du bois au point de contact.

#### 7.9.6.1 Longerons reposant sur les étais

On suppose que la tête de l'étais ajustable est de 292 mm (11 1/2") x 92 mm (3 5/8"). Le longeron 38 x 140 a 38 mm de large. Si la tête de l'étais est placée parallèlement au longeron, l'aire de palier (bearing area) est

$$292 \times 38 = 11086 \text{ mm}^2$$

La contrainte de palier (bearing stress) est

$$\frac{\text{charge totale}}{\text{Aire palier}} = \frac{6150}{11086} = 0.55 \text{ N/mm}^2 < c = 3.3 \text{ N/mm}^2$$

#### 7.9.6.2 Longerons supportant les solives

Les deux membrures ont 38 mm de large

$$\text{Aire de palier} = 38 \times 38 = 1444 \text{ mm}^2$$

Charge moyenne transmise par la solive au raidisseur est

espacement solive x portée solive x poids coffrage

$$600/1000 \times 820/1000 \times 10 = 4.92 \text{ kN}$$

Contrainte de palier:

$$\frac{4.92 \times 1000}{1444} \text{ N} = 3.41 \text{ N/mm}^2.$$

La contrainte de palier est légèrement supérieure à la contrainte admissible de 3.31 N/mm<sup>2</sup>, mais acceptable. Aucune vérification supplémentaire est nécessaire. La fig. 7.17 illustre le coffrage.

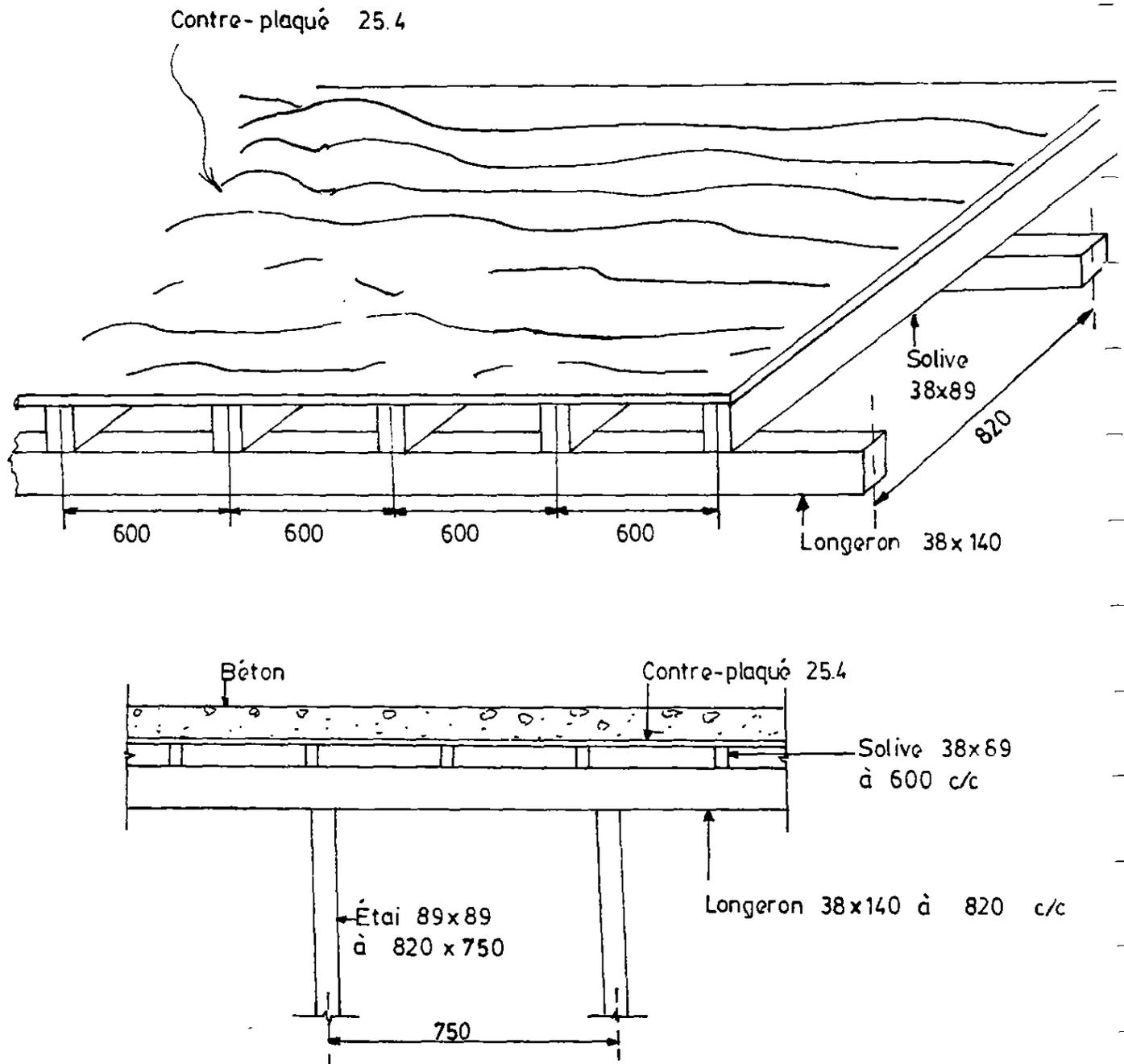


Fig. 7.17 Plan de coffrage du plancher

## Chapitre 8

### QUELQUES ÉLÉMENTS DE SÉCURITÉ COMMUNS À L'ENSEMBLE DU CHANTIER

#### 8.1 GÉNÉRALITÉS

Les différentes tâches et activités à l'intérieur de constructions sont étroitement reliées entre elles, si bien qu'il existe des éléments de sécurité communs à l'ensemble du chantier. Ainsi, nous abordons dans ce chapitre les points suivants: les grues de chantier, les nuisances environnementales (bruit, poussières, substances chimiques, conditions climatiques) et les conditions de vie et d'hygiène.

##### 8.1.1 Les grues de chantier et la sécurité

L'introduction des appareils de levage mécanique sur les chantiers de bâtiments et travaux publics a permis de diminuer les opérations pénibles de transport manuel du matériel et de développer des techniques de construction requérant la manutention de charges lourdes comme par exemple: les banches, les coffrages volants. La grue à tour fixe est l'appareil de levage le plus fréquemment utilisé dans le coffrage industriel et commercial; les grues automotrices le sont moins. La grue joue un rôle central dans l'activité du chantier du fait de l'importance et de la fréquence de manutentions du matériel qui constituent la base même de l'exécution du travail. L'utilisation de la grue comporte certains dangers d'accidents aux origines variées et complexes. Ces dangers sont présents durant le montage, le démontage, l'entretien, la réparation ou l'opération de la grue; nous évoquerons ici de façon résumée certains d'entre eux.

Le montage, le démontage, l'entretien et la réparation de la grue nécessitent l'exécution de travail en hauteur dans des conditions d'accès plus ou moins difficiles suivant la conception de la grue. Il est avantageux sur le plan de l'efficacité et de la sécurité que la grue soit conçue en fonction de techniques de montage prévoyant des accès et des postes de travail requérant des postures stables et non

fatigantes ainsi que des protections contre les chutes comme par exemple: des passerelles ou des plate-formes de travail. De plus, les inspections de sécurité et l'entretien préventif peuvent être négligés du fait même de ces difficultés d'accès et ainsi augmenter les risques d'accidents durant l'opération de la grue. Ce problème est particulièrement aigu lorsque le système du levage des charges se trouve difficilement accessible.

L'appareil de levage doit être choisi suivant la fonction à accomplir. La nécessité d'utiliser un appareil disponible peut conduire à des inadaptations. Mieux vaut dans tous les cas une grue un peu trop puissante que l'inverse. De plus, l'utilisation des équipements ne doit pas dépasser leur durée de vie.

La conception et le montage des grues font l'objet d'une réglementation<sup>6</sup> assurant une certaine sécurité sur le plan technique. Selon G. Ardouin<sup>6</sup>, cette normalisation est plus développée en ce qui concerne les grues à tour par rapport aux grues mobiles. Ce même auteur souligne certains objectifs que doivent remplir les dispositifs de sécurité quels que soient les types de grues.

- . Impossibilité de descente de la charge en chute libre lors du fonctionnement normal, ou en cas de disparition de l'énergie motrice.
- . Limitation de la vitesse de descente de la charge, en vue d'éviter tout emballement.
- . Maintien de la stabilité de l'appareil dans toutes les conditions de service.
- . Interdiction de toute surcharge pouvant entraîner des dommages dans une partie de l'appareil, ou nuire à sa stabilité.
- . Arrêt des divers mouvements en fin de course, afin d'éviter des chocs destructeurs et des ruptures de câbles.

Le grutier doit effectuer bien souvent des manoeuvres délicates du fait de la précision requise et de la proximité de travailleurs. Ces exigences ont été mentionnées lors de diverses opérations de coffrage. Elles impliquent une bonne formation de la part du grutier et du concepteur

du système de commandes et d'une cabine adaptée au travail à effectuer.

- . La conception de la cabine doit permettre un champ visuel couvrant toute la zone d'opération de la grue sans devoir quitter son siège ce qui nécessite la conception d'une cabine entièrement vitrée face au poste de commande. De telles cabines ne sont pas utilisées sur les chantiers comme nous avons pu le constater. Dans ces conditions, le grutier est obligé de se pencher fortement et de se lever parfois de son siège. Il est alors dans une position peu stable entraînant de la fatigue, une moins grande précision dans ses mouvements et augmente les risques de fausses manoeuvres.

La cabine doit être également munie d'un système efficace permettant d'éviter l'éblouissement dû aux rayons de soleil.

- . L'emplacement des commandes, les forces requises à leur manipulation, le couplage signal-commande et la conception du siège sont également des éléments de conception affectant la qualité des manoeuvres et la sécurité des travailleurs sur le chantier. Le travail physique statique exigé par la manoeuvre de la grue rend d'autant plus pénible et dangereux une mauvaise conception du poste de commande. De plus, la standardisation du poste de commande est également importante afin d'éviter les problèmes d'adaptation du grutier lorsqu'il change de grue. Au sujet du couplage signal-commande, P. Maze<sup>7</sup> souligne les effets d'une vitesse de fonctionnement plus élevée sur les appareils modernes où l'accroissement dans un rapport beaucoup plus important des temps de réponse de l'appareil et de l'opération est à l'origine d'accidents de plus en plus nombreux.
- . Des entreprises développent également un système de grue assistée par ordinateur. Ce système permettrait d'accélérer de 50 % la vitesse de levage et de manutention de la grue à tour. Ce système comporte des améliorations intéressant la sécurité tels que le positionnement automatique des charges. Cependant une évaluation ergonomique plus approfondie permettrait de mieux cerner les avantages et les inconvénients sur le plan de l'utilisation.

- L'opérateur de la grue suit généralement les instructions d'un élingueur qui lui communique les informations nécessaires par gestes ou par radio. Il est indispensable d'employer une personne qualifiée pour effectuer le travail d'élingage. La formation d'équipe de travail grutier-élingueur stable facilite la compréhension des codes de communication gestuelle et la sécurité des manoeuvres. En effet, bien que ces codes soient standardisés, nous avons constaté sur les chantiers qu'il existe bien des façons d'effectuer un même geste. En effet l'élingueur personnalise ses gestes d'une façon plus ou moins significative. De plus, le moment ou le geste est effectué par rapport au résultat souhaité ainsi que le nombre de gestes varient suivant l'élingueur et la situation de travail. Peu de recherche existe concernant l'étude des communications grutier-élingueur. L'élingage adéquat du matériel constitue également un aspect important de la sécurité relative à l'utilisation de la grue. L'emploi de travailleurs formés adéquatement est une des conditions de sécurité sur le chantier. La disponibilité d'élingues et de contenants adéquats est également important. Par exemple, les risques peuvent être accrus lorsque des élingues utilisées pour la manutention de matériel de grandes dimensions sont également utilisées pour du matériel plus petit. L'effet de balancier dû aux élingues trop longues peut causer le heurt de travailleurs situés près de la zone de manoeuvre.
- La grue fournit du matériel aux différents postes de travail ce qui nécessite, pour obtenir un travail efficace, une bonne planification. En effet, un manque de planification peut entraîner des retards de production et augmenter le transport manuel de charge. Ceci est particulièrement important durant la coulée du béton puisque durant cette période la grue est utilisée exclusivement au transport des bennes à béton.
- Les conditions climatiques, vent, brouillard, pluie affectent les conditions d'utilisation de la grue sur le chantier.

## 8.1.2 Les nuisances environnementales

### 8.1.2.1 Le bruit

L'exposition au bruit sur le chantier est variable et dépend du type de travaux effectués, des techniques de coffrage utilisées et du niveau d'activité. Les principales sources de bruit sont les outils électriques (scies circulaires, perceuses, etc,...), le marteau et pistolet de scellement, les compresseurs, les engins d'excavation, les systèmes hydrauliques et les moteurs servant à déplacer le coffrage glissant. La coordination des travaux de construction, l'entretien des équipements et l'information favorisent un environnement moins bruyant. Dans ce dernier cas par exemple, un compresseur équipé antibruit était laissé les portes ouvertes de peur que le moteur ne chauffe trop.

### 8.1.2.2 Les poussières

Le charpentier-menuisier est exposé aux poussières de bois lors du sciage. Une étude réalisée par la CSST<sup>16</sup> mentionne que les risques sont minimes sur les chantiers de construction de par l'utilisation de bois aux essences peu nocives et du travail à l'extérieur.

### 8.1.2.3 Les substances chimiques

Le charpentier-menuisier et le manoeuvre sont souvent en contact avec des huiles de coffrage. Suivant le type d'huile utilisée<sup>17</sup>, des risques de dermatites ou toxicologiques peuvent être présents. Lors du coulage, le manoeuvre cimentier travaillant en contact avec le béton risque de souffrir de dermatites.

### 8.1.2.4 Les conditions climatiques

Le travail à l'extérieur expose le travailleur à diverses conditions climatiques influençant les conditions d'exécution du travail et la

santé et sécurité. Certaines intempéries entraînent l'arrêt des activités les plus exposées (travail en hauteur, opération de la grue, etc.) ou de tous les travaux. Il en est ainsi lors de grand vent, de pluie forte ou de tempête de neige. La décision de continuer ou d'arrêter les travaux revient au surintendant ou contremaître, il n'existe pas de critères précis, excepté pour le vent où la vitesse considérée est de 60 km/hre. Le vent entraîne des difficultés d'équilibre lors du travail en hauteur, des contraintes importantes lors du transport manuel de charge principalement les feuilles de contre-plaqué, et augmente les risques de mouvements incontrôlés du matériel manutentionné par la grue. La pluie, la neige, la glace rendent les surfaces de travail glissantes. En hiver, il est nécessaire de prévoir du personnel supplémentaire pour l'entretien des surfaces.

La condition climatique la plus pénible est sans nul doute le froid, particulièrement durant les mois de janvier et février. Le froid peut être responsable de diverses pathologies allant de l'angelure à l'atteinte de la plupart des fonctions physiologiques: respiratoire, cardiovasculaire, articulaire, digestive et neuropsychiatriques. Les travailleurs supportent le froid du fait d'une adaptation due à la baisse graduelle des températures d'octobre à décembre et par leur façon de se vêtir. Les travailleurs portent plusieurs épaisseurs d'habits afin de créer un isolement thermique. Certains travailleurs portent des habits de moto-neige, mais ces derniers gênent les mouvements. De plus, ces habits, développés surtout pour le sport, sont jugés trop chers et trop fragiles pour travailler. Les gants sont souvent impossibles à porter, les clous étant difficiles à saisir. L'acier dans les semelles des souliers de sécurité conduisent le froid et l'isolation avec des couvres chaussures ne semble pas suffisante. D'une façon générale, il existe peu de recherche concernant les effets du froid affectant les travailleurs de la construction.

#### 8.1.2.5 Les conditions de vie et d'hygiène

Le chantier constitue également une organisation humaine où les travailleurs passent un minimum de huit heures par jour. Durant cette période ils prennent le repas de midi et généralement trois collations: une avant de commencer le travail et deux correspondants aux pauses du matin et de l'après-midi. Cela nécessite le respect de certaines conditions de vie de façon à favoriser la récupération de la fatigue due à leur travail physiquement exigeant, et à éviter les risques de maladies découlant d'une mauvaise hygiène. Le code de sécurité de la construction prévoit à cet effet des règlements minimaux. Il arrive assez souvent que les chantiers ne disposent pas de lavabos et encore moins de douches. Les travailleurs mangent donc sans se laver les mains ce qui n'est pas hygiénique et dangereux du fait qu'ils sont parfois au contact avec de l'huile de coffrage ou le béton.

Il n'existe généralement pas de système pour faire réchauffer la nourriture, même en hiver. Sur le chantier, les toilettes sont généralement louées. Le problème principal d'utilisation des toilettes se pose en hiver, celles-ci n'étant pas chauffées de façon suffisante.

Les conditions de vie sur le chantier peuvent apparaître comme secondaires. Cependant, elles contribuent à l'amélioration ou à la détérioration du climat de travail.



## Chapitre 9

### CONCLUSION

Ce document nous a permis de souligner certaines exigences du travail de coffrage susceptibles d'entraîner des problèmes de santé et sécurité et d'illustrer, par des exemples, l'intégration de la prévention aux différentes techniques de coffrage, du coffrage traditionnel aux plus récentes techniques pour les éléments en béton armé.

Ce qui est remarquable dans cette évolution technique, c'est de voir qu'il n'existe pas de "nouvelle technique" de coffrage proprement dite, mais plutôt une amélioration progressive du coffrage traditionnel par l'apport de nouvelles connaissances, de nouveaux matériaux, et de moyens de plus en plus puissants de manutention.

Le progrès des techniques de coffrage suit le développement du béton armé; il ne peut pas le devancer. Aucun fabricant de coffrage essaiera de mettre au point une nouvelle technique de coffrage, puis chercher une application possible de sa nouvelle technique. Toute nouvelle technique a été mise au point pour répondre à un besoin d'un certain type d'ouvrage, par exemple le coffrage glissant pour les ouvrages verticaux élevés.

L'investissement pour développer une nouvelle technique de coffrage est lourd et la rentabilité douteuse. La construction évolue constamment. Chaque chantier a ses particularités, ce qui fait que les techniques de coffrage utilisées dans un chantier peuvent ne pas être adaptables dans un autre chantier.

De nos jours le béton armé est accepté comme matériau architectural. Les chantiers de grande taille sont en nette régression. On s'achemine de plus en plus vers des constructions personnalisées et architecturales. Le coffrage de ces ouvrages deviendra plus complexe et utilisable pour un seul chantier.

Comme dans les autres secteurs industriels, le progrès technologique

transforme le travail humain. Par exemple, l'utilisation du coffrage préfabriqué (table pour coffrage, banches) réduit le nombre d'opérations à effectuer sur les matériaux pour devenir principalement un travail d'assemblage; dans le cas du coffrage glissant, le travail du charpentier-menuisier devient un travail de technicien et d'opérateur de machines à coffrer.

Ces transformations technologiques, toutefois, ne remplacent pas complètement les techniques plus anciennes. En effet, il existe encore dans le bâtiment une part de coffrage qui se fait de façon traditionnelle.

La transformation du travail humain qu'entraînent ces techniques nouvelles n'améliore pas, obligatoirement la santé et la sécurité du travailleur. Ainsi est-il nécessaire d'en évaluer les effets possibles. Par exemple, l'utilisation de panneaux de coffrage manutentionnables manuellement peut accroître les efforts physiques du fait de l'élimination d'opérations de transformation des matériaux qui permettent dans le coffrage traditionnel d'entrecouper les activités de manutentions manuelles. Ces nouvelles techniques obligent cependant à l'amélioration des méthodes existantes. Cette amélioration se fait notamment par une meilleure planification et préparation du travail pour éviter l'improvisation qui entraîne le plus souvent des pertes de temps et augmente les risques d'accident. Ceci nous amène à considérer que la réussite ne dépend pas uniquement d'une technique mais également de la façon de la mettre en oeuvre.

Au Québec, l'évolution du marché du coffrage est assez difficile à prévoir. Une chose apparaît certaine cependant, le marché québécois n'est pas assez grand pour amortir un investissement lourd en coffrage, comme par exemple le coffrage glissant. Ainsi, l'amélioration passe-t-elle, sans doute, par une meilleure mise en oeuvre. Pour cela, la connaissance du chantier par le contremaître et les travailleurs, des difficultés rencontrées dans l'exécution et leurs prises en considération dès la conception et la préparation du chantier constituent une façon de mieux accorder la productivité nécessaire avec le bien-être de ceux qui y participent.

BIBLIOGRAPHIE

1. TRUDEL, S. et al, "La structure informationnelle de déclaration d'accidents dans le coffrage industriel", compte-rendu des travaux du 12<sup>ième</sup> colloque international de prévention des risques professionnels du bâtiment et des travaux publics, Hambourg, 17-20 Septembre, pp 600-607.
2. ADENOT, A., "Les accidents dus aux banches", cahiers des comités de prévention n° 2, 1979, pp 97-98.
3. FAVERGE, J.M., "Le travail en tant qu'activité de récupération", bulletin de psychologie, tome XXXIII, n° 344, 1979, pp 203-206.
4. QUEINEC, Y., TEIGER, C., DE TERSOSAC, G., "Repères pour négocier le travail posté", service de publication de l'Université de Toulouse - le Mirail, 1985, pp 261.
5. SAARI, J., WICKSTROM, G., "Load on back in concrete reinforcement work", Scandinavian journal work environment and health, n° 4, 1978, pp 13-19.
6. ARDOUIN, G., "Grues de chantier fixes, mobiles et automotrices", colloque international de prévention des risques professionnels du bâtiments et des travaux publics, Paris, 1978, pp 201-203.
7. MAZE, P., "Perfectionnement des opérateurs de grues à tour du point de vue de la sécurité", colloque international de prévention des risques professionnels dans le bâtiment et travaux publics, Paris, 1978, pp 353-357.
8. KAHN, G., LANTIER, F., "Travail et sécurité sur les chantiers du bâtiment", colloque "À partir du chantier ...", Ed Plan construction et Habitat, Paris, Avril 1985, pp 15.

9. KAHN, G., LANTIER, F., "La sécurité des travailleurs du bâtiment; observations sur les limites actuelles de la prévention et proposition d'expérimentation", colloque "À partir du chantier ...", Ed Plan construction et Habitat, Paris, Avril 1985, pp 20.
10. CRU, D., DEJOURS, C., "Les savoir faire de prudence dans les métiers du bâtiment", les cahiers médico-sociaux, Genève, n° 3, 1983, pp 239-247.
11. DEJOURS, C., "Travail et usure mentale", édition du Centurion, collection médecine humaine, 1980, 155 p.
12. CAMPINOS DUBERNET, M., "La rationalisation du travail dans le secteur du bâtiment: des avatars du taylorisme orthodoxe au néo-taylorisme", in de Montmollin, le taylorisme, éd pp 211-226.
13. TOULOUSE, G., "Ergonomie et sécurité: un exemple dans le secteur du bâtiment", colloque sur la place de l'ergonomie dans l'entreprise, 54<sup>ième</sup> congrès de L'ACFAS, 1986, p 8.
14. LEPLAT, J., CUNY, X., "Les accidents du travail", P.U.F., collection Que sais-je, 1979.
15. O.C.Q., C.S.S.T., Communications personnelles.
16. PROVENCHER, S., DURAND, P., "Les problèmes de santé des travailleurs de la construction: une revue de la littérature", Dépt. de médecine sociale et préventive Université Laval, 1980, 96 p.
17. BELLANDER, U., "Occupational environment in bulding, concrete construction and ready mixed concrete industry", Swedish Cement and Concrete research institute, 1980, 34 p.
18. NOTES DE COURS, école nationale des travaux publics de l'état, France.
19. NOTES DE COURS, école Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

20. SBAROUNIS, J.A., "Multistorey flat plate buildings: construction loads and immediate deflections", concrete international, design construction, 1984, vol. 6., n° 2, pp 70-77.
21. HARRISON, T.A., "Form pressures: Theory and field measurements", concrete international, design construction, 1983, vol. 5, n° 12, pp 23-28.
22. WILLEMENT, P., "Le coût des constructions en béton", centre scientifique et technique de la construction, Bruxelles, 1983, vol. 18, n° 4, pp 2-17.
23. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, "Forming economical concrete buildings: Proceedings of an international conference on how to integrate forming into the total design and construction process, Lincolnshire IL, November 8-10, 1982.
24. HARRISON, T.A., "Formwork pressures", concrete, 1983, vol. 17, n° 5, pp 27-29.
25. HUNTINGTON, C., "West coast high-rise condo opts for ductile concrete frame", civil engineering, ASCE, 1983, vol. 53, n° 7, pp 39-41.
26. HURST, M.P., "Formwork", construction press, London, 1983, 283 p.
27. HARRISON, T.A., "Pressure on vertical formwork when concrete is placed in wide sections", cement and concrete association, 1983, 30 p.
28. SCHEUCH, G.\*, "Grossbrueckenbau in den alpen: die Egratz - Bruechen beim Chamonix", béton, 1983, pp 9-10.
29. MILESI, I., "Les coffrages: technologie de fabrication", Paris, scodel, 1982, 265 p.
30. THOMAS, R., "L'utilisation des coffrages glissants dans la construction des silos", moniteur bâtiment travaux publics, France, 1982, n° 36, pp 51-52.

31. BLEVOT, J., PERCHAT, J., "Béton armé: règles BAEL XII: exécution et estimations des travaux", techniques de l'ingénieur, construction, France, 1982, n° 99, pp 1-16.
32. REICHVERGER, Z, JAEGERMANN, C., "Frottement et pressions du béton lors du bétonnage par coffrage glissant", colloque international sur le béton jeune, anciens élèves de l'ENPC, 1982, pp 247-253.
33. HSIEH, M.C., KING, J.R., "Slipforming of reinforced concrete shield building", Proceedings american society of civil engineers, journal construction division, 1982, vol. 108, n° 001, pp 63-73.
34. HMIMIZ, A., IORRAIN, M., "Incidence de défauts d'exécution sur la résistance et la stabilité d'éléments en béton armé, annales institut technique bâtiment travaux publics, 1982, n° 402, pp 85-124.
35. FARDIS, M.N., KHALILI, H., "Concrete encased in fibreglass - reinforced plastic", journal american concrete institute, 1981, vol. 78. n° 6, pp 440-446.
36. DOUGLAS, B., SAIDI, M., HAYES, R., HOLCOMB, G., "Field measurements of lateral pressures on concrete wall forms", concrete international: design construction, 1981, vol. 3, pp 56-62.
37. HOFFMANN, F.H.\* , "Steigende schalungskosten, den folge unwirtschaftlicher planung", bauingenieur, 1981, vol. 56, n° 7, pp 253-257.
38. SINEMUS, W., "Zur wirtschaftlichen gestaltung des einsetzes moderner schalverfahren", bauingenieur, 1981, vol. 56. n° 7. pp 259-262.
39. GAUNT, T., "Plywood formwork is utilized in Toronto concert hall", for. prod. j., 1981, vol. 31, n° 7, pp 22-23.
40. TP; IA, "Doka présente à la centrale de Vaitsberg (Autriche), son nouveau coffrage autogrissant pour les tours de réfrigération", chantiers de France, 1981, n° 141, pp 27-30.

41. TP; IA, "Les matériels de coffrage et les échafaudages", moniteur bâtiment travaux publics, 1981, n° 27, pp 76-88, 7p.
42. ACI, "ACI manual of concrete practice 1981, II: construction practices and inspection", american concrete institute, 1981, vol. 2, 359 p.
43. BATTERHAM, R.G., "Slipform concrete", GBR, Lancaster, construction press, 1980, 107 p.
44. SCHMIDT-MORSBACH, J.\*, "Schalungshaut und betonflaeche: worauf ist zu achten", betonwerk fertigtel, 1980, vol. 46, n° 9, pp 547-552.
45. SCHEPERS, M.G., "Winconsin coal silo slipformed rapidly", concrete international design construction, 1980, vol. 2, n° 10, pp 25-28.
46. PIERRE, F., "Les coffrages pour le béton armé", ed. eyrolles, Paris, 1980, 184 p.
47. GARDNER, N.J., "Pressure of concrete against formwork", journal of american concrete institute, 1980, vol. 77, n° 4, pp 279-286.
48. TP; IM, "Estimation de la pression du béton sur le coffrage", bulletin ciment, 1980, vol. 48, n° 2, 4 p.
49. TP; IA, "Les coffrages DOKA sur les chantiers de barrage de melk sur la Danube", chantiers de France, 1980, n° 128, pp 68-71.
50. TL; IM, "Initiation au vocabulaire du bâtiment et des travaux publics", ed. eyrolles, Paris, 1979, 166 p.
51. GARDNER, N. J., QUERESHI, A.R., "Internal vibration and the lateral pressure exerted by fresh concrete", canadian journal, civil engineering, 1979, vol 6, n° 4, pp 592-600.
52. BATES, R., "I. M. PEI speaks out for concrete", concrete international design construction, 1979, vol. 1, n° 8, pp 25-27.

53. MANN, J. W., "An adventure in architectural concrete", concrete international design construction, 1979, vol. 1, n° 8, pp 18-24.
54. TP; IM, "Produits de décoffrage", bulletin ciment, 1979, vol. 47, n° 19, 6 p.
55. HURD, H. K., "Formwork for concrete", ACI committee 347, Detroit MI, USA, 1979.
56. SEYMOUR, M., "Slipforming is height of success at Liverpool", concrete, GER, 1979, vol. 13, n° 6, pp 12-16.
57. GARDNER, N. J., HO, P. T. J., "Lateral pressure of fresh concrete", journal american concrete institute, 1979, vol. 76, n° 7, pp 809-820.
58. MURDOCK, L. J., BROOK, K. M., "Concrete materials and practice", GER, London, 1979, 434 p.
59. MORSBACH, J., "Sperrholzschalungun - bestandteil wirtschaftlichen bauens, leistungsfahigkeit, schalungstypen undformate", betonwerk fertigteil - tech, 1979, vol. 45, n° 2, pp 75 - 85.
60. HSIA, F. T., ANDERSLAND, O. B., "Horizontal slipform construction - low slump concrete", proceedings, american society of civil engineers, journal construction division, USA, 1978, vol. 104, n° 2, pp 179 - 190.
61. MERLIN - CHALLMEAU, G., "Équipement des tables coffrantes et calcul de dimensionnement", bâtiment bâtir, France, 1979, vol. 5, n° 1, pp 30 - 34.
62. TL; IM, "ACI manual of concrete practice", ACI 1978, n° 1-3, 3 volumes.
63. TP; LA, "La tour de 143 m. de la cité administrative d'état construite à Bruxelles avec des coffrages auto-grimpants DOKA.

64. GERO, J. S., KANESHALINGAM, SCI, "A method for the optimum design of traditionnal formwork", engineering optimazation, GER, 1978, vol. 3, n° 4, pp 249-251.
65. ANDERSLAND, O. B., HSIA, F. T., "Horizontal slipform construction section stability", proceedings american society of civil engineers, journal construction division, 1978, vol 104, n° 3, pp 269-277.
66. RAY, M., CHARONNAT, Y. M., "Les machines à coffrage glissant et l'uni des chaussées en béton", bulletin de liaison, laboratoire des ponts et chaussées, France, 1978, n° 95, pp 99-132.
67. SHIH YA CHANG, "Le logement en Chine", bâtiment international, France, 1978, vol. 11, n° 1, pp 26-29.
68. MARCHAND, R., "L'utilisation des coffrages glissants", construction, France, 1977, vol.32, n° 4, pp 468-473.
69. COURTOIS, P. D., "Proposed revisions of ACI 347-68, recommended practice for concrete work", journal of american concrete institute, USA, 1977, vol. 74, n° 9, pp 397-434.
70. TP; LA, "Le nouveau coffrage auto-grimpant INDUMAT/DOKA SK 175 sur le chantier de Kochertal Bruecke en Allemagne", chantiers de France, 1977, n° 175, pp 50-51.
71. MARCHAND, R., "L'utilisation des coffrages glissants", construction, France, 1977, vol. 32. n° 9, pp 373-378.
72. TRUE, G. F., "GRC and permanent formwork", concrete, GB, 1977, vol. 11, n° 5, pp 20-23.
73. CAMPAGNE, C., "Sécurité à la mise en oeuvre des banches", bâtiment, bâtir, 1977, vol. 3, n° 3, pp 41-48.

74. RICHARDSON, J., "Practical consideration in the provision of formwork for structural concrete", journal american concrete institute, USA, 1976, vol. 73, n° 7, pp 399-404.
75. TP; IA, "Coffrages et systèmes de coffrage, nouveautés et perfectionnement", béton, DISCH, 1976, n° 7, pp 250-253.
76. BAUSCH, D., DARSCH, B., "Coffrages et échafaudages, les partenaires du béton", béton, DISCH, 1976, n° 10, pp 397-402.
77. FESTA, J., "Les coffrages", revue technique bâtiment construction industriel, 1976, vol. 23, n° 55, pp 17-43.
78. TP; IA, "Les coffrages", chantiers de France, 1976, n° 92, pp 76-81.
79. TP; IA, "Coffrages glissants: I. recommandations pour la conception de coffrages glissants; II. réalisations d'ouvrages à l'aide de coffrages glissants", annales institut technique bâtiment et travaux publics, France, 1976, n° 341, pp 77-100.

LEXIQUE DES PRINCIPAUX TERMES RENCONTRÉS DANS LE COFFRAGE

FRANÇAIS

ANGLAIS

Accessoires	Hardware
Acier	Steel
Acier d'armature	Reinforcing steel
Acier de charpente	Structural steel
Acier en attente	Starter bar
Adhérence	Bond
Adjuvant	Admixture
Admissible	Admissible
Affaissement	Slump
Alignement	Alignment
Alliage	Alloy
Âme	Web
Ancrage	Anchorage
Appel d'offres	Call for tenders
Appui	Bearing, support
Armature	Reinforcement
Armature principale	Main reinforcement
Assise	Bed
Autoportant	Self-supporting
Avant-projet	Advisory development drawing
Barre déformée	Deformed bar
Bastainq	Joist
Benne	Bucket
Béton	Concrete
Béton armé	Reinforced concrete
Bétonnage	Concreting
Bétonner	To pour concrete
Bois d'oeuvre	Timber
Bois de chantier	Yard lumber

Bois de construction	Lumber
Bois de sciage	Sawdust
Bois équarri	Squared wood
Bois feuillus	Hardwood
Bois résineux	Softwood
Bois séché	Seasoned timber
Bordereau	list, schedule
Bride d'étayage	Wooden post clamp
Cabestan	Capstan
Cadre de coffrage de colonne	Column clamp
Cahier des charges	Specifications
Cale d'épaisseur	Shim
Cale, chaise, support de barre	Chair
Calfeutrer	Caulk
Capacité portante	Bearing capacity
Chanfrein	Chamfer
Chantier	Site
Chapiteau	Capital
Charge	Load
Charge axiale	Axial load
Charpente	Frame
Chef d'équipe	Group leader
Chef de chantier	General foreman
Chevauchement	Lap
Chevêtre	Header
Ciment	Cement
Cisaillement	Shear
Clou	Nail
Coffrage	Form, Formwork

Coffrage ascendant	Climbing-form
Coffrage en bois	Wood forms
Coffrage semi-modulaire	Gang-form
Coin	Edge, wedge
Colonne, poteau	Column, post
Compression	Compression
Concepteur	Designer
Conception	Design, projet
Conique	Tapered
Console	Bracket, corbel, haunch
Constituant	Materials
Contrainte	Stress
Contrainte admissible	Allowable stress
Contrainte de flexion	Bending stress
Contrat	Contract
Contre-plaqué	Plywood
Contrefiche	Brace
contremaitre	Foreman
Contreventement	Bracing
Copeau de bois	Wooden chip
Cornière	Angle-bar, cleat
Corrosion	Corrosion
Coulée sur place	Cast in place
Coulis de ciment	Concrete grout
Crampon	Spike, clamp
Crénelé	Deformed
Crochet	Hook
Cure de béton	Concrete curing
Dalle, plancher	Slab

Décoffrage	Form stripping, form removal
Déformation unitaire	Strain
Déversement	Warping
Devis	Specification
Échafaudage	Scaffold, scaffolding
Échéancier	Schedule
Échelle	Ladder
Éclisse	Scab
Élancement	Slenderness
Empattement, semelle	Footing
Enrobage	Cover
Entrepreneur	Contractor
Entrepreneur général	General contractor
Entretoise	Brace
Escalier	Stairway
Espacement	Spacing
Espaceur	Spacer
Estimation des coûts	Costing
Étai, Étançon	Prop, shore
Étrésillon	Spreader
Étrier	Stirrup
Étude, calcul	Design
Évaser	Taper
Fausse charpente	Falsework
Ferme	Truss
Feuillard	Sheet, strip
Fissuration	Cracking
Fissure	Crack

Flambage	Buckling
Fléchissement, flexion	Bending
Force portante	Bearing capacity
Gabarit, patron, calibre	Template
Garde-fou	Guard rail
Génie	Engineering
Godet	Bucket
Gonflement	Swelling
Goujon	Dowel
Granulat	aggregate
Gros oeuvre	Heavy work
Grue	Crane
Grutier	Crane operator
Inertie	Inertia
Ingénieur conseil	Consulting engineer
Intempéries	Weather
Jambe de force	Strut, Knee brace
Joint, raccord	Joint
Laitance	Laitance
Lamellé	Laminated
Latte	Batten
Levage	Lift
Liant	Binder
Linteau	Header, lintel
Lisse sur terre	Mudsill
Longeron	Stringer

Longrine	Mudsill, sleeper
Maçonnerie	Masonry
Madrier	Plank
Main-d'oeuvre	Labor
Malaxeur	Mixer
Manchon	Sleeve
Maniabilité	Workability
Manoeuvre	Labourer
Matériaux	Materials
Matière première	Raw material
Mélange	Mix
Membrure	Member
Menuisier-charpentier	Carpenter
Mètreur	Building surveyor
Module de résistance	Section modulus
Moise	Brace
Moment fléchissant	Bending moment
Montant	Stud
Mortier	Mortar
Moule	Mould
Norme	Standard
Ossature	Frame
Panneau	Panel
Parement	Cladding
Passerelle de service	Catwalk
Pied-de-biche	Clawbar, crow-bar, nail claw

Planche	Board
Plaque d'appui	Bearing plate
Plateforme	Platform
Plomberie	Plumbing
Portance	Bearing
Poteau	Post
Poutre	Beam
Poutre en Té	T beam
Poutre maîtresse	Girder
Poutrelle	Joist
Préfabriqué	Precast
Projet	Design
Raidisseur	Wale, stiffener
Rampe	Rail
Recouvrement	Lap
Règle à lisser	Screed
Relevé	Survey
Reprise en sous-oeuvre	Underpinning
Résistance à la traction	Tensile strength
Résistance des matériaux	Strength of materials
Revêtement	Lining, sheathing, coating
Revêtement de bâtiment	Cladding
Rondelle	Washer
Rugosité	Roughness
Rupture	Failure
Scellement	Anchoring
Scie	Saw
Section portante	Bearing section

Semelle	Footing
Solive	Joist
Soumission	Bid
Sous-traitant	Sub-contractor
Surcharge	Live load
Table coffrante	Flying form
Tablier	Deck
Tasseau	Batten, cleat
Tige conique	Tapered rod
Tige d'ancrage	Anchor rod
Tirant	Tie
Tolérance	allowance
Torsader	Twist
Travée	Span, bay
Treillis soudé	Welded mesh
Vérin	Jack
Vibrateur	Vibrator
Virevolte	Concrete buggy
Vis	Screw
Voilement	Bulging

LEXIQUE DES PRINCIPAUX TERMES RENCONTRÉS DANS LE COFFRAGE

<u>ANGLAIS</u>	<u>FRANÇAIS</u>
Admixture	Adjuvant
Advisory development drawing	Avant-projet
Aggregate	Granulat
Alignment	Alignement
Allowable	Admissible
Allowable stress	Contrainte admissible
Allowance	Tolérance
Alloy	Alliage
Anchor rod	Tige d'ancrage
Anchorage	Ancrage
Anchoring	Scellement
Angle-bar, cleat	Cornière
Axial load	Charge axiale
Batten, cleat	Latte, tasseau
Beam	Poutre
Bearing	Appui, portance
Bearing capacity	Capacité portante
Bearing plate	Plaque d'appui
Bearing section	Section portante
Bed	Assise
Bending	Fléchissement, flexion
Bending moment	Moment fléchissant
Bending stress	Contrainte de flexion
Bid	Soumission
Binder	Liant
Board	Planche
Bond	Adhérence
Brace	Contrefiche, entretoise, moise
Bracing	Contreventement

Bracket, corbel, haunch	Console
Bucket	Benne, godet
Buckling	Flambage
Building surveyor	Mètreur
Bulging	Voilement
Call for tenders	Appel d'offres
Capstan	Cabestan
Capital	Chapiteau
Carpenter	Charpentier-menuisier
Carrying capacity	Capacité portante
Cast in place	Coulé sur place
Catwalk	Passerelle de service
Caulk	Calfeutrer
Cement	Ciment
Chair	Cale, chaise, support de barre
Chamfer	Chanfrein
Cladding	Parement, revêtement de bâtiment
Clawbar, crow-bar, nail claw	Pied-de-biche
Climbing form	Coffrage ascendant
Column	Colonne, poteau
Column clamp	Cadre de coffrage de colonne
Compression	Compression
Concrete	Béton
Concrete buggy	Virevolte
Concrete curing	Cure de béton
Concrete grout	Coulis de ciment
Concreting	Bétonnage
Consulting engineer	Ingénieur conseil
Contract	Contrat

Contractor	Entrepreneur
Corrosion	Corrosion
Costing	Estimation des coûts
Cover	Enrobage
Crack	Fissure
Cracking	Fissuration
Crane	Grue
Crane operator	Grutier
Deck	Tablier
Deformed	Crénelé
Deformed bar	Barre déformée
Design, project	Étude, calcul, projet
Designer	Concepteur
Dowel	Goujon
Edge	Coin
Engineering	Génie
Failure	Rupture
Falsework	Fausse charpente
Flying form	Table coffrante
Footing	Empattement, semelle
Foreman	Contremaître
Form stripping, form removal	Décoffrage
Form, formwork	Coffrage
Frame	Charpente, ossature
Gang form	Coffrage semi-modulaire
General contractor	Entrepreneur général
General foremen	Chef de chantier

Girder	Poutre maîtresse
Group leader	Chef d'équipe
Guard rail	Garde-fou
Hardware	Accessoires
Hardwood	Bois feuillus
Header	Chevêtre, linteau
Heavy work	Gros oeuvre
Hook	Crochet
Inertia	Inertie
Jack	Vérin
Joint	Joint, raccord
Joist	Bastaing, poutrelle, solive
Labor	Main-d'oeuvre
Labourer	Mancoeuvre
Ladder	Échelle
Laitance	Laitance
Laminated	Lamellé
Lap	Chevauchement, recouvrement
Lift	Levage
Lining	Revêtement
List, schedule	Bordereau
Live load	Surcharge
Load	Charge
Lumber	Bois de construction
Main reinforcement	Armature principale
Masonry	Maçonnerie

Material	Matériau
Materials	Constituants
Member	Membrure
Mix	Mélange
Mixer	Malaxeur
Mortar	Mortier
Mould	Moule
Mudsill	Longrine, lisse sur terre
Nail	Clou
Panel	Panneau
Plank	Madrier
Platform	Plateforme
Plumbing	Plomberie
Plywood	Contre-plaqué
Post	Poteau
Precast	Préfabriqué
Prop, shore	Étai, étançon
Rail	Rampe
Raw material	Matière première
Reinforced concrete	Béton armé
Reinforcement	Armature
Reinforcing steel	Acier d'armature
Roughness	Rugosité
Saw	Scie
Sawdust	Bois de sciage
Scab	Éclisse

Scaffold, scaffolding	Échafaudage
Schedule	Échéancier
Screed	Règle à lisser
Screw	Vis
Seasoned timber	Bois séché
Section modulus	Module de résistance
Self-supporting	Autoportant
Settlement	Affaissement
Shear	Cisaillement
Sheathing	Revêtement
Sheet, strip	Feuillard
Shim	Cale d'épaisseur
Site	Chantier
Slab	Dalle, plancher
Sleeve	Manchon
Slenderness	Élancement
Sleeper	Longrine
Softwood	Bois résineux
Spacer	Espaceur
Spacing	Espacement
Span, bay	Travée
Specification	Devis
Specifications	Cahier des charges
Spike, clamp	Crampon
Spreader	Étrésillon
Squarred wood	Bois équarri
Stairway	Escalier
Standard	Norme
Starter bar	Acier en attente

Steel	Acier
Stirrup	Étrier
Strain	Déformation unitaire
Strength of materials	Résistance des matériaux
Stress	Contrainte
Stringer	Longeron
Structural steel	Acier de charpente
Strut, knee brace	Jambe de force
Stud	Montant
Sub-contractor	Sous-traitant
Survey	Relevé
Swelling	Gonflement
T beam	Poutre en té
Taper	Évaser
Tapered	Conique
Tapered rod	Tige conique
Template	Gabarit, patron, calibre
Tensile strength	Résistance à la traction
Tie	Tirant
Timber	Bois d'oeuvre
To pour concrete	Bétonner
Truss	Ferme
Twist	Torsader
Underpinning	Reprise en sous-oeuvre
Vibrator	Vibrateur
Wale, stiffener	Raidisseur

ANGLAIS

FRANÇAIS

Warping

Déversement

Washer

Rondelle

Weather

Intempéries

Web

Âme

Wedge

Coin

Welded mesh

Treillis soudé

Wood forms

Coffrage en bois

Wood post clamp

Bride d'étayage

Wooden chip

Copeau de bois

Workability

Maniabilité

Yard lumber

Bois de chantier