

# Échafaudages

## Matériaux et matériels

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.	Matériaux .....	C 126 - 2
1.1	Généralités .....	— 2
1.2	Exigences spécifiques relatives aux matériaux .....	— 2
1.2.1	Aacier .....	— 2
1.2.2	Alliages d'aluminium .....	— 2
1.2.3	Bois et matériaux à base de bois .....	— 3
2.	Différents systèmes d'échafaudage .....	— 3
2.1	Matériels à « tubes et raccords ».....	— 3
2.1.1	Tubes.....	— 3
2.1.2	Raccords et accessoires .....	— 4
2.2	Systèmes préfabriqués .....	— 5
2.2.1	Systèmes « à cadres ».....	— 5
2.2.2	Systèmes « modulaires » .....	— 6
2.3	Planchers, et cadres horizontaux pour les différents systèmes d'échafaudage.....	— 7
2.4	Éléments de protection, éléments de contreventement dans les plans longitudinaux.....	— 7
2.5	Accès entre niveaux .....	— 7
	Pour en savoir plus .....	Doc. C 125v2

**C**ette partie présente l'ensemble des matériels d'échafaudage et les matériaux les constituant.

Il convient de remarquer que l'utilisateur a le choix du matériel à employer pour une destination donnée, et qu'il trouvera ici des indications lui permettant d'orienter ce choix.

La thématique « Échafaudages » est déclinée de la façon suivante :

[C 125v2] Destinations et cadre réglementaire ;

[C 126] Matériaux et matériels ;

[C 127] Calculs ;

[C 128] Exemples et organisation de chantier.

# 1. Matériaux

## 1.1 Généralités

Les produits utilisés pour les éléments des structures d'échafaudage peuvent être des aciers, des alliages d'aluminium et, pour les planchers (surfaces de travail), du bois, du métal (acier, alliage d'aluminium ou une combinaison de ceux-ci avec éventuellement des matières plastiques).

La norme NF EN 12811-2 donne pour ces matériaux, aciers, alliages d'aluminium bois, toutes les informations nécessaires à leur utilisation. On peut se référer également aux DTU mentionnés en [Doc. C 125v2].

Les matériaux utilisés doivent présenter une rigidité et une durabilité suffisantes leur permettant de résister aux conditions normales de service.

Les matériaux doivent être exempts de toute impureté et de tout défaut susceptibles de compromettre leur utilisation de manière satisfaisante.

## 1.2 Exigences spécifiques relatives aux matériaux

### 1.2.1 Acier

**Remarque :** les aciers désoxydés de type FU (aciers effervescents) ne doivent pas être utilisés.

#### ■ Tubes libres

Les tubes libres en acier utilisés en échafaudage à tubes et raccords sont essentiellement des tubes de diamètre extérieur 48,3 mm par 3,2 mm d'épaisseur. Ces tubes auxquels peuvent être reliés des raccords conformes à la norme NF EN 74-1 doivent présenter une limite conventionnelle minimale nominale d'élasticité de 235 N/mm<sup>2</sup> conformément à NF EN 39.

Cependant et suivant les charges à supporter, on peut être amené à utiliser des tubes de diamètre 60,3 mm ou même 76,1 mm pour constituer les éléments porteurs (poteaux).

Dans le tableau 1 ci-dessous sont données les caractéristiques mécaniques de ces tubes.

#### ■ Tubes pour composants préfabriqués de systèmes d'échafaudages

Les tubes en acier d'un diamètre extérieur de 48,3 mm doivent être conformes à la spécification donnée dans le tableau 2.

Les tubes d'un diamètre extérieur nominal différent de la gamme de 48,3 mm, autres que ceux destinés à la protection latérale, doivent avoir les caractéristiques nominales suivantes :

- épaisseur de paroi : ..... ≥ 2,0 mm ;
- limite apparente d'élasticité  $R_{eH}$  : ..... ≥ 235 N/mm<sup>2</sup> ;
- allongement A : ..... ≥ 17 % .

D'autres diamètres de tubes avec des épaisseurs différentes peuvent aussi être utilisés (voir tableau 2).

#### ■ Protection latérale

Les composants utilisés exclusivement pour la protection latérale, autres que les plinthes, doivent avoir une épaisseur minimale de paroi de 1,5 mm. Pour les plinthes, l'épaisseur minimale nominale de paroi doit être de 1,0 mm. Une épaisseur plus faible peut être utilisée, lorsque l'aptitude à l'emploi et la capacité portante sont assurées, par exemple lors de l'utilisation de sections de renfort ou de contreventement, ou de profilage de la section transversale.

#### ■ Plateaux

Les plateaux et leurs constituants immédiats doivent avoir une épaisseur minimale nominale de 2,0 mm. Une épaisseur plus faible peut être utilisée, lorsque l'aptitude à l'emploi et la capacité portante sont assurées, par exemple lors de l'utilisation de sections de renfort ou de contreventement, ou de profilage de la section transversale.

#### ■ Revêtement de protection des composants

Les composants doivent être protégés tel que cela est spécifié dans la norme NF EN 12811-2.

### 1.2.2 Alliages d'aluminium

#### ■ Tubes libres

Les tubes libres auxquels peuvent être reliés des raccords conformes à NF EN 74-1 (c'est-à-dire d'un diamètre extérieur nominal de 48,3 mm) doivent présenter une limite conventionnelle minimale nominale d'élasticité à 0,2 %, correspondant à 195 N/mm<sup>2</sup>, et une épaisseur minimale de paroi de 4,0 mm.

#### ■ Tubes pour composants préfabriqués de systèmes d'échafaudages

Les tubes en alliage d'aluminium d'un diamètre extérieur de 48,3 mm doivent être conformes à la spécification donnée dans le tableau 3.

Tableau 1 – Caractéristiques mécaniques des tubes en acier S 235 suivant NF EN 39

Diamètre extérieur $D$ (mm)	Épaisseur $t$ (mm)	Aire de la section $A$ (cm <sup>2</sup> )	Moment d'inertie $I$ (cm <sup>4</sup> )	Module d'inertie de flexion $w$ (cm <sup>3</sup> )	Rayon de giration $i$ (cm)	Masse linéique (kg/m)	Allongement (%)
48,3	3,2	4,53	11,6	4,80	1,60	3,56	24 %
60,3	3,2	5,74	23,47	7,78	2,02	4,51	17 %
76,1	3,2	7,33	48,80	12,8	2,58	5,24	17 %

Selon NF EN 39 : l'acier 5235 GT pour les épaisseurs  $t < 4$  mm donne une limite élastique  $R_{eH} = 235$  N/mm<sup>2</sup>, une résistance ultime à la traction  $R_m = 340$  à 520 N/mm<sup>2</sup> et un allongement  $A = 24$  %.

**Tableau 2 – Combinaison entre l'épaisseur de la paroi et la limite apparente d'élasticité des tubes en acier d'un diamètre extérieur de 48,3 mm suivant NF EN 12810-1**

	Épaisseur nominale de paroi $t$ (mm)	Limite minimale apparente d'élasticité (N/mm <sup>2</sup> )	Tolérances négatives admissibles de l'épaisseur de paroi (mm)
1	$2,7 \leq t < 2,9$	315	0,2
2	$t \geq 2,9$	235	Conformément à EN 10219-2

**Tableau 3 – Combinaison entre l'épaisseur nominale de paroi et la limite apparente d'élasticité des tubes en aluminium d'un diamètre extérieur de 48,3 mm suivant NF EN 12810-1**

	Épaisseur nominale de paroi $t$ (mm)	Limite minimale apparente d'élasticité (N/mm <sup>2</sup> )	Tolérances négatives admissibles de l'épaisseur de paroi (mm)
1	$3,2 \leq t < 3,6$	250	0,2
2	$3,6 \leq t < 4,0$	215	0,2
3	$t \geq 4,0$	195	Conformément à EN 755-8-

#### ■ Protection latérale

Les composants utilisés seulement pour la protection latérale doivent avoir une épaisseur minimale nominale de paroi de 2,0 mm. Une épaisseur plus faible peut être utilisée lorsque l'aptitude à l'emploi et la capacité portante sont assurées, par exemple lors de l'utilisation de sections de renfort ou de contreventement, ou de profilage de la section transversale.

#### ■ Plateaux

Les plateaux et leurs constituants immédiats doivent avoir une épaisseur nominale de 2,5 mm. Une épaisseur plus faible peut être utilisée, lorsque l'aptitude à l'emploi et la capacité portante sont assurées, par exemple lors de l'utilisation de sections de renfort ou de contreventement, ou de profilage de la section transversale.

#### 1.2.3 Bois et matériaux à base de bois

Le bois doit être classé par résistance mécanique conformément à la norme EN 338.

En cas d'utilisation d'un revêtement de protection, celui-ci ne doit pas occulter les défauts du matériau.

Le contreplaqué destiné aux plateaux doit être constitué d'au moins cinq plis et avoir une épaisseur minimale de 9 mm.

Les plateaux assemblés en contreplaqué et prêts à l'emploi doivent être capables de résister à un rond en acier de 25 mm de diamètre, de 300 mm de long, tombant sur son extrémité d'une hauteur de 1 m.

Le contreplaqué doit présenter une bonne durabilité eu égard aux conditions climatiques.

#### ■ Quelques indications techniques, rappel des contraintes admissibles :

● Pour la catégorie III résineux, généralement employée en échafaudage, la valeur de la contrainte admissible est affectée d'un coefficient de sécurité égal à 2,75 par rapport à la contrainte à la rupture.

- La contrainte en flexion :

$$\sigma = \frac{M}{I/v} \leq 7,5 \text{ MPa}$$

avec  $M$  moment de flexion,

$I/v$  module d'inertie de flexion.

- La contrainte en cisaillement longitudinal :

$$\tau = \frac{3}{2} \times \frac{T}{bh} \leq 1,0 \text{ MPa}$$

avec  $T$  effort tranchant (moment de torsion),

$b, h$  respectivement largeur et hauteur de la section pour une pièce rectangulaire.

- La contrainte en compression axiale :

$$\tau \leq 7,0 \text{ MPa}$$

Sous l'influence de l'humidité la perte de résistance est de 10 % pour 20 % d'humidité pour la flexion et de 20 % pour 20 % d'humidité pour le cisaillement.

- Le module d'élasticité longitudinal (exprimé en gigapascals) :

$$E = 10 \text{ GPa}$$

- Pour les contreplaqués

- La contrainte en flexion :

$$\sigma \leq 6,0 \text{ MPa}$$

- La contrainte en cisaillement :

$$\tau \leq 0,8 \text{ MPa}$$

- Le module d'élasticité longitudinal (exprimé en gigapascals) :

$$E = 4 \text{ GPa}$$

## 2. Différents systèmes d'échafaudage

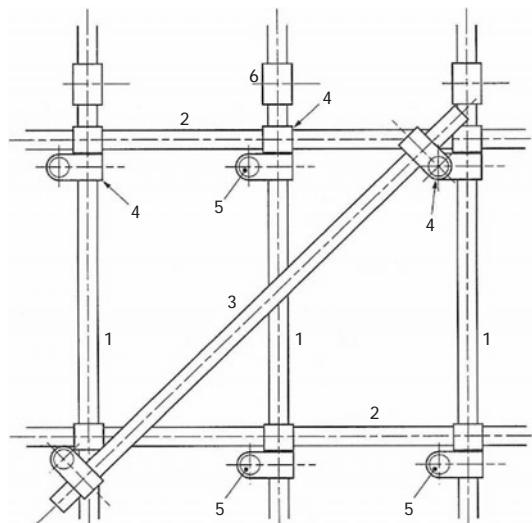
### 2.1 Matériels à « tubes et raccords »

Ces systèmes d'échafaudages comprennent des tubes, des raccords et des accessoires.

#### 2.1.1 Tubes

Dans ce matériel les tubes ronds sont dit « libres », ils sont fabriqués en usine, protégés contre la corrosion et livrés en longueur de 6,00 à 6,40 m (longueur que l'utilisateur recoupe suivant ses besoins et son mode de stockage).

Le plus souvent on utilise les tubes ronds en acier conformes à la norme NF EN 39. Ces tubes peuvent s'assembler entre eux par des raccords conformes à ceux de la norme NF EN 74-1.



1 poteau  
2 moise longitudinale (lisse)  
3 diagonale  
4 raccord orthogonal  
5 moise transversale (traverse)  
6 raccordement de poteau

Figure 1 – Système à tubes et raccords. Nœuds à semi-encastrement. Liaison par raccord orthogonaux

## 2.1.2 Raccords et accessoires

### 2.1.2.1 Raccords à angle droit et à angle variable

Les raccords (ou colliers) – assemblant entre eux les tubes – les plus utilisés sont :

— les raccords à **angle droit** (ou **orthogonaux**), voir figure 1, assemblant deux tubes perpendiculaires l'un à l'autre (les axes des tubes sont non concourants) ;

— les raccords à **angle variable** assemblant deux tubes formant entre eux un angle quelconque (tubes dont les axes ne sont pas concourants).

**Nota :** la plus petite perpendiculaire commune entre deux tubes est de l'ordre de 50 à 70 mm.

Le collier à angle droit doit être utilisé en priorité, il permet de créer des encastrements élastiques.

Ces raccords doivent être conformes à la norme NF EN 74-1 lorsqu'ils assemblent deux tubes conformes à la norme NF EN 39 (voir tableau 1).

Les raccords les plus courants proposés par les fabricants peuvent être en acier moulé, en fonte malléable (NF EN 12811-2 Chapitre 5 Tableau 2), ou en fonte à graphite sphéroïdale (NF EN 12811-2 Chapitre Métaux ferreux), en acier matricé, en acier estampé (voir § 1 Matériaux).

Pour un solide maintien par friction du raccord par les mâchoires qui enserrent les tubes, on utilise :

— soit le serrage à la clé par boulon (serrage ne dépassant pas environ 5  $\text{DN} \cdot \text{m}$  pour lequel il faut utiliser la clé appropriée) ;

— soit le serrage par clavettes (enfoncées jusqu'à refus, avec un marteau de 500 g).

**Remarque :** les raccords conformes à la norme NF EN 74-1 assemblent des tubes acier conformes à la norme NF EN 39. On peut cependant aussi les utiliser pour assembler des tubes acier de même diamètre extérieur 48,3 mm, mais d'épaisseur moindre et avec une limite élastique supérieure (voir tableau 4).

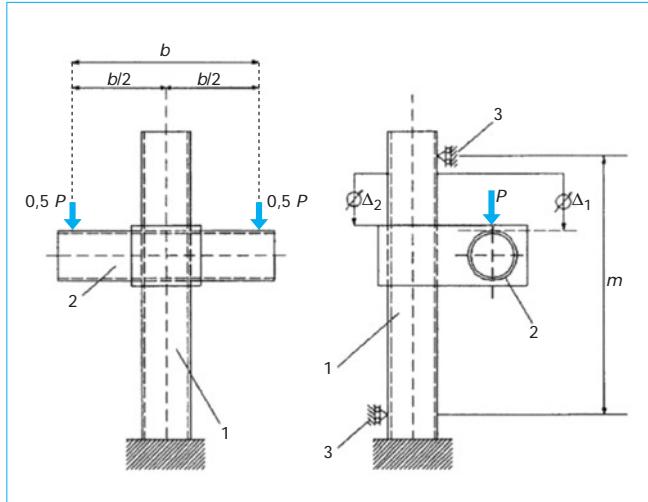


Figure 2 – Travail en flexion du raccord orthogonal sous charge appliquée au tube horizontal

Ce cas peut se produire dans certaines adjonctions de tubes libres à des éléments de systèmes préfabriqués, comme on le verra dans certains exemples par la suite.

### ■ Exigences concernant les raccords (voir figures 2 et 3)

Celles-ci doivent être vérifiées par essai, comme spécifié dans la norme NF EN 74-1, tableau 8, dont quelques extraits sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 – Exigences concernant les raccords (extraits de la norme NF EN 74-1, tableau 8)

Raccords à angle droit et à angle variable			
Flexion	Classe A	Classe B	
	$\Delta_1 \leq 7 \text{ mm}$	$P = 7,0 \text{ kN}$	$P = 10,0 \text{ kN}$
Raccords à angle droit			
Ruine	Classe A	Classe B	
	$\Delta_2$ bloqué = 0	$P = 20,0 \text{ kN}$	$P = 30,0 \text{ kN}$
Raccords à angle variable			
Ruine	Classe A	Classe B	
	$\Delta_2$ bloqué = 0	$P = 10,0 \text{ kN}$	$P = 14,0 \text{ kN}$
Raccords à angle droit seulement			
Raideur en torsion élastique du raccord à angle droit (figure 3) (appelée raideur en torsion cruciforme dans NF EN 74-1)		Classe A	Classe B
		pas de minimum exigé	minimum $M/\alpha$ 15,0 $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ pour $M = 0,48 \text{ kN} \cdot \text{m}$

*P*: charge.  
*M*: moment.  
 $\Delta_1, \Delta_2, \alpha$ : voir figures 2 et 3

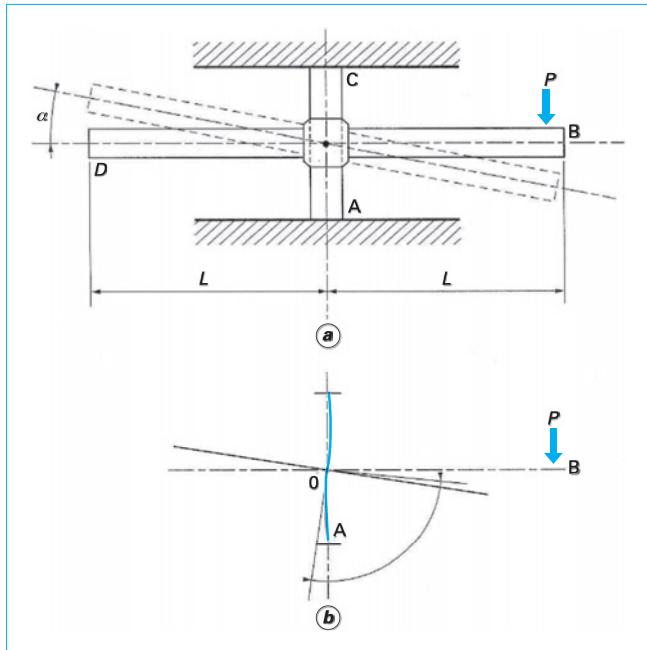


Figure 3 – Torsion élastique du raccord orthogonal

#### ■ Valeurs d'utilisation

Pour les raccords à angle droit et à angle variable qui satisfont les exigences de la norme NF EN 74-1, les valeurs d'utilisation sont les suivantes (figure 2) :

##### Charge $P$ en flexion

$$\text{Classe A : } \frac{10 \text{ kN}}{1,65} = 6,0 \text{ kN}$$

$$\text{Classe B : } \frac{15 \text{ kN}}{1,65} = 9,1 \text{ kN}$$

Le coefficient 1,65 est le produit des facteurs  $\gamma_M \times \gamma_F = 1,5 \times 1,1 = 1,65$  (cf. [C 127, § 2.1]).

#### ■ Paramètres utilisés dans les calculs des structures en « tubes et raccords »

- Le coefficient de raideur en flexion vaut  $\frac{P}{\Delta_1}$  pour les raccords à angle droit et à angle variable.
- Le coefficient de raideur en torsion élastique de raccord à angle droit vaut  $\frac{M}{\alpha}$  avec  $M = PL$  (figure 3).

Pour les seuls raccords à angle droit, ces valeurs de raideur doivent être fournies par le fabricant des raccords, c'est une liaison semi-rigide.

Il est à noter que les échafaudages sont beaucoup plus déformables que la charpente traditionnelle.

#### 2.1.2.2 Autres raccords et accessoires

Se reporter aux définitions dans le dossier [C 125v2, § 3].

Ces raccords et accessoires pour les tubes diamètre extérieur 48,3 mm doivent être conformes aux exigences de la norme NF EN 74-1 et aux normes en préparation pour EN 74 parties 2 et 3.

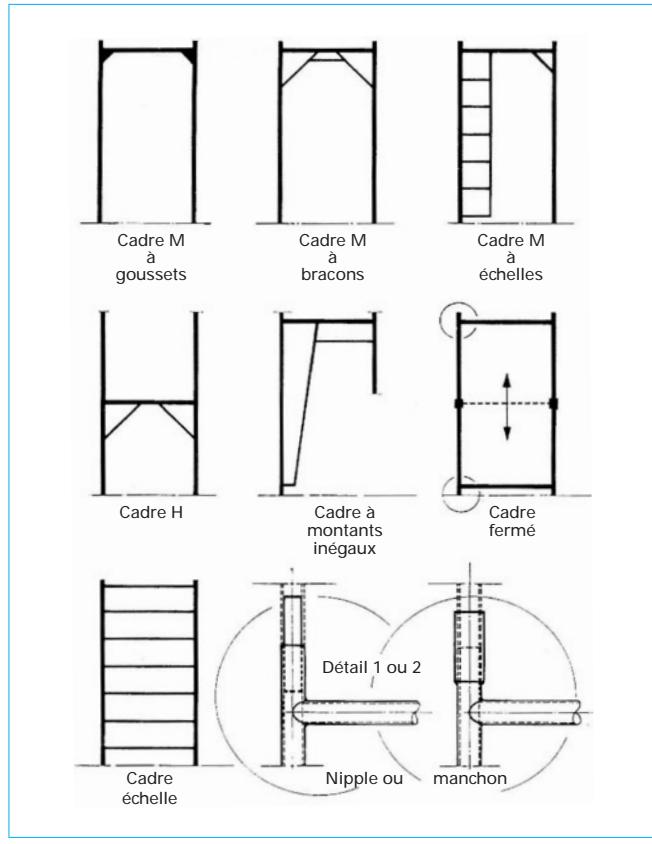


Figure 4 – Cadres verticaux transversaux

## 2.2 Systèmes préfabriqués

Ces systèmes dont les éléments sont prédéterminés apportent un très grand gain de temps de main-d'œuvre au montage par rapport aux systèmes « tubes et raccords ».

**Nota :** le « service » doit être « habitable » (circulation de l'homme – voir Gabarit dans NF EN 12811-1), alors que c'est moins nécessaire pour l'étalement sauf aux niveaux supérieurs, où l'on doit intervenir sur les fourches pour le réglage et le décintrement.

— d'une part, parce qu'il n'y a aucun serrage de boulons, mais seulement emboîtement, ou emboîtement et clavetage.

— d'autre part, parce que, pour son montage, l'échafaudage préfabriqué ne nécessite qu'un réglage du premier moisage à la base, alors que les systèmes « tubes et raccords » nécessitent un réglage à chaque étage (voir [C 128, § 2 ; Montage]).

Ces systèmes peuvent utiliser aussi les accessoires C7 à C11 du § 3 du dossier [C 125v2].

Les éléments de ces systèmes peuvent être reliés à des tubes libres par des raccords orthogonaux à angle variable dans le cas d'amarrage à un bâtiment, ou dans le cas d'adjonction de diagonales, de consoles, d'avants de protection, de liaison entre structures.

### 2.2.1 Systèmes « à cadres »

Ces systèmes à composants prédéterminés permettent de réaliser des tours, des palées (pour certains systèmes des volumes), pour les échafaudages de services et pour les étalements.

Les composants sont principalement des cadres plans comprenant plusieurs éléments linéaires reliés par soudure (figure 4).

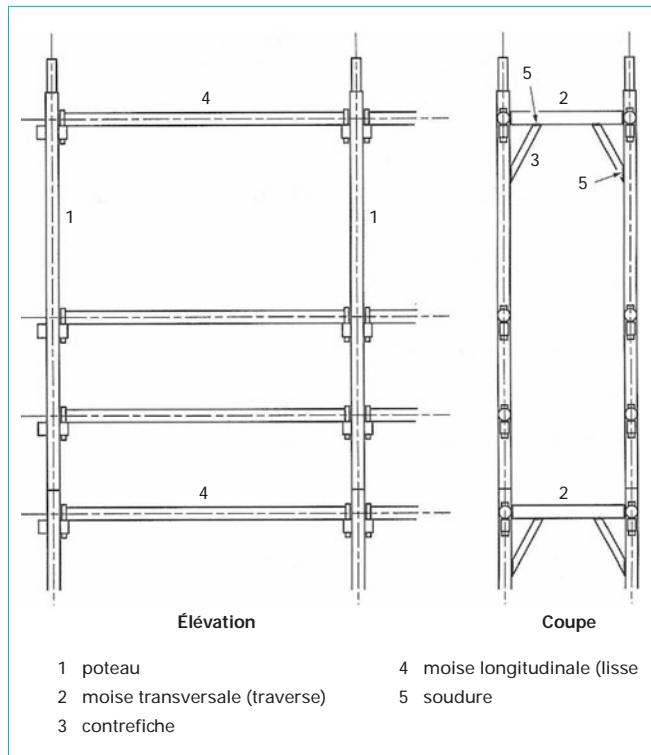


Figure 5 – Systèmes à cadres – Nœuds à simple emboîtement (considérés comme articulés)

Ces cadres s’assemblent entre eux à l’aide d’éléments linéaires (poteaux, traverses, diagonales) (figure 5).

Les liaisons verticales entre cadres se font par emboîtement, les autres liaisons se font soit par emboîtement soit par clavetage.

Pour l’étalement, il existe aussi un système composé de cadres préfabriqués dans les plans verticaux, qui relient entre eux, dans les deux directions longitudinale et transversale, les poteaux, éléments linéaires prédéterminés.

Outre des tours et des palées, ce système, qui est multidirectionnel, permet de réaliser des volumes.

## 2.2.2 Systèmes « modulaires » (voir figures 6 et 7)

Ces systèmes permettent, par la combinaison de leurs principaux éléments prédéterminés linéaires et multidirectionnels, de réaliser des structures réticulées, par exemple des tours, des palées, et des volumes (ils sont apparus dans les chantiers navals, pour la réparation des carènes des navires).

Le gain en temps de main-d’œuvre au montage par rapport aux « tubes et raccords » est très appréciable (voir [C 128, § Montage]).

Ces systèmes comportent des poteaux munis de pontets (dits aussi rosaces, tulipes, coupelles ou disques) auxquels peuvent se fixer par clavetage des lisses, des traverses et des diagonales. Ces pontets sont disposés à intervalles réguliers en général tous les 0,50 m, d'où le nom de systèmes modulaires.

Les liaisons (appelées aussi noeuds modulaires) peuvent être considérées comme des encastrements partiels. Si l'on connaît le paramètre de raideur en torsion élastique résultant d'essais, on peut l'utiliser dans les calculs pour un système non totalement triangulé car ces encastrements partiels créent un contreventement, mais la capacité portante de la structure se trouve diminuée

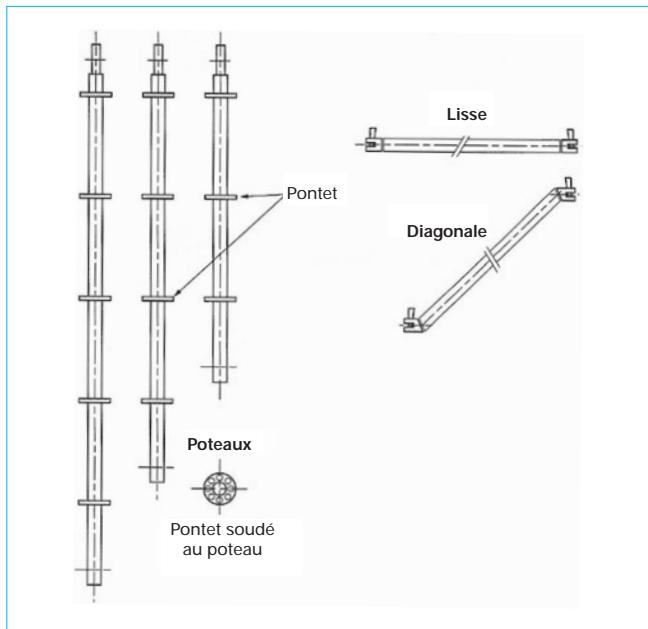


Figure 6 – Exemple d’éléments d’échafaudage modulaire dit aussi multidirectionnel

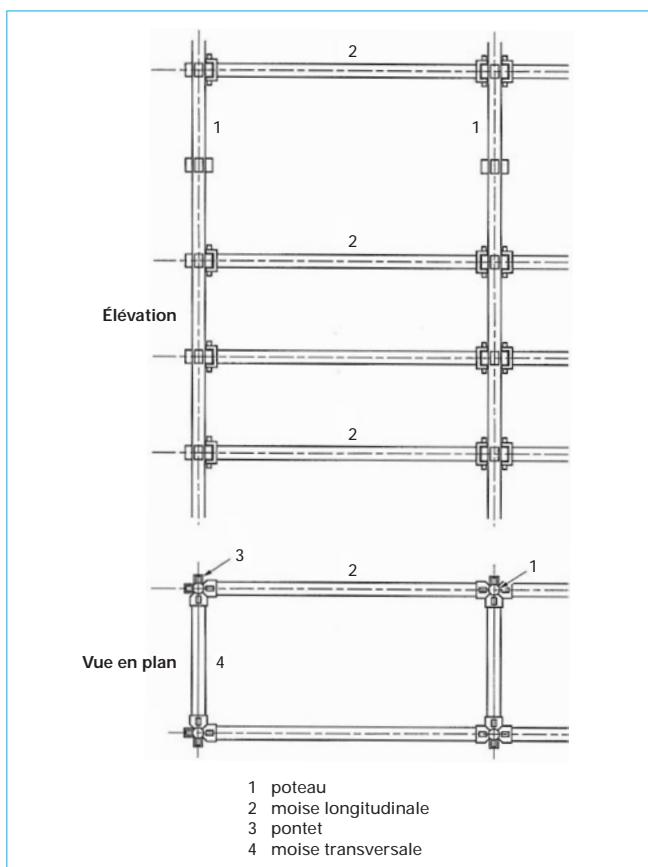


Figure 7 – Systèmes modulaire - Nœuds à semi-encastrement

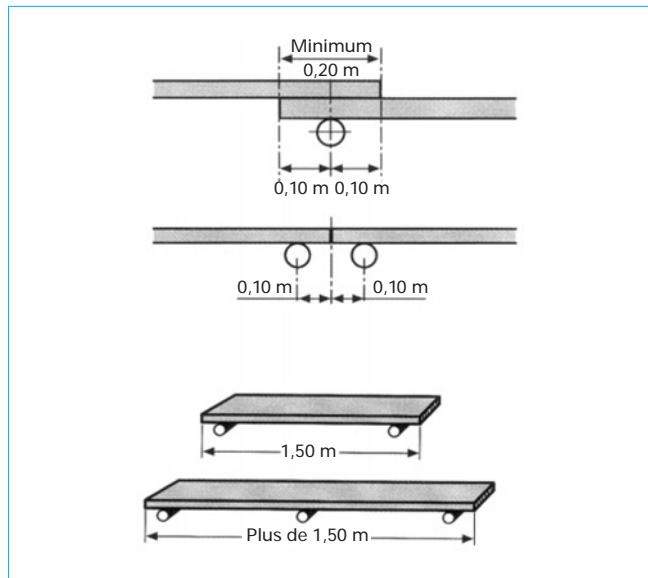


Figure 8 – Dispositifs de mise en œuvre des planches

et la déformabilité augmentée par rapport à une même structure qui serait triangulée.

Lorsque les systèmes sont totalement triangulés, il est préférable pour la sécurité de faire les calculs comme si ces liaisons étaient articulées aux noeuds modulaires, en ne tenant pas compte des encastrements partiels.

## 2.3 Planchers, et cadres horizontaux pour les différents systèmes d'échafaudage

### ■ Planchers en planches séparées

Utilisées surtout dans les systèmes à « tubes et raccords », les planches permettent la circulation des hommes et le stockage du matériel (figure 8). Elles sont en général de 40 mm d'épaisseur, et de largeur 20 cm.

Elles sont calculées, sous les charges, et pour les franchissements donnés. Elles sont posées sur les traverses, mais ne participent pas au contreventement de la structure.

L'utilisation de planches d'échafaudage pour les planchers doit répondre à plusieurs exigences :

- les mesures nécessaires doivent être prises pour empêcher le soulèvement des planches ;
- la pente des planchers est limitée à 15 % ;
- en cas de recouvrement, chaque planche doit dépasser du support de 10 cm au minimum ;
- si les planches sont disposées bout à bout, deux supports distincts sont obligatoires ;
- un appui intermédiaire est obligatoire dès que la portée dépasse 1,50 m ;

— le recouvrement sur un appui doit être de 0,20 m au minimum. Pour le choix des planches d'échafaudage, se reporter à la recommandation R408 du 10 juin 2004 de CNAMTS ;

- les planches doivent être ferrées aux deux extrémités ;
- le calcul est basé sur les règles CB 71.

### ■ Planchers préfabriqués

Ces planchers sont adaptés dimensionnellement aux mailles de l'échafaudage préfabriqué, ils peuvent être étudiés pour participer à la stabilité d'ensemble de la structure.

Ces planchers sont utilisés dans les systèmes à cadres et dans les systèmes modulaires. Ils sont soit monolithes, soit formés de plusieurs unités jointives.

Ils peuvent être en bois, en contreplaqué, en métal (acier ou alliages d'aluminium) ou en solution mixte.

### ■ Cadres horizontaux

Ces éléments, là où il n'y a pas de plancher participant, peuvent assurer le contreventement horizontal (voir [C 125v2, figure 8]).

## 2.4 Éléments de protection, éléments de contreventement dans les plans longitudinaux (voir [C 125v2, figure 9])

### Protection par garde-corps (lisse et sous-lisse), avec plinthe hauteur $\geq 15$ cm

Dans certains cas, les lisses et sous-lisses créent un contreventement longitudinal. Celui-ci peut être assuré également par des diagonales simples, ou des croix de Saint André, des protections et des contreventements par garde-corps multiservice.

Le garde-corps multiservice est un système à sécurité intégré utilisé principalement pour les échafaudages de façade : c'est un composant de protection latérale à installer à partir d'un niveau déjà monté et sécurisé et destiné à assurer la sécurité d'un niveau immédiatement au-dessus lors d'un montage et d'un démontage ainsi qu'en cours d'utilisation.

La protection peut aussi être assurée par un treillis avec plinthe.

## 2.5 Accès entre niveaux

On utilise en général comme moyen d'accès entre niveaux soit des échelles inclinées, soit des échelles verticales, soit des escaliers.

Les échelles doivent être conformes aux normes NF EN 131-1 et 131-2, les escaliers doivent être conformes aux dispositions de la norme NF EN 12811-1 (voir [C 125v2, figure 4]).

Toutefois, lorsque la configuration du chantier le permet, les travées d'accès de l'échafaudage, peuvent être remplacées par des tours d'accès installées en verrou de la structure principale.

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.