

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe Spécialisé n° 2

Constructions, façades
et cloisons légères

Les méthodes de dimensionnement aux états limites des ouvrages de bardage et de couverture en panneaux sandwichs faisant l'objet d'un Document Technique d'Application

Ce document a été entériné par le Groupe Spécialisé n° 2 le 6 mars 2012.

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 909 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

Les méthodes de dimensionnement aux états limites des ouvrages de bardage et de couverture en panneaux sandwiches faisant l'objet d'un Document Technique d'Application

SOMMAIRE

Notation	2
Symboles et abréviations	2
Introduction	3
Domaine d'application :	3
1. Dimensionnement des assemblages	3
1.1 Panneaux à fixations traversantes visibles utilisés en bardage	3
1.2 Panneaux à fixations traversantes cachées utilisés en bardage	4
1.3 Vérification de l'ancrage des fixations	4
2. Établissement des tableaux de charges/portées	4
2.1 Méthode par calcul suivant la norme européenne NF EN 14509.....	4
2.2 Méthode par essais selon le complément national XP P 34-900	4
2.3 Méthode alternative par essais	4
Annexe A Méthode alternative par essais selon la NF P 34-503	5
Annexe B Essai de fatigue sur panneaux à fixations cachées	15

Notation

Symboles et abréviations

« ' » :	l'apostrophe est utilisée pour toutes les abréviations se rapportant à la dépression (exemple W : charge de vent en pression ; W' : charge de vent en dépression)
α :	coefficient de correction relatif aux épaisseurs panneaux
β_K :	facteur de correction en rigidité conventionnelle
β_{Ms} :	facteur de correction en flexion conventionnelle à l'ELS
β_{Mu} :	facteur de correction en flexion conventionnelle à l'ELU
β_{Rs} :	facteur de correction en réaction d'appui conventionnelle à l'ELS
β_{Ru} :	facteur de correction en réaction d'appui conventionnelle à l'ELU
δ :	coefficient de correction relatif aux masses volumiques
γ_m :	coefficient de matériau pour les calculs de fixation relatif au type d'appui support des panneaux
γ_{mi} :	coefficient de matériau relatif au type d'isolant des panneaux
γ_q :	coefficient de pondération de charge
γ_{rk} :	coefficient de correction relatif au nombre d'essais en rigidité conventionnelle
γ_{rm} :	coefficient de correction relatif au nombre d'essais en moment de flexion conventionnelle
γ_{rR} :	coefficient de correction relatif au nombre d'essais en réaction d'appui conventionnel
C_F :	charge admissible de l'assemblage sous essai de fatigue (daN)
D_e :	masse volumique moyenne mesurée de l'isolant (kg/m ³)
D_n :	masse volumique de l'isolant (kg/m ³)
D_p :	déformation permanente
E_e :	épaisseur moyenne mesurée du panneau (mm)
ELU :	état limite ultime
E_n :	épaisseur nominale du panneau (mm)
ELS :	état limite de service
G :	poids propre du panneau (daN/m ²)
K :	rigidité conventionnelle
K_{g2A} :	rigidité conventionnelle grande portée 2 appuis
K_{g3A} :	rigidité conventionnelle grande portée 3 appuis
K_{m2A} :	rigidité conventionnelle moyenne portée 2 appuis
K_{m3A} :	rigidité conventionnelle moyenne portée 3 appuis
K_{p2A} :	rigidité conventionnelle petite portée 2 appuis
K_{p3A} :	rigidité conventionnelle petite portée 3 appuis
l :	largeur utile du panneau (m)
L :	portée du panneau (m)
LdR :	laine de roche
L_{g2A} :	grande portée d'essai 2 appuis (m)
L_{g3A} :	grande portée d'essai 3 appuis (m)
L_{m2A} :	moyenne portée d'essai 2 appuis (m)
L_{m3A} :	moyenne portée d'essai 3 appuis (m)
L_{p2A} :	petite portée d'essai 2 appuis (m)

L_{p3A} :	petite portée d'essai 3 appuis (m)
M_C :	moment conventionnel de charge concentrée sur 2 appuis
M_s :	moment de flexion conventionnel (ELS)
M_{s3A} :	moment de flexion conventionnel sur 3 appuis (ELS)
M_u :	moment de flexion conventionnel (ELU)
M_{u2A} :	moment de flexion conventionnel sur 2 appuis (ELU)
M_{u3A} :	moment de flexion conventionnel sur 3 appuis (ELU)
n :	nombre de fixations par largeur utile de panneau
P_k :	résistance caractéristique d'assemblage (daN)
PSE :	mousse de polystyrène expansée
PUR :	générique pour mousse polyuréthane ou mousse polyisocyanurate
q :	charge d'essai à L/200 (daN/m ²)
Q :	charge de montage (daN)
Q_C :	charge de ruine sous charge concentrée (daN)
q_s :	charge d'essai en Dp (daN/m ²)
q_u :	charge d'essai à la ruine ou à la charge maximale atteinte (daN/m ²)
R_{cs} :	résistance caractéristique des fixations à l'ELS (daN)
R_{cu} :	résistance caractéristique des fixations à l'ELU (daN)
R_s :	réaction d'appui conventionnelle (ELS)
R_{s3A} :	réaction d'appui conventionnelle sur 3 appuis (ELS)
R_u :	réaction d'appui conventionnelle (ELU)
R_{u2A} :	réaction d'appui conventionnelle sur 2 appuis (ELU)
R_{u3A} :	réaction d'appui conventionnelle sur 3 appuis (ELU)
S :	valeur de pression de neige EUROCODE (daN/m ²)
W :	valeur de pression de vent EUROCODE (daN/m ²)

Introduction

Les trois méthodes de dimensionnement aux états limites des ouvrages de bardage et de couverture en panneaux sandwichs faisant l'objet d'un Document Technique d'Application (DTA) sont :

- **Méthode 1** : méthode par calcul suivant la norme européenne NF EN 14509
- **Méthode 2** : méthode par essais selon le complément national XP P 34-900
- **Méthode 3** : méthode alternative par essais

Domaine d'application

Les panneaux visés par ce présent document sont les panneaux sandwichs à parements métalliques en acier de nuance minimale S 220 GD conformément à la norme NF EN 10346, faisant l'objet d'un DTA ou d'un Avis Technique (AT).

Ces panneaux sont utilisés en bardage et couverture.

En bardage, seuls sont visés les panneaux avec :

- une âme isolante en mousse polyuréthane ou mousse polyisocyanurate ou laine de roche ;
- un parement intérieur d'épaisseur nominale minimale 0,40 mm et un parement extérieur d'épaisseur nominale minimale 0,50 mm.

En couverture, seuls sont visés les panneaux avec :

- une âme isolante en mousse polyuréthane ou mousse polyisocyanurate ou laine de roche ;
- un parement intérieur d'épaisseur nominale minimale 0,40 mm et un parement extérieur d'épaisseur nominale minimale 0,50 mm.
- des portées maximales en PUR : 6 m et en LdR : 5 m.

Les distinctions principales entre les trois méthodes sont rappelées dans le tableau suivant :

	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3
γ_m et critères	Définis dans XP P 34-900	Définis dans XP P 34-900	Spécifiques
Climat de montagne	Oui	Oui	Non
Gradient thermique	Oui	Non	Non

Ce document précise le dimensionnement des assemblages applicable pour les trois méthodes (cf. *Chapitre 1*) et explicite la méthode 3 (cf. *Annexe A*).

L'établissement des tableaux de charges doit prendre en compte à la fois le dimensionnement de l'assemblage et celui du panneau.

1. Dimensionnement des assemblages

Cette méthode permet la détermination, à partir de la résistance des fixations et/ou de l'assemblage et pour la portée envisagée L et le cas de pose 2 ou 3 appuis, de la valeur de la charge résistante de vent EUROCODE W' à partir de la résistance des fixations et/ou de l'assemblage.

Le dimensionnement des assemblages conformément au *paragraphe 1* de ce document devra être pris en compte dans l'établissement des tableaux de charges.

1.1 Panneaux à fixations traversantes visibles utilisés en bardage

Les résistances forfaitaires des fixations au déboutonnage à prendre en compte pour la détermination de la valeur de charge du vent EUROCODE sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Épaisseur du parement de nuance S 320 GD en contact avec la rondelle d'appui	0,50 mm	0,63 mm	≥ 0,75 mm
Résistance caractéristique à ELS R_{cs} par vis munie d'une rondelle d'appui de diamètre 19 mm	105 daN	210 daN	250 daN
Résistance caractéristique à ELU R_{cu} par vis munie d'une rondelle d'appui de diamètre 19 mm	145 daN	290 daN	350 daN

Si la nuance du parement est inférieure à S 320 GD, on prendra des valeurs corrigées par proportionnalité, soit nuance nominale du parement divisée par 320. Pour des nuances d'acier plus élevées, on prendra les mêmes valeurs que le tableau ci-dessus.

Les résistances forfaitaires des fixations au déboutonnage avec cavalier à prendre en compte pour la détermination de la valeur de charge du vent EUROCODE sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Épaisseur du parement de nuance S 320 GD	0,50 mm	0,63 mm	≥ 0,75 mm
Résistance caractéristique à ELS R_{cs}	165 daN	235 daN	260 daN
Résistance caractéristique à ELU R_{cu}	230 daN	330 daN	365 daN

Si la nuance du parement est inférieure à S 320 GD, on prendra des valeurs corrigées par proportionnalité, soit nuance nominale du parement divisée par 320. Pour des nuances d'acier plus élevées, on prendra les mêmes valeurs que le tableau ci-dessus.

La détermination de la valeur de vent W' en fonction de la portée L envisagée se fait de la manière suivante :

- Pose sur 2 appuis

$$W' = \text{Min} \left(\frac{2 \times n \times R_{cs}}{1,10 \times L \times l}, \frac{2 \times n \times R_{cu}}{1,50 \times L \times l} \right)$$

- Pose sur 3 appuis

$$W' = \text{Min} \left(\frac{n \times R_{cs}}{1,25 \times 1,10 \times L \times l}, \frac{n \times R_{cu}}{1,25 \times 1,50 \times L \times l} \right)$$

1.2 Panneaux à fixations traversantes cachées utilisés en bardage

Ces panneaux font l'objet d'un essai spécifique de fatigue en dépression au cours duquel on valide la charge admissible de l'assemblage C_F (cf. *Annexe B*).

Cette validation dépend du moment où la ruine se produit :

- si la maquette a supporté les 78 000 cycles, la charge admissible de l'assemblage est C_F ;
- si la ruine se produit lors des 8 000 derniers cycles, la charge admissible de l'assemblage est $2/3.C_F$.

La résistance ultime R_{cu} de l'assemblage est prise forfaitairement à :

- $2.C_F$ lorsque la maquette a supporté les 78 000 cycles ; $(4/3) \times C_F$ lorsque la ruine se produit lors des 8 000 derniers cycles.

La détermination de la valeur de vent W' en fonction de la portée L envisagée se fait de la manière suivante :

- Pose sur 2 appuis

$$W' = \left(\frac{2 \times R_{cu}}{1,50 \times L \times l} \right)$$

- Pose sur 3 appuis

$$W' = \left(\frac{R_{cu}}{1,25 \times 1,50 \times L \times l} \right)$$

1.3 Vérification de l'ancrage des fixations

Une vérification de l'ancrage des fixations doit être effectuée en fonction de la nature de l'appui.

Cette vérification consiste à déterminer les valeurs de P_k/γ_m en fonction de la valeur de charge du vent EUROCODE W' , de la portée L et du cas de pose 2 ou 3 appuis envisagé.

1.3.1 Panneaux utilisés en bardage

- Pose sur 2 appuis

$$\frac{P_k}{\gamma_m} = \left(\frac{1,50 \times W' \times L \times l}{2 \times n} \right)$$

- Pose sur 3 appuis

$$\frac{P_k}{\gamma_m} = \left(\frac{1,25 \times 1,50 \times W' \times L \times l}{n} \right)$$

Les valeurs de γ_m sont prises égales à :

- 1,15 pour les ossatures acier d'épaisseurs supérieures ou égales à 3,00 mm ;
- 1,35 pour les ossatures bois et les ossatures acier d'épaisseurs comprises entre 1,50 mm et 3,00 mm.

1.3.2 Panneaux utilisés en couverture

- Panneaux isolés avec pose sur 2 appuis

$$\frac{P_k}{\gamma_m} = \left(\frac{(1,50 \times W' - 1,00 \times G) \times L \times l}{2 \times n} \right)$$

- Panneaux posés sur 2 appuis avec recouvrement transversal

$$\frac{P_k}{\gamma_m} = \left(\frac{(1,50 \times W' - 1,00 \times G) \times L \times l}{n} \right)$$

- Panneaux posés sur 3 appuis

$$\frac{P_k}{\gamma_m} = \left(\frac{1,25 \times (1,50 \times W' - 1,00 \times G) \times L \times l}{n} \right)$$

Les valeurs de γ_m sont prises égales à :

- 1,15 pour les ossatures acier d'épaisseurs supérieures ou égales à 3,00 mm ;
- 1,35 pour les ossatures bois et les ossatures acier d'épaisseurs comprises entre 1,50 mm et 3,00 mm.

2. Établissement des tableaux de charges/portées

2.1 Méthode par calcul suivant la norme européenne NF EN 14509

Cf. Annexe E de la norme NF EN 14509 et complément national XP P 34-900 pour les valeurs γ_m et critères.

2.2 Méthode par essais selon le complément national XP P 34-900

Cf. Complément national XP P 34-900 et plus particulièrement le paragraphe 10 pour les essais à réaliser sur maquettes grandeur réelle.

2.3 Méthode alternative par essais

Cette méthode est basée sur des essais sur maquettes grandeur réelle suivant la norme NF P 34-503.

Cf. *Annexe A* du présent document pour l'interprétation des essais.

Annexe A

Méthode alternative par essais selon la NF P 34-503

Remarque préliminaire :

- Les coefficients γ_m et les critères utilisés ci-après sont spécifiques à cette méthode.
- Le dimensionnement des assemblages conformément au paragraphe 1 de ce document devra être pris en compte dans l'établissement des tableaux de charges.

1. Panneaux utilisés en bardage

1.1 Programme d'essais et résultats des essais

Le programme d'essais doit être effectué au minimum sur les panneaux ayant les parements d'épaisseur les plus faibles tels que visés dans l'AT et/ou DTA.

Le programme d'essais comporte au minimum les panneaux d'épaisseur la plus faible.

Dans le cadre d'une caractérisation complète d'une gamme de panneaux, le programme d'essais minimal doit être effectué sur l'épaisseur la plus faible, la plus forte et les épaisseurs intermédiaires par pas de 40 mm maximum.

Le tableau ci-après indique le programme d'essais minimal et les résultats des essais statiques pour une épaisseur de panneau.

Chaque maquette d'essai devra être caractérisée comme suit :

- l'épaisseur du panneau avec au moins 4 points de mesure ;
- un essai de traction, de compression et de masse volumique du panneau ;
- la caractérisation mécanique des parements.

Toutes ces données devront être consignées dans le rapport d'essais.

1.2 Interprétation des essais de flexion

1.2.1 Principe

À partir des essais on détermine :

- les rigidités conventionnelles K et K' en pression et dépression. Ces rigidités sont déterminées à partir des charges obtenues au 200^e de la flèche pour chaque portée d'essais ;
- les moments de flexion conventionnels (M_u , M_s) et (M'_u , M'_s) en pression et dépression. Ces moments sont déterminés à partir des charges de ruine (indice u) et de déformation permanente (indice s) soit pour la grande portée d'essais soit pour la grande et la moyenne portée d'essais ;
- les réactions d'appuis conventionnelles (R_u , R_s) et (R'_u , R'_s) en pression et dépression. Ces réactions sont déterminées à partir des charges de ruine (indice u) et de déformation permanente (indice s) pour la petite portée d'essais.

Types d'essais	Nombre d'appuis	Portée (en m)	q L/200 (daN/m²)	q Dp (daN/m²)	q ruine (daN/m²)
Pression	2 appuis	L _{p2A}	q ₁	-	q _{u1}
		L _{m2A}	q ₂	-	q _{u2}
		L _{g2A}	q ₃	-	q _{u3}
	3 appuis	L _{p3A}	q ₄	q _{s4}	q _{u4}
		L _{m3A}	q ₅	q _{s5}	q _{u5}
		L _{g3A}	q ₆	q _{s6}	q _{u6}
Dépression	2 appuis	L' _{p2A}	q' ₁	-	q' _{u1}
		L' _{m2A}	q' ₂	-	q' _{u2}
		L' _{g2A}	q' ₃	-	q' _{u3}
	3 appuis	L' _{p3A}	q' ₄	q' _{s4}	q' _{u4}
		L' _{m3A}	q' ₅	q' _{s5}	q' _{u5}
		L' _{g3A}	q' ₆	q' _{s6}	q' _{u6}
Le poids propre des maquettes doit être rajouté aux charges de Dp et de ruine.					

Nota : pour chaque essai, le mode de ruine devra être consigné dans le rapport d'essai.

1.2.2 Correction en fonction des épaisseurs des panneaux et des masses volumiques de l'âme isolante

On procède essai par essai aux corrections en multipliant, les rigidités, les moments de flexion, les réactions aux appuis et les efforts d'arrachement par les facteurs ci-dessous :

a) Pour les rigidités conventionnelles K et K'

$$\beta_K = (E_n / E_e)^\alpha$$

$$\beta_{K'} = (E_n / E_e)^\alpha$$

Avec :

- $\alpha = 0$ lorsque $E_e \leq E_n$
- $\alpha = 1$ lorsque $E_e > E_n$

b) Pour les moments de flexion conventionnels M_u et M'_u

$$\beta_{Mu} = (E_n / E_e)^\alpha$$

$$\beta_{M'u} = (E_n / E_e)^\alpha$$

Avec :

- $\alpha = 0$ lorsque $E_e \leq E_n$
- $\alpha = 1$ lorsque $E_e > E_n$

c) Pour les moments de flexion conventionnels M_s et M'_s

$$\beta_{Ms} = (E_n / E_e)^\alpha \times (D_n / D_e)^\delta$$

$$\beta_{M's} = (E_n / E_e)^\alpha \times (D_n / D_e)^\delta$$

Avec :

- $\alpha = 0$ lorsque $E_e \leq E_n$
- $\alpha = 1$ lorsque $E_e > E_n$
- $\delta = 0$ lorsque $D_e \leq D_n$
- $\delta = 1$ lorsque $D_e > D_n$

d) Pour les réactions d'appuis conventionnelles R_u , R'_u , R_s et R'_s

$$\beta_{Ru} = \beta_{R'u} = (E_n / E_e)^\alpha \times (D_n / D_e)^\delta$$

$$\beta_{Rs} = \beta_{R's} = (E_n / E_e)^\alpha \times (D_n / D_e)^\delta$$

Avec :

- $\alpha = 0$ lorsque $E_e \leq E_n$
- $\alpha = 1$ lorsque $E_e > E_n$
- $\delta = 0$ lorsque $D_e \leq D_n$
- $\delta = 1$ lorsque $D_e > D_n$

Nota :

– pour les anciens rapports d'essais dans lesquels les mesures des épaisseurs des panneaux ne sont pas consignées, on appliquera pour le rapport $(E_n / E_e)^\alpha$ les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous ;

Épaisseurs des panneaux en mm					
30	40	50	60	80	100 et plus
0,937	0,952	0,961	0,968	0,975	0,980

– pour les anciens rapports d'essais dans lesquels les mesures de masse volumique de l'isolant ne sont pas consignées, on appliquera pour le rapport $(D_n / D_e)^\alpha$ une valeur de 0,95.

1.2.3 Corrections du fait du nombre d'essais et de la représentativité de la procédure d'essais

Afin de tenir compte des incertitudes relatives au nombre d'essais considérés et à la représentativité de la procédure d'essai par rapport aux charges réellement appliquées en pratique, les valeurs des caractéristiques significatives du comportement des panneaux sont pondérées par un coefficient γ_r égal à :

a) Pour les rigidités conventionnelles K et K'

$$\gamma_{rK} = \gamma_{rK'} = 1,00$$

b) Pour les moments de flexion conventionnels

- lorsque le résultat de l'essai est pris uniquement sur la grande portée : $\gamma_{rM} = 0,85$
- lorsque les résultats des essais sont pris sur la grande et la moyenne portée : $\gamma_{rM} = 0,90$

c) Pour les réactions d'appuis conventionnelles

- lorsqu'un seul essai est effectué sur la petite portée : $\gamma_{rR} = 0,85$
- lorsque deux essais sont effectués sur la petite portée : $\gamma_{rR} = 0,90$

1.2.4 Coefficients de matériau

En fonction de la nature de l'isolant des panneaux sandwiches, les valeurs caractéristiques significatives du comportement des panneaux sont pondérées par un coefficient γ_{mi} dont les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Nature de l'isolant	Valeurs de γ_{mi}
PUR et/ou PSE	1,00
Laine de roche	1,50

Ces valeurs de γ_{mi} sont à appliquer à toutes les valeurs caractéristiques à l'exception des rigidités conventionnelles.

1.3 Valeurs de calcul

À partir des essais on détermine les valeurs de calcul telles qu'indiquées dans le tableau ci-dessous.

Valeurs de calcul pour une épaisseur de panneau		
En pression	2 appuis	K_{p2A} K_{m2A} K_{g2A} M_{u2A} R_{u2A}
	3 appuis	K_{p3A} K_{m3A} K_{g3A} M_{u3A} M_{s3A} R_{u3A} R_{s3A}
En dépression	2 appuis	K'_{p2A} K'_{m2A} K'_{g2A} M'_{u2A} R'_{u2A}
	3 appuis	K'_{p3A} K'_{m3A} K'_{g3A} M'_{u3A} M'_{s3A} R'_{u3A} R'_{s3A}

1.3.1 Valeurs de calcul en pression

Les valeurs de calcul en pression doivent être déterminées conformément aux indications ci-après.

a) Rigidités conventionnelles

Pour chaque portée testée on détermine une rigidité conventionnelle conformément aux formules ci-après.

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

- pour la portée L_{p2A} : $K_{p2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_1 \times L_{p2A}^3$
- pour la portée L_{m2A} : $K_{m2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_2 \times L_{m2A}^3$
- pour la portée L_{g2A} : $K_{g2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_3 \times L_{g2A}^3$

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

- pour la portée L_{p3A} : $K_{p3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_4 \times L_{p3A}^3$
- pour la portée L_{m3A} : $K_{m3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_5 \times L_{m3A}^3$
- pour la portée L_{g3A} : $K_{g3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_6 \times L_{g3A}^3$

b) Moments de flexion conventionnels

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

$$M_{u2A} = \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Mu} \times q_{u3} \times L_{g2A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times [(\beta_{Mu} \times q_{u2} \times L_{m2A}^2) + (\beta_{Mu} \times q_{u3} \times L_{g2A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

Pour les essais réalisés en 3 appuis :

$$M_{u3A} = \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Mu} \times q_{u6} \times L_{g3A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times [(\beta_{Mu} \times q_{u5} \times L_{m3A}^2) + (\beta_{Mu} \times q_{u6} \times L_{g3A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

$$M_{s3A} = \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Ms} \times q_{s6} \times L_{g3A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times [(\beta_{Ms} \times q_{s5} \times L_{m3A}^2) + (\beta_{Ms} \times q_{s6} \times L_{g3A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

c) Réactions d'appuis conventionnelles

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

$$R_{u2A} = \beta_{Ru} \times \gamma_{rR} \times q_{u1} \times L_{p2A} / \gamma_{mi}$$

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

$$R_{u3A} = \beta_{Ru} \times \gamma_{rR} \times q_{u4} \times L_{p3A} / \gamma_{mi}$$

$$R_{s3A} = \beta_{Ru} \times \gamma_{rR} \times q_{s4} \times L_{p3A} / \gamma_{mi}$$

1.3.2 Valeurs de calcul en dépression

Les valeurs de calcul en dépression doivent être déterminées conformément aux indications ci-après.

a) Rigidités conventionnelles

Pour chaque portée testée on détermine une rigidité conventionnelle conformément aux formules ci-après.

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

– pour la portée L'_{p2A} :

$$K'_{p2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q'_1 \times L'_{p2A}^3$$

– pour la portée L'_{m2A} :

$$K'_{m2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q'_2 \times L'_{m2A}^3$$

– pour la portée L'_{g2A} :

$$K'_{g2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q'_3 \times L'_{g2A}^3$$

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

– pour la portée L'_{p3A} :

$$K'_{p3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q'_4 \times L'_{p3A}^3$$

– pour la portée L'_{m3A} :

$$K'_{m3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q'_5 \times L'_{m3A}^3$$

– pour la portée L'_{g3A} :

$$K'_{g3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q'_6 \times L'_{g3A}^3$$

b) Moments de flexion conventionnels

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

$$M'_{u2A} = \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Mu} \times q'_{u3} \times L'_{g2A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times [(\beta_{Mu} \times q'_{u2} \times L'_{m2A}^2) + (\beta_{Mu} \times q'_{u3} \times L'_{g2A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

$$M'_{u3A} = \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Mu} \times q'_{u6} \times L'_{g3A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times [(\beta_{Mu} \times q'_{u5} \times L'_{m3A}^2) + (\beta_{Mu} \times q'_{u6} \times L'_{g3A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

c) Réactions d'appuis conventionnelles

$$M'_{s3A} = \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Ms} \times q'_{s6} \times L'_{g3A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times [(\beta_{Ms} \times q'_{s5} \times L'_{m3A}^2) + (\beta_{Ms} \times q'_{s6} \times L'_{g3A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

$$R'_{u2A} = \beta_{Ru} \times \gamma_{rR} \times q'_{u1} \times L'_{p2A} / \gamma_{mi}$$

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

$$- R'_{u3A} = \beta_{R's} \times \gamma_{rR} \times q'_{u4} \times L'_{p3A} / \gamma_{mi}$$

$$- R'_{s3A} = \beta_{R's} \times \gamma_{rR} \times q'_{s4} \times L'_{p3A} / \gamma_{mi}$$

1.4 Établissement des tableaux de charges

Les tableaux indiquent pour chaque portée envisagée et dans le cas de pose sur 2 et 3 appuis une valeur de charge de vent caractéristique (vent EUROCODE) W en pression et W' en dépression. Les extrapolations en portées sont limitées à 0,50 m en deçà de la portée minimale testée et au-delà de la portée maximale testée.

Ces tableaux sont établis avec les coefficients de pondération de charges γ_q suivants :

- 1,50 pour les vérifications à l'ELU
- 1,10 pour les vérifications à l'ELS de résistance
- 1,00 pour les vérifications à l'ELS en flexibilité

1.4.1 En pression

La détermination de valeur de vent W (vent EUROCODE) est obtenue à partir des formules ci-après.

- Pour le cas de pose 2 appuis

La charge $W = \min(W_1; W_2; W_3)$

Avec :

- W_1 est la charge ELS provenant du critère de flexibilité $L/150$;
- W_2 est la charge ELU provenant du moment de flexion conventionnel M_{u2A} ;
- W_3 est la charge ELU provenant de la réaction d'appui conventionnelle R_{u2A} .

La charge W_1 est obtenue par interpolation linéaire des rigidités conventionnelles en fonction des portées d'essais conformément aux formules indiquées ci-après.

Lorsque la portée L est comprise entre L_{p2A} et L_{m2A} :

$$W_1 = \left(\frac{4}{3}\right) \times \left(\frac{1}{L^3}\right) \times \left(\frac{K_{p2A} \times (L_{m2A} - L) + K_{m2A} \times (L - L_{p2A})}{L_{m2A} - L_{p2A}} \right)$$

Lorsque la portée L est comprise entre L_{m2A} et L_{g2A} :

$$W_1 = \left(\frac{4}{3}\right) \times \left(\frac{1}{L^3}\right) \times \left(\frac{K_{m2A} \times (L_{g2A} - L) + K_{g2A} \times (L - L_{m2A})}{L_{g2A} - L_{m2A}} \right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W_2 est obtenue à partir du moment conventionnel M_{u2A} conformément à la formule :

$$W_2 = \left(\frac{1}{L^2}\right) \times \left(\frac{M_{u2A}}{1,50}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W_3 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R_{u2A} conformément à la formule :

$$W_3 = \left(\frac{1}{L}\right) \times \left(\frac{R_{u2A}}{1,50}\right)$$

- Pour le cas de pose 3 appuis

La charge $W = \min(W_1; W_2; W_3; W_4; W_5; W_6)$

Avec :

- W_1 est la charge ELS provenant du critère de flexibilité $L/150$;
- W_2 est la charge ELS provenant du moment de flexion conventionnel M_{s3A} ;
- W_3 est la charge ELS provenant de la réaction d'appui conventionnelle R_{s3A} ;
- W_4 est la charge ELU provenant du moment de flexion conventionnel M_{u3A} ;
- W_5 est la charge ELU provenant de la réaction d'appui conventionnelle R_{u2A} ;
- W_6 est la charge ELU provenant de la réaction d'appui conventionnelle R_{u3A} .

La charge W_1 est obtenue par interpolation linéaire des rigidités conventionnelles en fonction des portées d'essais conformément aux formules indiquées ci-après.

Lorsque la portée L est comprise entre L_{p3A} et L_{m3A} :

$$W_1 = \left(\frac{4}{3}\right) \times \left(\frac{1}{L^3}\right) \times \left(\frac{K_{p3A} \times (L_{m3A} - L) + K_{m3A} \times (L - L_{p3A})}{L_{m3A} - L_{p3A}} \right)$$

Lorsque la portée L est comprise entre L_{m3A} et L_{g3A} :

$$W_1 = \left(\frac{4}{3}\right) \times \left(\frac{1}{L^3}\right) \times \left(\frac{K_{m3A} \times (L_{g3A} - L) + K_{g3A} \times (L - L_{m3A})}{L_{g3A} - L_{m3A}} \right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W_2 est obtenue à partir du moment conventionnel M_{s3A} conformément à la formule :

$$W_2 = \left(\frac{1}{L^2}\right) \times \left(\frac{M_{s3A}}{1,10}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W_3 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R_{s3A} conformément à la formule :

$$W_3 = \left(\frac{1}{L}\right) \times \left(\frac{R_{s3A}}{1,10}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W_4 est obtenue à partir du moment conventionnel M_{u3A} conformément à la formule :

$$W_4 = \left(\frac{1}{L^2}\right) \times \left(\frac{M_{u3A}}{1,50}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W_5 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R_{u2A} conformément à la formule :

$$W_5 = \left(\frac{1}{L}\right) \times \left(\frac{R_{u2A}}{1,50}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W_6 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R_{u3A} conformément à la formule :

$$W_6 = \left(\frac{1}{L}\right) \times \left(\frac{R_{u3A}}{1,50}\right)$$

1.4.2 En dépression

En dépression, le tableau de charges doit intégrer le nombre de fixations par largeur de panneau. De ce fait, il est possible d'obtenir plusieurs tableaux de charges en fonction du nombre de fixations par largeur de panneau.

Les tableaux de charges devront prendre en compte la résistance des assemblages définie au *Chapitre 1* de ce document.

La détermination de valeur de vent W' (vent EUROCODE) est obtenue à partir des formules ci-après.

- Pour le cas de pose 2 appuis

La charge $W' = \min(W'_1; W'_2; W'_3)$

Où :

- W'_1 est la charge ELS provenant du critère de flexibilité $L/130$;
- W'_2 est la charge ELU provenant du moment de flexion conventionnel M'_{u2A} ;
- W'_3 est la charge ELU provenant de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u2A} .

La charge W'_1 est obtenue par interpolation linéaire des rigidités conventionnelles en fonction des portées d'essais conformément aux formules indiquées ci-après.

Lorsque la portée L est comprise entre L'_{p2A} et L'_{m2A} :

$$W'_1 = \left(\frac{20}{13}\right) \times \left(\frac{1}{L^3}\right) \times \left(\frac{K'_{p2A} \times (L'_{m2A} - L) + K'_{m2A} \times (L - L'_{p2A})}{L'_{m2A} - L'_{p2A}}\right)$$

Lorsque la portée L est comprise entre L'_{m2A} et L'_{g2A} :

$$W'_1 = \left(\frac{20}{13}\right) \times \left(\frac{1}{L^3}\right) \times \left(\frac{K'_{m2A} \times (L'_{g2A} - L) + K'_{g2A} \times (L - L'_{m2A})}{L'_{g2A} - L'_{m2A}}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W'_2 est obtenue à partir du moment conventionnel M'_{u2A} conformément à la formule :

$$W'_2 = \left(\frac{1}{L^2}\right) \times \left(\frac{M'_{u2A}}{1,50}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W'_3 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u2A} conformément à la formule :

$$W'_3 = \left(\frac{1}{L}\right) \times \left(\frac{R'_{u2A}}{1,50}\right)$$

- Pour le cas de pose 3 appuis

La charge $W' = \min(W'_1; W'_2; W'_3; W'_4; W'_5; W'_6)$

Avec :

- W'_1 est la charge ELS provenant du critère de flexibilité $L/130$,
- W'_2 est la charge ELS provenant du moment de flexion conventionnel M'_{s3A} ;
- W'_3 est la charge ELS provenant de la réaction d'appui conventionnelle R'_{s3A} ;

- W'_4 est la charge ELU provenant du moment de flexion conventionnel M'_{u3A} ;
- W'_5 est la charge ELU provenant de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u2A} ;
- W'_6 est la charge ELU provenant de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u3A} .

La charge W'_1 est obtenue par interpolation linéaire des rigidités conventionnelles en fonction des portées d'essais conformément aux formules indiquées ci-après.

Lorsque la portée L est comprise entre L'_{p3A} et L'_{m3A} :

$$W'_1 = \left(\frac{20}{13}\right) \times \left(\frac{1}{L^3}\right) \times \left(\frac{K'_{p3A} \times (L'_{m3A} - L) + K'_{m3A} \times (L - L'_{p3A})}{L'_{m3A} - L'_{p3A}}\right)$$

Lorsque la portée L est comprise entre L'_{m2A} et L'_{g2A} :

$$W'_1 = \left(\frac{20}{13}\right) \times \left(\frac{1}{L^3}\right) \times \left(\frac{K'_{m3A} \times (L'_{g3A} - L) + K'_{g3A} \times (L - L'_{m3A})}{L'_{g3A} - L'_{m3A}}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W'_2 est obtenue à partir du moment conventionnel M'_{s3A} conformément à la formule :

$$W'_2 = \left(\frac{1}{L^2}\right) \times \left(\frac{M'_{s3A}}{1,10}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W'_3 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R'_{s3A} conformément à la formule :

$$W'_3 = \left(\frac{1}{L}\right) \times \left(\frac{R'_{s3A}}{1,10}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W'_4 est obtenue à partir du moment conventionnel M'_{u3A} conformément à la formule :

$$W'_4 = \left(\frac{1}{L^2}\right) \times \left(\frac{M'_{u3A}}{1,50}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W'_5 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u2A} conformément à la formule :

$$W'_5 = \left(\frac{1}{L}\right) \times \left(\frac{R'_{u3A}}{1,50}\right)$$

Pour la portée L envisagée, la charge W'_6 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u3A} conformément à la formule :

$$W'_6 = \left(\frac{1}{L}\right) \times \left(\frac{R'_{u3A}}{1,50}\right)$$

2. Panneaux utilisés en couverture

2.1 Programme d'essais et résultats des essais

Le programme d'essais doit être effectué au minimum sur les panneaux ayant les parements d'épaisseur les plus faibles tels que visés dans l'AT et/ou DTA.

Le programme d'essais comporte au minimum les panneaux d'épaisseur la plus faible.

Dans le cadre d'une caractérisation complète d'une gamme de panneaux, le programme d'essais minimal doit être effectué sur l'épaisseur la plus faible, la plus forte et les épaisseurs intermédiaires par pas de 40 mm.

Le tableau suivant indique le programme d'essais minimal et les résultats des essais statiques pour une épaisseur de panneau.

Types d'essais	Nombre d'appuis	Portées (en m)	q L/200 (daN/m²)	q Dp (daN/m²)	q ruine (daN/m²)
Descendant	2 appuis	L _{c2A}			Q _c ^(*)
		L _{p2A}	q ₁	-	q _{u1}
		L _{m2A}	q ₂	-	q _{u2}
		L _{g2A}	q ₃	-	q _{u3}
	3 appuis	L _{p3A}	q ₄	q _{s4}	q _{u4}
		L _{m3A}	q ₅	q _{s5}	q _{u5}
		L _{g3A}	q ₆	q _{s6}	q _{u6}
Ascendant	2 appuis	L' _{g2A}	q' ₁	-	q' _{u1}
	3 appuis toutes nervures fixées	L' _{p3A}	q' ₃	q' _{s3}	q' _{u3}
		L' _{g3A}	q' ₄	q' _{s4}	q' _{u4}
	3 appuis fixation réduite ^(**)	L'' _{p3A}	q'' ₃	q'' _{s3}	q'' _{u3}
		L'' _{g3A}	q'' ₄	q'' _{s4}	q'' _{u4}

(*) Q_c est en daN et supérieure ou égale à 200 daN.

(**) Optionnel.

Le poids propre des maquettes doit être rajouté aux charges de Dp, de ruine et Q_c.

Nota : pour chaque essai, le mode de ruine devra être consigné dans le rapport d'essai.

Chaque maquette d'essai devra être caractérisée comme suit :

- l'épaisseur du panneau avec au moins 4 points de mesure ;
- un essai de traction, de compression et de masse volumique ;
- la caractérisation des parements.

Toutes ces données devront être consignées dans le rapport d'essais.

2.2 Interprétation des essais de flexion

2.2.1 Principe

À partir des essais on détermine :

- les rigidités conventionnelles K sous charges descendantes. Ces rigidités sont déterminées à partir des charges obtenues au 1/200 de la flèche pour chaque portée d'essais ;
- les moments de flexion conventionnels (M_u , M_s et M_c) et (M'_u , M'_s) sous charges descendantes et ascendantes. Ces moments sont déterminés à partir des charges de ruine et de déformation permanente soit pour la grande portée d'essais soit pour la grande et la moyenne portée d'essais ;
- les réactions d'appuis conventionnelles (R_u , R_s) et (R'_u , R'_s) sous charges descendantes et ascendantes. Ces réactions sont déterminées à partir des charges de ruine et de déformation permanente pour la petite portée d'essais.

2.2.2 Corrections en fonction des épaisseurs des panneaux et des masses volumiques de l'âme isolante

On procède essai par essai aux corrections en multipliant, les rigidités, les moments de flexion, les réactions aux appuis et les efforts d'arrachement par les facteurs ci-dessous.

a) Pour les rigidités conventionnelles K

$$\beta_K = (E_n / E_e)^\alpha$$

Avec :

- $\alpha = 0$ lorsque $E_e \leq E_n$
- $\alpha = 1$ lorsque $E_e > E_n$

b) Pour les moments de flexion conventionnels M_c , M_u et M'_u

$$\beta_{M_c} = (E_n / E_e)^\alpha$$

$$\beta_{M_u} = (E_n / E_e)^\alpha$$

$$\beta_{M'_u} = (E_n / E_e)^\alpha$$

Avec :

- $\alpha = 0$ lorsque $E_e \leq E_n$
- $\alpha = 1$ lorsque $E_e > E_n$

c) Pour les moments de flexion conventionnels M_s et M'_s

$$\beta_{M_s} = (E_n / E_e)^\alpha \times (D_n / D_e)^\delta$$

$$\beta_{M'_s} = (E_n / E_e)^\alpha \times (D_n / D_e)^\delta$$

Avec :

- $\alpha = 0$ lorsque $E_e \leq E_n$
- $\alpha = 1$ lorsque $E_e > E_n$
- $\delta = 0$ lorsque $D_e \leq D_n$
- $\delta = 1$ lorsque $D_e > D_n$

d) Pour les réactions d'appuis conventionnelles R_u , R'_u , R_s et R'_s

$$\beta_{R_u} = \beta_{R'_u} = (E_n / E_e)^\alpha \times (D_n / D_e)^\delta$$

$$\beta_{R_s} = \beta_{R'_s} = (E_n / E_e)^\alpha \times (D_n / D_e)^\delta$$

Avec :

- $\alpha = 0$ lorsque $E_e \leq E_n$
- $\alpha = 1$ lorsque $E_e > E_n$
- $\delta = 0$ lorsque $D_e \leq D_n$
- $\delta = 1$ lorsque $D_e > D_n$

Nota :

– pour les anciens rapports d'essais dans lesquels les mesures des épaisseurs des panneaux ne sont pas consignées, on appliquera pour le rapport $(E_n / E_e)^\alpha$ les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous ;

Épaisseurs des panneaux en mm					
30	40	50	60	80	≥ 100
0,937	0,952	0,961	0,968	0,975	0,980

– pour les anciens rapports d'essais dans lesquels les mesures de masse volumique de l'isolant ne sont pas consignées, on appliquera pour le rapport $(D_n / D_e)^\alpha$ une valeur de 0,95.

2.2.3 Corrections du fait du nombre d'essais et de la représentativité de la procédure d'essais

Afin de tenir compte des incertitudes relatives au nombre d'essais considérés et à la représentativité de la procédure d'essais par rapport aux charges réellement appliquées en pratique, les valeurs des caractéristiques significatives du comportement des panneaux sont pondérées par un coefficient γ_r égal à :

a) Pour les rigidités conventionnelles K

$$\gamma_{rK} = 1,00$$

b) Pour les moments de flexion conventionnels

- Lorsque le résultat de l'essai est pris uniquement sur la grande portée : $\gamma_{rM} = 0,85$
- Lorsque les résultats des essais sont pris soit sur la grande et la moyenne portée soit avec deux essais sur la grande portée : $\gamma_{rM} = 0,90$

c) Pour les réactions d'appuis conventionnelles

- Lorsqu'un seul essai est effectué sur la petite portée : $\gamma_{rR} = 0,85$
- Lorsque deux essais sont effectués sur la petite portée : $\gamma_{rR} = 0,90$

2.2.4 Coefficients de matériau

En fonction de la nature de l'isolant des panneaux sandwichs, les valeurs caractéristiques significatives du comportement des panneaux sont pondérées par un coefficient γ_{mi} dont les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Nature de l'isolant	Valeurs de γ_{mi}
PUR	1,00
Laine de roche	1,50

Ces valeurs de γ_{mi} sont à appliquer à toutes les valeurs caractéristiques à l'exception des rigidités conventionnelles et du moment conventionnel M_c .

2.3 Valeurs de calcul

À partir des essais on détermine les valeurs de calcul telles qu'indiquées dans le tableau ci-dessous.

Valeurs de calcul pour une épaisseur de panneau		
Charges descendantes	2 appuis	M_c K_{p2A} K_{m2A} K_{g2A} M_{u2A} R_{u2A}
	3 appuis	K_{p3A} K_{m3A} K_{g3A} M_{u3A} M_{s3A} R_{u3A} R_{s3A}
Charges ascendantes	2 appuis	M'_{u2A}
	3 appuis toutes nervures fixées	M'_{u3A} M'_{s3A} R'_{u3A} R'_{s3A}
	3 appuis fixation réduite(*)	M''_{u3A} M''_{s3A} R''_{u3A} R''_{s3A}

(*) Optionnel.

2.3.1 Valeurs de calcul sous charges descendantes

Les valeurs de calcul sous charges descendantes doivent être déterminées conformément aux indications ci-après.

a) Moment conventionnel M_c

$$M_c = \gamma_{rM} \times \beta_{Mc} \times Q_c \times L_c$$

b) Rigidités conventionnelles K

Pour chaque portée essai, on détermine une rigidité conventionnelle conformément aux formules ci-après.

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

$$- \text{pour la portée } L_{p2A} : K_{p2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_1 \times L_{p2A}^3$$

$$- \text{pour la portée } L_{m2A} : K_{m2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_2 \times L_{m2A}^3$$

$$- \text{pour la portée } L_{g2A} : K_{g2A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_3 \times L_{g2A}^3$$

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

$$- \text{pour la portée } L_{p3A} : K_{p3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_4 \times L_{p3A}^3$$

$$- \text{pour la portée } L_{m3A} : K_{m3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_5 \times L_{m3A}^3$$

$$- \text{pour la portée } L_{g3A} : K_{g3A} = \beta_K \times \gamma_{rK} \times q_6 \times L_{g3A}^3$$

c) Moments de flexion conventionnels

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

$$M_{u2A} = 0,85 \times \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Mu} \times q_{u3} \times L_{g2A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times |$$

$$[(\beta_{Mu} \times q_{u2} \times L_{m2A}^2) + (\beta_{Mu} \times q_{u3} \times L_{g2A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

$$M_{u3A} = 0,85 \times \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Mu} \times q_{u6} \times L_{g3A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times |$$

$$[(\beta_{Mu} \times q_{u5} \times L_{m3A}^2) + (\beta_{Mu} \times q_{u6} \times L_{g3A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

$$M_{s3A} = 0,85 \times \text{Max}(\gamma_{rM} \times \beta_{Ms} \times q_{s6} \times L_{g3A}^2 / \gamma_{mi} ; \gamma_{rM} \times |$$

$$[(\beta_{Ms} \times q_{s5} \times L_{m3A}^2) + (\beta_{Ms} \times q_{s6} \times L_{g3A}^2)] / 2 / \gamma_{mi})$$

d) Réactions d'appuis conventionnelles

Pour les essais réalisés sur 2 appuis :

$$R_{u2A} = 0,85 \times \beta_{Ru} \times \gamma_{rR} \times q_{u1} \times L_{p2A} / \gamma_{mi}$$

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

$$- R_{u3A} = 0,85 \times \beta_{Ru} \times \gamma_{rR} \times q_{u4} \times L_{p3A} / \gamma_{mi}$$

$$- R_{s3A} = 0,85 \times \beta_{Rs} \times \gamma_{rR} \times q_{s4} \times L_{p3A} / \gamma_{mi}$$

2.3.2 Valeurs de calcul sous charges ascendantes

Les valeurs de calcul sous charges ascendantes doivent être déterminées conformément aux indications ci-après.

a) Moments de flexion conventionnels

Pour les essais réalisés en 2 appuis :

$$M'_{u2A} = (\gamma_{rM} \times \beta_{Mu} \times q'_{u1} \times L'_{g2A}^2 / \gamma_{mi})$$

Pour les essais réalisés en 3 appuis :

$$- M'_{u3A} = (\gamma_{rM} \times \beta_{Mu} \times q'_{u4} \times L'_{g3A}^2 / \gamma_{mi})$$

$$- M'_{s3A} = (\gamma_{rM} \times \beta_{Ms} \times q'_{s4} \times L'_{g3A}^2 / \gamma_{mi})$$

b) Réactions d'appuis conventionnelles

Pour les essais réalisés sur 3 appuis :

$$- R'_{u3A} = \beta_{Ru} \times \gamma_{rR} \times q'_{u3} \times L'_{p3A} / \gamma_{mi}$$

$$- R'_{s3A} = \beta_{Rs} \times \gamma_{rR} \times q'_{s3} \times L'_{p3A} / \gamma_{mi}$$

Pour le cas optionnel de la fixation réduite on procédera de la même manière.

2.4 Établissement des tableaux de charges

Les tableaux de charges indiquent, pour une charge donnée de neige S ou de vent EUROCODE W' et dans le cas de pose sur 2 et 3 appuis, une portée L. Les extrapolations en portées sont limitées à 0,50 m en deçà de la portée minimale testée et au-delà de la portée maximale testée.

Ces tableaux de charges sont établis avec les valeurs des coefficients de pondération de charges γ_d tels qu'indiqués dans le tableau ci-dessous.

Actions	ELU	ELS	
	Résistance	Résistance	Flexibilité
Neige S	1,50	1,10	1,00
Vent W'	1,50	1,10	-
Montage Q = 160 daN	1,50	-	-
Poids propre G du panneau	1,35 ^(*) ou 1,00 ^(**)	1,10 ^(*) ou 1,00 ^(**)	1,00
(*) Pour les charges descendantes.			
(**) Pour les charges ascendantes.			

2.4.1 Sous charges descendantes

La détermination de la portée L pour une charge de neige S est obtenue à partir des formules ci-après.

- Pour le cas de pose 2 appuis

La portée $L = \text{Min}(L_1; L_2; L_3; L_4)$

Avec :

- L_1 est la portée provenant du critère montage à ELU ;
- L_2 est la portée provenant du critère de flexibilité $L/200$;
- L_3 est la portée provenant du moment de flexion conventionnel M_{u2A} à ELU ;
- L_4 est la portée provenant de la réaction d'appui conventionnelle R_{u2A} à ELU.

La portée L_1 est obtenue conformément à la formule :

$$L_1 = \left(\frac{M_c}{1,50 \times Q + 1,35 \times G} \right)$$

La portée L_2 est obtenue par interpolation linéaire en fonction des portées d'essais conformément aux formules indiquées ci-après.

Lorsque la portée L est comprise entre L_{p2A} - 0,50 m et L_{m2A} :

$$L_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{S+G} \right) \times \left(\frac{K_{p2A} \times (L_{m2A} - L) + K_{m2A} \times (L - L_{p2A})}{L_{m2A} - L_{p2A}} \right)}$$

Lorsque la portée L est comprise entre L_{m2A} et $L_{g2A} + 0,50$ m :

$$L_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{S+G} \right) \times \left(\frac{K_{m2A} \times (L_{g2A} - L) + K_{g2A} \times (L - L_{m2A})}{L_{g2A} - L_{m2A}} \right)}$$

Pour la charge de neige S envisagée, la portée L_3 est obtenue à partir du moment conventionnel M_{u2A} conformément à la formule :

$$L_3 = \sqrt[3]{\left(\frac{M_{u2A}}{1,50 \times S + 1,35 \times G} \right)}$$

Pour la charge de neige S envisagée, la portée L_4 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R_{u2A} conformément à la formule :

$$L_4 = \left(\frac{R_{u2A}}{1,50 \times S + 1,35 \times G} \right)$$

- Pour le cas de pose 3 appuis

La portée $L_1 = \text{Min}(L_1; L_2; L_3; L_4; L_5; L_6; L_7)$

Avec :

- L_1 est la portée provenant du critère montage ;
- L_2 est la portée provenant du critère de flexibilité $L/200$;
- L_3 est la portée provenant du moment de flexion conventionnel M_{s3A} à ELS ;
- L_4 est la portée provenant de la réaction d'appui conventionnelle R_{s3A} à ELS ;
- L_5 est la portée provenant du moment de flexion conventionnel M_{u3A} à ELU ;
- L_6 est la portée provenant de la réaction d'appui conventionnelle R_{u2A} à ELU ;
- L_7 est la portée provenant de la réaction d'appui conventionnelle R_{u3A} à ELU.

La portée L_1 est obtenue conformément à la formule :

$$L_1 = \left(\frac{M_c}{1,50 \times Q + 1,35 \times G} \right)$$

La portée L_2 est obtenue par interpolation linéaire en fonction des portées d'essais conformément aux formules indiquées ci-après.

Lorsque la portée L est comprise entre L_{p3A} - 0,50 m et L_{m3A} :

$$L_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{S+G} \right) \times \left(\frac{K_{p3A} \times (L_{m3A} - L) + K_{m3A} \times (L - L_{p3A})}{L_{m3A} - L_{p3A}} \right)}$$

Lorsque la portée L est comprise entre L_{m2A} et $L_{g2A} + 0,50$ m :

$$L_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{S+G} \right) \times \left(\frac{K_{m3A} \times (L_{g3A} - L) + K_{g3A} \times (L - L_{m3A})}{L_{g3A} - L_{m3A}} \right)}$$

Pour la charge de neige S envisagée, la portée L_3 est obtenue à partir du moment conventionnel M_{s3A} conformément à la formule :

$$L_3 = \sqrt[3]{\left(\frac{M_{s3A}}{1,10 \times S + 1,10 \times G} \right)}$$

Pour la charge de neige S envisagée, la portée L_4 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R_{s3A} conformément à la formule :

$$L_4 = \left(\frac{R_{s3A}}{1,10 \times S + 1,10 \times G} \right)$$

Pour la charge de neige S envisagée, la portée L_5 est obtenue à partir du moment conventionnel M_{u3A} conformément à la formule :

$$L_5 = \sqrt[3]{\left(\frac{M_{u3A}}{1,50 \times S + 1,35 \times G} \right)}$$

Pour la charge de neige S envisagée, la portée L_6 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R_{u2A} conformément à la formule :

$$L_6 = \left(\frac{R_{u2A}}{1,50 \times S + 1,35 \times G} \right)$$

Pour la charge de neige S envisagée, la portée L_7 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R_{u3A} conformément à la formule :

$$L_7 = \left(\frac{R_{u3A}}{1,50 \times S + 1,35 \times G} \right)$$

2.4.2 Sous charges ascendantes

Au minimum un tableau de charges avec fixations complètes doit être établi. Ce tableau indique, pour les valeurs de charges du vent EUROCODE W' envisagées pour les cas de pose 2 et 3 appuis, les portées L.

La détermination des portées L' des panneaux en fonction des valeurs de vent EUROCODE W' est obtenue à partir des formules ci-après.

- Pour le cas de pose 2 appuis

La portée $L' = L'_1$

Où :

- L'_1 est la portée provenant du moment de flexion conventionnel M'_{u2A} à ELU.

Pour la charge de vent W' envisagée, la portée L'_1 est obtenue à partir du moment conventionnel M'_{u2A} conformément à la formule :

$$L'_1 = \sqrt[2]{\left(\frac{M'_{u2A}}{1,50 \times W' - 1,00 \times G} \right)}$$

- Pour le cas de pose 3 appuis

La portée $L' = \text{Min}(L'_1; L'_2; L'_3; L'_4; L'_5)$

Avec :

- L'_1 est la portée provenant du moment de flexion conventionnel M'_{s3A} à ELS ;
- L'_2 est la portée provenant de la réaction d'appui conventionnelle R'_{s3A} à ELS ;
- L'_3 est la portée provenant du moment de flexion conventionnel M'_{u3A} à ELU ;
- L'_4 est la portée provenant de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u2A} à ELU ;
- L'_5 est la portée provenant de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u3A} à ELU.

Pour la charge de vent W' envisagée, la charge L'_1 est obtenue à partir du moment conventionnel M'_{s3A} conformément à la formule :

$$L'_1 = \sqrt[2]{\left(\frac{M'_{s3A}}{1,10 \times W' - 1,00 \times G} \right)}$$

Pour la charge de vent W' envisagée, la portée L'_2 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R'_{s3A} conformément à la formule :

$$L'_2 = \left(\frac{R'_{s3A}}{1,10 \times W' - 1,00 \times G} \right)$$

Pour la charge de vent W' envisagée, la portée L'_3 est obtenue à partir du moment conventionnel M'_{u3A} conformément à la formule :

$$L'_3 = \sqrt[2]{\left(\frac{M'_{u3A}}{1,50 \times W' - 1,00 \times G} \right)}$$

Pour la charge de vent W' envisagée, la portée L'_4 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u2A} conformément à la formule :

$$L'_4 = \left(\frac{R'_{u2A}}{1,50 \times W' - 1,00 \times G} \right)$$

Pour la charge de vent W' envisagée, la portée L'_5 est obtenue à partir de la réaction d'appui conventionnelle R'_{u3A} conformément à la formule :

$$L'_5 = \left(\frac{R'_{u3A}}{1,50 \times W' - 1,00 \times G} \right)$$

Annexe B

Essai de fatigue sur panneaux à fixations cachées

1. Conception du corps d'épreuve et du dispositif d'essai

La conception du corps d'épreuve et du dispositif d'essai est conforme aux dispositions de la norme NF P 34-503 :

- identification (caractéristiques mécaniques des parements et du panneau) ;
- répartition des charges par travée.

Les panneaux doivent présenter les parements de plus faible épaisseur et de plus faibles caractéristiques mécaniques.

La portée de l'essai et l'épaisseur du panneau doivent être choisies pour obtenir à la charge C, une flèche sensiblement égale au 1/200 de la portée pour les panneaux à âme polyuréthane et égale au 1/400 de la portée pour les panneaux à âme en laine de roche.

Note 1 : généralement, on teste des panneaux d'épaisseur 60 ou 80 mm pour des portées de 3 à 4 m.

Note 2 : pour un panneau testé sur 3 appuis – cette exigence étant dans certains cas difficile voire impossible à respecter en raison de la gamme des panneaux testés –, les paramètres de l'essai seront définis en accord avec l'instructeur du dossier, et s'il y a lieu, après avis préalable du Groupe Spécialisé.

Les largeurs d'appuis sont définies dans la norme NF P 34-503.

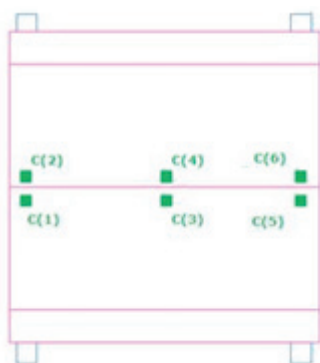
La pince du panneau doit correspondre à celle prévue par le Dossier Technique.

L'essai de chargement cyclique suit le programme ci-après avec une fréquence de 1 Hertz :

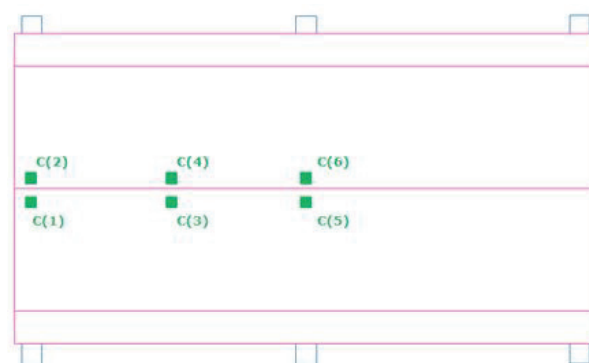
- 50 000 cycles entre C/6 et 3C/4 ;
- 20 000 cycles entre C/2 et C ;
- 8 000 cycles entre C/2 et 3C/2.

À la suite des cycles, on procède à une montée en charge continue jusqu'à la rupture.

Afin de valider la charge C, la rupture doit intervenir à une charge sur l'assemblage correspondant à 2C.



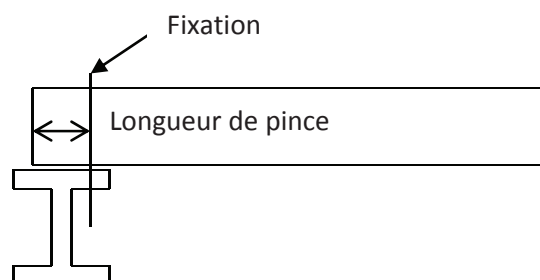
Pose sur 2 appuis - Positionnement de 6 capteurs de déplacement sur la maquette



Pose sur 3 appuis - Positionnement d'au moins 6 capteurs de déplacement sur la maquette

Le rapport d'essai doit inclure :

- la description de la maquette :
 - les épaisseurs et nuances des tôles d'acier,
 - le type d'isolant et sa référence,
 - l'épaisseur et la portée des panneaux ainsi que la mise en œuvre (2 ou 3 appuis),
 - la description des fixations ainsi que leur position (nombre de vis),
 - la longueur de la pince,
 - la longueur de prise dans le cas d'une fixation par crapauds ;



- la description de la maquette :
 - la charge à rupture,
 - le mode de rupture,
 - toute autre détérioration en cours d'essais ainsi que le nombre de cycles correspondants,
 - l'augmentation de flèche au cours de l'essai.

Par ailleurs, le rapport d'essai doit inclure conformément à la norme NF P 34-503, l'identification de la maquette et notamment pour chaque essai :

- les caractéristiques mécaniques des tôles d'acier ;
- les caractéristiques mécaniques des panneaux.

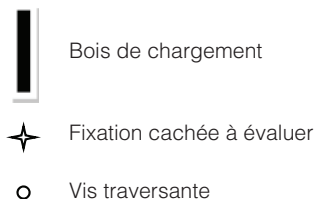
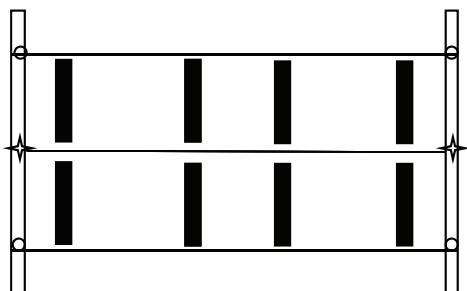
2. Essai

Le corps d'épreuve est constitué par deux panneaux assemblés avec fixation de la rive du panneau non maintenue par vis traversante.

Les fixations cachées sont positionnées dans l'emboîtement. Les petits morceaux de panneaux sont également fixés par fixations traversantes en leur extrémité.

L'essai doit être réalisé avec un chargement indépendant et égal sur chacun des deux panneaux sans appliquer le chargement sur les petits morceaux de panneaux. Le bois de chargement a une longueur de 1/2 à 2/3 de la largeur utile du panneau et est centré par rapport à l'axe du panneau.

2.1 Essais sur deux appuis

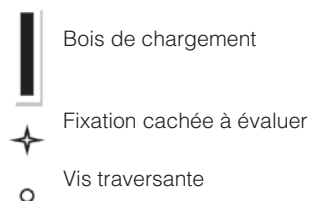
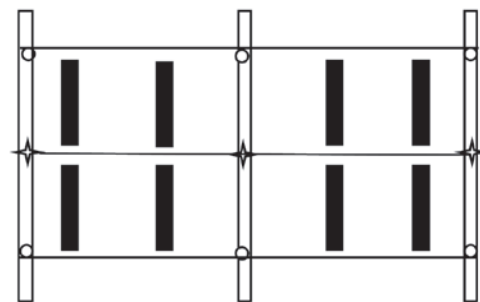


Dans ce cas, la réaction sur la fixation à évaluer est de :

$$C = F/4 + 0,5 * P_p * L * I$$

- F est la charge selon la norme NF P 34-503, charge totale appliquée sur l'ensemble du corps d'épreuve + poids de l'installation (daN) ;
- P_p est la charge surfacique due au poids propre du panneau (daN/m²) ;
- L est la portée de l'essai (m) ;
- I est la largeur du panneau (m).

2.2 Essais sur trois appuis



Dans ce cas, la réaction sur la fixation à évaluer à l'appui intermédiaire est de :

$$C_{int} = F/2 * 0,51 + 1,25 * P_p * L * I$$

La réaction sur la fixation à évaluer à l'appui d'extrémité est de :

$$C_{ext} = F/2 * 0,245 + 0,375 * P_p * L * I$$

- F est la charge selon la norme NF P 34-503, charge totale appliquée sur l'ensemble du corps d'épreuve (daN) ;
- P_p est la charge surfacique due au poids propre du panneau (daN/m²) ;
- L est la portée de l'essai (m) ;
- I est la largeur du panneau (m).

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