

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe spécialisé n° 5

Toitures, couvertures, étanchéités

Résistance au vent des isolants, supports de systèmes d'étanchéité de toitures

**Cahier des Prescriptions Techniques concernant la délivrance
et l'application des Documents Techniques d'Application approuvé
par le Groupe Spécialisé n° 5 le 27 mars 2006**

Annule et remplace les dispositions publiées dans les *Cahiers du CSTB*, cahier 3229, livraison 410 de juin 2000.

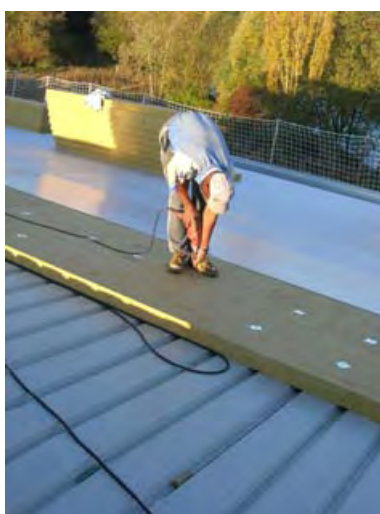


Photo de couverture :
Fixation préalable pour panneaux isolants
de laine de roche

Résistance au vent des isolants, supports de systèmes d'étanchéité de toitures

SOMMAIRE

1	Objet	4	5.2	Mode d'évaluation	10
2	Documents de référence	4	5.3	Effort admissible	10
3	Calcul de la dépression due au vent	4	5.4	Conditions particulières pour la construction de l'éprouvette	11
3.1	Domaine d'application	4	6	Prescriptions concernant la description des fixations	11
3.2	Pressions de calcul et coefficients associés.....	4	7	Prescriptions concernant les matériaux de collage	11
4	Performance des isolants fixés mécaniquement supports de revêtement d'étanchéité apparent collé ou soudé	6	Annexe 1 - Conditions d'emploi en fonction de la classe d'hygrométrie des locaux sous-jacents	12	
4.1	Objet du présent chapitre 4.....	6	Annexe 2 - Dépressions de calcul N/m² (Pa) calculées dans le cas de versants plans		
4.2	Mode d'évaluation	6	Annexe 3 - Dépressions de calcul N/m² (Pa) calculées dans le cas de versants courbes	14	
4.3	Effort admissible	6	Annexe 4 - Protocole des essais sur chantier en travaux de réfection pour la détermination de la résistance caractéristique à l'arrachement (P_{k_{réel}} ou Q_{k_{réel}}) d'une fixation d'un isolant support de revêtement d'étanchéité de toiture	15	
4.4	Nombre minimal de fixations pour résister à la dépression due au vent.....	6	Annexe 5 - Exemple d'application	19	
4.5	Adaptation de la densité de fixations pour d'autres dispositifs que ceux ayant fait l'objet de l'essai au caisson de vent	6			
5	Performances des complexes comportant un isolant collé, support d'étanchéité apparente collée ou soudée	10			
5.1	Objet du présent chapitre 5.....	10			

1 Objet

Le présent document a pour objet de définir les dispositions usuelles retenues pour la délivrance et l'application des Documents Techniques d'Application (1) des isolants supports d'étanchéité de toitures en ce qui concerne la résistance au vent de ces ouvrages intégrant ce système.

Il est entendu que la résistance des éléments porteurs (maçonnerie, béton cellulaire autoclavé armé, tôles d'acier nervurées, bois et panneaux dérivés du bois) relève des règles de calcul qui leur sont propres et des normes - DTU qui leur sont applicables.

Le présent document concerne :

- les isolants fixés mécaniquement, support de revêtement d'étanchéité apparent fixé mécaniquement ou collé ou soudé ;
- les complexes comportant un isolant collé, support d'étanchéité apparente fixée mécaniquement ou collée ou soudée.

Les systèmes fixés mécaniquement ne sont pas visés sur des formes de pente en béton lourd ou léger, des voiles précontraints, des voiles minces préfabriqués, des corps creux avec ou sans chape de répartition, des planchers à chauffage intégré, des planchers comportant des distributions électriques noyées, et les planchers de type D définis dans la norme NF P 10-203 (réf. DTU 20.12).

Les conditions d'emploi des isolants fixés mécaniquement avec des fixations traversantes, en fonction de la classe d'hygrométrie des locaux sous-jacents, sont précisées en *annexe 1*.

2 Documents de référence

- « Guide technique UEAtc pour l'Agrément des systèmes isolants supports d'étanchéité de toitures plates et inclinées » de février 1993 (*Cahier du CSTB 2662*, livraison 340 de juin 1993).
- « Guide d'agrément technique européen n° 006 – Systèmes de feuilles souples d'étanchéités de toitures fixés mécaniquement » de mars 2000 (*Cahier du CSTB 3408*, livraison 429 de mai 2002).
- « Dispositions techniques pour l'évaluation des systèmes d'étanchéité fixés mécaniquement en vue de la délivrance d'Agréments Techniques Européens » (*e-Cahier du CSTB 3532* de juillet 2005).
- « Cahier des Prescriptions Techniques des panneaux isolants non porteurs supports d'étanchéité mis en œuvre sur éléments porteurs en tôles d'acier nervurées dont l'ouverture haute de nervure est supérieure à 70 mm » (*e-Cahier du CSTB 3537* de décembre 2005).
- « Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en PVC non armés, armés et/ou sous-facés » de décembre 2001 (*e-Cahier du CSTB 3539* de janvier 2006).
- « Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en EPDM non armés, armés et/ou sous-facés » de décembre 2001 (*e-Cahier du CSTB 3540* de janvier 2006).
- « Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en polyoléfinés flexibles (FPO) non armés, armés et/ou sous-facés » de décembre 2001 (*e-Cahier du CSTB 3541* de janvier 2006).

1 . Ou Avis Technique dans la suite du document.

- « Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en feuilles de bitume APP ou SBS armées » de décembre 2001 (*e-Cahier du CSTB 3542* de janvier 2006).
- « Règles de calcul V 65 » (2).

3 Calcul de la dépression due au vent

3.1 Domaine d'application

L'ensemble du domaine envisagé par les Règles V 65 est considéré et le calcul cas par cas reste toujours possible en conformité avec ces Règles. Les titulaires de Documents Techniques d'Application sont tenus d'offrir leur assistance technique pour ce faire. Pour les applications courantes, la démarche simplifiée permet de traiter les domaines suivants :

- travaux neufs et travaux de réfection sur ancien conservé ;
- bâtiments fermés - bâtiments ouverts ;
- élanement courant, pour lequel le coefficient de forme prescrit par les Règles V 65 (chapitre III, article 2.1.2) est $\gamma_0 = 1$;
- hauteur du bâtiment au-dessus du sol : 10 - 15 - 20 m (3) dans les conditions qui sont celles de la méthode simplifiée des Règles V 65, chapitre III, article 2.9.

3.2 Pressions de calcul et coefficients associés

3.2.1 Généralités

La pression dynamique de référence est donnée par les Règles V 65, avec :

δ : coefficient de dimension, pris égal à 1,
 h : hauteur du bâtiment au sens des Règles V 65.

$k_r =$	1,00 en zone 1,
	1,20 en zone 2,
	1,50 en zone 3,
	1,80 en zone 4,
	2,40 en zone 5.
$k_s =$	1,00 en site normal,
	1,35 en site exposé zone 1,
	1,30 en site exposé zone 2,
	1,25 en site exposé zone 3,
	1,20 en site exposé zone 4,
	1,20 en site exposé zone 5.

Nota : les sites protégés ne sont pas considérés dans cette démarche simplifiée.

2. Actualisées jusqu'au modificatif n° 2 de décembre 1999 (*Cahier du CSTB 3182*). La méthode de calcul du présent Cahier des Prescriptions Techniques n'a pas été établie à partir des Eurocodes relatifs au calcul des structures.

3. Des dispositions complémentaires sont à considérer pour les hauteurs supérieures (30 m, 40 m). Ces dispositions peuvent comprendre, par exemple :

- des fixations complémentaires sur les panneaux ; cette densité de fixations devant être supérieure ou égale à celle définie par le calcul ;
- des supports (TAN, bois - panneaux dérivés du bois etc.), et leurs fixations à l'élément porteur, dimensionnés en charge ascendante ;
- des renforcements de l'élément porteur autour des points singuliers.

Pour tenir compte de l'hypothèse de vent extrême des Règles V 65, un coefficient de majoration de 1,75 est appliqué sur les valeurs de vent normal.

Pour les oscillations fondamentales du bâtiment concernant l'ossature seule, il n'est pas pris de majoration à cet égard. Le *tableau 1* ci-après indique les pressions dynamiques corrigées à prendre en compte en N/m² (ou pascal).

Tableau 1

Hauteur (m)	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	875	1 181	1 050	1 365	1 313	1 641	1 575	1 890	2 100	2 520
15	963	1 299	1 155	1 502	1 444	1 805	1 733	2 079	2 310	2 772
20	1 039	1 403	1 247	1 621	1 559	1 948	1 870	2 244	2 494	2 993
30	1 167	1 575	1 400	1 820	1 750	2 188	2 100	2 520	2 800	3 360
40	1 269	1 713	1 523	1 979	1 903	2 379	2 284	2 741	3 045	3 654

3.2.2 Coefficient d'actions intérieures

Le coefficient C_i est donné par le *tableau 2*. Les valeurs retenues sont les valeurs maximales indiquées par les Règles V 65 lorsque l'élément porteur est considéré comme perméable au vent ; sa valeur est prise égale à 0 lorsque l'élément porteur, ou l'ancien revêtement conservé, peut être considéré comme étanche au vent.

Tableau 2

Élément porteur	Bâtiment fermé		Bâtiment ouvert	
	neuf	réfection	neuf	réfection
Tôle d'acier nervurée avec ou sans pare-vapeur	0,3	0 (*)	0,8	0,8
Maçonnerie	0	0	0	0
Béton cellulaire autoclavé armé	0	0	0	0
Bois et panneaux dérivés du bois	0,3	0 (*)	0,8	0,8

* Sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde ; dans ce cas, $C_i = 0,3$.

3.2.3 Coefficient d'actions extérieures

Le coefficient C_e est donné par le *tableau 3*. Afin d'éviter un calcul cas par cas en fonction de la pente du toit et de la direction du vent, qui reste toujours possible, le coefficient C_e retient les valeurs maximales indiquées par les Règles V 65.

Tableau 3

	Coefficient d'action extérieur	Observations
Parties courantes	$C_e = 0,7$ en versant plan $C_e = 0,8$ en versant courbe	
Rives y compris au droit d'un mur en surplomb	$2 C_e$	Sur une largeur 1/10 h, sans être inférieure à 2 m
Angles Définis comme la rencontre de deux rives	$3 C_e$	
Pieds d'émergences ponctuelles (*) : – de hauteur > 1 m et dont une des dimensions en plan est > 1 m – autres émergences	$2 C_e$ C_e	Sur une largeur de 1 m Renfort en pied de relevé

* La toiture d'une émergence est traitée comme un élément distinct.

3.2.4 Dépressions de calcul

Les annexes 2 et 3 présentent les dépressions à prendre en compte dans le cas des versants plans et courbes ; les valeurs de ces annexes correspondent aux pressions dynamiques corrigées (voir *tableau 1*) affectées de coefficient CP suivant :

	CP	CPmax
Partie courante	$C_1 + C_e$	
Rives	$C_1 + 2 C_e$	2
Angles	$C_1 + 3 C_e$	3

4 Performance des isolants fixés mécaniquement supports de revêtement d'étanchéité apparent collé ou soudé

4.1 Objet du présent chapitre 4

En règle générale, l'application des dispositions prévues dans les textes réglementaires suivants dispense de toute autre évaluation vis-à-vis de la tenue au vent et notamment des essais « au caisson de vent » :

- NF P84-204, réf. DTU 43.1 ;
- NF P84-206, réf. DTU 43.3 ;
- NF P84-207, réf. DTU 43.4 ;
- « Conditions générales d'emploi des dalles de toiture en béton cellulaire autoclavé armé ».

Si des dispositions différentes de celles de ces textes sont envisagées, il y a lieu de suivre la démarche décrite ci-après.

4.2 Mode d'évaluation

L'évaluation est expérimentale. L'essai de référence est celui décrit par le « Guide technique UEAtc pour l'Agrément des systèmes isolants supports d'étanchéité des toitures plates et inclinées ». La construction de l'éprouvette est adaptée aux différents ouvrages considérés.

Le système soumis à l'essai est le système de référence.

Le **résultat brut de l'essai** est la pression P_{essai} qui correspond à la pression maximale (dite 100 %) de la séquence qui précède immédiatement la ruine.

À cette pression, s'appliquent les coefficients correcteurs suivants :

- coefficient statistique C_s :
selon le Guide précité ;
- coefficient de sécurité m :
 - pris égal à 1,2 lorsque la rupture se fait par arrachement de la fixation ;
 - à évaluer spécifiquement lors de l'instruction du Document Technique d'Application dans les autres cas.

4.3 Effort admissible

La pression admissible vaut pour chacun des systèmes soumis à l'essai :

$$P_{\text{adm}} = \frac{P_{\text{essai}} \times C_s}{m}$$

L'effort admissible par fixation est :

$$W_{\text{adm}} = \frac{P_{\text{adm}}}{\text{densité de fixation du système soumis à l'essai (nombre/m}^2\text{)}}$$

4.4 Nombre minimal de fixations pour résister à la dépression due au vent

4.4.1 Règles générales

Les pressions de calcul (cf. annexe 2 ou 3) sont divisées par l'effort admissible pour connaître le nombre minimal de fixations. Il est convenu d'arrondir la densité à l'unité supérieure dès que le premier chiffre après l'unité est 1 (par exemple : $< 5,10 \rightarrow 5$; $\geq 5,10 \rightarrow 6$).

4.4.2 Seuil minimal par panneau

Pour les panneaux de surface inférieure ou égale à $1,2 \text{ m}^2$ ($1 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$), un minimum de quatre fixations par panneau est requis. Pour des panneaux de dimensions supérieures, le Document Technique d'Application précise le nombre minimal de fixations déterminé sur la base d'une expérimentation appropriée.

4.5 Adaptation de la densité de fixations pour d'autres dispositifs que ceux ayant fait l'objet de l'essai au caisson de vent

4.5.1 Objet et définition

4.5.1.1 Objet

La résistance au vent du procédé est évaluée à partir de l'essai dynamique de référence dit « au caisson de vent ». Cet essai permet de déterminer pour le système de référence, après application des différents coefficients correcteurs, l'effort de calcul (effort admissible) à retenir par fixation et la densité de fixations en fonction de l'exposition au vent.

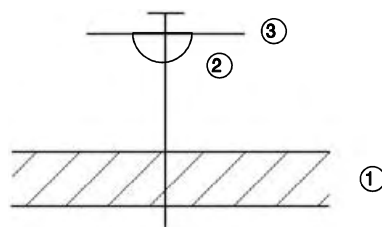
Cet essai ne peut pas être envisagé pour tous les systèmes rencontrés dans la pratique : éléments porteurs en tôles pleines, perforées ou crevées, bois et panneaux dérivés du bois, maçonnerie, béton cellulaire autoclavé armé, fixations par vis de type ou diamètres divers, rivets, densités de fixations variables, ...

L'objet du présent paragraphe est de définir dans quelles conditions l'effort de calcul (effort admissible) à retenir par fixation résultant de l'essai au caisson de vent pour un système donné (élément porteur, type et densité de fixations) peut s'établir pour un autre système que celui soumis à l'essai, l'isolant ou le revêtement d'étanchéité restant le même.

4.5.1.2 Définitions

On désigne par :

- attelage, l'ensemble « élément porteur ① - élément de liaison ② - plaquette de répartition ③ » ;



- système de référence, noté « sr », le système testé au caisson de vent ;
- nouveau système, noté « ns », le système à évaluer ;
- fiche technique, notée « ft », la fiche technique du fabricant décrivant la fixation ;
- élément porteur : l'élément porteur peut être, dans l'essai ou dans la nouvelle évaluation :
 - une tôle d'acier nervurée à plages pleines, perforées de trous \varnothing 5 mm au plus, ou crevées, d'épaisseur e_{sr} - e_{ns} - e_{ft} et de nuance d'acier A_{sr} - A_{ns} - A_{ft} ;
 - du bois ou des panneaux dérivés du bois, d'épaisseur e_{sr} - e_{ns} - e_{ft} et de nature décrite : essence de bois - type de contreplaqué (CTB-X) ou de panneau (CTB-H) ;
 - du béton cellulaire autoclavé armé, de masse volumique ρ_{sr} - ρ_{ns} - ρ_{ft} ;
 - du béton de granulats lourds caractérisé par sa classe de résistance à la compression CR_{sr} - CR_{ns} - CR_{ft} ;
- fixation, l'ensemble « élément de liaison + plaquette » ;
- P_k , la résistance caractéristique à l'arrachement de la fixation (ensemble « élément de liaison + plaquette de répartition »).

Elle est mesurée selon la norme NF P 30-313 ⁽⁴⁾, ou selon l'annexe 4 dans le cas de réfection ($P_k \text{ réel} = F_{adm}$).

Certains de ces attelages de fixations relèvent de la procédure d'ATE (Agrément Technique Européen). Chaque fixation fait l'objet d'une fiche technique établie par le fabricant ou par le fournisseur de la fixation, où figure la résistance caractéristique à l'arrachement P_k propre à un élément porteur identifié.

Cas particulier de la maçonnerie, la plus faible des deux valeurs ci-dessous doit être retenue :

- soit la résistance caractéristique à l'arrachement de la fixation P_k , comme indiquée ci-avant ;
- soit la charge limite de service de l'ancrage dans le béton Q mesurée selon NF E 27-815, ou selon l'annexe 4 dans le cas de réfection ($Q = F_{adm}$).

Certains de ces attelages de fixations relèvent de la procédure d'ATE (Agrément Technique Européen). Chaque fixation fait l'objet d'une fiche technique établie par le fabricant ou par le fournisseur de la fixation, où figure la résistance caractéristique à l'arrachement P_k , la charge limite de service Q propre à une classe de résistance à la compression CR_{ft} donnée du béton.

- D_{sr} , la densité de fixations (nombre/m²) du système de référence ;
- D_{ns} , la densité de fixations (nombre/m²) du nouveau système ;
- W_{adm} , la charge admissible de calcul du système de fixation. $W_{adm_{sr}}$ est la charge admissible du système de référence, $W_{adm_{ns}}$ est la charge admissible du nouveau système ;
- R_{ns} , la résistance caractéristique à retenir pour la fixation dans le nouveau système.

4.5.2 Règles générales

4.5.2.1 Exigences concernant les plaquettes de répartition des fixations

Il est rappelé que, en conformité avec les normes NF P 84 série 200 (réf. DTU série 43) :

- les plaquettes sont protégées contre la corrosion ;
- leur surface correspond au minimum à une plaquette de diamètre 70 mm ;
- l'épaisseur minimale des plaquettes métalliques est de :
 - 0,75 mm si elles sont nervurées ;
 - 1,00 mm si elles sont planes.

L'utilisation dans le nouveau système de plaquettes différentes de celles du système de référence est possible aux conditions suivantes :

- les plaquettes métalliques sont admises avec leur P_{kft} ;
- l'épaisseur et la nuance d'acier sont \geq à celles de référence ;
- les dimensions respectent les conditions données dans le tableau ci-dessous.

Plaquettes « sr »	Plaquettes « ns »		
	rondes	carrées	rectangulaires ou oblongues
Rondes ou carrées	Surface \geq surface de la plaquette essayée		Largeur et longueur \geq \varnothing ou côté de la plaquette essayée
Rectangulaires ou oblongues	$\varnothing \geq$ diagonale de la plaquette essayée	Côté \geq longueur de la plaquette essayée	Dimensions \geq celles essayées et disposées dans le même sens

4 . La résistance caractéristique à l'arrachement de la fixation « P_k » peut également être déterminée à partir de la résistance « R_{oc} - (2 x écart type) » mesurée selon le paragraphe 5.3.4.1 de l'ETAG n° 006 ; cf. le CPT des systèmes d'étanchéité de toitures fixés mécaniquement (e-Cahiers du CSTB, cahier 3563, juin 2006).

4.5.2.2 Exigences et valeur de résistance R_{ns} à retenir

4.5.2.2.1 Cas des travaux neufs

Le *tableau 4* donne, en fonction de l'élément porteur du nouveau système rencontré en travaux neufs :

- les caractéristiques exigées du nouvel élément porteur, par référence à celles de l'essai de référence ou à celles indiquées dans la fiche technique de la fixation ;
- la résistance à la corrosion exigée pour la fixation, par référence à l'essai dit « Kesternich », norme EN 3231 avec 2 litres de SO_2 sans apparition de rouille rouge ;
- la résistance caractéristique R_{ns} à retenir.

Tableau 4

Exigences	Élément porteur					
	Tôle d'acier nervurée			Bois et panneaux dérivés	Béton cellulaire autoclavé armé	Béton de granulats courants
	pleine	perforée (4)	crevée (4)			
Identification de l'élément porteur	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ Matériau de même type	$\rho_{ns} \geq \rho_{ft}$	$CR_{ns} \geq CR_{ft}$
Identification de l'élément de liaison	Vis Ø 4,8 mini	Vis Ø 6,3 mini	Vis Ø 6,3 mini	Vis Ø 4,8 mini	Vis à pas spécial	Vis, cheville ou clou à friction
	Rivet Ø 4,8 mini (1)	Rivet Ø 4,8 mini (1)	Rivet Ø 4,8 mini (1)		Cheville à clou déporté	
Résistance à la corrosion de l'élément de liaison (9) sur locaux à faible et moyenne hygrométrie (2)	2 cycles K (9)	2 cycles K (9)	2 cycles K (9)	12 cycles K (9)	Acier inoxydable austénitique (10)	12 cycles K (9)
Résistance à la corrosion de l'élément de liaison (9) sur locaux à forte hygrométrie (2)	12 cycles K (9)	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	12 cycles K (9)
Pk minimal (daN)	90	90	90	90	90	90
Valeur de R_{ns} à retenir	Pk_{ft}	Pk_{ft} (5)	Pk_{ft} (5)	Pk_{ft} (7)	$0,9 Pk_{ft}$ (6) (7)	Valeur mini (Pk_{ft} ou Q_{ft}) (7) (8)

1. Rivet conforme à la norme NF P 84-206 (réf. DTU 43.3) avec clou acier et corps de rivet et entretoise aluminium.
2. Classes d'hygrométrie selon les normes NF P 84 série 200 (réf. DTU série 43).
3. Certains panneaux isolants (p.e. mousse phénolique-Résol) présentent des exigences particulières, cf. Document Technique d'Application particulier.
4. Le système de référence peut avoir utilisé une tôle pleine.
5. La valeur de Pk à retenir correspond au positionnement de la fixation le plus défavorable.
6. La valeur de Pk à retenir correspond à un Pk obtenu avec la fixation à une charge n'entraînant pas un déplacement de la fixation > 1 mm.
7. La profondeur d'ancrage des fixations du nouveau système doit être au moins égale à celle indiquée dans la fiche technique de la fixation.
8. Pk est la résistance au déboutonnage fixation/plaquette. Q est la charge limite de service correspondant à une charge n'entraînant pas un déplacement de la fixation > 2 mm ; le dispositif de fixation doit permettre ce déplacement de 2 mm sans désaffleurement de la tête de fixation. La connaissance des deux valeurs est nécessaire : si la valeur Q_{ft} est supérieure à la résistance caractéristique Pk_{ft} indiquée dans la fiche technique de la fixation, la valeur à retenir est celle de la fiche technique (Pk_{ft}).
9. Ou attelages complets présentant une surface de rouille $\leq 15\%$ à l'issue des 15 cycles de corrosion conformément au § 5.3.7.1 de l'ETAG n° 006.
10. Acier inoxydable austénitique 1.4301, 1.4302, 1.4306, 1.4401 ou 1.4404 conformément à la norme EN 10088.

4.5.2.2.2 Cas des travaux de réfection

Le *tableau 5* donne, en fonction de l'élément porteur du nouveau système rencontré en réfection et reconnu stable par ailleurs :

- les caractéristiques exigées du nouvel élément porteur, par référence à celles de l'essai de référence ou à celles indiquées dans la fiche technique de la fixation ;
- la résistance à la corrosion exigée pour la fixation, par référence à l'essai dit « Kesternich », norme EN 3231 avec 2 litres de SO₂ sans apparition de rouille rouge ;
- la résistance caractéristique R_{ns} à retenir.

Tableau 5

Exigences	Élément porteur					
	Tôle d'acier nervurée			Bois et panneaux dérivés	Béton cellulaire autoclavé armé	Béton de granulats courants
	pleine	perforée ⁽⁴⁾	crevée ⁽⁴⁾			
Identification de l'élément porteur	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	$e_{ns} \geq e_{ft}$ $A_{ns} \geq A_{ft}$	e_{ns} Matériau de même type	ρ_{ns}	CR _{ns}
Identification de l'élément de liaison	Vis Ø 4,8 mini	Vis Ø 6,3 mini	Vis Ø 6,3 mini	Vis Ø 4,8 mini	Vis à pas spécial	Vis, cheville ou clou à friction
	Rivet Ø 4,8 mini ⁽¹⁾	Rivet Ø 4,8 mini ⁽¹⁾	Rivet Ø 4,8 mini ⁽¹⁾		Cheville à clou déporté	
Résistance à la corrosion de l'élément de liaison ⁽³⁾ sur locaux à faible et moyenne hygrométrie ⁽²⁾	2 cycles K ⁽⁹⁾	2 cycles K ⁽⁹⁾	2 cycles K ⁽⁹⁾	12 cycles K ⁽¹⁰⁾	Acier inoxydable austénitique ⁽⁹⁾	12 cycles K ⁽⁹⁾
Résistance à la corrosion de l'élément de liaison ⁽³⁾ sur locaux à forte hygrométrie ⁽²⁾	12 cycles K ⁽⁹⁾	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	12 cycles K ⁽⁹⁾
Pk minimal (daN)	90	90	90			
Valeur de R _{ns} à retenir	Pk _{ft}	Pk _{ft} ⁽⁵⁾	Pk _{ft} ⁽⁵⁾	Pk réel ⁽⁷⁾	0,7 Pk réel ⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾	Valeur mini (Pk _{ft} ou Q _{réel}) ⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾

1. Rivet conforme à la norme NF P 84-206 (réf. DTU 43.3) avec clou acier et corps de rivet et entretoise aluminium.

2. Classes d'hygrométrie selon les normes NF P 84 série 200 (réf. DTU série 43).

3. Certains panneaux isolants (p.e. mousse phénolique-Résol) présentent des exigences particulières, cf. Document Technique d'Application particulier.

4. Le système de référence peut avoir utilisé une tôle pleine.

5. La valeur de Pk à retenir correspond au positionnement de la fixation le plus défavorable.

6. La valeur de Pk à retenir correspond à un Pk obtenu avec la fixation à une charge n'entraînant pas un déplacement de la fixation > 1 mm.

7. Le Pk réel ou Q réel s'évalue par mesures in situ selon le protocole d'essai défini en *annexe 4* :

- les essais sont effectués par zones différenciées susceptibles de conduire à des résultats homogènes (même activité dans le local sous-jacent, mêmes constitution et état de la toiture) ;
- chaque zone fait l'objet d'un minimum de 15 essais et d'un rapport d'essai distinct.

La profondeur d'ancrage des fixations du nouveau système à la mise en œuvre doit être au moins égale à celle des essais préparatoires in situ.

8. Pk est la résistance au déboutonnage fixation/plaquette. Q est la charge limite de service. La connaissance des deux valeurs est nécessaire : si la valeur issue des essais sur chantier Q_{réel} est supérieure à celle indiquée dans la fiche technique de la fixation Pk_{ft}, la valeur à retenir est celle de la fiche technique (Pk_{ft}).

9. Ou attelages complets présentant une surface de rouille ≤ 15 % à l'issue des 15 cycles de corrosion conformément au § 5.3.7.1 de l'ETAG n° 006.

10. Acier inoxydable austénitique 1.4301, 1.4302, 1.4306, 1.4401 ou 1.4404 conformément à la norme EN 10088.

4.5.3 Détermination de la densité de fixations D_{ns} du nouveau système : règles d'adaptation

Les règles d'adaptation sont les suivantes :

- Si $R_{ns} \geq Pk_{sr}$, alors $Wadm_{ns} = Wadm_{sr}$
- Si $R_{ns} < Pk_{sr}$, alors $Wadm_{ns} = \frac{R_{ns}}{Pk_{sr}} \times Wadm_{sr}$
- $D_{ns} = \frac{\text{Pression de vent}}{Wadm_{ns}}$

pour chaque zone et site de vent, hauteur du bâtiment et emplacement en partie courante, rive ou angle de la toiture.

L'annexe 5 donne un exemple d'application.

5 Performances des complexes comportant un isolant collé, support d'étanchéité apparente collée ou soudée

5.1 Objet du présent chapitre 5

En règle générale, les systèmes comportant :

- un isolant collé à l'EAC selon les dispositions prévues dans les textes réglementaires mentionnés au *paragraphe 4.1* ;

et

- un revêtement d'étanchéité apparent collé en adhérence à l'EAC ou soudé sur isolant parementé au bitume, faisant l'objet d'un Document Technique d'Application ou d'un Avis Technique visant favorablement son emploi sur cet isolant ;

ne nécessitent pas d'investigations particulières vis-à-vis de la tenue au vent, lorsque la dépression est inférieure à celle équivalente à 4 712 Pa.

Pour les autres systèmes, il y a lieu de suivre la démarche décrite ci-après.

5.2 Mode d'évaluation

L'évaluation est expérimentale, l'essai de référence est celui décrit dans le « Guide technique UEAtc pour l'Agrément des isolants supports de revêtements d'étanchéité de toitures plates et inclinées ».

L'ouvrage est constitué par un revêtement d'étanchéité apparent posé en adhérence ou semi-indépendance par collage ou soudage sur un isolant support, lui-même fixé par collage en plein ou partiel, soit directement sur l'élément porteur, soit par l'intermédiaire d'un pare-vapeur.

Le résultat brut de l'essai est la pression P_{essai} qui correspond à la pression maximale (dite à 100 %) de la séquence qui précède immédiatement la ruine.

À cette pression, s'appliquent les coefficients correcteurs suivants :

- coefficient statistique C_s :

$C_s = 1$ si l'éprouvette comporte au moins un panneau entier entouré de toutes parts d'un demi-panneau au moins ;

- coefficient de sécurité m :

- pris égal à 1,2 pour les systèmes comportant :
 - un élément porteur :

en maçonnerie (conforme à la norme NF P 10-203, réf. DTU 20.12),

ou en béton cellulaire autoclavé armé (voir les « Conditions générales d'emploi des dalles de toiture en béton »),

ou en panneau dérivé du bois (conforme à la norme NF P 84-207, réf. DTU 43.4),

- un pare-vapeur adhérent ou semi-indépendant ⁽⁵⁾ conforme aux textes réglementaires mentionnés au *paragraphe 4.1*,
 - un isolant collé en plein à l'EAC,
 - un revêtement d'étanchéité mis en œuvre en totale adhérence par collage à l'EAC ou soudage.
 - est à évaluer spécifiquement pour les autres systèmes ;
- coefficient de température C_t :
- pris égal à 1 quel que soit le type de colle de l'isolant et pour les revêtements d'étanchéité bitumineuse mis en œuvre par collage à l'EAC ou soudage ;
 - à évaluer spécifiquement pour les autres cas.

5.3 Effort admissible

5.3.1 Isolant collé en plein et revêtement d'étanchéité mis en œuvre en totale adhérence

Un seul essai détermine l'effort admissible.

La pression admissible vaut pour le système soumis à l'essai pour la charge de colle testée :

$$P_{adm} = \frac{P_{essai} \times C_s \times C_t}{m}$$

5.3.2 Isolant collé partiellement et revêtement d'étanchéité adhérent ou semi-indépendant

Deux essais par mode de ruine déterminent l'effort admissible. La valeur à retenir pour la conception de l'étanchéité de la toiture est indiquée dans le Document Technique d'Application.

5.3.2.1 Ruine au niveau du collage de l'isolant

Si la quantité de produit de collage varie en fonction des pressions de vent, chacun des essais est réalisé avec une charge de colle différente.

La pression admissible vaut pour chacun des systèmes soumis à l'essai :

$$P_{adm} = \frac{P_{essai} \times C_s}{m}$$

L'effort admissible par charge de colle (par plot, ou par mètre linéaire, ou par gramme de colle) est :

$$Wc_{adm} = \frac{P_{adm}}{\text{densité de charge}}$$

5. Le Document Technique d'Application de l'isolant peut prévoir d'autres dispositions (p.e. pour l'isolant de verre cellulaire).

La densité de charge correspond :

- au nombre de plots/m² dans le cas d'une mise en œuvre en plots ;
- au nombre de ml/m² dans le cas d'une mise en œuvre en cordons ;
- au nombre de gr/m² dans le cas d'une mise en œuvre en plots ou bandes.

5.3.2.2 Ruine par décohésion de l'isolant

La pression admissible vaut pour chacun des systèmes soumis à l'essai :

$$P_{adm} = \frac{P_{essai} \times C_s}{m}$$

5.3.2.3 Ruine au niveau de la liaison du revêtement d'étanchéité

La pression admissible vaut pour chacun des systèmes soumis à l'essai :

$$P_{adm} = \frac{P_{essai} \times C_s \times C_t}{m}$$

5.3.3 Isolant collé en plein et revêtement d'étanchéité semi-indépendant

Deux essais par mode de ruine déterminent l'effort admissible. La valeur à retenir pour la conception de l'étanchéité de la toiture est indiquée dans le Document Technique d'Application.

La pression admissible vaut pour chacun des systèmes soumis à l'essai :

$$P_{adm} = \frac{P_{essai} \times C_s \times C_t}{m}$$

5.4 Conditions particulières pour la construction de l'éprouvette

5.4.1 Cas général

Voir le « Guide technique UEAtc pour l'Agrément des isolants supports de revêtements d'étanchéité de toitures plates et inclinées ».

5.4.2 Éléments porteurs en maçonnerie, béton cellulaire autoclavé armé ou panneaux dérivés du bois

L'élément porteur en panneaux dérivés du bois suffisamment contreventé peut être considéré comme représentatif de l'ensemble des éléments porteurs imperméables à l'air.

Pour les isolants, les essais sont réalisés avec des panneaux dont l'épaisseur est la plus faible revendiquée en s'assurant par des essais de traction perpendiculaire qu'elle est représentative de l'ensemble des épaisseurs revendiquées.

5.4.3 Observations

5.4.3.1 Élément porteur

Lorsque le pare-vapeur n'est pas prévu, les essais sont réalisés avec l'élément porteur revendiqué, et son état de surface doit être précisé.

5.4.3.2 Pare-vapeur

La nature du pare-vapeur, son état de surface, son mode de pose et son mode de liaison au support sont considérés dans l'essai et décrits dans le procès-verbal (EAC - grésé - aluminium, ...).

La maquette comporte un recouvrement de feuille.

5.4.3.3 Isolant

Le rapport d'essai doit indiquer le temps écoulé entre le moment du collage de l'isolant et le début de l'essai, les quantités de colle et le mode de pose (en plein, cordons, plots, ...), et tout autre élément définissant le système.

6 Prescriptions concernant la description des fixations

Les demandeurs de Documents Techniques d'Application pour les isolants devront joindre à leur demande les fiches techniques des fixations ayant servi aux essais.

7 Prescriptions concernant les matériaux de collage

Les demandeurs de Documents Techniques d'Application des isolants supports devront joindre au dossier de demande :

- les fiches techniques détaillées des matériaux de collage ayant fait l'objet de l'essai (à l'exception de l'EAC) établies par le fabricant ;
- le plan de contrôle des matériaux de collage (à l'exception de l'EAC), essais de traction perpendiculaire par exemple ;
- tout élément utile à l'instruction du Document Technique d'Application.

Annexe 1

Conditions d'emploi en fonction de la classe d'hygrométrie des locaux sous-jacents :

- des isolants fixés mécaniquement avec des fixations traversantes

Classe d'hygrométrie du local	Élément porteur				
	TAN		Bois et panneaux dérivés du bois	Béton cellulaire autoclavé armé	Maçonnerie
pleines	perforées ou crevées				
Faible ou moyenne	oui	oui	oui	oui	oui
Forte	oui	non	non	non	oui
Très forte	non	non	non	non	non

Annexe 2

Dépressions de calcul N/m² (Pa) calculées dans le cas de versants plans (suivant Règles V 65 avec modificatif n° 2)

Tableau 1.1 - Versants plans - Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés - Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hauteur (m)	Position	Cp	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	1	875	1 181	1 050	1 365	1 313	1 641	1 575	1 890	2 100	2 520
	Rives	1,7	1 488	2 008	1 785	2 321	2 232	2 790	2 678	3 213	3 570	4 284
	Angles	2,4	2 100	2 834	2 520	3 276	3 151	3 938	3 780	4 536	5 040	6 048
15	Courantes	1	963	1 299	1 155	1 502	1 444	1 805	1 733	2 079	2 310	2 772
	Rives	1,7	1 637	2 208	1 964	2 553	2 455	3 069	2 946	3 534	3 927	4 712
	Angles	2,4	2 311	3 118	2 772	3 605	3 466	4 332	4 159	4 990	5 544	6 653
20	Courantes	1	1 039	1 403	1 247	1 621	1 559	1 948	1 870	2 244	2 494	2 993
	Rives	1,7	1 766	2 385	2 120	2 756	2 650	3 312	3 179	3 815	4 240	5 088
	Angles	2,4	2 494	3 367	2 993	3 890	3 742	4 675	4 488	5 386	5 986	7 183
30	Courante	1	1 167	1 575	1 400	1 820	1 750	2 188	2 100	2 520	2 800	3 360
	Rives	1,7	1 984	2 678	2 380	3 094	2 975	3 720	3 570	4 284	4 760	5 712
	Angles	2,4	2 801	3 780	3 360	4 368	4 200	5 251	5 040	6 048	6 720	8 064
40	Courante	1	1 269	1 713	1 523	1 979	1 903	2 379	2 284	2 741	3 045	3 654
	Rives	1,7	2 157	2 912	2 589	3 364	3 235	4 044	3 883	4 660	5 177	6 212
	Angles	2,4	3 046	4 111	3 655	4 750	4 567	5 710	5 482	6 578	7 308	8 770

Tableau 1.2 - Versants plans - Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hauteur (m)	Position	Cp	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	1,5	1 313	1 772	1 575	2 048	1 970	2 462	2 363	2 835	3 150	3 780
	Rives	2	1 750	2 362	2 100	2 730	2 626	3 282	3 150	3 780	4 200	5 040
	Angles	2,9	2 538	3 425	3 045	3 959	3 808	4 759	4 568	5 481	6 090	7 308
15	Courante	1,5	1 445	1 949	1 733	2 253	2 166	2 708	2 600	3 119	3 465	4 158
	Rives	2	1 926	2 598	2 310	3 004	2 888	3 610	3 466	4 158	4 620	5 544
	Angles	2,9	2 793	3 767	3 350	4 356	4 188	5 235	5 026	6 029	6 699	8 039
20	Courante	1,5	1 559	2 105	1 871	2 432	2 339	2 922	2 805	3 366	3 741	4 490
	Rives	2	2 078	2 806	2 494	3 242	3 118	3 896	3 740	4 488	4 988	5 986
	Angles	2,9	3 013	4 069	3 616	4 701	4 521	5 649	5 423	6 508	7 233	8 680
30	Courante	1,5	1 751	2 363	2 100	2 730	2 625	3 282	3 150	3 780	4 200	5 040
	Rives	2	2 334	3 150	2 800	3 640	3 500	4 376	4 200	5 040	5 600	6 720
	Angles	2,9	3 384	4 568	4 060	5 278	5 075	6 345	6 090	7 308	8 120	9 744
40	Courante	1,5	1 904	2 570	2 285	2 969	2 855	3 569	3 426	4 112	4 568	5 481
	Rives	2	2 538	3 426	3 046	3 958	3 806	4 758	4 568	5 482	6 090	7 308
	Angles	2,9	3 680	4 968	4 417	5 739	5 519	6 899	6 624	7 949	8 831	10 597

**Tableau 1.3 - Versants plans - Béton et béton cellulaire : Travaux neufs et réfections - Bâtiments fermés et ouverts.
Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés : réfections
(sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde, voir alors tableau 1.1 - Bâtiments fermés)**

Hauteur (m)	Position	Cp	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	0,7	613	827	735	956	919	1 149	1 103	1 323	1 470	1 764
	Rives	1,4	1 225	1 653	1 470	1 911	1 838	2 297	2 205	2 646	2 940	3 528
	Angles	2,1	1 838	2 480	2 205	2 867	2 757	3 446	3 308	3 969	4 410	5 292
15	Courante	0,7	674	909	809	1 051	1 011	1 264	1 213	1 455	1 617	1 940
	Rives	1,4	1 348	1 819	1 617	2 103	2 022	2 527	2 426	2 911	3 234	3 881
	Angles	2,1	2 022	2 728	2 426	3 154	3 032	3 791	3 639	4 366	4 851	5 821
20	Courante	0,7	727	982	873	1 135	1 091	1 364	1 309	1 571	1 746	2 095
	Rives	1,4	1 455	1 964	1 746	2 269	2 183	2 727	2 618	3 142	3 492	4 190
	Angles	2,1	2 182	2 946	2 619	3 404	3 274	4 091	3 927	4 712	5 237	6 285
30	Courante	0,7	817	1 103	980	1 274	1 225	1 532	1 470	1 764	1 960	2 352
	Rives	1,4	1 634	2 205	1 960	2 548	2 450	3 063	2 940	3 528	3 920	4 704
	Angles	2,1	2 451	3 308	2 940	3 822	3 675	4 595	4 410	5 292	5 880	7 056
40	Courante	0,7	888	1 199	1 066	1 385	1 332	1 665	1 599	1 919	2 132	2 558
	Rives	1,4	1 777	2 398	2 132	2 771	2 664	3 331	3 198	3 837	4 263	5 116
	Angles	2,1	2 665	3 597	3 198	4 156	3 996	4 996	4 796	5 756	6 395	7 673

Annexe 3

Dépressions de calcul N/m² (Pa) calculées dans le cas de versants courbes (suivant Règles V 65 avec modificatif n° 2)

Tableau 2.1 - Versants courbes - Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés - Travaux neufs - Bâtiments fermés

Hauteur (m)	Position	Cp	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	1,1	963	1 299	1 155	1 502	1 444	1 805	1 733	2 079	2 310	2 772
	Rives	1,9	1 663	2 244	1 995	2 594	2 495	3 118	2 993	3 591	3 990	4 788
	Angles	2,7	2 363	3 189	2 835	3 686	3 545	4 431	4 253	5 103	5 670	6 804
15	Courante	1,1	1 059	1 429	1 271	1 652	1 588	1 986	1 906	2 287	2 541	3 049
	Rives	1,9	1 830	2 468	2 195	2 854	2 744	3 430	3 293	3 950	4 389	5 267
	Angles	2,7	2 600	3 507	3 119	4 055	3 899	4 874	4 679	5 613	6 237	7 484
20	Courante	1,1	1 143	1 543	1 372	1 783	1 715	2 143	2 057	2 468	2 743	3 292
	Rives	1,9	1 974	2 666	2 369	3 080	2 962	3 701	3 553	4 264	4 739	5 687
	Angles	2,7	2 805	3 788	3 367	4 377	4 209	5 260	5 049	6 059	6 734	8 081
30	Courante	1,1	1 284	1 733	1 540	2 002	1 925	2 407	2 310	2 772	3 080	3 696
	Rives	1,9	2 217	2 993	2 660	3 458	3 325	4 157	3 990	4 788	5 320	6 384
	Angles	2,7	3 151	4 253	3 780	4 914	4 725	5 908	5 670	6 804	7 560	9 072
40	Courante	1,1	1 396	1 884	1 675	2 177	2 093	2 617	2 512	3 015	3 350	4 019
	Rives	1,9	2 411	3 255	2 894	3 760	3 616	4 520	4 340	5 208	5 786	6 943
	Angles	2,7	3 426	4 625	4 112	5 343	5 138	6 423	6 167	7 401	8 222	9 866

Tableau 2.2 - Versants courbes - Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés - Travaux neufs et réfections - Bâtiments ouverts

Hauteur (m)	Position	Cp	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	1,6	1 400	1 890	1 680	2 184	2 101	2 626	2 520	3 024	3 360	4 032
	Rives	2	1 750	2 362	2 100	2 730	2 626	3 282	3 150	3 780	4 200	5 040
	Angles	3	2 625	3 543	3 150	4 095	3 939	4 923	4 725	5 670	6 300	7 560
15	Courante	1,6	1 541	2 078	1 848	2 403	2 310	2 888	2 773	3 326	3 696	4 435
	Rives	2	1 926	2 598	2 310	3 004	2 888	3 610	3 466	4 158	4 620	5 544
	Angles	3	2 889	3 897	3 465	4 506	4 332	5 415	5 199	6 237	6 930	8 316
20	Courante	1,6	1 662	2 245	1 995	2 594	2 494	3 117	2 992	3 590	3 990	4 789
	Rives	2	2 078	2 806	2 494	3 242	3 118	3 896	3 740	4 488	4 988	5 986
	Angles	3	3 117	4 209	3 741	4 863	4 677	5 844	5 610	6 732	7 482	8 979
30	Courante	1,6	1 867	2 520	2 240	2 912	2 800	3 501	3 360	4 032	4 480	5 376
	Rives	2	2 334	3 150	2 800	3 640	3 500	4 376	4 200	5 040	5 600	6 720
	Angles	3	3 501	4 725	4 200	5 460	5 250	6 564	6 300	7 560	8 400	10 080
40	Courante	1,6	2 030	2 741	2 437	3 166	3 045	3 806	3 654	4 386	4 872	5 846
	Rives	2	2 538	3 426	3 046	3 958	3 806	4 758	4 568	5 482	6 090	7 308
	Angles	3	3 807	5 139	4 569	5 937	5 709	7 137	6 852	8 223	9 135	10 962

Tableau 2.3 - Versants courbes - Béton et béton cellulaire : Travaux neufs et réfections - Bâtiments fermés et ouverts. Tôles d'acier nervurées, bois et dérivés : réfections (sauf dans le cas d'un ancien revêtement sous protection lourde, voir alors tableau 2.1) - Bâtiments fermés

Hauteur (m)	Position	Cp	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	0,8	700	945	840	1 092	1 050	1 313	1 260	1 512	1 680	2 016
	Rives	1,6	1 400	1 890	1 680	2 184	2 101	2 626	2 520	3 024	3 360	4 032
	Angles	2,4	2 100	2 834	2 520	3 276	3 151	3 938	3 780	4 536	5 040	6 048
15	Courante	0,8	770	1 039	924	1 202	1 155	1 444	1 386	1 663	1 848	2 218
	Rives	1,6	1 541	2 078	1 848	2 403	2 310	2 888	2 773	3 326	3 696	4 435
	Angles	2,4	2 311	3 118	2 772	3 605	3 466	4 332	4 159	4 990	5 544	6 653
20	Courante	0,8	831	1 122	998	1 297	1 247	1 558	1 496	1 795	1 995	2 394
	Rives	1,6	1 662	2 245	1 995	2 594	2 494	3 117	2 992	3 590	3 990	4 789
	Angles	2,4	2 494	3 367	2 993	3 890	3 742	4 675	4 488	5 386	5 986	7 183
30	Courante	0,8	934	1 260	1 120	1 456	1 400	1 750	1 680	2 016	2 240	2 688
	Rives	1,6	1 867	2 520	2 240	2 912	2 800	3 501	3 360	4 032	4 480	5 376
	Angles	2,4	2 801	3 780	3 360	4 368	4 200	5 251	5 040	6 048	6 720	8 064
40	Courante	0,8	1 015	1 370	1 218	1 583	1 522	1 903	1 827	2 193	2 436	2 923
	Rives	1,6	2 030	2 741	2 437	3 166	3 045	3 806	3 654	4 386	4 872	5 846
	Angles	2,4	3 046	4 111	3 655	4 750	4 567	5 710	5 482	6 578	7 308	8 770

Annexe 4

Protocole des essais sur chantier en travaux de réfection pour la détermination de la résistance caractéristique à l'arrachement ($Pk_{réel}$ ou $Q_{réel}$) d'une fixation d'un isolant support de revêtement d'étanchéité de toiture

Objet de l'essai

Cet essai sert à confirmer le comportement et la charge ultime de résistance à l'arrachement jusqu'à défaillance d'une fixation. Cette valeur est ensuite divisée par un facteur de sécurité pour donner la charge d'arrachement admissible (théorique) pour le type de fixation en question dans le support spécifique utilisé dans un projet donné.

Équipement

L'appareillage d'essai utilisé pour les essais d'arrachement doit permettre une augmentation lente et continue de la charge contrôlée.

Bien qu'il existe de nombreuses variations, un banc d'essai d'arrachement de base doit comprendre (voir figure 1).

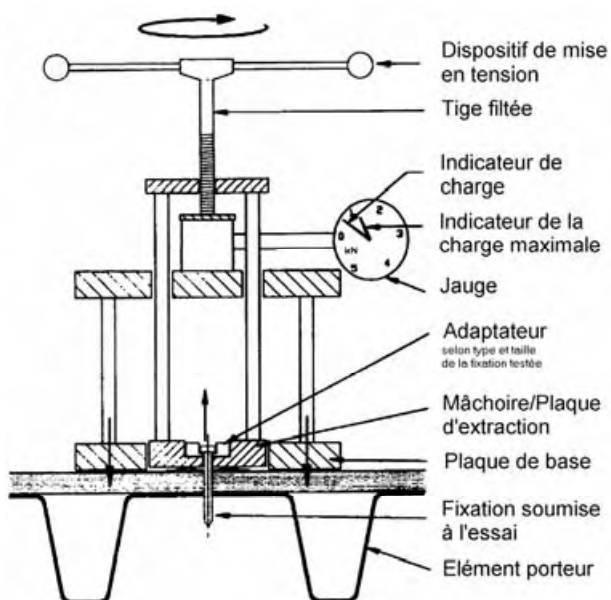


Figure 1 – Principe d'un essai d'arrachement sur chantier (exemple de la maçonnerie : poutres + dalle béton armé)

Plaque de base

Elle soutient l'unité à la surface de la toiture.

Sa surface doit être raisonnable. Sur maçonnerie (béton armé), l'empatement de l'appareil d'arrachement doit être tel que les points d'appui de l'appareil sur la structure porteuse soient éloignés de la fixation d'au moins 10 cm.

Plaque/mâchoire d'extraction

Cet ensemble se pose sous la tête de la fixation.

Vu le grand nombre de types différents de fixations, ce dispositif est souvent équipé de pièces interchangeables en fonction des différents diamètres des tiges ou des colliers filetés pour tester les goujons, etc.

Dispositif de mise en tension

Il s'agit généralement d'une poignée et d'une vis filetée en acier à haute tension.

Échelle de mesure / jauge

Il s'agit généralement d'un dispositif hydraulique qui mesure la force exercée par la vis de tensionnement. Le banc d'essai doit être étalonné fréquemment.

Méthode

L'essai de résistance à l'arrachement nécessite un dispositif présentant un espace suffisant sous la tête pour insérer la plaque d'extraction. Lorsque l'essai concerne un ouvrage nouveau ou un ouvrage réhabilité, comportant de nouvelles fixations mécaniques, on peut utiliser un dispositif enfoncé partiellement. Tous les matériaux de toiture (par exemple, feuille, isolant existant) qui peuvent avoir une influence sur les valeurs de l'arrachement doivent être retirés avant le début de l'essai. La fixation doit être installée selon la même méthode que celle utilisée pendant la construction (c'est-à-dire, profondeur d'installation, diamètre de l'orifice, outils d'installation).

Les essais sont effectués par zones différenciées susceptibles de conduire à des résultats homogènes (même activité dans le local sous-jacent, mêmes constitution et état de la toiture) ; un minimum de quinze échantillons par zone de toiture doit être réalisé. Les essais doivent être réalisés en divers endroits de la toiture, y compris dans les angles et sur les rives, pour être représentatifs des performances. Les emplacements des essais doivent permettre de réaliser au minimum 50 % des essais dans les angles et sur les rives.

Il est nécessaire de prévoir un schéma indiquant l'emplacement où seront réalisés les essais de résistance à l'arrachement.

Le nombre d'échantillons est normalement égal à 15. Il pourra toutefois être exceptionnellement porté à 25 ou même à 35 dans les cas suivants :

- le plus faible des 15 premiers résultats apparaît correspondre à une valeur anormalement basse⁽⁶⁾ ; le nombre de fixations est alors porté de 15 à 25 ;
- les deux plus faibles des 25 premiers résultats apparaissent correspondre à des valeurs anormalement basses : le nombre de fixations est alors porté de 25 à 35⁽⁷⁾.

À l'issue des essais d'arrachement, les trous réalisés dans ce support doivent être rebouchés.

6. On entend par anormalement basse, la valeur qui serait inférieure au tiers de la moyenne des autres résultats.

7. Si la moyenne des 35 résultats accusent plus de deux valeurs anormalement basses, la fixation est considérée comme non adaptée à la structure porteuse et ne peut être utilisée.

Procédure

- Choisir et déposer dans la plaque d'extraction l'adaptateur ou le collier convenant à l'ensemble à tester.
- Si l'on dispose de jauges différentes, choisir celle qui convient le mieux et régler sur zéro l'indicateur de charge maximale.
- Le banc d'essai est placé sur l'ensemble à tester et l'adaptateur de la plaque d'extraction est glissé dessous de façon à engager la tête de la fixation.
- La charge s'exerce sur la fixation en faisant tourner lentement la poignée de tensionnement. Les aiguilles indiquent la charge courante et la charge maximale. La charge s'exerce progressivement et on observe le comportement de l'aiguille jusqu'à ce que l'aiguille d'indication de la charge courante commence à retomber.
- L'indication de charge maximale reste à la position la plus élevée pour identifier la valeur d'arrachement maximale.
- La tension est progressivement diminuée et la plaque d'extraction est ramenée à sa position de départ, sans faire saillie, puis retirée de la fixation.

Traitement des résultats

La charge admissible d'arrachement est calculée à partir de la formule suivante :

$$F_{adm} = \frac{X}{\nu}$$

où :

- F_{adm} = charge admissible par fixation ;
 X = valeur moyenne arithmétique de tous les essais d'arrachement ;
 ν = facteur de sécurité ⁽⁸⁾ ;
2,5 pour planchers en bois et panneaux dérivés du bois ;
3,0 pour tous les planchers en maçonnerie et béton autoclavé (béton coulé, etc.).

Rapport d'essai

Les éléments suivants doivent figurer dans le rapport d'essais :

- informations relatives au chantier ;
- nom, qualité et société du responsable des essais et personnes présentes ;
- informations relatives à la fixation et à sa mise en œuvre :
 - appareil de forage,
 - diamètre de perçage,
 - profondeur ;
- informations relatives à l'appareillage d'essai ;
- informations relatives à l'appareillage d'essai ;
- informations relatives au matériau support ;
- résultats des essais (charges de ruine individuelles + type de ruine) ;
- interprétation des essais ;
- observations éventuelles ;
- validation ;
- de façon optionnelle :
 - photographies du matériau support, des chevilles essayées et des modes de ruine,
 - localisation de chacune des chevilles testées : par rapport à la partie courante, aux rives et aux angles,
 - signature (manuelle ou électronique) du rapport par la personne responsable.

8. Le Document Technique d'Application peut prévoir d'autres facteurs et/ou éléments porteurs.

Exemple de présentation d'un Rapport d'essai

Rapport d'essais	
Date :	Lieu :
Personnes présentes (nom de la société et nom de son représentant) :	
Nom du fournisseur des fixations :	
Descriptif du chantier :	
Nom :	
Adresse :	
Surface :	
Maître d'ouvrage :	
Descriptif précis des attelages de fixations et application :	
Type de l'élément de liaison :	Type de plaquette :
- diamètre en mm :	- épaisseur en mm :
- longueur en mm :	- dimensions (L x l ou Ø) en mm :
Application : définition du système	
Référence de la fiche technique de l'attelage (fiche à joindre) :	
Mode opératoire :	
Type de perceuse :	
Type et diamètre du foret (ou mèche) utilisé :	
Profondeur d'ancrage :	
Type de visseuse :	
Vitesse de rotation :	
Contrôle visuel de l'enfoncement de la plaquette :	
Dynamomètre de traction :	
Date du dernier étalonnage de l'appareil :	
Essais sur chantier (15 essais) :	
Position des essais sur la toiture (descriptif ou plan) :	
Nature et informations du matériau support existant :	

Résultats					
Essais n°	Charge de ruine individuelle (daN)	Type de rupture	Essais n°	Charge de ruine individuelle (daN)	Type de rupture
1			9		
2			10		
3			11		
4			12		
5			13		
6			14		
7			15		
8					

Valeur moyenne arithmétique, $X =$	daN	Écart type, $s =$	daN
Facteur de sécurité, $v =$			
$v = 2,5$ sur bois et panneaux dérivés, $v = 3$ pour tous les supports en maçonnerie et béton cellulaire autoclavé armé			
Charge admissible par fixation : $F_{adm} = \frac{X}{v} =$ daN			

Détermination de la résistance caractéristique à l'arrachement d'une fixation

1) Valeur moyenne arithmétique, $X = \left(\frac{\text{Somme des valeurs}}{\text{Nombre d'essais}} \right) =$ daN

2) Écart type = $\sqrt{\frac{(\text{Somme des écarts})^2}{\text{Nombre d'essais} - 1}} = \sqrt{\quad} =$ daN

Autres informations et commentaires

Nom et signature du responsable :

Annexe 5

Exemple d'application

1 Pression d'essai

L'exemple retient un système dont la dépression de rupture P_{essai} (100 % de la séquence précédant la rupture) est :

$$P_{\text{essai}} = 3\,805 \text{ Pa}$$

2 Coefficients correcteurs

Le coefficient statistique est :

$$C_s = 0,97$$

Le coefficient de sécurité est :

$$m = 1,2$$

3 Pression admissible

Elle est :

$$P_{\text{adm}} = \frac{P_{\text{essai}} \times C_s}{m}$$

soit $P_{\text{adm}} = 3\,075 \text{ Pa}$

Cas de systèmes collés/soudés

Dans le cas de systèmes collés/soudés, cette pression P_{adm} est comparée aux pressions de calcul (cf. annexe 2 ou 3) pour déterminer les cas où le système tel qu'essayé convient ou ne convient pas.

Cas des panneaux isolants fixés mécaniquement

Effort admissible par fixation : on retient l'hypothèse que le système comportait dans l'essai 4,2 fixations/m². L'effort admissible par fixation est alors :

$$W_{\text{adm}} = \frac{P_{\text{adm}}}{4,2} = 732 \text{ N/fixation}$$

Les pressions de calcul (cf. annexe 2 ou 3) sont divisées par cet effort admissible pour connaître le nombre minimal de fixations/m² avec une densité minimale de 4 (surface $\leq 1,2 \text{ m}^2$).

Il est convenu d'arrondir la densité à l'unité supérieure dès que le premier chiffre après l'unité est 1, l'espacement au chiffre entier inférieur.

4 Présentation des conditions d'emploi des panneaux isolants de surface $\leq 1,2 \text{ m}^2$ fixés mécaniquement par la densité des fixations

*Travaux neufs - Tôles d'acier nervurées - Bâtiment fermé
Versants plans - h = 20 m - Zone 2
site normal (cf. tableau 1.1)*

Position	P calcul (N/m ²)	Nombre de fixations	
		calculé	requis
Partie courante	1 247	1,70	4
Rives	2 120	2,90	4
Angles	2 993	4,09	4

*Travaux neufs - Tôles d'acier nervurées - Bâtiment ouvert
Versants plans - h = 20 m - Zone 3
site exposé (cf. tableau 1.2)*

Position	P calcul (N/m ²)	Nombre de fixations	
		calculé	requis
Partie courante	2 922	3,99	4
Rives	3 896	5,32	6
Angles	5 649	7,72	8

*Réfection - Tôles d'acier nervurées - Bâtiment fermé
Versants plans - h = 10 m - Zone 1
site normal (cf. tableau 1.3)*

Position	P calcul (N/m ²)	Nombre de fixations	
		calculé	requis
Partie courante	613	0,84	4
Rives	1 225	1,67	4
Angles	1 838	2,51	4

5 Adaptation des conditions d'emploi à un nouveau système (cas de panneaux isolants fixés mécaniquement)

Soit un bâtiment fermé - neuf - à versants plans - de hauteur 20 m au faîtage - situé en Zone de vent 4 site normal selon Règles V 65 avec modificatif n° 2.

Le système de référence est :

- support TAN $e_{sr} = 0,75$ mm ;
- vis autoperceuse $\varnothing 4,8$ et plaquette $\varnothing 70$ mm \times 0,75 mm de $Pk_{ft} = 154$ daN ;
- $Wadm_{sr} = 99$ daN/fixation.

La densité de fixations D_{sr} est donnée par le Document Technique d'Application du procédé d'isolation, par exemple :

- partie courante = $4/m^2$;
- rives = $6/m^2$;
- angles = $8/m^2$.

Le chantier propose le système suivant :

- support béton cellulaire autoclavé armé $\rho_{ns} = 600$ kg/m³ ;
- vis métallique inoxydable à pas spécial et plaquette $\varnothing 90$ mm \times 1 mm de $Pk_{ft} = 111$ daN pour $\rho_{ft} = 500$ kg/m³ ;

En se reportant au *paragraphe 4.5* et au *tableau 4*, on vérifie que :

- l'élément de liaison proposé convient pour le béton cellulaire et offre une résistance à la corrosion adaptée ;
- la plaquette du nouveau système a des dimensions supérieures à celle du système de référence ;
- $\rho_{ns} \geq \rho_{ft}$;
- $Pk_{ns} = 111$ daN est supérieur à 90 daN.

En conséquence :

- $R_{ns} = 0,9 \times 111 = 100$ daN.

Selon application du *paragraphe 4,1* :

$$Wadm_{ns} = \left(\frac{100}{154} \right) \times Wadm_{sr} = \left(\frac{100}{154} \right) \times 99$$

ce qui donne :

$$Wadm_{ns} = 64 \text{ daN}$$

et

$$D_{ns} = \frac{\text{Pression de vent}}{Wadm_{ns}}$$

pour chaque zone et site de vent, hauteur du bâtiment et emplacement en partie courante, rive ou angle de la toiture, avec les conventions suivantes :

- $D_{ns} \geq 4$ fixations par panneau ;
- D_{ns} est exprimé par valeurs entières, l'arrondi à l'unité supérieure se faisant à partir de X,1 inclus :

$$(4,09 \rightarrow 4 \text{ et } 4,10 \rightarrow 5)$$

En se reportant au *tableau 1.3*, on obtient :

Partie courante :

$$D_{ns} = \frac{1309}{640} = 2,05 \quad \text{soit } D_{ns} = 4 \text{ fixations/m}^2$$

En rive :

$$D_{ns} = \frac{2618}{640} = 4,09 \quad \text{soit } D_{ns} = 4 \text{ fixations/m}^2$$

En angle :

$$D_{ns} = \frac{3927}{640} = 6,14 \quad \text{soit } D_{ns} = 7 \text{ fixations/m}^2$$