

Échafaudages

Différentes destinations. Mise en œuvre

par **René SANDBERG**

Ingénieur de l'École centrale de Paris

Bernard BEZIAT

Ingénieur de l'École de travaux publics

Claude BONETAT

Ingénieur Conseil

et **Patrick ROSSIGNOL**

Chargé des questions techniques au Syndicat de l'Échafaudage

1. Descriptions. Caractéristiques. Charges pour certaines structures	C 128 – 2
1.1 Échafaudage de service : façade de pied cadres ou modulaires	— 2
1.1.1 Caractéristiques	— 2
1.1.2 Charges de service	— 4
1.1.3 Conformité aux normes européennes d'un échafaudage type de façade de pied en éléments préfabriqués	— 5
1.1.4 Vérifications	— 7
1.2 Échafaudages de service autres que les échafaudages de façade	— 7
1.2.1 Parapluies	— 7
1.2.2 Tours d'accès	— 8
1.2.3 Échafaudages préfabriqués roulants	— 8
1.2.4 Échafaudages de service en volume	— 9
1.2.5 Stabilité d'une flèche d'église en maçonnerie échafaudée	— 9
1.3 Étalement	— 10
1.3.1 Charges sur l'étalement	— 10
1.3.2 Disposition d'un étalement de pied (cas du béton armé)	— 11
1.3.3 Étalements de franchissement (cas du béton armé)	— 11
1.3.4 Structures spéciales entrant dans la catégorie des étalements	— 12
1.3.5 Étalement de pied pour dalle inclinée	— 12
1.4 Structures provisoires	— 12
1.4.1 Hangars	— 12
1.4.2 Passerelles provisoires	— 13
2. Mise en œuvre du chantier, montage, démontage, entretien, conseils	— 14
Pour en savoir plus	Doc. C 125v2

Ce dossier, dernière partie de l'ensemble consacré aux échafaudages, détaille, en fonction de la destination, les différents exemples d'échafaudage et leurs caractéristiques de montage et de démontage. Il présente d'abord des exemples de structures très couramment employées, pour les services, les étalements et les structures provisoires. Puis comme, pour tous les échafaudages, une reconnaissance préalable est nécessaire pour apprécier les particularités et les possibles difficultés à résoudre, une deuxième partie traite plus particulièrement de l'organisation du chantier.

Pour de plus amples renseignements, le lecteur est invité à consulter les dossiers [C 125 v2] – [C 126] – [C 127] déjà parus concernant les échafaudages (« Destination et cadre réglementaire » – « Matériaux et matériels » – « Calculs »).

1. Descriptions.

Caractéristiques. Charges pour certaines structures

1.1 Échafaudage de service : façade de pied cadres ou modulaires

C'est le plus courant des échafaudages de service ; cette structure (figure 1), à deux files de poteaux, tient sa stabilité d'ensemble de ses amarrages aux ancrages du bâtiment d'accueil, pendant la construction ou la réfection. Elle peut être recouverte (bâches, tôles, filet) ou non.

Les échafaudages de façade sont équipés de planchers pour les postes de travail et pour le stockage des matériaux et permettent l'accès à ces postes par des circulations, des escaliers, des échelles, munis de protection latérale (exemple : figure 2, échafaudages de façade réalisés en tubes et raccords avec des planches séparées, posées).

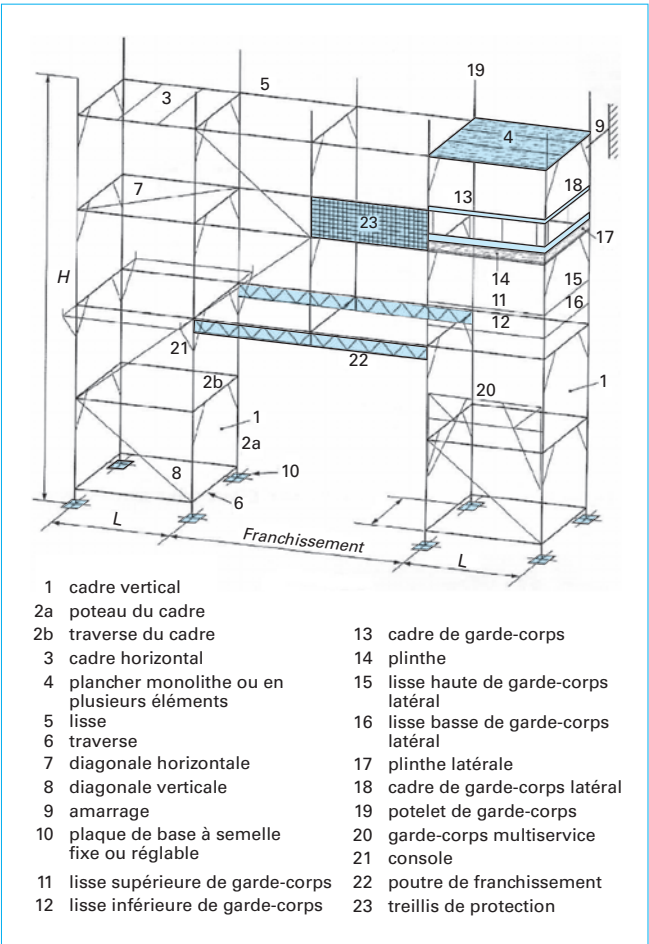


Figure 1 – Échafaudages à cadres préfabriqués

Tableau 1 – Classes de largeur pour les surfaces de travail	
Classes de largeur	w (m)
W06	$0,6 \leq w < 0,9$
W09	$0,9 \leq w < 1,2$
W12	$1,2 \leq w < 1,5$
W15	$1,5 \leq w < 1,8$
W18	$1,8 \leq w < 2,1$
W21	$2,1 \leq w < 2,4$
W24	$2,4 \leq w$

1.1.1 Caractéristiques

Les caractéristiques générales sont données ci-dessous :

- hauteur d'étage : en France environ 2,00 m ;
- classes de largeur (tableau 1) : elles sont définies par la norme NF EN 12811-1 (cf. [Doc. C 125 v2]) ; les largeurs doivent être conformes au gabarit de passage de la figure 2 du même document.

Les surfaces de travail et d'accès ne doivent pouvoir causer aucun trébuchement ou dérapage et il ne doit pas y avoir d'espace vide plus grand que 25 mm entre les éléments de plancher.

Remarque : s'il ne peut être de pied, l'échafaudage peut être en encorbellement (figure 3) ou en bascule (figure 4, p. 5) si les fenêtres sont en bon état.

■ Protections latérales

Celles-ci présentent une lisse supérieure à 1,00 m au-dessus du plancher (avec une tolérance de - 0,05), une lisse intermédiaire disposée entre 0,45 m et 0,50 m par rapport au plancher et une plinthe de 15 cm de hauteur (figure 5, p. 5).

Une autre disposition possible pour la protection latérale est un treillis métallique donnant une sécurité équivalente (maille ne dépassant pas 50 mm).

Recommandation : il est recommandé, pour la sécurité du montage, d'utiliser comme protection latérale une protection dite « multiservice », dont on trouve la définition en [C 125 v2] § 3.

■ Contreventements

Pour les contreventements, deux points sont importants :

- le plan vertical parallèle avant, proche du bâtiment d'accueil, ne doit pas présenter de diagonales dans ses travées, pour ne pas gêner les travaux, ni de protection latérale si la distance au bâtiment est inférieure ou égale à 20 cm ;
- le plan vertical arrière, parallèle au bâtiment, peut présenter des diagonales, ou bien assurer le contreventement par des encastres partiels provenant des jonctions aux poteaux des lisses des protections latérales.

● Dans les plans transversaux verticaux

Il faut assurer le contreventement par les encastres parfaits des cadres ou par les encastres partiels des nœuds modulaires. En effet, des diagonales gêneraient la circulation excepté aux extrémités.

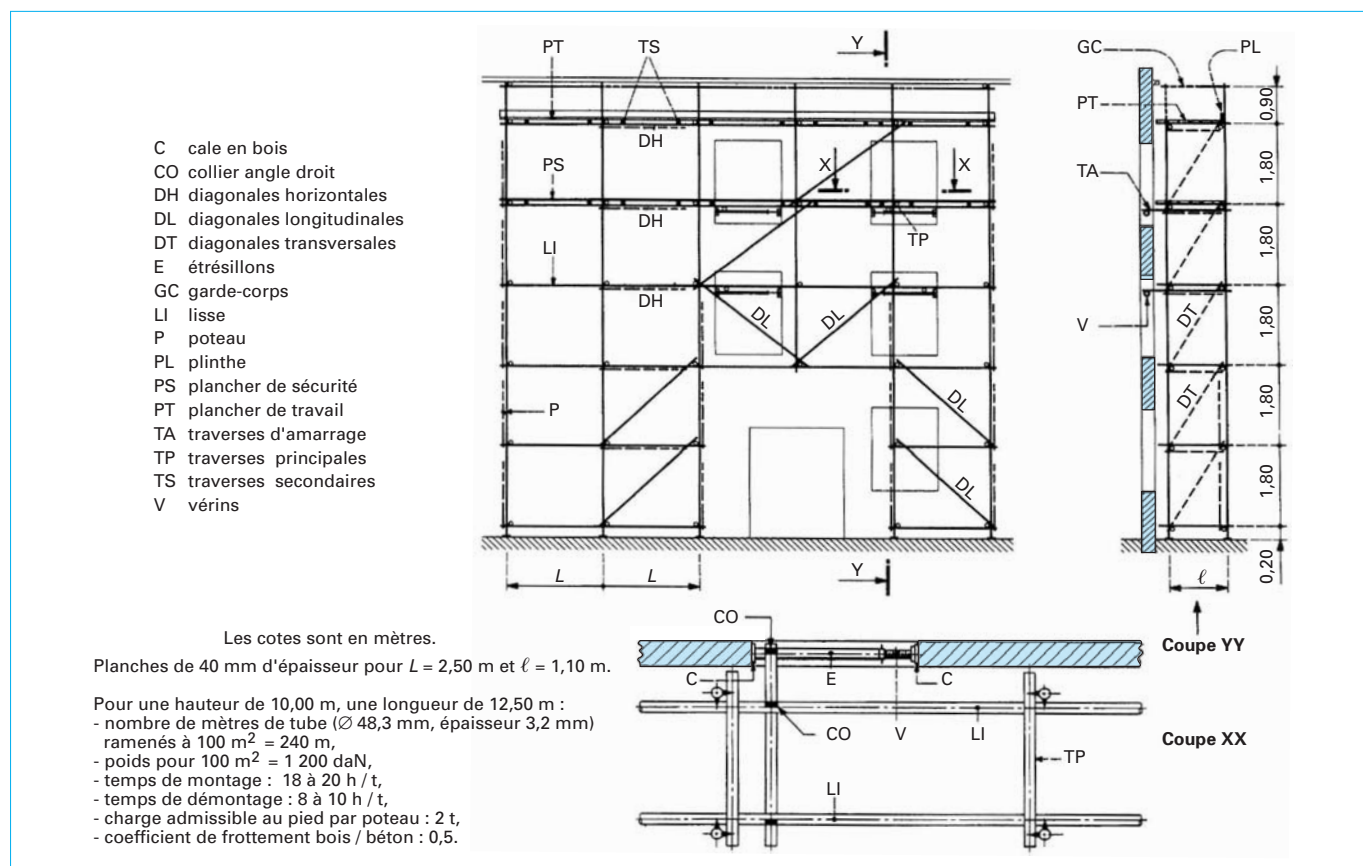


Figure 2 – Échafaudage de façade en tubes et raccords en appui au sol, non recouvert – Exécution des planchers de travail

● Dans les plans horizontaux

Le contreventement est assuré soit par des planchers préfabriqués participants, soit par des diagonales horizontales ou par des cadres horizontaux.

■ Amarrages. Ancrages

Les ancrages et amarrages sont indispensables pour éviter le renversement total ou partiel de l'échafaudage. Ils ne doivent en aucun cas être démontés pendant la durée de l'installation de l'échafaudage.

De plus, ils doivent être disposés régulièrement sur toute la surface de l'échafaudage (figure 6) et leur nombre doit être calculé en fonction des efforts de vent à prendre en compte.

Ce nombre est précisé par la notice du fabricant ou le plan de montage qui indiquent aussi la répartition des ancrages à mettre en place.

● Ancrages par chevilles

Cette technique consiste à mettre en place, dans un mur suffisamment résistant, des fixations dans lesquelles sont placées des vis terminées par un anneau fermé. La liaison avec l'échafaudage s'effectue par un tube à l'extrémité duquel est fixé un ergot ou une tête à clavette. Cette technique, qui doit être privilégiée, présente plusieurs avantages :

- positionnement optimal des points d'ancrage sur la façade ;
- vérification aisée de la résistance à l'arrachement par dynamomètre facile à utiliser (fortement conseillé) ;
- fenêtres, portes et volets non immobilisés pendant la durée des travaux.

Toutefois, certains maîtres d'œuvre ne l'apprécient pas car elle touche à l'intégrité de la façade. Pourtant, les trous sont de faible diamètre. Ils sont situés en hauteur et sont rebouchés avec des mortiers ou des résines. Ils deviennent ainsi invisibles du sol.

Cette méthode est vivement recommandée et en plein développement pour tous les chantiers de grande hauteur ou bâchés, les pignons aveugles, etc.

La cheville doit être adaptée aux efforts à transmettre et aux matériaux d'accueil. Des essais peuvent être nécessaires. Pour les travaux d'isolation de façades, il convient de prévoir des dispositifs adaptés aux transmissions de charges.

● Ancrages par étrépillons (vérins)

Des tubes ou étrépillons sont ancrés à l'aide de vérins soit horizontalement entre les tableaux d'une fenêtre ou d'une porte ou, éventuellement, verticalement entre deux planchers (figure 7).

Plusieurs précautions sont à prendre :

- la maçonnerie doit offrir une résistance suffisante pour ne pas céder à la pression des vérins et offrir un appui sans pente ;
- la longueur de l'étrépillon doit être fonction du diamètre du tube utilisé (risque de flambage), au maximum 2,00 m par tube 40/49 ;
- entre le plateau du vérin ou du tube et la maçonnerie doit être interposée une plaque de contre-plaqué CTBX non bakérisé (épaisseur minimale 18 mm) ;
- à cause des variations climatiques, le contrôle et le resserrage des vérins doivent être fréquents et obligatoires à toute reprise de chantier et avant tout démontage ;
- les assemblages entre étrépillons et tube d'amarrage doivent être réalisés le plus près possible des appuis ;

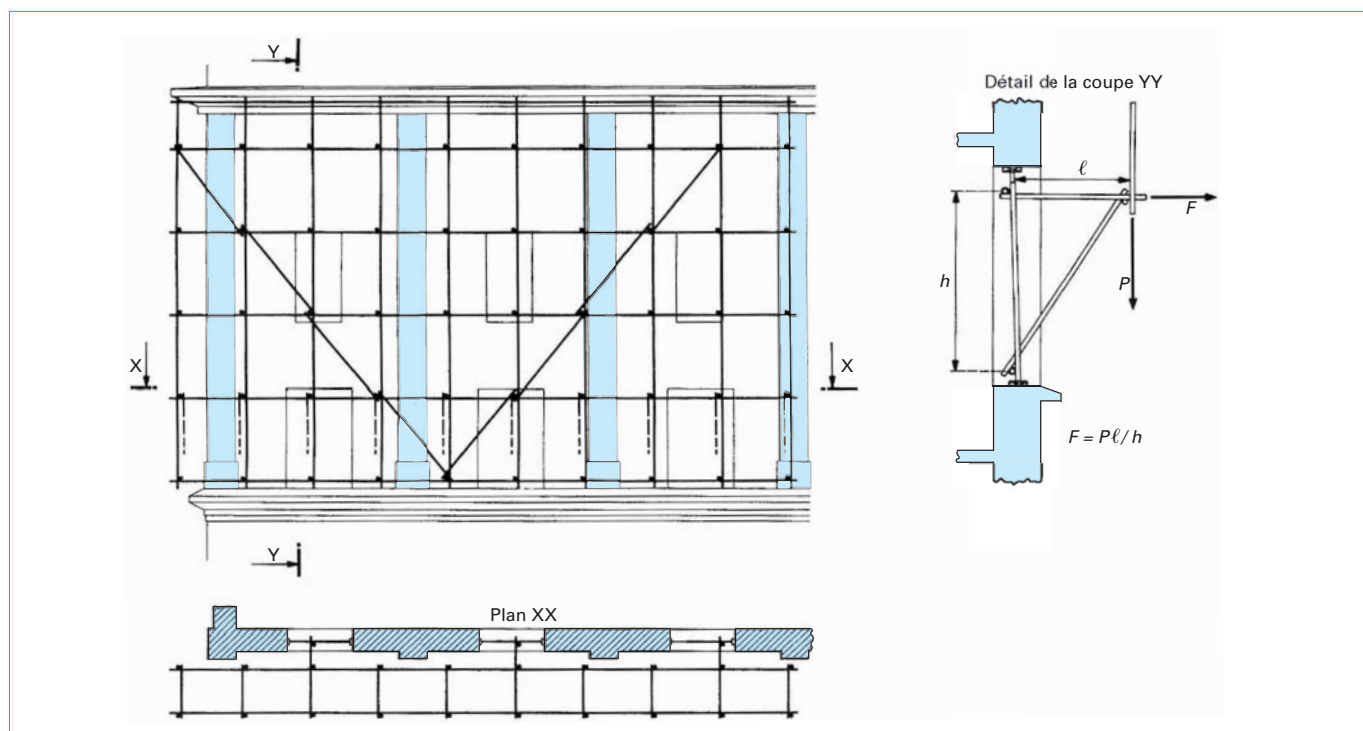


Figure 3 – Échafaudage en encorbellement

— l'ensemble ancrage/amarrage doit pouvoir résister en permanence à un effort minimal normal à la façade de 300 daN (valeur d'utilisation) ;

— l'utilisation des étais est à proscrire pour amarrer les échafaudages.

● **Ancrages par cravatages** (particulièrement en milieu industriel)

Ce sont des dispositifs permettant de ceinturer l'ossature d'accueil.

● **Butonnage**

Dans un tel dispositif :

- la pièce d'appui est horizontale ;
- des précautions sont à prendre sur des colonnes et des clochers ; les butons doivent être disposés sur la périphérie afin d'assurer la stabilité quelle que soit la direction du vent.

1.1.2 Charges de service

La norme NF EN 12811-1 (cf. [Doc. C 125 v2]) les définit **pour les charges sur les surfaces de travail** et les répartit en classes (tableau 2). Chaque surface de travail d'une classe donnée doit pouvoir supporter les charges figurant dans des colonnes relatives à sa classe séparément et non simultanément. Aucun plancher n'a une capacité inférieure à la classe 2.

Pour les **escaliers**, les **échelles** et les **trappes d'accès au plancher**, on doit respecter les valeurs suivantes :

- escalier : se conformer aux données de la figure 8, p. 6 ;
- échelle : se reporter à la norme NF EN 131-1 et 2 (cf. [Doc. C 125 v2]) ;
- trappe d'accès au plancher : la largeur minimale mesurée dans le sens de la largeur du plancher doit être de 0,45 m et la longueur minimale de 0,60 m.

■ Travaux concernés par les classes

Les classes 2 et 3 concernent des opérations ne comportant pas de stockage important, uniquement ce qui est immédiatement nécessaire pour la peinture, le nettoyage des pierres, le jointoiment, le plâtrage.

Les classes 4 et 5 sont utilisées pour du briquetage, pour la fixation d'éléments en béton.

La classe 6 est utilisée pour les travaux de maçonnerie lourde ou pour un stockage important de matériels.

■ Valeurs recommandées

● **Largeurs recommandées pour le plancher**

- Classes 1, 2, 3 : minimum de 0,60 m.
- Classes 4, 5, 6 : minimum de 0,90 m.

● **Longueurs recommandées pour les travées**

- Classes 1, 2, 3 : de 1,50 à 3,00 m.
- Classes 4, 5, 6 : de 1,50 à 2,50 m.

● **Déflexions**

• Sous les charges concentrées données dans le tableau 2, le **plancher** ne doit pas fléchir de plus de 1 % de la portée, et la déflexion ne doit pas dépasser 25 mm de différence de niveau entre un élément de plancher chargé et un élément adjacent non chargé.

• Pour le **garde-corps**, aucune lisse, principale ou intermédiaire, ne doit fléchir de plus de 35 mm sous une charge horizontale de 0,3 kN, et il doit pouvoir supporter, sans désordre, une charge verticale de 1,25 kN.

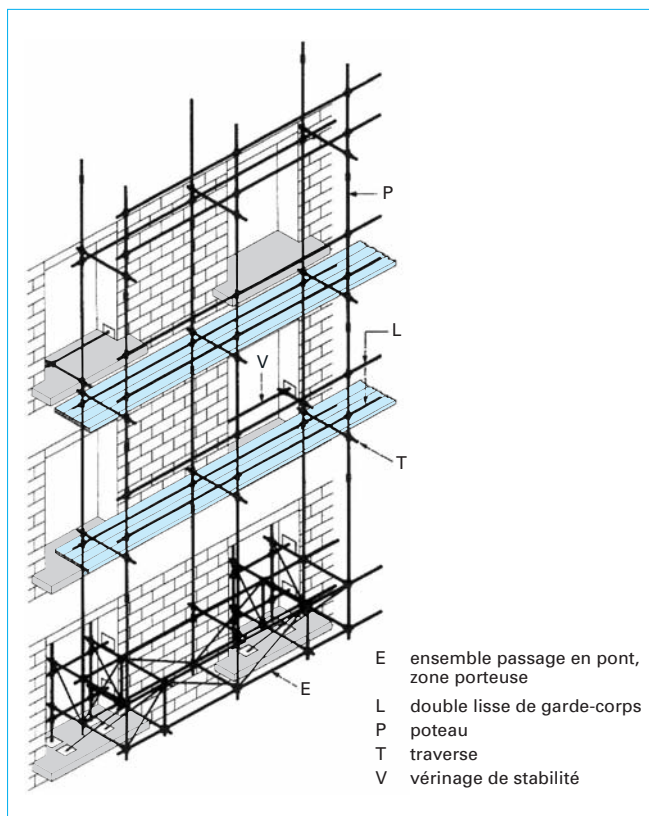


Figure 4 – Échafaudage en bascule avec passage en pont

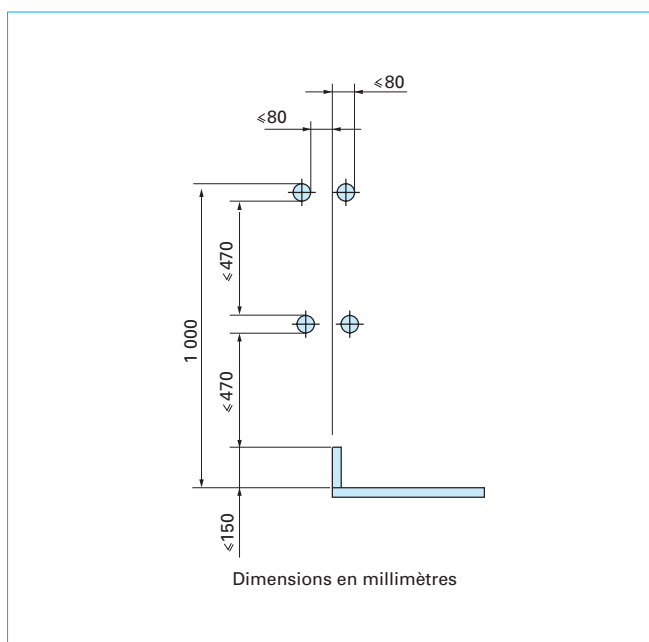


Figure 5 – Dimensions pour la protection latérale verticale avec lisse intermédiaire de garde-corps

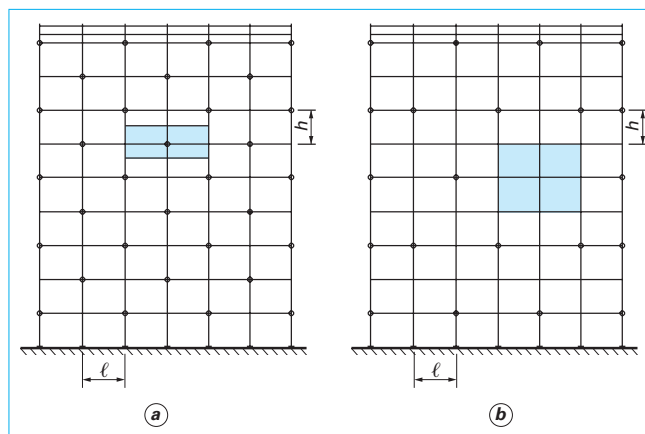


Figure 6 – Exemples de disposition d'amarrages

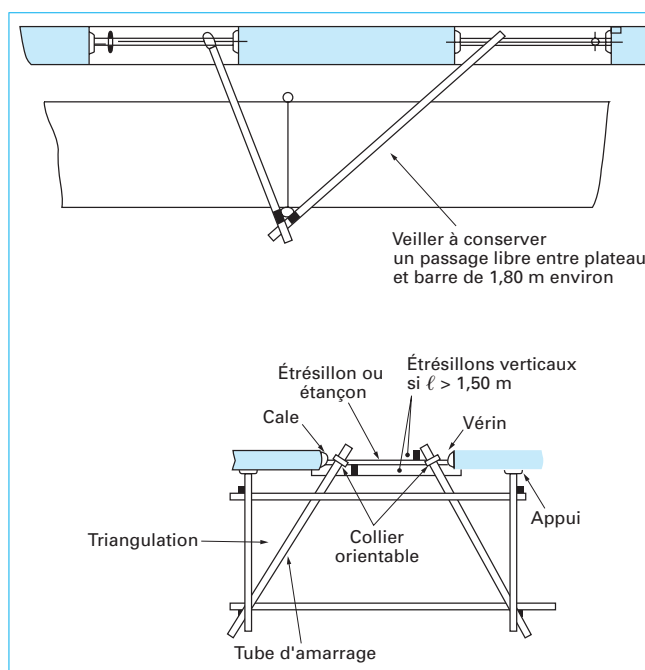


Figure 7 – Exemples de lisse en place d'étrésillons

1.1.3 Conformité aux normes européennes d'un échafaudage type de façade de pied en éléments préfabriqués

Pour un échafaudage recouvert et non recouvert, un constructeur peut obtenir une certification de conformité aux normes NF EN 12811, NF EN 12810-1, NF EN 12810-2 (cf. [Doc. C 125 v2]), en prouvant par calculs et essais qu'il peut satisfaire aux **conditions conventionnelles des normes** pour une structure partielle représentative d'un échafaudage type, dont il précise la configuration et la classe revendiquée.

Un constructeur peut aussi obtenir une certification par tierce partie.

Cette démarche est volontaire de la part du fabricant et implique personnellement tous les intervenants depuis la conception jusqu'à la fabrication.

Tableau 2 – Charges de service sur les surfaces de travail

Classe de charge	Charge uniformément répartie	Charge concentrée sur une surface de (500 × 500) mm	Charge concentrée sur une surface de (200 × 200) mm	Charge appliquée à une surface partielle	
	q_1 (kN/m ²)	F_1 (kN)	F_2 (kN)	q_2 (kN/m ²)	Coefficient de surface partielle (a_p)
1	0,75	1,50	1,00	–	–
2	1,50	1,50	1,00	–	–
3	2,00	1,50	1,00	–	–
4	3,00	3,00	1,00	5,00	0,4
5	4,50	3,00	1,00	7,50	0,4
6	6,00	3,00	1,00	10,00	0,5

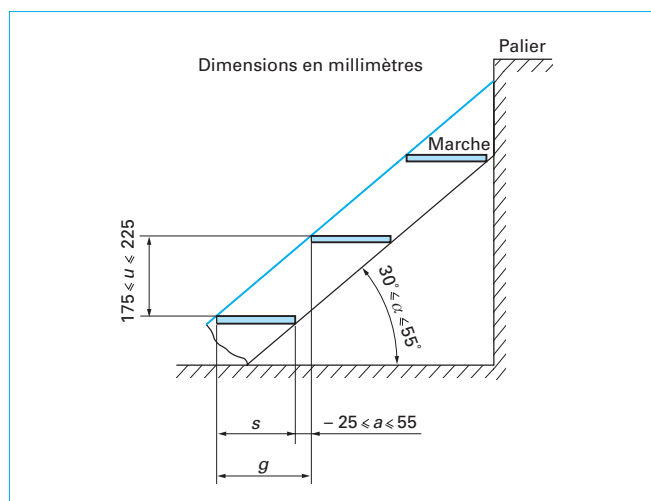


Figure 8 – Dimensions des escaliers

Actuellement, la marque NF est l'une des certifications des échafaudages qui garantit les respects des exigences normatives et, pour l'échafaudage, des performances identiques aux produits certifiés d'origine.

■ **Combinaisons conventionnelles de charges** (normes NF EN 12811-1, NF EN 12810-1 et 2).

● **En service :**

- poids propre de tous les éléments ;
- charge de service uniformément répartie appropriée à la classe choisie (tableau 2) sur un plancher au niveau le plus défavorable ;
- 50 % de cette même charge sur un niveau immédiatement supérieur ou inférieur ;
- action due à un vent de 200 N/m² (prendre une hauteur maximale de 400 mm offerte au vent incluant la plinthe pour les échafaudages dans le cas où l'échafaudage est non recouvert).

● **Hors service :**

- poids propre de tous les éléments ;
- pourcentage de la charge en service sur un plancher :
 - classes 2 et 3 : 25 % ;
 - classes 4, 5 et 6 : 50 % ;
- action due au vent : il faut tenir compte d'une action s'exerçant sur une hauteur de 200 mm incluant la plinthe dans le cas où l'échafaudage est non recouvert (figure 9).

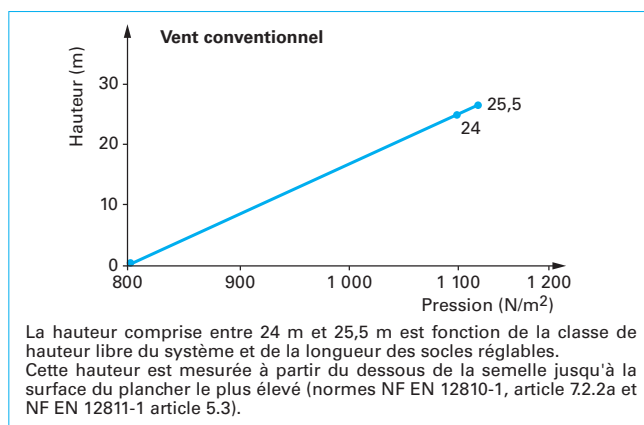


Figure 9 – Pression dynamique du vent

■ **Autres conditions conventionnelles**

● **Hauteur totale**

Elle doit être de 24 m à 25,5 m environ (du dessous de la semelle au-dessus de la surface du plancher le plus élevé).

● **Nombre de planchers installés** (cf. norme NF EN 12811-1)

- À tous les niveaux, pour les classes de largeurs W06 et W09 soit, 0,6 m ≤ w ≤ 0,9 m ;
- À cinq niveaux seulement, pour les classes de largeurs W12 à W24 soit, 1,2 m ≤ w ≤ 2,4 m.

● **Semelles réglables**

À l'extension maximale.

● **Plénitude**

La plénitude ϕ concerne le bâtiment d'accueil ; elle a pour valeur le rapport entre la surface nette (surface totale, déduction faite des ouvertures) et la surface totale.

En France, en cours d'édification, cette valeur est de l'ordre de $\phi = 0,7$.

■ **Configuration de l'échafaudage à évaluer** (structure partielle représentative voir norme NF EN 12810-2 – 4 étages, 3 travées)

Il convient de prendre en compte :

- la géométrie de la structure ;
- la hauteur d'étage (liée à la taille de l'homme) ;
- la classe de largeur ;
- la longueur de travées, de 2,00 à 3,00 m généralement ;
- la disposition des amarrages et des ancrages ;
- l'échafaudage recouvert (tôle, bâche, filet) ou non recouvert ;

- la disposition des contreventements ;
- la présence ou non de consoles ;
- le paramètre de l'encastrement partiel dans le cas des nœuds modulaires ;
- le paramètre de rigidité des planchers, s'ils sont participants à la stabilité ;
- les caractéristiques mécaniques de tous les éléments.

1.1.4 Vérifications

■ Vérifications générales

La structure doit satisfaire aux conditions conventionnelles, ce qui constitue la preuve que le constructeur a présenté un matériel d'un bon niveau de sécurité, valable sur un très grand nombre de sites. Pour les calculs, on se référera aux paragraphes 2 et 3 du dossier [C 127].

L'analyse peut être effectuée au premier ordre ou au second ordre, en bidimensionnel (plans transversaux verticaux) ou en tridimensionnel. Dans l'analyse au premier ordre, il est nécessaire de connaître la charge critique. Dans cette analyse, en effet, les majorations des contraintes de compression et de flexion des éléments dépendent de la charge critique. Cependant, cette méthode n'est acceptée que si $\alpha_{cr} \geq 2$ (cf. [C 127] § 3.1).

Remarques : pour la certification, il est demandé au constructeur de valider le modèle utilisé pour l'analyse par un essai global pour la charge critique, s'il s'agit du premier ordre, ou par un essai global de déformation, s'il s'agit du second ordre (cf. norme NF EN 12810-2).

■ Vérification pour un chantier donné

● Si les conditions réelles sur le chantier entrent dans le cadre conventionnel, **il n'y a pas de nouveaux calculs à présenter**, et le montage, ainsi que la disposition des amarrages et des ancrages suivent la notice du constructeur.

- S'il y a dépassement des conditions conventionnelles :
- charges d'exploitation plus fortes ;
 - charges climatiques (vent plus fort, neige dont on doit tenir compte) ;
 - dépassement de la hauteur maximale de 24 m, etc.,

un nouveau calcul de vérification sera nécessaire pour lequel l'utilisateur pourra demander l'assistance du constructeur.

1.2 Échafaudages de service autres que les échafaudages de façade

1.2.1 Parapluies

Ce sont des structures utilisées pour la mise hors d'eau d'une construction (immeuble, par exemple), pendant une surélévation ou pendant des travaux de réfection.

Les parapluies (figure 10) sont composés de poutres de franchissement appelées fermes, reposant sur des palées verticales prenant appui au sol ou sur un porte-à-faux établi sur la construction.

Les parapluies sont recouverts sur toutes leurs faces par des tôles ondulées en acier galvanisé maintenues aux tubes par des crochets en acier manganosiliceux (figure 11), évitant ainsi le percement des tôles, ou bien par des bâches avec système d'accrochage au tube.

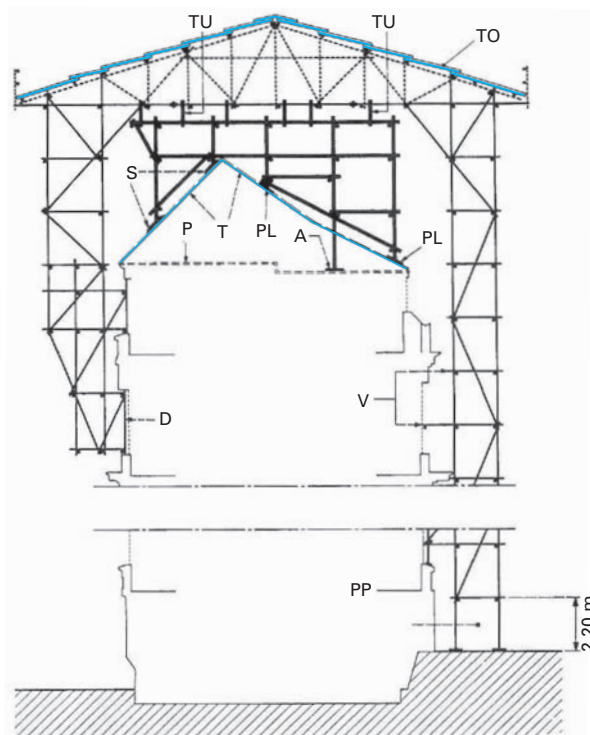
Ces liaisons doivent supprimer tout risque d'arrachement par le vent lorsque le nombre d'attaches est suffisant.

Les parapluies sont soumis :

- à leur poids propre ;
- à l'action du vent ;
- à l'action de la neige éventuellement.



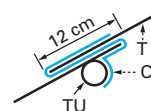
(a) vue générale



A	appui sur plancher du grenier	S	sacs de sable
D	départ en porte à faux	T	toiture existante
P	plancher du grenier	TO	tôles
PL	planches	V	vérinage dans les baies
PP	passage pour piétons		

(b) principe de mise en œuvre

Figure 10 – Parapluie



C	crochet acier demi-dur
T	tôle
TU	tube
	Largeur : 20 mm
	Épaisseur : 4 mm

Figure 11 – Crochet à tôles

Ils doivent être amarrés à la construction qu'ils protègent. Dans certains cas de grande hauteur et d'efforts importants, on peut utiliser des haubans ramenant les efforts dus au vent à des points durs de la construction.

■ Matériels utilisés

● **Pour les poutres de franchissement** (fermes), on utilisera surtout les « tubes et les raccords », qui permettent de faire face aux dispositions les plus variées ; on peut utiliser aussi des poutres à éléments préfabriqués (poutres commercialisées pouvant s'associer aux tubes et raccords).

● **Pour les palées verticales de soutien**, on utilisera des matériels en « tubes et raccords » ou des matériels préfabriqués (modulaires ou cadres).

■ Stabilité des parapluies

La vérification des fermes transversales du franchissement et des plans transversaux des palées d'appui se fait à l'aide d'une analyse au premier ordre, en examinant en particulier le flambement local des éléments en compression ou en compression-flexion.

La stabilité longitudinale du franchissement fait appel, pour le plan supérieur et toutes les quatre travées, à un contreventement en croix de St-André. Le plan inférieur, correspondant aux entrants des fermes transversales, est relié par des bracons au plan supérieur. D'autre part, en bas des pentes de toiture suivant long-pans, un contreventement par diagonales sur toute la longueur du parapluie sera aménagé.

La stabilité des palées d'appui sera assurée par des croix de St-André toutes les quatre travées.

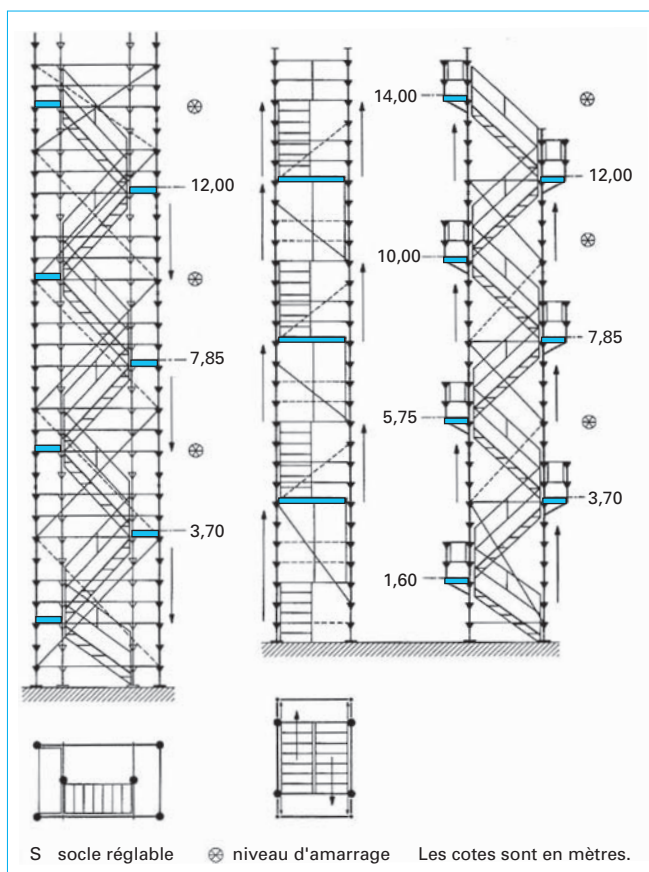


Figure 12 – Tour d'accès

1.2.2 Tours d'accès

Ces tours, à sections carrées ou rectangulaires (figure 12), sont destinées à accéder aux différents niveaux. Ce sont :

— soit des **tours à échelles à marches ou escaliers** destinées à l'accès du personnel aux postes de travail, à des échafaudages ou à des tours d'accès d'étalement sur des chantiers du BTP (norme NF P 93-521). Les volées d'escalier et les dégagements horizontaux tels que paliers et planchers de circulation doivent supporter une charge uniformément répartie de 2 kN/m^2 . La hauteur de la volée est limitée à la hauteur de 25 marches ; la largeur de passage reste supérieure ou égale à $0,55 \text{ m}$;

— soit des **escaliers de chantier** destinés à l'accès et à l'évacuation du personnel (norme NF P 93-522). La hauteur de la volée est limitée à la hauteur de 25 marches. La largeur des volées et des dégagements horizontaux doit être de $0,90 \text{ m}$ pour le type A et $1,40 \text{ m}$ pour le type B. Les volées d'escalier et les dégagements horizontaux doivent supporter selon la classe de l'escalier les charges suivantes :

- type A : 3 kN/m^2 ,
- type B : $4,5 \text{ kN/m}^2$;

— soit des **escaliers provisoires métalliques** destinés à un usage public (NF P 93-523). La hauteur d'une volée est limitée à la hauteur de 25 marches. La largeur des volées et des dégagements est la suivante :

- 1 unité de passage : largeur de $0,90 \text{ m}$,
- 2 unités de passage : largeur de $1,40 \text{ m}$,
- Au-delà de deux unités de passage :
 - la largeur doit être un multiple de $0,60 \text{ m}$ par unité de passage et limitée à 4 unités de passage ;
 - les volées d'escalier et les dégagements horizontaux doivent supporter une charge répartie de 6 kN/m^2 . Ces travées doivent être stables, soit amarrées, soit lestées si nécessaire ;
 - les deux premiers types de tour doivent répondre à la réglementation du décret du 1^{er} septembre 2004, de l'arrêté du 21 décembre 2004, de la circulaire du 27 juin 2005 relative à la mise en œuvre du décret et de l'arrêté (cf. [Doc. C 125 v2]) ;
 - le dernier type de tour doit également répondre à la réglementation des établissements recevant du public (arrêté du 25 juin 1980).

1.2.3 Échafaudages préfabriqués roulants

Les échafaudages roulants sont des structures déplaçables de service autostables, équipées d'un ou plusieurs planchers de travail ou intermédiaires, et munies de moyens d'accès et de garde-corps (figure 13). Ils sont constitués par des éléments préfabriqués spécifiques à cette utilisation. Leurs dimensions sont fixées à leur conception.

Ils sont équipés de quatre pieds et d'au moins deux roulettes ; ceux d'une hauteur supérieure à $2,50 \text{ m}$ sont munis d'au moins quatre roues ; ces 4 roulettes possèdent un dispositif de blocage en rotation et en translation ; leur capacité de charge doit être en rapport avec le poids propre et les charges de service.

Ces appareils sont très utilisés par les professionnels du second œuvre ainsi que par les services de maintenance et d'entretien.

Il existe des gammes permettant de travailler à différentes hauteurs et sur différentes surfaces de plancher, avec des possibilités de chargement de 150 à 200 daN/m^2 uniformément réparti.

Les règles d'utilisation des échafaudages roulants sont définies par :

- le décret n° 2004-924 du 1^{er} septembre 2004 relatif à l'utilisation des équipements de travail mis à disposition pour des travaux temporaires en hauteur ;
- la norme NF EN 1004 (cf. [Doc. C 125 v2]), qui régit leur conception.

Le domaine d'application de cette norme concerne exclusivement les échafaudages d'une hauteur de plancher supérieure à $2,5 \text{ m}$ et inférieure à 8 m si l'usage est extérieur ou soumis au vent et inférieure à 12 m si l'usage est intérieur et sans vent ;



Figure 13 – Échafaudage roulant en position de travail

— la norme NF P 93-520 qui concerne les échafaudages d'une hauteur inférieure à 2,5 m.

Parallèlement, deux normes définissent les petites plates-formes de travail.

La norme NF P 93-352 (PIR) concerne les plates-formes individuelles roulantes (figure 14) avec un plancher à une hauteur maximale de 2,50 m au-dessus du sol. Leur destination est d'améliorer la sécurité des opérateurs et le confort du poste de travail.

Les échafaudages préfabriqués roulants faisant l'objet du droit d'usage de la marque NF offrent des conditions optimales :

- de stabilité ;
- de résistance ;
- de montage en sécurité ;
- de suivi de qualité de production ;
- de sécurité lors de l'exploitation par la mise en place de planchers tous les 3 m.

Ces conditions sont définies par le règlement particulier de la marque NF et attestées par un laboratoire indépendant.

Par ailleurs, le règlement particulier de la marque NF constitue le seul référentiel technique permettant d'évaluer les échafaudages roulants, hors NF EN 1004, d'une hauteur supérieure à 12 m.

1.2.4 Échafaudages de service en volume

Nous donnons, figure 15, l'exemple d'un échafaudage en volume pour travaux sur une carène de bateau dans lequel on utilise le système modulaire (dit aussi multidirectionnel ou multiniveau).



(a) plate-forme individuelle roulante



(b) plate-forme individuelle roulante légère

Figure 14 – Plate-forme individuelle

1.2.5 Stabilité d'une flèche d'église en maçonnerie échafaudée

La présence de l'échafaudage (figure 16) modifie l'équilibre de l'ensemble : flèche + échafaudage, l'échafaudage augmentant la surface du maître-couple exposé à la pression du vent.

Sur une flèche d'église, un échafaudage ne doit jamais être recouvert, même avec un filet.

La hauteur de l'ancrage de l'échafaudage le plus élevé dans la flèche doit être telle que, à ce niveau, le poids de la flèche soit suffisant pour que la résultante : poids de la flèche + effort du vent sur le maître-couple (échafaudage + flèche) passe dans le noyau central de la

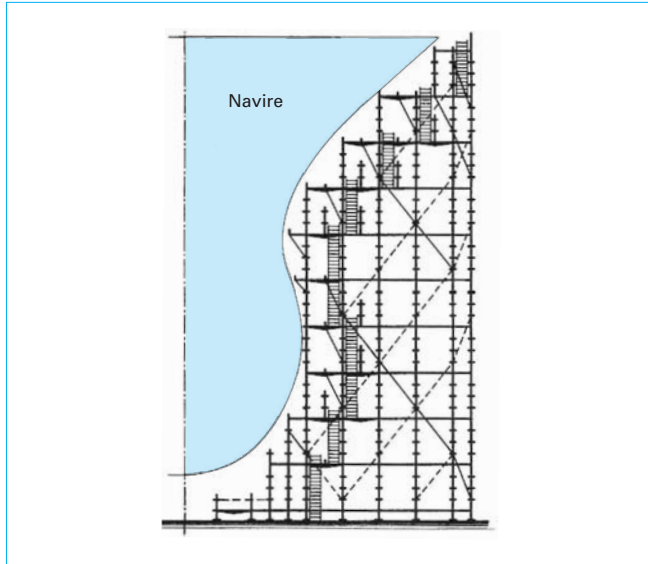


Figure 15 – Échafaudage dans un chantier naval – Système modulaire

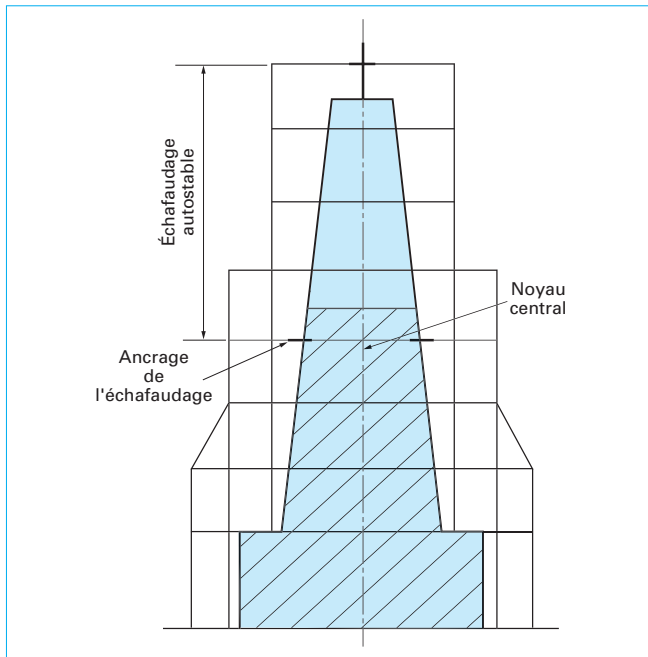


Figure 16 – Flèche d'église échafaudée

section de la flèche ou assure à la partie comprimée de la maçonnerie une contrainte acceptable de compression (environ 400 N/cm^2).

Au-delà de ce niveau, l'échafaudage doit être autostable.

La hauteur de l'ancrage le plus élevé doit être déterminée par le calcul, en fonction de l'effort du vent qui agit sur l'échafaudage et sur la flèche, et du poids de la flèche, de façon à assurer la stabilité de l'ensemble. Dans ce calcul, la pression extrême du vent est la seule pression retenue.

1.3 Étaieement

Les étaieements sont destinés à soutenir les charges dues à un ouvrage en construction ou en réfection et à transmettre celles-ci à des points d'appui préparés à cet effet, jusqu'à ce que l'ouvrage ait une capacité portante suffisante par lui-même.

Nota : la résistance admissible des surfaces d'appui doit être donnée par la maîtrise d'œuvre.

Les étaieements peuvent être des échafaudages de pied ou des franchissements sur poutrelles. L'ouvrage peut être, par exemple, un plancher industriel, un plancher de bâtiment, une travée d'accès à un pont ou un tablier de pont.

1.3.1 Charges sur l'étaieement

Les charges sont les suivantes :

- le **poids propre** : pour le déterminer, il faut tenir compte de tous les éléments de l'étaieement en y incluant les planchers de sécurité, les protections pour le montage et le démontage, les accès, ainsi que le poids du coffrage dans le cas du béton armé ;
- les **charges d'exploitation** : on prend en général, pour le béton armé, $2\,500 \text{ kg/m}^3$ (sauf cas spécial) ;
- les **charges climatiques** :
 - pour les actions du vent, se référer au dossier [C 127], paragraphe 1.2.2.1,
 - pour la charge de neige, se référer au même dossier, paragraphe 1.2.2.2.

■ Combinaisons de charges dans le cas du béton armé

Les combinaisons de charges les plus défavorables seront considérées au cours du montage, de la mise en place du coffrage, du ferrailage et du coulage pour le béton armé, puis au cours du démontage, aussi bien pour le calcul de vérification des efforts internes que pour la stabilité d'ensemble.

Le détail des combinaisons les plus défavorables (cas du béton armé) est mentionné ci-dessous. La structure doit être étudiée dans les cas suivants.

● Échafaudage d'étaieement monté, coffrage posé

Avant le coulage, tenir compte :

- du poids propre ;
- du vent hors service.

La stabilité d'ensemble sera à étudier principalement.

● Échafaudage d'étaieement monté, coffrage posé

Pendant le coulage, tenir compte :

- du poids propre ;
- du vent hors service ;
- du poids du béton.

Les efforts internes seront principalement étudiés.

■ Coffrage (pour les ouvrages en béton armé)

Le coffrage sous dalle comprend :

- un fond de moule en contreplaqué ou en métal ;
- deux ou trois lits de répartition suivant les charges. Ces lits sont constitués :

- pour le premier, supportant le fond de moule, par des planches à plat s'appuyant sur des vaux (bastings sur chant ou poutrelles industrialisées ou laminés),
- pour le dernier lit qui repose sur l'étaieement par des filants (madriers ou poutrelles industrialisées ou des laminés) ;
- dans le cas du coffrage d'une poutre en béton, s'y ajoutent les jouées verticales, avec leurs entretoises, dont le poids doit être pris en compte ;
- des jointures des éléments d'un lit qui doivent se faire au droit d'un élément du lit inférieur (sinon il faut éclisser).

Le poids approximatif du coffrage peut être estimé à 10 % du poids du béton.

On peut utiliser aussi des systèmes de coffrage préfabriqués métalliques composés de panneaux et de poutrelles dont les caractéristiques sont fournies par leurs fabricants et qui doivent être mis en place selon leurs indications.

■ Complément de charges

Au moment du coulage *in situ*, on doit prendre en compte, sur une zone de $3\text{ m} \times 3\text{ m}$, une charge supplémentaire égale à 10 % du poids du béton, sans être supérieure à $1,75\text{ kN/m}^2$ ni inférieure à $0,75\text{ kN/m}^2$ (cf. norme NF EN 12812, paragraphe 8.2.3.1).

Nota : ce complément de charge est dû à un déchargement surabondant du béton.

■ Secousses sismiques

Il convient d'en tenir compte suivant l'emplacement du chantier (selon ENV 1998).

■ Action horizontale

Cette action peut être due au pompage du béton.

Pour en tenir compte prendre, en tête de l'étalement, 1 % de la charge verticale (norme NF EN 12812, paragraphe 8.2.2.2).

1.3.2 Disposition d'un étalement de pied (cas du béton armé)

Les poteaux reçoivent axialement le dernier lit du coffrage dans les fourches réglables situées en tête, transmettent les charges verticales au pied où un socle permet une répartition des charges sur le sol d'appui (figures 17 et 18).

Les fourches à vérin permettent le réglage fin en hauteur au montage, puis le décentrement (qui peut être suivi d'un déplacement sur galets pour réemploi, après remise à hauteur). Ce réglage peut être complété par le jeu des vérins des socles réglables au pied. Le décentrement peut atteindre 10 cm.

Le matériel utilisé peut être des tubes et raccords ou des cadres ou encore des modulaires.

La tendance est de plus en plus marquée en faveur de l'emploi des systèmes préfabriqués. Le montage est plus rationnel, les temps de mise en œuvre sont diminués.

Les structures utilisées peuvent être du type :

- tours (triangulaires, rectangulaires, carrées) ;
- palées ;
- volumes ;

en « cadres » ou en « modulaires » (figure 19).

Ces étalements doivent être bien contreventés pour assurer la stabilité sous les charges. Lorsque les systèmes sont contreventés uniquement par diagonales, ils sont dits complètement triangulés ; ils sont beaucoup plus rigides que ceux qui ne sont pas complètement triangulés.

En général :

- la hauteur d'étage varie de 1,20 m à 2,00 m ;
- la largeur et la longueur de travée varient de 1,00 m à 2,50 m ;
- la charge portante pour les structures en acier varie dans une fourchette de :

- 2 à 3 t pour les poteaux de $\varnothing 48,3\text{ mm}$,
- 4 à 6 t pour les poteaux de $\varnothing 60,3\text{ mm}$,
- 6 à 10 t pour les poteaux de $\varnothing 76,1\text{ mm}$.

Suivant les différentes hauteurs totales envisagées pour ces systèmes préfabriqués, les notices du constructeur donnent toutes les indications utiles concernant les différents modèles de leur gamme.

■ Cas des étais télescopiques

Utilisés pour les planchers de hauteur modérée (en général, pas plus de 4 m), ils doivent soutenir au moins une charge de service de 1 t en déploiement maximal (figure 20). Une grande attention doit être portée à la stabilité de l'ensemble !

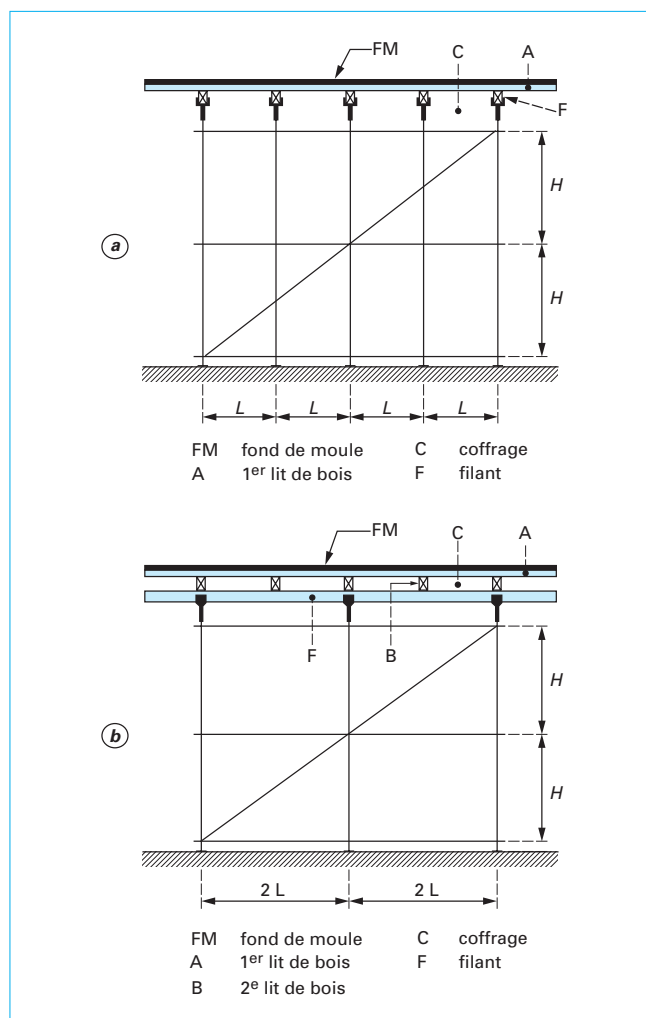


Figure 17 – Principe d'étalement

1.3.3 Étalements de franchissement (cas du béton armé)

Lorsqu'on ne peut s'appuyer partout au sol, il est possible d'utiliser des poutrelles préfabriquées supportant l'ouvrage par l'intermédiaire d'un coffrage et reportant ses charges sur des pylônes préfabriqués ou sur des corbeaux.

Il existe sur le marché des **poutrelles**, moyennes ou lourdes, ainsi que des **pylônes** moyens ou lourds. Ces matériels préfabriqués sont constitués de parties composables, adaptables et réglables. Leurs éléments sont en général des treillis.

Le plan supérieur des poutrelles doit être convenablement triangulé pour éviter tout déversement (voir norme NF EN 12812, paragraphe 9.4.2.3.2). Le plan inférieur comporte, aux jonctions, des réglages par vérins et sa stabilité doit être assurée.

La poutrelle doit être réglée au montage en prévoyant éventuellement une contre-flèche. Les pylônes, eux, comportent de gros vérins permettant le réglage fin en hauteur et le décentrement.

Ces matériels peuvent, en général, recevoir des tubes et raccords (tubes $\varnothing 48,3\text{ mm}$) ou des cadres préparés à l'avance.

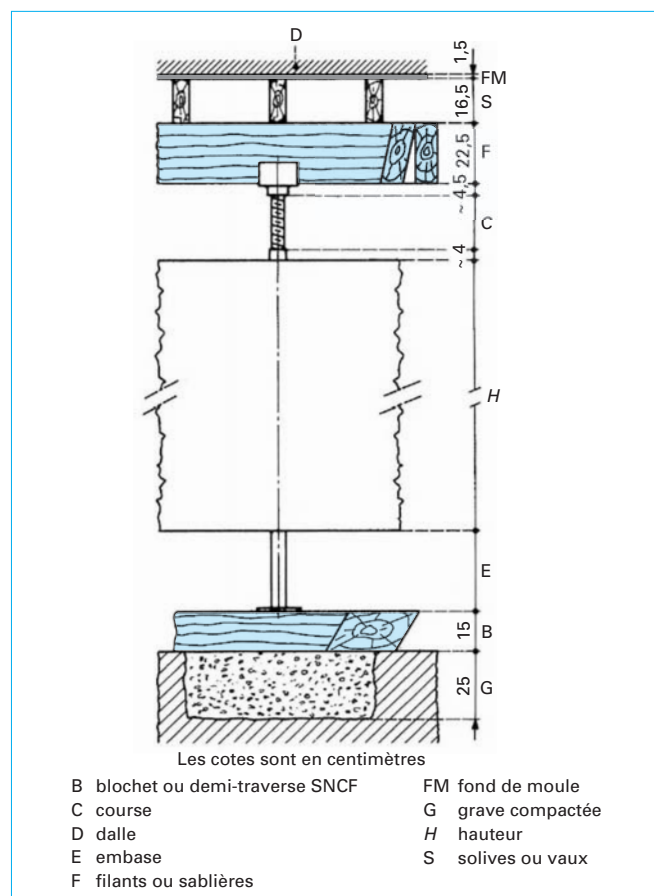


Figure 18 – Étalement : base et coffrage

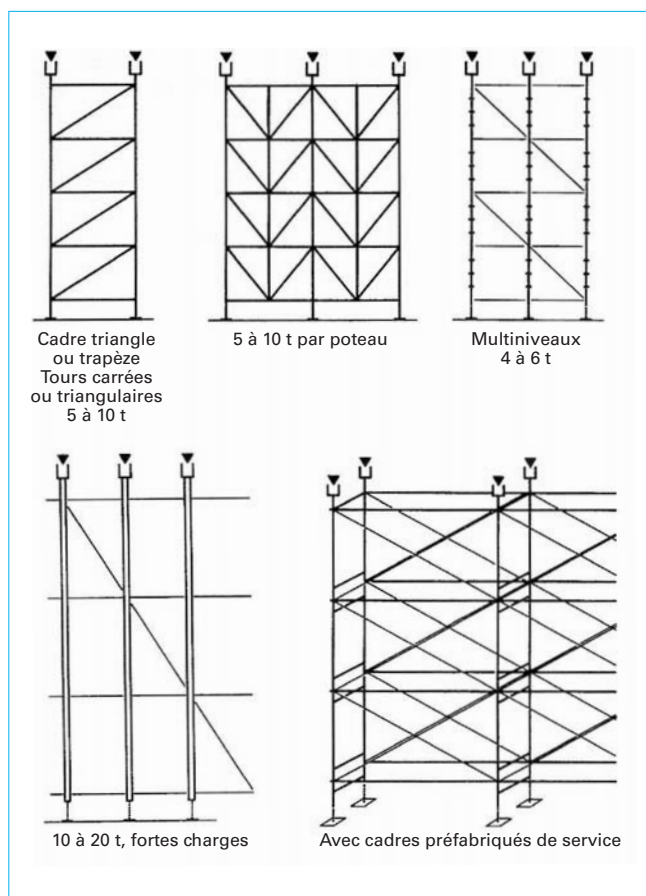


Figure 19 – Différents types d'étaisements

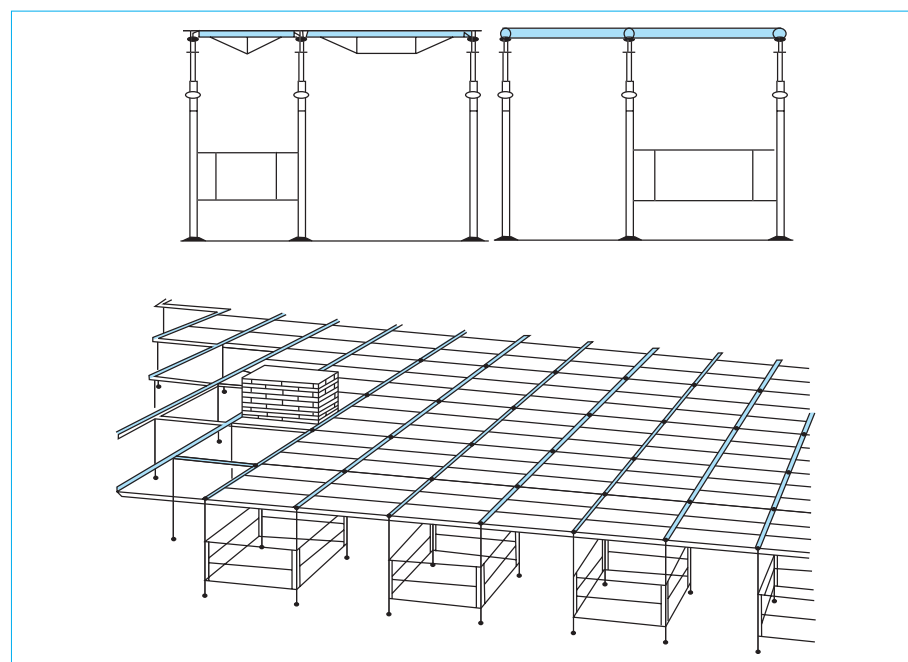


Figure 20 – Poutrelles supports de coffrages modulaires préfabriqués s'appuyant sur des étais télescopiques

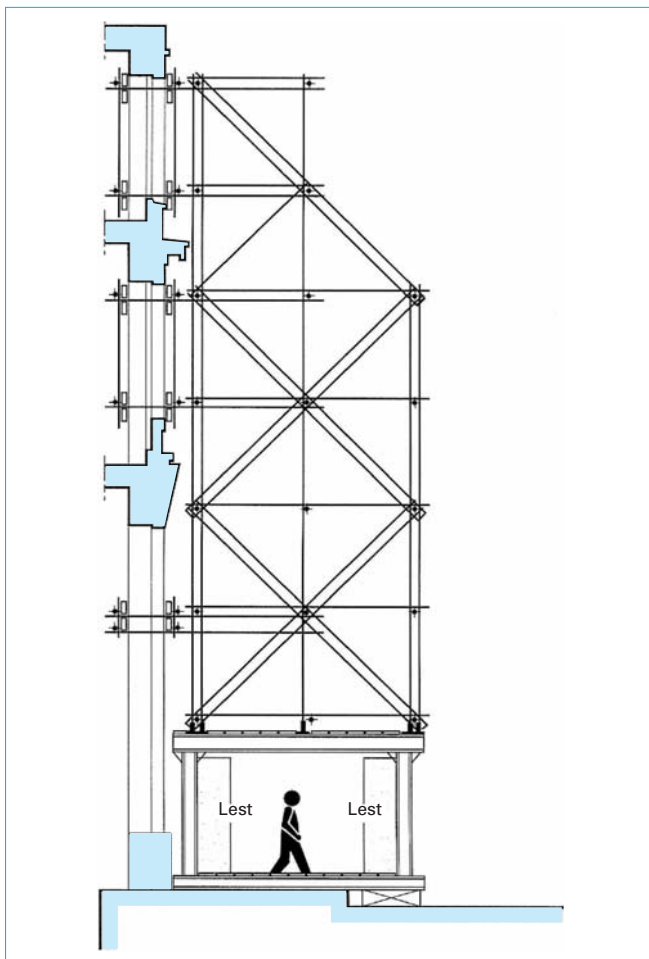


Figure 21 – Étançonnement de façade

On trouve, entre autres, dans le commerce :

- des poutrelles en profilés d'alliage aluminium d'une longueur de 2,00 à 5,00 m, capables de reprendre un moment de flexion de 1 000 m.daN et avec un effort tranchant admissible d'environ 5 000 daN ;
- des poutrelles en acier en treillis, de longueur 2,50 à 12,50 m, capables de reprendre un moment de flexion de 15 000 m.daN ;
- des poutres en treillis d'acier d'une longueur de 20,00 m maximum et capables de reprendre un moment de flexion de 120 000 m.daN et avec un effort tranchant admissible de 30 000 daN ;
- des pylônes d'une hauteur de 5,00 à 20 m, d'une capacité en compression de 3 000 daN à 10 000 daN suivant la hauteur. On peut les utiliser à des hauteurs supérieures mais la capacité de compression s'en trouve diminuée.

1.3.4 Structures spéciales entrant dans la catégorie des étaitements

■ Étrésillons entre deux murs

Cette structure en treillis caisson est mise en place pour empêcher le rapprochement de murs de bâtiment avant de procéder à une excavation entre ceux-ci.

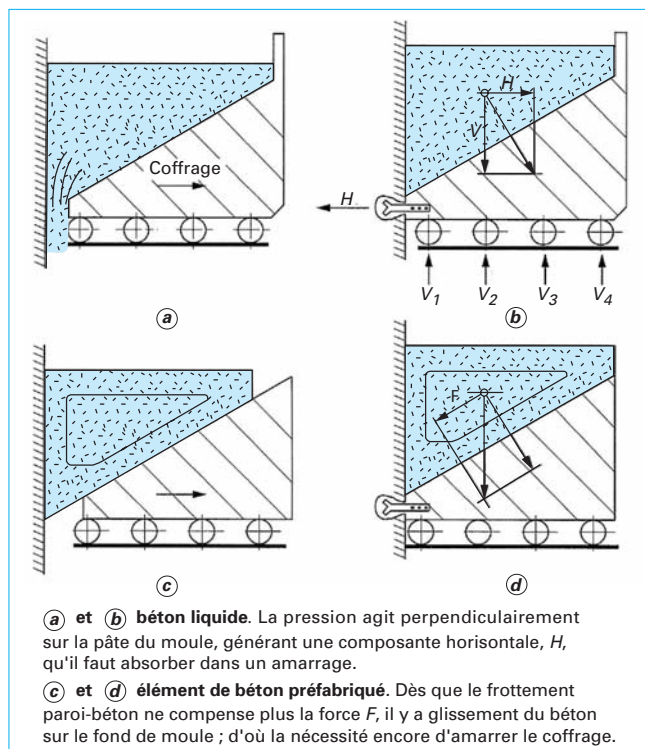


Figure 22 – Fonds de moule inclinés

■ Étançonnement de façade

Cet étançonnement est nécessaire lorsque l'on refait entièrement l'intérieur d'un bâtiment tout en conservant la façade ancienne. Il doit être capable de reprendre les poussées horizontales dues, d'une part, aux efforts du vent et, d'autre part, à une fraction du poids total de la maçonnerie (1/100) (figure 21).

1.3.5 Étaieement de pied pour dalle inclinée

On peut voir sur les figures 22, 23, 24, 25, 26 les dispositions et précautions à prendre, dans plusieurs cas d'étaieement avec sous-face inclinée, pour éviter les désordres qui pourraient résulter de cette inclinaison.

Les légendes des figures donnent des indications sur les dispositions recommandées.

1.4 Structures provisoires

1.4.1 Hangars

On peut construire, en tubes et raccords, des hangars de toutes formes et de toutes dimensions (semi-définitifs ou provisoires, ils sont complètement récupérables).

Les fermes utilisées les plus classiques sont les suivantes (figure 27) :

- fermes à entrain horizontal avec ou sans diagonales d'angle ;
- fermes à entrain retroussé ;
- fermes à tirant horizontal.

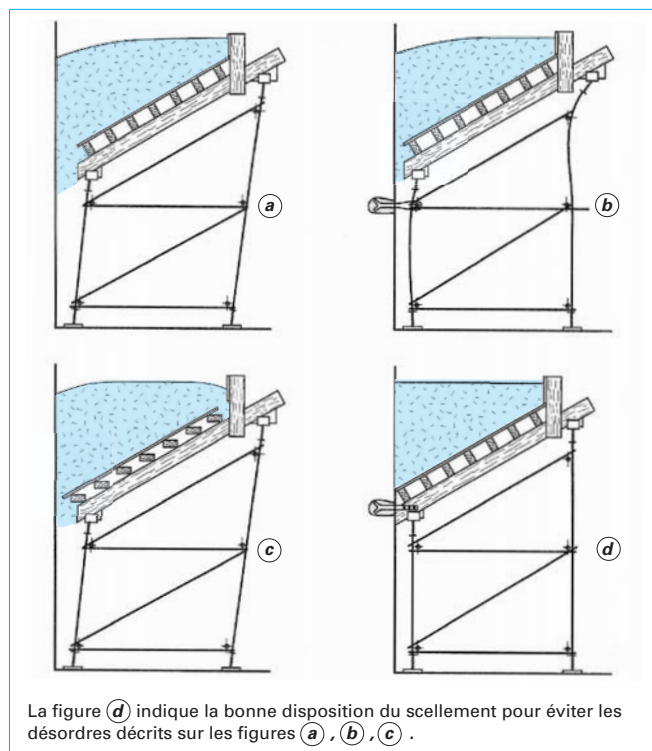


Figure 23 – Étaie de sous-face inclinée

Lorsque l'on construit en tubes et raccords, on peut compter environ 5 à 8 m de tubes par mètre carré couvert (pour une hauteur maximale de 8 m) et pour une portée maximale de 22 m), soit 25 à 40 daN/m².

Les palées sont souvent implantées dans des massifs en béton.

Pour la pose des couvertures, on disposera de garde-corps provisoires (figure 28).

On peut aussi réaliser ces hangars avec des composants spécifiques préfabriqués et démontables pour toute une gamme de structures.

Pour la stabilité générale des hangars, se reporter au paragraphe 1.2.1 « Stabilité des parapluies ».

1.4.2 Passerelles provisoires

Les passerelles provisoires sont de deux types :

- les passerelles assurant la circulation du personnel dans un chantier, site normalement interdit au public ;
- les passerelles assurant la circulation du public, par exemple un passage piéton provisoire au-dessus d'une route.

Description

Ces passerelles peuvent être réalisées avec des composants standards d'échafaudage (permettant d'autres emplois après démontage) soit en « tubes et raccords », soit en « éléments préfabriqués ».

Les liaisons sont exécutées par boulonnage ou par clavetage, et ces passerelles peuvent présenter des planchers qui leur sont adaptés.

La résistance de ces composants et des liaisons est donnée par le fabricant et doit être conforme aux règles et normes en vigueur.

La hauteur et la largeur doivent être réglées pour permettre la circulation des personnes sur la structure.

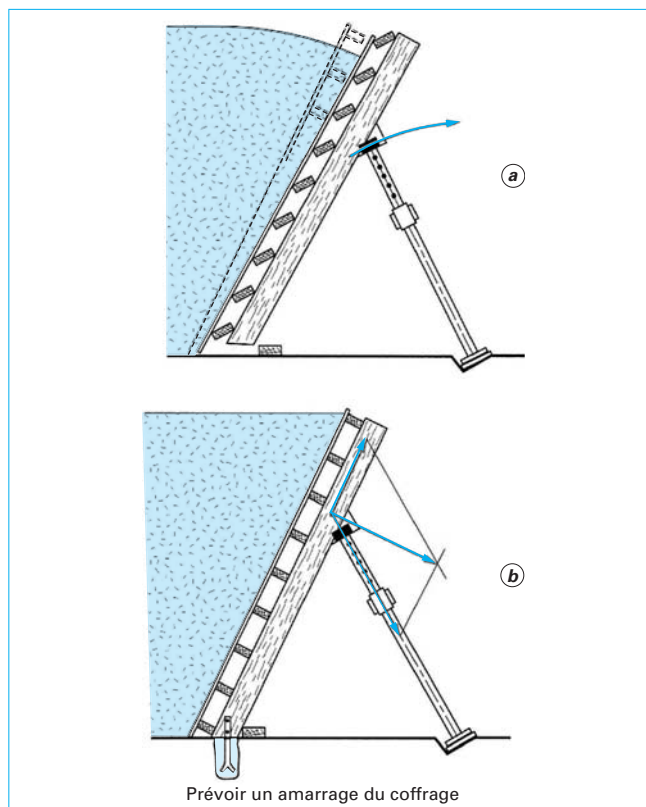


Figure 24 – Étaie de paroi verticale ou inclinée

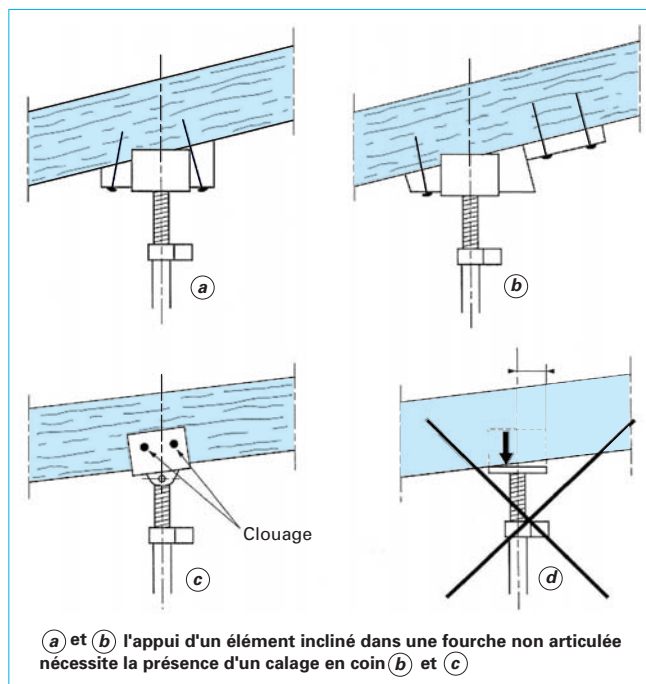


Figure 25 – Transmission des charges des coffrages sur le fond de fourche

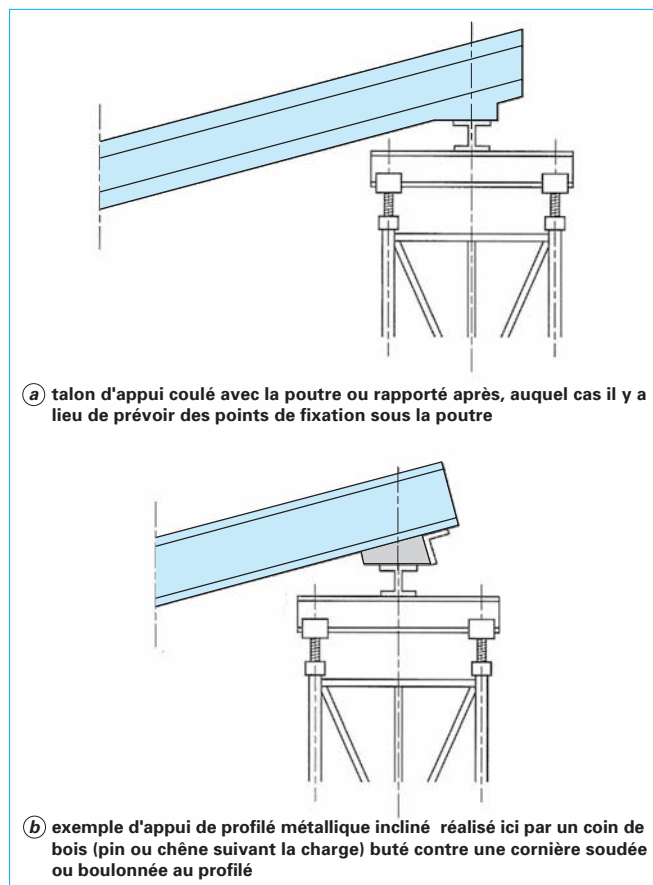


Figure 26 – Appui provisoire d'élément incliné (poutre, dalle...) en béton préfabriqué ou profilé métallique

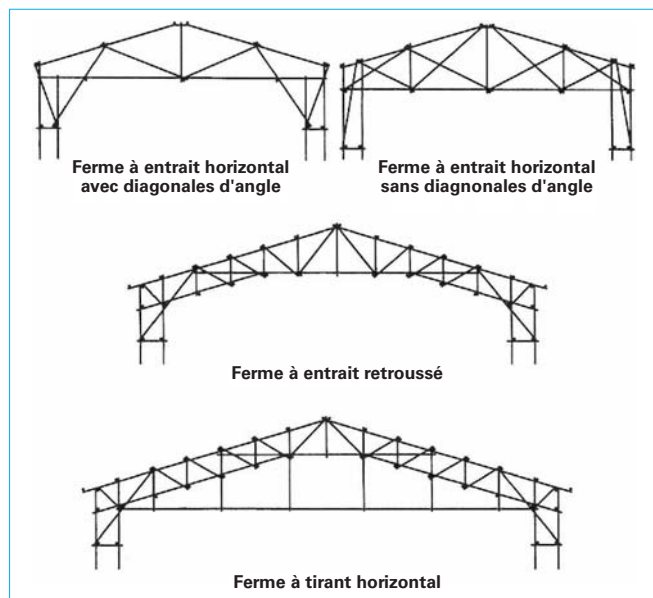


Figure 27 – Hangars. Différents types de ferme

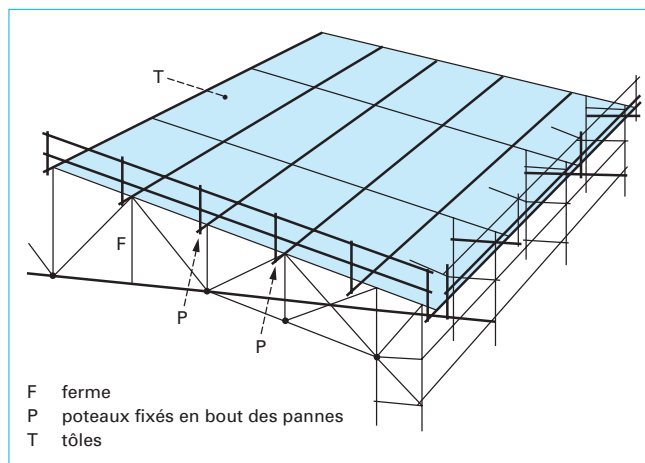


Figure 28 – Garde-corps provisoire pour pose de couverture

Une règle professionnelle préconise un rapport hauteur sur portée de 1/15 au minimum. Pour les passerelles en tubes et raccords, ce rapport est de 1/10 au minimum.

Ces passerelles sont conçues suivant le principe des caissons en treillis. Leurs planchers ne doivent pas comporter d'espace libre supérieur à 20 mm et être antidérapants.

● Garde-corps

Les dimensions des garde-corps sont les suivantes :

- garde-corps de passerelles de chantiers :
 - lisse d'une hauteur de 1,00 m à 1 m 10,
 - sous-lisse intermédiaire,
 - plinthe de 0,10 m à 0,15 ;
- garde-corps de passerelles pour le public :
 - lisse d'une hauteur de 1,10 m,
 - baraudage : partie pleine de 0,45 m à partir du sol et baraudage horizontal avec clair $\leq 0,18$ m ou baraudage vertical avec clair $\leq 0,11$ m.

● Caractéristiques des passerelles

Les matériaux utilisés pour la construction de ces passerelles sont décrits dans le dossier [C 126].

Les passerelles doivent justifier des résistances suivantes :

- passerelles de circulation de chantier :
 - charge répartie 2 kN/m^2 ,
 - charge concentrée 1 kN ;
- passerelles d'accès à certains appareils (milieu industriel) :
 - charge répartie $1,5 \text{ kN/m}^2$,
 - charge concentrée 1 kN ;
- passerelles pour le public :
 - charge répartie 5 kN/m^2 ,
 - 6 kN avec un public immobile et une charge concentrée.

■ Actions sur les passerelles

Ce sont :

- le poids propre de la structure ;
- le poids propre des planchers ;
- la charge due au personnel ou au public ;
- les efforts climatiques.

■ Vérification de la stabilité de la structure

● Plans latéraux triangulés par des diagonales

Les efforts dans les barres peuvent être déterminés par méthode analytique, ou par crémone (méthode graphique pour déterminer les efforts dans les barres). Pour les éléments en compression, on

tiendra compte du flambement local. Il faut monter les diagonales de façon qu'elles soient sollicitées **de préférence** en traction.

Les éléments de membrure inférieure sollicités en traction ne doivent pas avoir la possibilité de se désempoiter.

Les plans latéraux sont souvent composés de poutres superposées, chacune travaillant pour son propre compte. Il est alors recommandé que la **période de vibration soit supérieure à 3 Hz**.

● Plans supérieurs et inférieurs

Ces plans doivent être complètement triangulés par des diagonales qui assurent le contreventement et la résistance au flambement général. Les appuis doivent être stabilisés dans le sens transversal de la passerelle.

2. Mise en œuvre du chantier, montage, démontage, entretien, conseils

Pour tous les échafaudages, qu'ils soient réalisés en tubes et raccords ou en éléments préfabriqués, une reconnaissance préalable du chantier est nécessaire pour apprécier les particularités et les possibles difficultés.

Il faut se soucier de la nature du sol d'appui, des pentes, des passages à réserver, des possibilités d'amarrages, des obligations imposées par la voirie (passages piétons, devantures, enseignes, lignes électriques...).

Tous ces aspects étant pris en compte, il est alors possible de dresser un plan, d'établir une note de calcul ainsi qu'une nomenclature du matériel à livrer.

Le montage doit se faire avec du matériel en bon état (tubes droits, cadres non faussés, raccords et accessoires entretenus, filetages bien huilés).

Les répartitions au sol, les calages des pieds des poteaux (figure 29) nécessaires en cas de pente trop forte pour éviter de trop grandes sorties des vérins, doivent être correctement exécutés (pas d'empilage de cales).

La bonne tenue d'un échafaudage dépend des soins apportés au montage ; la mise à niveau des moises, l'aplomb des montants doivent être vérifiés. Alors que ces dernières opérations sont à renouveler à chaque étage pour le montage des échafaudages à tubes et à raccords, elles ne sont nécessaires qu'au démarrage, à l'implantation, dans le montage des échafaudages préfabriqués, d'où le soin particulier à leur apporter.

Pour les étalements qui peuvent transmettre de lourdes charges aux appuis, il convient de s'assurer de la bonne répartition de la charge sur le sol d'appui pour éviter des tassements trop importants mais aussi des tassements différentiels qui peuvent être très dommageables pour la structure. Il n'y a pas de problème particulier quand on s'appuie sur un radier ; dans ce cas, cependant, il est bon d'interposer du bois entre la plaque de base et le béton pour absorber les imperfections de surface du béton brut.

Quand il s'agit d'appuis sur une dalle de plancher récemment coulée, la dalle aussi doit être étayée.

Dans le cas où l'appui se fait sur le sol naturel, il est indispensable d'enlever la couche de terre végétale et de mettre à nu le bon sol. Sur ce sol, on peut avantageusement répandre et compacter, sur 25 cm d'épaisseur, une grave ciment sur laquelle on devra installer un platelage de répartition.

Il faut veiller au bon centrage des charges dans les fourches en tête des poteaux et bien vérifier, avant coulage, la verticalité des vérins en tête et en pied. Vérifier aussi que les vérins sont bien tous en contact en haut avec le coffrage, en bas avec le platelage d'appui.

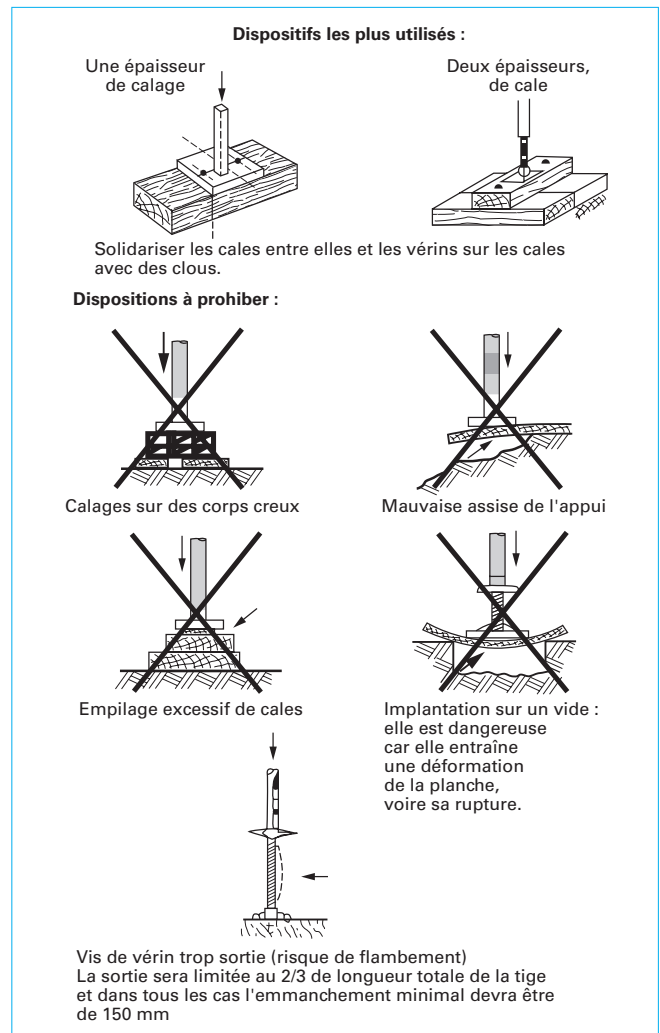


Figure 29 – Calages à mettre en œuvre ou à prohiber

Le montage et le démontage doivent se faire en toute sécurité pour les monteuses qui, s'il n'existe pas de sécurité intégrée (cf. [Doc. C 125v2], figure 9 – Cadre multiservice) doivent avoir à leur disposition des harnais de sécurité.

Les planchers de sécurité de circulation et d'accès aux postes de travail doivent être établis en fonction des surcharges qui ne doivent en aucun cas être pour le calcul, prises inférieures à 0,75 kN/m² (cf. norme NF EN 12812, article 8.2.2.1.3).

En ville, toutes dispositions (planchers, auvents...) doivent être prises pour garantir la libre circulation des piétons.

Le diagramme de la figure 30 donne des temps moyens (en heures passées par tonne de matériel) à envisager pour le montage et le démontage des échafaudages en fonction de leur hauteur. Ces temps sont à pondérer pour, éventuellement, tenir compte de difficultés propres au chantier mais aussi de l'organisation et des moyens mis en œuvre par l'entreprise.

■ Chantiers en tubes et raccords

Les tubes utilisés sont, le plus généralement, des tubes circulaires Ø 48,3 mm (NF EN 39, NF EN 12810-1, NF EN 12811-1) d'épaisseur

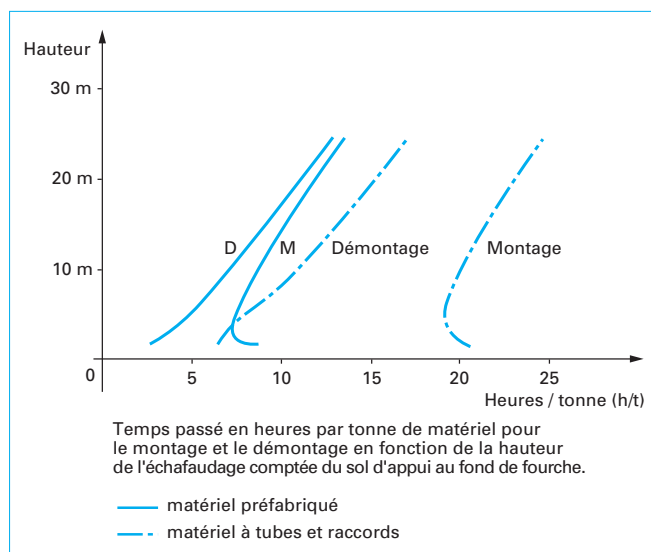


Figure 30 – Temps de montage et de démontage

de paroi 3,2 mm. Les longueurs « sortie d'usine » sont de 6,50 m maximum, recoupées en tronçons multiples de 0,25 m ou 0,30 m (les coupes doivent être bien gérées pour que le stock n'ait pas trop d'éléments de différentes dimensions ni d'éléments trop petits).

La composition d'un poteau, d'une lisse, d'une traverse, etc., peut se faire par adjonction bout à bout de tubes à l'aide d'un accessoire de prolongation. Pour les poteaux, le départ au sol sur calage se fait sur un socle qui peut être réglable et se termine pour les étalements par une fourche réglable située axialement en tête de poteau.

Afin de réduire au maximum les excentrement, le nœud doit être le plus ramassé possible ($e \leq 15$ cm) (figure 31).

Le dépassement minimal d'un tube par rapport à l'axe neutre de l'autre tube doit être au moins égal à 10 cm. Il convient en plus d'utiliser le moins possible de raccords à angle variable, le raccord orthogonal permettant la réalisation d'encastrement partiels.

La diagonale doit être montée comme l'indique le schéma de la figure 32 en tangente intérieure aux tubes T.

■ Chantiers en matériaux préfabriqués (cadres ou modulaires)

La mise à hauteur se fait à l'aide de calages au pied, de semelles réglables, de fourches réglables en tête (dans le cas de l'étalement).

Pour les échafaudages de service, les hauteurs d'étage sont proches de 2,00 m (circulation des ouvriers).

Pour les étalements, ces hauteurs sont de 1,20 m à 2,00 m. La mise à hauteur peut utiliser des éléments plus petits ou des éléments coulissants. Les lisses et les traverses sont prédéterminées de 1,00 à 3,00 m ; les diagonales peuvent atteindre 3,60 m pour un tube de $\varnothing 48,3 \times 3,2$.

Toutes les diagonales prévues doivent impérativement être disposées au fur et à mesure de l'avancement du montage ; il en est de même des amarrages (façades).

En cours d'utilisation, on ne peut les retirer que si la question a été préalablement étudiée, afin que la stabilité reste assurée.

Au démontage, l'enlèvement des diagonales et des amarrages (façades) doit impérativement se faire du haut vers le bas.

Nous remercions le Syndicat français de l'Échafaudage, du Coffrage et de l'Étalement, membre de la FFB, rassemblant les acteurs de la profession, qui a bien voulu mettre à la disposition des rédacteurs les sources documentaires nécessaires à l'élaboration de ce dossier.

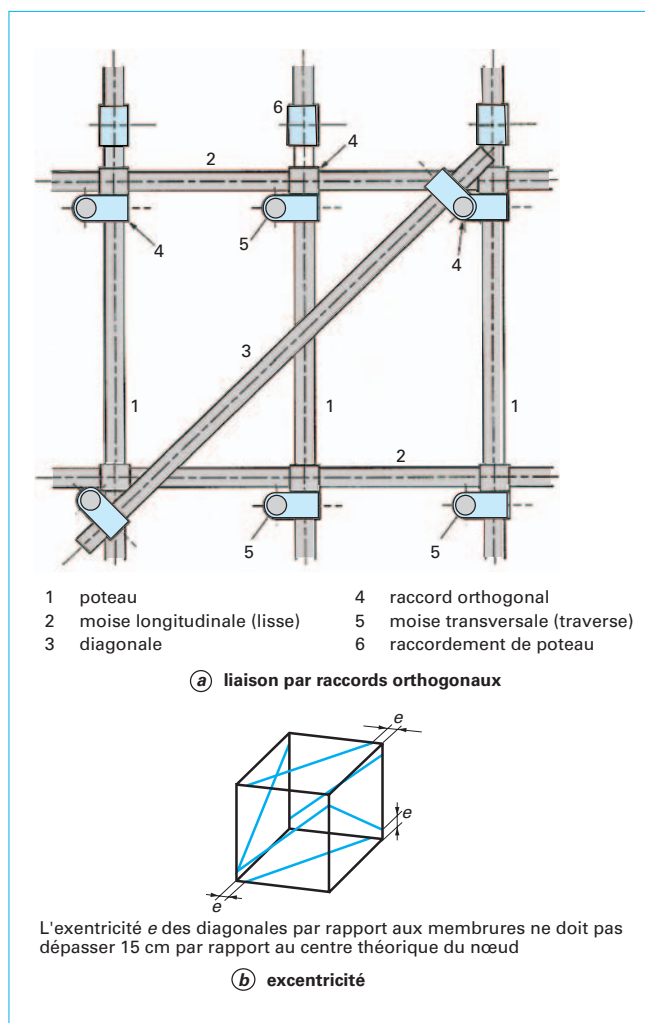


Figure 31 – Système à tubes et raccords. Nœuds à semi-encastrement

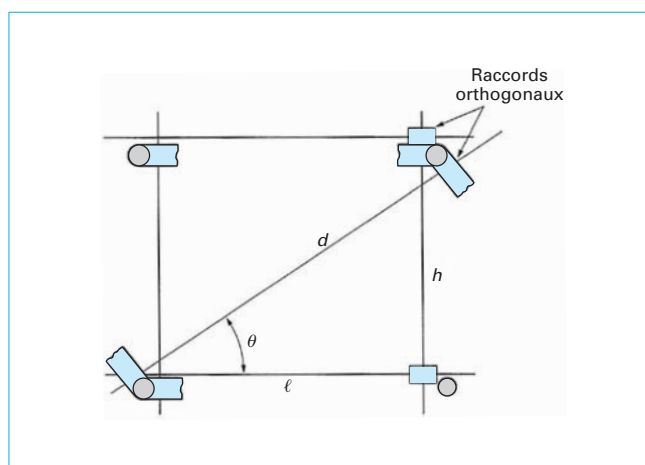


Figure 32 – Treillis triangulaire à tubes et raccords orthogonaux