

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe Spécialisé n° 2

Constructions, façades
et cloisons légères

Dimensionnement aux États Limites des plafonds de locaux agro-alimentaires et frigorifiques réalisés en panneaux sandwichs faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application

Ce document a été entériné le 25/06/2013 par le Groupe Spécialisé n° 2
« Constructions, façades et cloisons légères »
de la Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Etablissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de développement durable dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec ses 918 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1er juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB 2013

Dimensionnement aux États Limites des plafonds de locaux agro-alimentaires et frigorifiques réalisés en panneaux sandwichs faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application

SOMMAIRE

Préambule

Ce document définit la méthode de dimensionnement aux états limites des plafonds de locaux agro-alimentaires et frigorifiques réalisés en panneaux sandwichs, en phase de service. Les plafonds sont suspendus à une charpente extérieure au local. La portée d'utilisation des panneaux sandwichs est limitée à 8 m.

Les procédés de locaux agro-alimentaires et frigorifiques sont visés par des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application formulés par le Groupe Spécialisé n° 2.

Nota : ce document ne vise pas les plafonds de salles propres qui demandent des justifications particulières notamment liées aux nombreuses perforations.

A. Sollicitations et critères	2
A1. Charges élémentaires.....	2
A2. Combinaisons de charges	2
A3. Critères relatifs aux panneaux sandwichs	2
A4. Critères relatifs aux assemblages.....	3
B. Dimensionnement	3
B1. Expression des charges applicables aux plafonds.....	3
B2. Justifications relatives aux panneaux.....	5
B2.1 Résistance en flexion sous charge répartie.....	5
B2.2 Résistance à l'effort tranchant sous charge répartie....	5
B2.3 Flèche sous charge répartie.....	5
B2.4 Résistance en flexion sous charge répartie + ponctuelle de 100 daN/m répartie sur la largeur	5
B2.5 Résistance à l'effort tranchant sous charge répartie + ponctuelle de 100 daN répartie sur la largeur.....	6
B3. Justifications relatives aux assemblages	6
B3.1 Détermination des charges de calculs (panneaux sur deux appuis)	6
B3.2 Détermination des charges de calculs (panneaux sur trois appuis)	7

C. Détermination des résistances par essais	8
C1. Résistance de calcul des panneaux sandwichs	8
C1.1 Détermination de $M_{cal2Aou3A}$ et $V_{cal2Aou3A}$ (panneau sur 2 ou 3 appuis).....	8
C1.2 Détermination de la portée maximale d'utilisation	9
C1.3 Détermination de l'épaisseur minimale des panneaux.....	10
C1.4 Méthode alternative de détermination de M_{u2A}	10
C1.5 Méthodes alternatives de détermination de V_{cal2A}	11
C2. Résistances de calcul des assemblages.....	12
C2.1 Détermination de R_{cal1} et $R_{cal1bis}$	12
C2.2 Détermination de R_{cal2}	13
C2.3 Détermination de R_{cal3} et de $R_{cal3bis}$	14

A. Sollicitations et critères

A1. Charges élémentaires

La stabilité propre des plafonds doit être assurée vis-à-vis des charges suivantes :

- Charge due au poids propre du panneau sandwich

G = charge due à l'action permanente du poids propre, exprimée en daN/m^2 .

- Charges climatiques

$W = 0,25 q_{pELS}$ = charge due aux effets du vent caractéristique (VENT EUROCODE), exprimée en daN/m^2 . q_{pELS} est la charge du vent caractéristique ELS déterminée suivant le *Cahier 3732 paragraphe 3.1* ou bien issue du tableau 1 du *Cahier CSTB 3732 paragraphe 3.2*.

Les plafonds en panneaux sandwichs n'assurent ni le clos ni le couvert. Les plafonds sont toujours à l'abri d'une couverture. Les combles sont toujours ventilés.

Nota : l'effort de vent pris égal à $-0,25 q$ peut avoir pour conséquence le soulèvement des plafonds. Cet effort n'est pas considéré dans le présent document. Il est à prendre en compte pour les bâtiments de hauteur supérieure à 15 m et soumis à un effort en dépression supérieur à 25 daN/m^2 . Dans ce cas, la tenue du plafond au soulèvement devra être justifiée, dans le cadre de l'instruction des Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application, selon les dispositions constructives prévues.

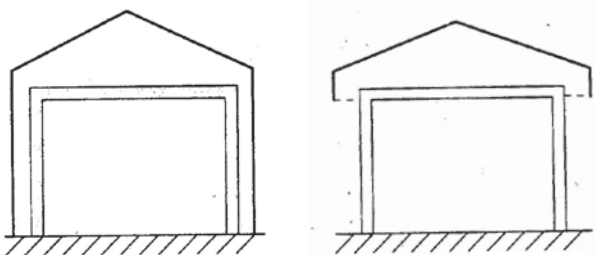


Figure 1 -

- Charge d'exploitation S

S = charge répartie due à la différence de pression de part et d'autre des parois, exprimée en daN/m^2 .

Des dispositifs d'équilibrage sont obligatoires en température négative pour compenser les variations de pression lentes et de faibles amplitudes dues aux variations de pression atmosphérique, aux variations de température et d'hygrométrie à l'intérieur de la chambre froide. Le nombre et les emplacements de ces dispositifs sont déterminés pour ne pas dépasser une sollicitation maximale de plus ou moins 20 daN/m^2 sur les panneaux. Les dispositifs doivent être en service avant la mise en froid du local.

Nota : à défaut de valeur donnée par les Documents particuliers du marché (DPM), l'écart de pression est pris égal à $\pm 20 \text{ daN/m}^2$ dans les locaux à température < 0 , selon les pratiques actuelles.

- Charge P

P = charge répartie permanente due au poids d'un éventuel platelage, exprimée en daN/m^2 .

- Charge d'entretien E

E = charge ponctuelle correspondant à l'accès pour maintenance d'une personne munie d'une caisse à outils.

Les panneaux de plafonds ne doivent pas être utilisés :

- pour un stockage provisoire ou permanent ;
- comme zone de circulation en phase de chantier ou d'exploitation.

En phase d'exploitation, les plafonds sont inaccessibles sauf pour des opérations de maintenance. L'accès est limité à une seule personne par plafond.

La charge correspondant à cette personne est prise égale à 100 daN , répartie comme décrit ci-dessous :

- pour la justification des panneaux en moment fléchissant et effort tranchant, cette charge ponctuelle est supposée répartie transversalement sur la largeur de ce dernier et appliquée à mi-portée ;
- dans le cas de la justification d'assemblage par 2 fixations ponctuelles, cette charge est supposée appliquée au droit d'une fixation (à 10 cm dans le sens de la portée). Dans le cas de la justification d'assemblage linéaire (Té ou 3 fixations ponctuelles), cette charge est supposée répartie sur une largeur de 1 m .

Si une accessibilité est prévue sur les plafonds, la circulation doit se faire sur des passerelles ou caillebotis solitaires des charpentes.

Les éléments lourds en combles (tuyauteries, centrales d'air, etc.) doivent être installés avant les panneaux. Les charges (évaporateurs, etc.) doivent être transférées à l'ossature du bâtiment. Les ouvertures éventuelles de dimensions supérieures à $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ doivent être renforcées par des dispositifs de renfort raccordés à l'ossature définis dans les Avis Techniques.

- Charge due aux gradients thermiques

Selon la jurisprudence actuelle, la charge due aux gradients thermiques n'est pas prise en compte dans le dimensionnement des plafonds de locaux agro-alimentaires et frigorifiques réalisés en panneaux sandwichs.

A2. Combinaisons de charges

L'ensemble des vérifications est établi en tenant uniquement compte des résistances de calcul des panneaux et des assemblages.

La charge répartie de calcul pour les plafonds sera déterminée en considérant les cumuls des charges non pondérées suivants :

- Poids propre G , charge climatique W , d'exploitation S et de platelage P : $G + W + S + P$

Les charges G , W , S et P sont définies dans le paragraphe A1.

- Poids propre G , charge d'entretien E , charge d'exploitation S et charge P : $G + E + S + P$

Les charges G , E , S et P sont définies dans le paragraphe A1.

A3. Critères relatifs aux panneaux sandwichs

Les panneaux ne doivent pas présenter une flèche de plus du $1/200$ de leur portée sous charge répartie de service.

Les valeurs du moment de flexion et de l'effort tranchant déterminées en considérant les combinaisons de charges définies au paragraphe A2 ci-avant doivent rester inférieures aux valeurs de résistance déterminées au paragraphe B2.

Les résistances des panneaux (moment de flexion et effort tranchant) sont obtenues en divisant les valeurs à rupture par les coefficients de sécurité γ_p définis au *tableau 1* ci-après.

Tableau 1 – Coefficients de sécurité γ_p

Type d'âme	Types de parements	
	Acier	Polyester
PUR/PIR	2	3
Laine de roche	3	À définir par l'Avis Technique du procédé concerné
PSE / PSX	2	3

Dans le cas de rupture fragile sous l'action de la charge d'entretien cumulée au poids propre, le coefficient de sécurité est pris égal à 3, quel que soit le type de parement et d'âme.

Lors des essais, la résistance du panneau a été validée sous charge de poids propre et charge ponctuelle de 150 daN avec un coefficient de sécurité de 3.

A4. Critères relatifs aux assemblages

Les valeurs du moment de flexion et de réaction d'appui déterminées en considérant les combinaisons de charges définies au *paragraphe A2* ci-avant doivent rester inférieures aux valeurs respectives déterminées (cf. *paragraphe B3*).

Les résistances caractéristiques des fixations sont obtenues en divisant les valeurs à rupture par les coefficients de sécurité γ_F définis ci-après.

Ruine d'éléments situés à l'extérieur du panneau

$\gamma_F = 2$, si l'élément qui ruine est métallique avec un comportement ductile en acier ou en aluminium EN AW 6060 T5 ;

$\gamma_F = 3$, si l'élément qui ruine est en matériau de synthèse ou avec un comportement fragile (polyamide, PVC, polyacétal, polyester renforcé de fibres de verre) ;

$\gamma_F = 4$, si la ruine correspond à un échappement et à une chute du panneau.

Ruine d'éléments situés à l'intérieur du panneau

On entend par ruine à l'intérieur du panneau un délaminage de l'isolant avec l'assemblage ou une rupture du corps d'attache situé au sein de l'isolant.

$\gamma_F = 2,5$ pour les âmes en PUR, PIR, PSE ou PSX ;

$\gamma_F = 3$ pour les âmes en laine de roche.

Nota : pour tout autre matériau, les coefficients de sécurité doivent être précisés par l'Avis Technique du procédé concerné.

B. Dimensionnement

B1. Expression des charges applicables aux plafonds

Est recherchée la charge de calcul des plafonds à comparer aux combinaisons $W + S + P$ et $S + P$, telles que définies au *paragraphe A2*, la charge due à l'action du poids propre des panneaux G et la charge d'entretien E étant déjà prise en compte.

Pour la première combinaison à comparer avec $W + S + P$, la charge de calcul correspond à la plus faible des valeurs q_{P1} à q_{P3} et q_{F1} à q_{F2} .

Pour la deuxième combinaison à comparer avec $S + P$, la charge de calcul correspond à la plus faible des valeurs q_{P4} à q_{P5} et q_{F3} à q_{F4} .

Pour simplifier la démarche, il est possible, pour justifier les deux combinaisons, de comparer les combinaisons $W + S + P$ et $S + P$ à la plus faible des valeurs q_{P1} à q_{P5} et q_{F1} à q_{F4} .

Les charges applicables aux plafonds peuvent être exprimées sous la forme de tableaux en fonction de la portée, de l'épaisseur des panneaux et du mode d'assemblage envisagé.

Ces tableaux sont limités par la portée minimale testée, par la portée maximale testée + 0,5 m et par la portée limite d'utilisation déterminée au *paragraphe C.1.2* sans dépasser 8 m.

Ces tableaux tiennent déjà compte :

- du poids propre du panneau sandwich ;
- de la charge ponctuelle d'entretien de 100 daN.

Ces tableaux ont été établis en tenant compte de la capacité résistante du panneau, des fixations et des assemblages et de la flexibilité du panneau.

L'utilisation de ces tableaux consiste à vérifier que la combinaison de charge considérée ($S + P$) ou ($W + S + P$) reste inférieure aux valeurs données en fonction de l'épaisseur et de la portée des panneaux sandwichs.

Exemple de tableau d'utilisation en plafond

Référence des panneaux sandwichs :

Mode d'attache :

Espacement des éventuelles suspentes :

Porte-à-faux minimal :

Nombre de fixations par appui :

Nombre d'appuis :

Tableau 2 - Charges de service à comparer à la combinaison $W + S + P$

Portée (m)	Charges ELS (daN/m ²)		
	Épaisseur des panneaux sandwichs (mm)		
	Épaisseur minimale	Épaisseurs intermédiaires (pas de 40 mm maxi)	Épaisseur maximale
Portée minimale			
Portées intermédiaires		Minimum de q_{P1} à q_{P3} et q_{F1} à q_{F2}	
Portée maximale L_u Limitée à 8 m			

Tableau 3 - Charges de service à comparer à la combinaison $S + P$

Portée (m)	Charges ELS (daN/m ²)		
	Épaisseur des panneaux sandwichs (mm)		
	Épaisseur minimale	Épaisseurs intermédiaires (pas de 40 mm maxi)	Épaisseur maximale
Portée minimale			
Portées intermédiaires		Minimum de q_{P4} à q_{P5} et q_{F3} à q_{F4}	
Portée maximale L_u Limitée à 8 m			

Pour simplifier la démarche, il est possible de présenter un seul tableau indiquant la plus faible des valeurs des deux tableaux précédents.

Tableau 4 - Charges de service à comparer aux deux combinaisons $S + P$ et $W + S + P$

Portée (m)	Charges ELS (daN/m ²)		
	Épaisseur des panneaux sandwichs (mm)		
	Épaisseur minimale	Épaisseurs intermédiaires (pas de 40 mm maxi)	Épaisseur maximale
Portée minimale			
Portées intermédiaires		Minimum de q_{P1} à q_{P5} et q_{F1} à q_{F4}	
Portée maximale L_u Limitée à 8 m			

L'épaisseur minimale des panneaux sandwichs utilisables en plafond et la portée maximale d'utilisation L_u sont déterminées selon le *paragraphe C*.

B2. Justifications relatives aux panneaux

Les résistances de calcul q_{P1} à q_{P5} sont déterminées selon les formules ci-après.

Les moments fléchissants $M_{cal2Aou3A}$ et l'effort tranchant V_{cal} sont déterminés conformément au *paragraphe C* du présent document.

B2.1 Résistance en flexion sous charge répartie

Sur 2 appuis

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L^2}{8} + \frac{q_{P1} \cdot \ell \cdot L^2}{8} \leq M_{cal2A} \leftrightarrow$$

$$q_{P1} \leq \frac{8 \cdot M_{cal2A}}{\ell \cdot L^2} - g$$

Sur 3 appuis

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L^2}{8} + \frac{q_{P1} \cdot \ell \cdot L^2}{8} \leq M_{cal3A} \leftrightarrow$$

$$q_{P1} \leq \frac{8 M_{cal3A}}{\ell \cdot L^2} - g$$

B2.2 Résistance à l'effort tranchant sous charge répartie

Sur 2 appuis

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{P2} \cdot \ell \cdot L}{2} \leq V_{cal2A} \leftrightarrow$$

$$q_{P2} \leq \frac{2 V_{cal2A}}{\ell \cdot L} - g$$

Sur 3 appuis

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{P2} \cdot \ell \cdot L}{2} \leq V_{cal3A} \leftrightarrow$$

$$q_{P2} \leq \frac{2 V_{cal3A}}{\ell \cdot L} - g$$

B2.3 Flèche sous charge répartie

Les panneaux sandwichs posés sur 2 ou 3 appuis ne doivent pas présenter une flèche supérieure au 1/200 de la portée. La charge q_{P3} en pression correspondant à une déformation du 1/200 de la portée est déterminée par essais selon la norme NF P 34-503 après avoir retiré le poids propre du résultat d'essai.

Pour chaque épaisseur, le panneau est posé sur 2 appuis de portée L suivante :

- la plus petite portée envisagée ;
- la plus grande portée envisagée ;
- la portée moyenne des deux portées ci-dessus.

La charge q_{P3} est déterminée pour les portées intermédiaires à celles testées par interpolation linéaire sur la grandeur (charge x portée³). On obtient, par exemple pour une portée L_{int} comprise entre L_p et L_m , la charge $q_{P3L_{int}}$ selon la formule suivante :

$$q_{P3L_{int}} = \frac{q_{P3L_p} \cdot \left(\frac{L_p}{L_{int}}\right)^3 \cdot (L_m - L_{int}) + q_{P3L_m} \cdot \left(\frac{L_m}{L_{int}}\right)^3 \cdot (L_{int} - L_p)}{L_m - L_p}$$

Les panneaux à tester doivent présenter les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques, la plus grande largeur utile envisagée et les épaisseurs suivantes :

- épaisseur minimale envisagée ;
- épaisseur maximale envisagée ;
- épaisseurs intermédiaires (l'écart maxi entre deux épaisseurs consécutives ne doit pas dépasser 40 mm).

La charge q_{P3} est déterminée pour les épaisseurs intermédiaires à celles testées par interpolation linéaire. On obtient, par exemple pour une épaisseur e_{int} comprise entre e_p et e_m , la charge $q_{P3e_{int}}$ selon la formule suivante :

$$q_{P3e_{int}} = \frac{(q_{P3e_p} \cdot (e_m - e_{int})) + (q_{P3e_m} \cdot (e_{int} - e_p))}{(e_m - e_p)}$$

B2.4 Résistance en flexion sous charge répartie + ponctuelle de 100 daN/m répartie sur la largeur

Sur 2 appuis

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L^2}{8} + \frac{q_{P4} \cdot \ell \cdot L^2}{8} + \frac{100 \cdot \ell \cdot L}{4} \leq M_{cal2A} \leftrightarrow$$

$$q_{P4} \leq \frac{8 \cdot M_{cal2A}}{\ell \cdot L^2} - g - \frac{200}{L}$$

Sur 3 appuis

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L^2}{8} + \frac{q_{P4} \cdot \ell \cdot L^2}{8} + \frac{100 \cdot \ell \cdot L}{4} \leq M_{cal3A} \leftrightarrow$$

$$q_{P4} \leq \frac{8 M_{cal3A}}{\ell \cdot L^2} - g - \frac{200}{L}$$

B2.5 Résistance à l'effort tranchant sous charge répartie + ponctuelle de 100 daN répartie sur la largeur

Sur 2 appuis

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{p5} \cdot \ell \cdot L}{2} + 100 \cdot \ell \leq V_{cal2A}$$

$$\Leftrightarrow q_{p5} \leq \frac{2 \cdot V_{cal2A}}{\ell \cdot L} - g - \frac{200}{L}$$

Sur 3 appuis

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{p5} \cdot \ell \cdot L}{2} + 100 \cdot \ell \leq V_{cal3A}$$

$$\Leftrightarrow q_{p5} \leq \frac{2 \cdot V_{cal3A}}{\ell \cdot L} - g - \frac{200}{L}$$

B3. Justifications relatives aux assemblages

Les résistances de calculs q_{F1} et q_{F2} sont déterminées selon les formules ci-après.

Les résistances de calculs des fixations R_{cal} sont déterminées conformément au *paragraphe C* du présent document.

B3.1 Détermination des charges de calcul (panneaux sur deux appuis)

B3.1.1 Chargement uniformément réparti

a) Fixation filante (ex. : Té)

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{F1} \cdot \ell \cdot L}{2} \leq R_{cal2} \cdot \ell \Leftrightarrow$$

$$q_{F1} \leq \frac{2R_{cal2}}{L} - g$$

b) Fixation ponctuelle (ex. : inserts et crapauds)

b1) 2 fixations par largeur d'appui

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{4} + \frac{q_{F1} \cdot \ell \cdot L}{4} \leq R_{cal1} \Leftrightarrow$$

$$q_{F1} \leq \frac{4R_{cal1}}{\ell \cdot L} - g$$

b2) 3 fixations par largeur d'appui

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{F1} \cdot \ell \cdot L}{2} \leq R_{cal1bis} \cdot \ell \Leftrightarrow$$

$$q_{F1} \leq \frac{2R_{cal1bis}}{L} - g$$

B3.1.2 Chargement combiné (réparti + ponctuel)

a) Fixation filante (ex. : Té)

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{F2} \cdot \ell \cdot L}{2} + 100 \leq R_{cal2} \cdot \ell \Leftrightarrow$$

$$q_{F2} \leq \frac{2 \cdot R_{cal2} \cdot \ell - 200}{\ell \cdot L} - g$$

b) Fixation ponctuelle (ex. : inserts et crapauds)

b1) 2 fixations par largeur d'appui

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{4} + \frac{q_{F3} \cdot \ell \cdot L}{4} + 100 \frac{(L-0,1)}{L} \leq R_{cal1}$$



$$q_{F3} \leq \frac{4 \cdot R_{cal1} - 400 \cdot \frac{(L-0,1)}{L}}{\ell \cdot L} - g$$

b2) 3 fixations par largeur d'appui

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{F3} \cdot \ell \cdot L}{2} + 100 \leq R_{cal1bis} \cdot \ell$$



$$q_{F3} \leq \frac{2R_{cal1bis} \cdot \ell - 200}{\ell \cdot L} - g$$

B3.2 Détermination des charges de calculs (panneaux sur trois appuis)

B3.2.1 Chargement uniformément réparti

a) Fixation filante (ex. : Tê)

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{F1} \cdot \ell \cdot L}{2} \leq R_{cal2} \cdot \ell \leftrightarrow$$

$$q_{F1} \leq \frac{2 R_{cal2}}{L} - g$$

b) Fixation ponctuelle (ex. : inserts et crapauds)

b1) 2 fixations par largeur d'appui

- En appui de rive

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{4} + \frac{q_{F1} \cdot \ell \cdot L}{4} \leq R_{cal1} \leftrightarrow$$

$$q_{F1} \leq \frac{4 R_{cal1}}{\ell \cdot L} - g$$

- En appui central

$$1,25 \cdot (g \cdot \ell \cdot L + q_{F2} \cdot \ell \cdot L) \leq 2 R_{cal3} \leftrightarrow$$

$$q_{F2} \leq \frac{2 R_{cal3}}{1,25 \cdot \ell \cdot L} - g$$

b2) 3 fixations par largeur d'appui

- En appui de rive

$$\frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{F1} \cdot \ell \cdot L}{2} \leq R_{cal1bis} \cdot \ell \leftrightarrow$$

$$q_{F1} \leq \frac{2 R_{cal1bis}}{L} - g$$

- En appui central

$$1,25 \cdot (g \cdot \ell \cdot L + q_{F2} \cdot \ell \cdot L) \leq R_{cal3bis} \cdot \ell \leftrightarrow$$

$$q_{F2} \leq \frac{R_{cal3bis}}{1,25 \cdot L} - g$$

B3.2.2 Chargement combiné (réparti + ponctuel)

a) Fixation filante (ex. : Tê)

$$100 + \frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{F3} \cdot \ell \cdot L}{2} \leq R_{cal2} \cdot \ell \leftrightarrow$$

$$q_{F3} \leq \frac{2 R_{cal2} \cdot \ell - 200}{\ell \cdot L} - g$$

b) Fixation ponctuelle (ex. : inserts et crapauds)

b1) 2 fixations par largeur d'appui

- En appui de rive

$$100 \frac{L - 0,1}{L} + \frac{g \cdot \ell \cdot L}{4} + \frac{q_{F3} \cdot \ell \cdot L}{4} \leq R_{cal1} \leftrightarrow$$

$$q_{F3} \leq \frac{4 \cdot R_{cal1} - 400 \frac{L - 0,1}{L}}{\ell \cdot L} - g$$

- En appui central

$$100 \frac{L - 0,1}{L} + 0,625 (g \cdot \ell \cdot L + q_{F4} \cdot \ell \cdot L) \leq R_{cal3} \leftrightarrow$$

$$q_{F4} \leq \frac{R_{cal3} - 100 \frac{L - 0,1}{L}}{0,625 \cdot \ell \cdot L} - g$$

b2) 3 fixations par largeur d'appui

- En appui de rive

$$100 + \frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} + \frac{q_{F3} \cdot \ell \cdot L}{2} \leq R_{cal1bis} \cdot \ell \leftrightarrow$$

$$q_{F3} \leq \frac{2 R_{cal1bis} \cdot \ell - 200}{\ell \cdot L} - g$$

- En appui central



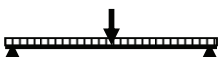

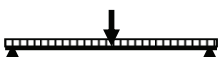

$$100 + 1,25 (g \cdot \ell \cdot L + q_{F4} \cdot \ell \cdot L) \leq R_{cal3bis} \cdot \ell \leftrightarrow$$

$$q_{F4} \leq \frac{R_{cal3bis} \cdot \ell - 100}{1,25 \cdot \ell \cdot L} - g$$

C. Détermination des résistances par essais

C1. Résistance de calcul des panneaux sandwichs

Tableau 1 - Résistance de calcul des panneaux sandwichs

Résistances de calcul recherchées	Modalités de chargement	Nombre d'essais	Critères	§
- M_{cal2A} et M_{cal3A} - V_{cal2A} et V_{cal3A}	 	Chaque épaisseur Portées : - petite - grande - intermédiaire	- Charge de ruine	C1.1
- Portée L_U maxi d'utilisation		Chaque épaisseur	Ruine en travée $Q \geq 450$ daN	C1.2
- Épaisseur minimale d'utilisation		Portée L_U	Ruine sur appui Effort tranchant ≥ 450 daN	C1.3
Méthode alternative - M_{cal2A}		Chaque épaisseur Portée L_U	Ruine en travée	C1.4
Méthode alternative - V_{cal2A}		Chaque épaisseur Portée L_U	Ruine sur appui	C1.5

C1.1 Détermination de M_{cal2A} et V_{cal2A} (panneau sur 2 ou 3 appuis)

Méthode

Le moment fléchissant maxi en travée M_{cal2A} et l'effort tranchant maxi V_{cal2A} du panneau sur deux ou trois appuis, peuvent être déterminés d'après un essai de flexion selon le paragraphe 8.11 de la norme NF P 34-503.

Configuration à tester

Les panneaux à tester doivent présenter les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques déclarées (ex : S320), la plus grande largeur utile envisagée et les épaisseurs suivantes :

- épaisseur minimale envisagée ;
- épaisseur maximale envisagée ;
- épaisseurs intermédiaires (l'écart maxi entre deux épaisseurs consécutives ne doit pas dépasser 40 mm).

Pour chaque épaisseur, le panneau est posé sur 2 ou 3 appuis de portée L suivante :

- la plus petite portée envisagée ;
- la plus grande portée envisagée ;
- portée intermédiaire.

Résultats

Par configuration (épaisseur de panneau et portée) est obtenue la charge de ruine F_v .

D'après ces résultats, les valeurs V_{cal2A} et M_{cal2A} sont calculées pour chaque épaisseur de panneau, selon le tableau 2 ci-après.

La valeur V_{cal2A} déterminée à partir des essais sur 2 appuis est utilisée pour calculer les critères q_{p2} et q_{p5} sur 2 appuis.

Nota : sur 3 appuis, soit V_{cal3A} est pris égal à V_{cal2A} , soit si les essais sur 3 appuis présentent une rupture en cisaillement, une valeur V_{cal3A} est déterminée à partir des essais sur 3 appuis.

Si ruine en cisaillement sur appui intermédiaire.

$$V_{cal3A} = \left(\frac{1,25 \cdot F_V}{2} + 1,25 \cdot g \cdot \ell \cdot L \right) / \gamma_P$$

Si ruine en cisaillement sur appui d'extrémité.

$$V_{cal3A} = \left(\frac{3 \cdot F_V}{8} + \frac{3 \cdot g \cdot \ell \cdot L}{8} \right) / \gamma_P$$

Tableau 2 - Valeurs V_{cal2A} et $M_{cal2Aou3A}$ calculées pour chaque épaisseur de panneau

	Petite portée L_p	Portée intermédiaire	Grande portée L_g
Effort tranchant V_{cal2A}	$\left(\frac{F_V}{2} + \frac{g \cdot \ell \cdot L}{2} \right) / \gamma_P$	—	—
Moment fléchissant en travée M_{cal2A}	—	$\left(\frac{F_V \cdot L}{8} + \frac{g \cdot \ell \cdot L^2}{8} \right) / \gamma_P$	$\left(\frac{F_V \cdot L}{8} + \frac{g \cdot \ell \cdot L^2}{8} \right) / \gamma_P$
Moment fléchissant en travée M_{cal3A}		$\left(\frac{F_V \cdot L}{16} + \frac{g \cdot \ell \cdot L^2}{8} \right) / \gamma_P$	$\left(\frac{F_V \cdot L}{16} + \frac{g \cdot \ell \cdot L^2}{8} \right) / \gamma_P$

γ_p est défini au paragraphe A3 du présent document.

À défaut d'essais sur 3 appuis, M_{cal3A} peut être pris égal à M_{cal2A} .

Le Moment fléchissant en travée M_{cal} est déterminé par interpolation linéaire pour des portées comprises entre L_i et L_g :

- Pour $L \leq L_i$

$$M_{cal2Aou3A}(L) = M_{cal2Aou3A}(L_i)$$

- Pour $L_i < L < L_g$

$$M_{cal2Aou3A}(L) = \frac{(M_{cal2Aou3A}(L_i) \cdot (L_g - L) + (M_{cal2Aou3A}(L_g) \cdot (L - L_i))}{(L_g - L_i)}$$

Le Moment fléchissant en travée M_{cal} est déterminé par interpolation linéaire pour l'épaisseur e_{int} comprise entre deux épaisseurs testées e_p et e_m .

$$M_{cal2Aou3A}(L)_{e_{int}} = \frac{(M_{cal2Aou3A}(L)_{e_p} \cdot (e_m - e_{int}) + (M_{cal2Aou3A}(L)_{e_m} \cdot (e_{int} - e_p))}{(e_m - e_p)}$$

L'effort tranchant calculé pour la petite portée L_p est adopté pour les portées comprises entre la petite portée L_p et la grande portée L_g .

L'effort tranchant pour une épaisseur intermédiaire e_{int} comprise entre les épaisseurs testées e_p et e_m , est déterminé par interpolation linéaire pour l'épaisseur e_{int} comprise entre deux épaisseurs testées e_p et e_m .

$$V_{cal2A} = \frac{(V_{cal2A}(L)_{e_p} \cdot (e_m - e_{int}) + (V_{cal2A}(L)_{e_m} \cdot (e_{int} - e_p))}{(e_m - e_p)}$$

C1.2 Détermination de la portée maximale d'utilisation

Méthode

La portée maximale d'utilisation L_u est déterminée d'après un essai (panneaux sur 2 appuis) de chargement concentré à mi-portée selon le paragraphe 8.1.2 de la norme NF P 34-503.

Configuration à tester

Il faut déterminer la portée limite d'utilisation pour toutes les épaisseurs de panneau sinon on retient pour la portée limite d'utilisation celle correspondant au panneau testé d'épaisseur (immédiatement) inférieure.

Les panneaux à tester doivent présenter la plus grande largeur utile envisagée, les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques déclarés (ex : S320).

La portée est choisie de façon à obtenir une charge ponctuelle de ruine supérieure ou égale à 450 daN.

Dans le cas de panneau ayant une âme présentant des discontinuités transversales, la maquette doit comporter une jonction de blocs ou de lamelles dans la zone située dans la zone d'application de la charge ponctuelle sauf méthode de fabrication définie dans le dossier du demandeur excluant cette possibilité.

Résultats d'essai

Portée limite d'utilisation L_u , limitée à 8 m, correspondant à une charge ponctuelle de ruine supérieure ou égale à 450 daN.

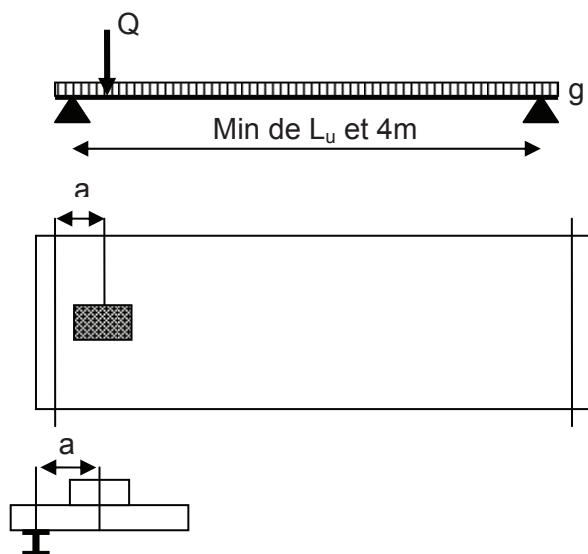
Nota 1 : le critère de flèche n'est pas pris en compte.

Nota 2 : lorsque les essais en chargement uniformément répartis sont réalisés avec une grande portée inférieure à la portée limite d'utilisation $L_u - 0,5$ m il n'est pas possible de réaliser un tableau de charges avec cette limite.

C1.3 Détermination de l'épaisseur minimale des panneaux

Méthode

L'épaisseur minimale des panneaux utilisables en plafond est déterminée d'après un essai (panneau sur 2 appuis) de chargement concentré à proximité de l'appui (dessin ci-dessous) selon le paragraphe 8.1.2 (excepté pour la position de la charge) de la norme NF P 34-503.



$a \geq e + 180$ mm où e est l'épaisseur du panneau.

Figure 1 - Essai (panneau sur 2 appuis) de chargement concentré à proximité de l'appui

Configuration à tester

Les panneaux à tester doivent présenter la plus grande largeur utile, les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques déclarées (ex : S320).

Le panneau est posé sur 2 appuis de portée égale à L_u (obtenue selon le paragraphe C1.2), limitée à 4 m.

L'épaisseur du panneau est choisie de façon à obtenir un « effort tranchant » supérieur ou égal à 450 daN.

Dans le cas de panneau ayant une âme présentant des

discontinuités transversales, la maquette doit comporter une jonction de blocs ou de lamelles dans la zone située entre l'appui et la charge ponctuelle sauf méthode de fabrication définie dans le dossier du demandeur excluant cette possibilité.

Résultats d'essai

Est obtenue la charge ponctuelle de ruine Q en daN.

L'épaisseur minimale des panneaux utilisables en plafond correspond à un effort tranchant d'au moins 450 daN, calculé selon la formule suivante :

$$Q \times \frac{L - a}{L} + \frac{g \cdot L \cdot \ell}{2} \geq 450 \text{ daN}$$

C1.4 Méthode alternative de détermination de M_{cal2A}

Méthode

Le moment maxi de calcul à mi-travée peut être déterminé d'après un essai de flexion avec un chargement linéaire à mi-travée selon le paragraphe 8.1.3. (excepté pour la largeur du support en bois qui doit être de 15 cm) de la norme NF P 34-503 (panneau non fixé).

Configuration à tester

Les panneaux à tester doivent présenter les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques déclarées (ex : S320), la plus grande largeur utile envisagée et les épaisseurs suivantes :

- épaisseur minimale envisagée ;
- épaisseur maximale envisagée ;
- épaisseurs intermédiaires (l'écart maxi entre deux épaisseurs consécutives ne doit pas dépasser 40 mm).

Pour chaque épaisseur, le panneau est posé sur 2 appuis de portée L prise égale à L_u .

Résultats d'essai

Par configuration (épaisseur de panneau et portée) est obtenue la charge de ruine F_V .

D'après ce résultat, la valeur M_{cal2A} est calculée pour chaque épaisseur de panneau selon la formule suivante :

$$M_{cal2A} = \frac{F_V L_u}{4 \gamma_p} + \frac{g \cdot \ell \cdot L_u^2}{8 \gamma_p}$$

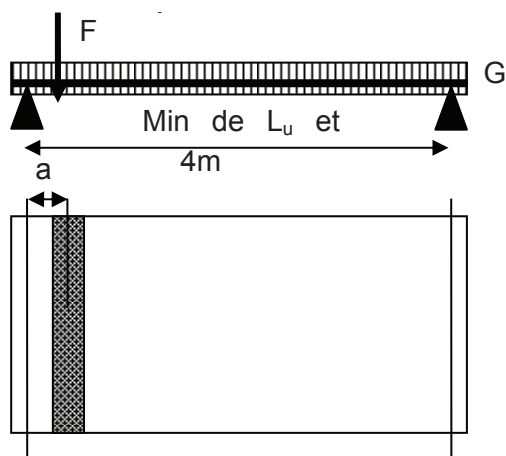
γ_p est défini au paragraphe A3 du présent document.

Nota : le critère de flèche n'est pas pris en compte.

C1.5 Méthodes alternatives de détermination de V_{cal2A}

Méthode 1

L'effort tranchant de calcul du panneau peut être déterminé d'après un essai de flexion avec un chargement linéaire à proximité de l'appui (dessin ci-dessous) selon le paragraphe 8.1.3. (excepté pour la largeur du bois d'application de la charge qui doit être de 15 cm et la position de la charge) selon la norme NF P 34-503 (panneaux non fixés).



$a = e + 180 \text{ mm}$ où e est l'épaisseur du panneau.

Figure 2 - Essai de flexion avec un chargement linéaire à proximité de l'appui

Configuration à tester

Les panneaux à tester doivent présenter la plus grande largeur utile, les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques déclarées (ex. : S320), ainsi que les épaisseurs suivantes :

- épaisseur minimale envisagée ;
- épaisseur maximale envisagée ;
- épaisseurs intermédiaires (l'écart maxi entre deux épaisseurs consécutives ne doit pas dépasser 40 mm).

Pour chaque épaisseur, le panneau est posé sur 2 appuis de portée L prise égale à L_u , limitée à 4 m.

Dans le cas de panneau ayant une âme présentant des discontinuités transversales, la maquette doit comporter une jonction de blocs ou de lamelles dans la zone située entre l'appui et la charge linéaire, sauf méthode de la fabrication définie dans le dossier du demandeur, excluent cette possibilité.

Résultats d'essai

Par configuration (épaisseur de panneau et portée) est obtenue la charge de ruine F_v .

D'après ce résultat, la valeur de l'effort tranchant est calculée pour chaque épaisseur de panneau selon la formule :

$$V_{\text{cal}2A} = \frac{F_v (L - a)}{L \times \gamma_p} + \frac{g \cdot \ell \cdot L}{2 \gamma_p}$$

γ_p est défini au *paragraphe A3* du présent document.



Nota : le critère de flèche n'est pas pris en compte.

Méthode 2

L'effort tranchant de calcul $V_{\text{cal}2A}$ du panneau peut également être déterminé d'après un essai selon NF EN 14509 A15 en cas de rupture en cisaillement.

C2. Résistances de calcul des assemblages

Tableau 3 – Résistances de calcul des assemblages

Résistances de calcul recherchées	Modalités de chargement	Nombre d'essais	Critères	§
Fixation ponctuelle - 2 fixations par largeur : R_{cal1} pour une fixation - 3 fixations par largeur : $R_{cal1bis}$ par mètre		1 portée 1 épaisseur	Ruine par point de suspente	2.1
Fixation par Té - R_{cal2} par mètre linéaire de Té	Linéaire symétrique	1 portée 1 épaisseur	Ruine par mètre linéaire de Té	2.2
Fixation ponctuelle sur 3 appuis - R_{cal3} pour une fixation - $R_{cal3bis}$ par mètre		1 portée 1 épaisseur	Ruine par point de suspente	2.3

C2.1 Détermination de R_{cal1} et $R_{cal1bis}$

Méthode

La résistance d'un assemblage (2 fixations ponctuelles par appui) et (3 fixations ponctuelles par appui) peut être déterminée d'après un essai (panneau sur 2 appuis) de flexion selon la norme NF P 34-503 (dessins ci-dessous).

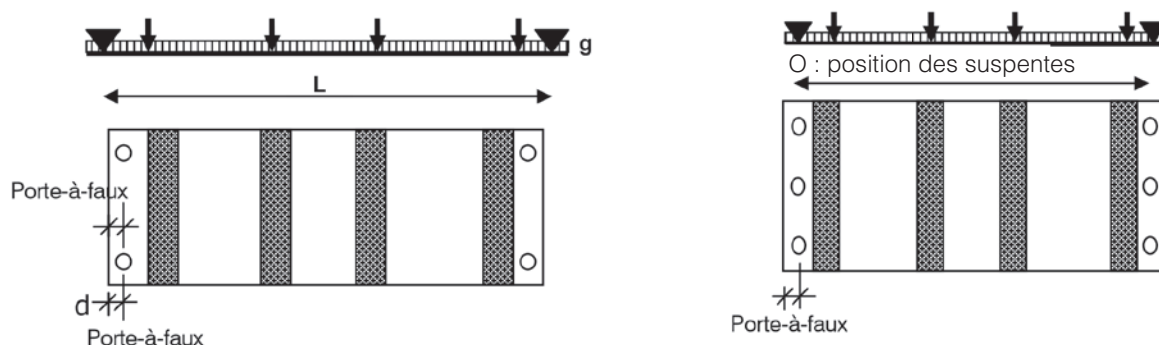


Figure 3 – Essai (panneau sur 2 appuis) de flexion selon la norme NF P 34-503

Configuration à tester

Les panneaux à tester doivent présenter les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques déclarées (ex. : S320) et la plus grande largeur utile envisagée.

La portée L (limitée à 4 m) et l'épaisseur du panneau sandwich sont choisies de façon à obtenir une ruine de l'attache avant la ruine du panneau et une résistance d'assemblage R_{cal1} ou $R_{cal1bis}$ supérieure ou égale à 150 daN ou daN/m.

Le panneau est suspendu par des fixations ponctuelles.

Résultats d'essais

Est obtenue la charge de ruine d'un assemblage F_V .

D'après ce résultat, la valeur de la résistance d'un assemblage R_{cal1} par fixation ou par mètre est calculée selon les formules suivantes :

$$R_{cal1} = \frac{F_V + g \cdot \ell \cdot L}{4 \gamma_F} \text{ et } R_{cal1bis} = \frac{F_V + g \cdot \ell \cdot L}{(2 \times \gamma_F) \cdot \ell}$$

γ_F est défini au paragraphe A4 du présent document.

C2.2 Détermination de R_{cal2}

Méthode

La résistance des éléments linéaires de fixation (Té ou échelles) peut être déterminée d'après un essai de chargement (figure 4) selon le paragraphe 8.1.3 de la norme NF P 34-503.

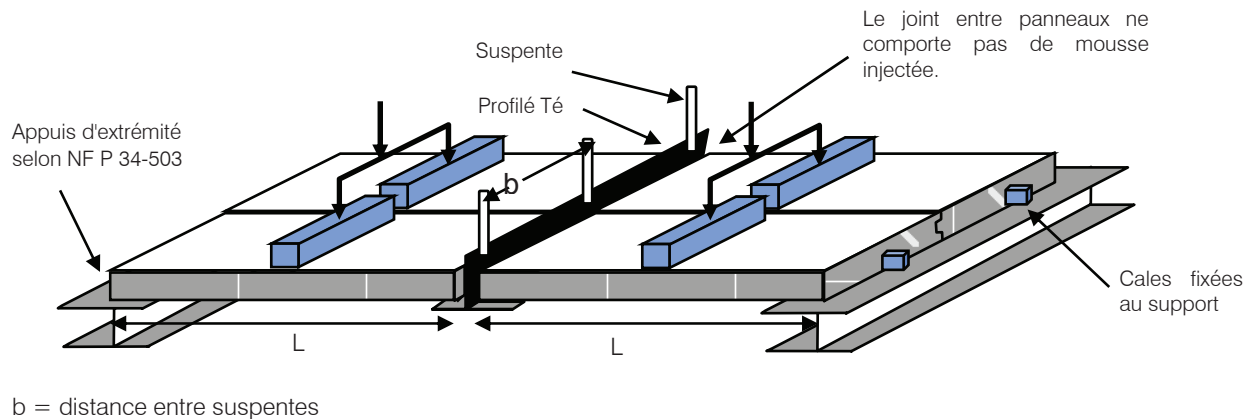


Figure 4 - Appuis d'extrémité selon NF P34-503

Configuration à tester

Les panneaux à tester doivent présenter les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques déclarées (ex. : S320) et la plus grande largeur utile envisagée.

La portée L (généralement 1,50 m) et l'épaisseur des panneaux sandwichs sont choisies de façon à obtenir une ruine de l'assemblage avant la ruine d'un panneau et une résistance d'assemblage R_{cal2} supérieure ou égale à 150 daN/aile/m.

La largeur de la maquette est égale à 2 fois la largeur utile des panneaux.

Le Té est suspendu avec 2 ou 3 suspentes. L'entraxe b maximal envisagé doit être testé.

Les maquettes doivent présenter les plus faibles largeurs d'appui envisagées des panneaux sur le Té et sur les montants.

Résultats d'essai

Est obtenue la charge de ruine de l'assemblage F_V .

D'après ce résultat, la valeur de la résistance de l'assemblage R_{cal2} (par aile et mètre linéaire du Té) en daN/m est calculée en prenant le minimum des valeurs $R_{calTé}$ et R_{calsu} :

$$R_{calTé} = \left(\frac{F_V}{2 \cdot n \cdot \ell} + \frac{g \cdot L}{2} \right) \times \frac{1}{\gamma_F}$$

$$R_{calsu} = \left(\frac{R_{su}}{2 \cdot d \cdot c} \right)$$

Où :

n est le nombre de panneaux testés (minimum 4) ;

γ_F est défini au paragraphe A4 du présent document ;

d est l'écart entre suspentes visé dans le dossier.

c est le coefficient de continuité lié au nombre de suspentes soutenant le Té dans le dossier. Si Té soutenu par 3 suspentes alors $c = 1,25$, si Té soutenu par 4 suspentes ou plus alors $c = 1,14$.

R_{su} est la charge reprise par le point d'attache suspente/Té déterminée soit par l'essai selon le paragraphe C2.2, soit par un essai indépendant sur l'attache Té/suspente :

- Cas de l'essai selon le paragraphe C2.2, maquette avec 2 suspentes.

$$R_{su2} = \left(\frac{F_V}{4} + g \cdot L \right) \times \frac{1}{\gamma_F}$$

- Cas de l'essai selon le paragraphe C2.2, maquette avec 3 suspentes.

$$R_{su3} = 1,25 \left(\frac{F_V}{4} + g \cdot L \right) \times \frac{1}{\gamma_F}$$

- Cas où la résistance Té /suspente est déterminée par un essai indépendant de traction sur l'attache Té/suspente.

$$R_{su1} = \text{résultat d'essai} \times \frac{1}{\gamma_F}$$

Nota : la résistance des suspentes doit être vérifiée par ailleurs.

C2.3 Détermination de R_{cal3} et de $R_{cal3bis}$

Méthode

La résistance d'un assemblage R_{cal3} (2 fixations ponctuelles) et $R_{cal3bis}$ (3 fixations ponctuelles) peut être déterminée d'après un essai de flexion selon la norme NF P 34-503 (figure 5).

Configuration à tester

Les panneaux à tester doivent présenter les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques déclarées (ex : S320) et la plus grande largeur utile envisagée.

La portée L (limitée à 4 m) et l'épaisseur du panneau sandwich sont choisies de façon à obtenir une ruine de l'attache avant la ruine du panneau et une résistance d'assemblage R_{cal3} supérieure ou égale à 150 daN.

Le panneau est suspendu par deux ou trois fixations ponctuelles.

Résultats d'essais

Est obtenue la charge de ruine F_V .

D'après ce résultat, la valeur de la résistance d'assemblage R_{cal3} par fixation ou $R_{cal3bis}$ par mètre, est calculée selon la formule suivante :

$$R_{cal3} = \left(\frac{F_V}{2} + 1,25 \cdot g \cdot \ell \cdot L \right) \times \frac{1}{2 \cdot \gamma_F} \quad \text{et}$$

$$R_{cal3bis} = \left(\frac{F_V}{2} + 1,25 \cdot g \cdot \ell \cdot L \right) / (\gamma_F \cdot \ell)$$

γ_F est défini au *paragraphe A4* du présent document.

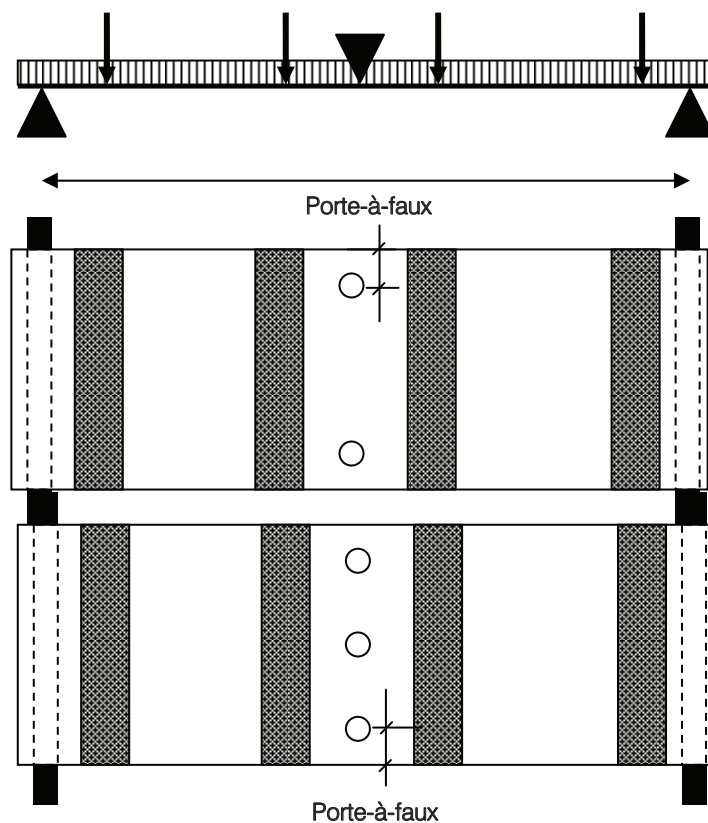


Figure 5 – Résistance d'un assemblage d'après un essai de flexion selon NF P 34-503

Symboles

g	: masse surfacique du panneau (daN/m^2)
ℓ	: largeur du panneau (m)
L	: portée (m)
L_u	: portée limite d'utilisation (m)
a	: distance d'application de la charge par rapport à l'axe de l'appui (m)
γ_p	: coefficient de sécurité applicable au panneau (sans unité)
γ_F	: coefficient de sécurité applicable à la fixation (sans unité)
V_{cal}	: effort tranchant de calcul (daN) des panneaux
M_{cal2A}	: moment fléchissant de calcul (daN.m) des panneaux posés sur 2 appuis
M_{cal3A}	: moment fléchissant de calcul en travée (daN.m) des panneaux posés sur 3 appuis
R_{cal}	: résistance de calcul d'un assemblage (daN ou daN/m)
F_v	: charge de ruine correspondant à la charge au vérin + poids propre du dispositif de chargement (daN)
$G = g$: charge due à l'action permanente du poids du panneau (daN/m^2)
W	: charge de vent caractéristique EUROCODE (daN/m^2)
S	: charge d'exploitation due à la différence de pression de part et d'autre des parois (daN/m^2)
E	: charge d'entretien correspondant à l'accès d'une personne (daN)
P	: charge répartie permanente due au poids du platelage (daN/m^2)

Références normatives

NF P 34-503 de novembre 1995 – Plaques profilées en tôles d'acier revêtues ou non et panneaux – Essais de flexion sous charges linéaires et/ou sous charges concentrées.

Les charges de vent sont définies dans l'EC 1 P1-4 (NF EN 1991-1-4), dans son amendement A1 (NF EN 1991-1-4/A1), son annexe nationale (NF EN 1991-1-4/NA) et les amendements A1 (NF EN 1991-1-4/NA/A1) et A2 (NF EN 1991-1-4/NA/A2) à cette annexe nationale.

SIÈGE SOCIAL

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr



CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA ANTIPOLIS