

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe spécialisé n° 5

Toitures, couvertures, étanchéités

Résistance au vent des systèmes d'étanchéité de toitures fixés mécaniquement

**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 la livraison des *Cahiers du CSTB*, cahier 3229, livraison 410 de juin 2000.

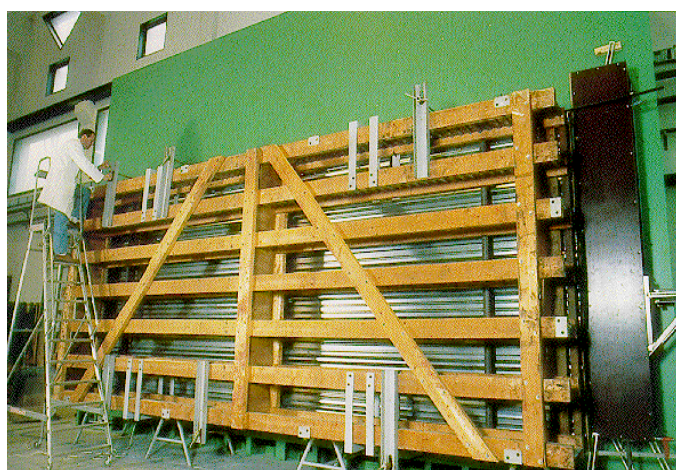


Photo de couverture :
Préparation d'une maquette pour l'essai au caisson des vents

Résistance au vent
des systèmes d'étanchéité de toitures
fixés mécaniquement

SOMMAIRE

1. Objet	4	6. Prescriptions concernant la description des fixations.....	10
2. Documents de référence	4	6.1 Généralités	10
3. Calcul de la dépression due au vent	4	6.2 En travaux neufs	10
3.1 Domaine d'application	4	Annexe 1 - Conditions d'emploi en fonction de la classe d'hygrométrie des locaux	11
3.2 Pressions de calcul et coefficients associés.....	4	Annexe 2 - Dépressions de calcul N/m² (Pa) calculées dans le cas de versants plans	12
4. Performance des revêtements apparents fixés mécaniquement	6	Annexe 3 - Dépressions de calcul N/m² (Pa) calculées dans le cas de versants courbes	13
4.1 Mode d'évaluation	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 complexe d'étanchéité de toiture	14
4.2 Effort admissible	6	Annexe 5 - Exemple d'application	18
4.3 Nombre minimal de fixations pour résister à la dépression due au vent.....	6	Annexe 6 - Action de la température	20
4.4 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. Prescriptions concernant les matériaux des revêtements fixés mécaniquement.....	10		
5.1 Généralités	10		
5.2 En travaux neufs	10		
5.3 En réfection	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 des systèmes d'étanchéité fixés mécaniquement en ce qui concerne la résistance au vent de ces ouvrages intégrant ces systèmes.

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.

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 P10-203 (réf. DTU 20.12).

Les conditions d'emploi des revêtements d'étanchéité 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 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 » (*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 polyoléfin flexibles (FPO) non armés, armés et/ou sous-facés » de décembre 2001 (*e-Cahier du CSTB* 3541 de janvier 2006).
- « 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).
- « Classement FIT des étanchéités de toitures » de septembre 1989 (*Cahier du CSTB* 2358 de septembre 1989).
- « Règles de calcul V 65 » ⁽¹⁾.

1. 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. 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 ;
- élancement courant, pour lequel le coefficient de forme prescrit par les Règles V 65 (chapitre III, article 2.12) est $\gamma_0 = 1$;
- hauteur du bâtiment au-dessus du sol : 10 - 15 - 20 m ⁽²⁾ 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.

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.

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

- des fixations complémentaires en milieu de lés disposées comme les fixations de recouvrement à chaque plage ; 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.

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	$2 C_e$	Sur une largeur de 1 m
	C_e	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	$C_i + C_e$	
Rives	$C_i + 2 C_e$	2
Angles	$C_i + 3 C_e$	3

4. Performance des revêtements apparents fixés mécaniquement

4.1 Mode d'évaluation

L'évaluation est expérimentale. L'essai de référence est celui décrit par le « Guide d'agrément technique européen n° 006 » § 5.1.4.1. La construction de l'éprouvette est définie dans ce paragraphe.

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

La charge admissible d'aptitude à l'usage par fixation est déterminée à partir de la formule :

$$W_{adm} = \frac{W_{test} \times C_a \times C_d}{\gamma_m}$$

conformément aux dispositions de l'ETAG n° 006 ⁽³⁾.

4.2 Effort admissible

Le Document Technique d'Application fera apparaître le W_{adm} de l'Agrément Technique Européen, et indiquera la méthode de calcul pour le $W_{adm_{sr}}$.

Calcul - 1^{er} Cas

Le coefficient de température C_T n'a pas été évalué par le demandeur du Document Technique d'Application, ou ce coefficient C_T est inférieur à 0,8 (cf. *annexe 6*).

Dans ce cas, l'effort admissible par fixation du système de référence, $W_{adm_{sr}}$ est :

$$W_{adm_{sr}} = W_{adm}$$

Calcul - 2^{ème} Cas

Le coefficient de température C_T a été préalablement évalué par le demandeur du Document Technique d'Application, et ce coefficient C_T est au moins égal à 0,8.

La pression admissible vaut pour le système soumis à l'essai, pour son aptitude à l'emploi prenant en compte l'action de la température à l'aide des coefficients correcteurs suivants :

– coefficient de température C_T déterminé selon la norme NF EN 12310-1, aux températures – 10 °C, 23 °C et 40 °C (cf. *annexe 6*) ;

– coefficient de correction m :

pris égal à 0,8 pour les types de rupture de variance connue tels que :

- rupture d'ancrage vis/élément porteur,
- rupture entre vis et plaquette métallique,
- torsion de la plaquette métallique,
- déchirure du revêtement autour de la plaquette pour les fixations en pleine feuille,
- déchirure du revêtement autour des fixations en lisière ;

à évaluer spécifiquement lors de l'instruction du Document Technique d'Application pour les types de rupture de variante inconnue tels que :

- délaminage des joints dans le cas des fixations en lisière,

- autres : déchirure de revêtement en dehors des fixations, ...

Dans ce cas, l'effort admissible par fixation du système de référence, $W_{adm_{sr}}$ est :

$$W_{adm_{sr}} = \frac{W_{adm} \times C_T}{m}$$

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

Les pressions de calcul (voir *annexe 2* ou *3*) sont divisées par l'effort admissible pour connaître le nombre minimal de fixations/m² (avec une densité minimale de 3) ou l'espacement entre fixations dans chaque rangée (compte tenu de la largeur utile des feuilles).

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

4.4.1 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.

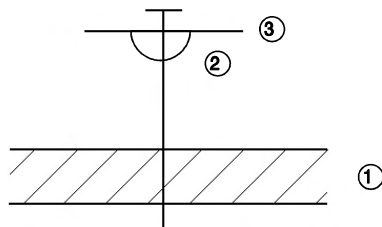
Cet essai ne peut pas être envisagé pour tous les systèmes rencontrés dans la pratique : éléments porteurs en tôles pleines, perforées ou crevées, bois et panneaux dérivés du bois, maçonnerie, béton cellulaire autoclavé armé, fixations par vis de type ou diamètres divers, rivets, densités de fixations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

L'objet du présent paragraphe est de définir dans quelles conditions l'effort de calcul (effort et charge admissibles) à retenir par fixation résultant de l'essai au vent de référence 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 (s'il fait partie du kit ⁽⁴⁾) ou le revêtement étanchéité restant le même.

4.4.2 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 ;

3. La charge admissible W_{adm} est donnée par l'Agrément Technique Européen du système.

4. Les isolants éventuels d'un kit sont indiqués dans l'Agrément Technique Européen du système.

- 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 Ø 5 mm au plus, ou crevées, d'épaisseur e_{ft} - e_{ns} et de nuance d'acier A_{ft} - A_{ns} ;
 - du bois ou des panneaux dérivés du bois, d'épaisseur e_{ft} - e_{ns} 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_{ft} - ρ_{ns} ;
 - du béton de granulats lourds caractérisé par sa classe de résistance à la compression CR_{ft} - CR_{ns} ;
- 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 déterminée à partir :

- de la résistance à l'arrachement de la fixation R_{oc} mesurée selon le paragraphe 5.3.4.1 de l'ETAG n° 006 ⁽⁵⁾ :

$$P_k = R_{oc} - 2 \times \text{écart type}^{(6)}$$

- dans le cas de réfection (sauf sur TAN), à partir de la charge admissible d'arrachement F_{adm} déterminée sur chantier, selon l'annexe 4 ⁽⁷⁾ :

$$P_k = F_{adm}$$

Les attelages de fixations sont donnés dans l'Agrément Technique Européen du système. 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 et sa capacité à résister au desserrage selon l'ETAG n° 006.

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 E27-815, ou selon l'annexe 4 dans le cas de réfection ($Q = F_{adm}$).

Les attelages de fixations sont donnés dans l'Agrément Technique Européen du système. 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 ;

5. Une valeur plus faible de P_k peut également être revendiquée par le fabricant ou par le fournisseur de la fixation.

6. Il s'agit de l'écart type de l'essai de charge axiale réalisée conformément au § 5.3.4.1 de l'ETAG n° 006, pris en compte pour la délivrance de l'Agrément Technique Européen du système.

7. Le protocole des essais de résistance sur chantier décrit en annexe 4 correspond à celui de l'annexe D de l'ETAG n° 006 complété.

- 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.

4.4.3 Règles générales

4.4.3.1 Domaine de validité des adaptations

- Densité de fixations $D_{ns} \geq 3$ fixations/m².
- Espacement E entre axes des fixations d'une même rangée $\geq 0,18$ m ⁽⁸⁾.
- Dans le cas de tôles d'acier nervurées :
 - l'espacement E entre axes des fixations est ≤ 2 fois l'entraxe des nervures des tôles,
 - les lignes de fixation sont perpendiculaires aux nervures ⁽⁹⁾.

4.4.3.2 Exigences concernant les plaquettes de répartition des fixations définies dans l'Agrément Technique Européen

Il est rappelé que, en conformité avec les normes NF P84 série 200 (réf. DTU série 43) :

- les plaquettes sont protégées contre la corrosion ;
- l'épaisseur minimale des plaquettes métalliques est de ⁽¹⁰⁾ :
 - 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 en acier sont admises avec leur $P_{k_{ft}}$,
- l'épaisseur et la nuance d'acier sont \geq à celles de référence,
- les dimensions respectent les conditions du tableau ci-dessous.

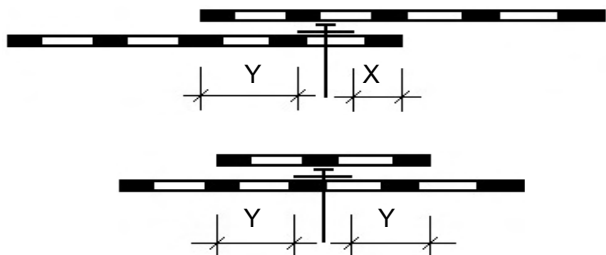
Plaquettes « sr »	Plaquettes « ns »	
	rondes	carrées, rectangulaires ou oblongues
Rondes : Ø essai	Ø \geq Ø essai	Largeur et longueur \geq Ø essai
Carrées, rectangulaires ou oblongues	Ø \geq diagonale de la plaquette essayée	Dimensions \geq celles essayées et disposées dans le même sens

8. L'espacement minimum de 18 cm concerne notamment les TAN conformes à la norme NF P84-207 (réf. DTU 43.3). Dans le cas de TAN à ouverture haute de nervure > 70 mm, un espacement restreint jusqu'à 12 cm pourrait être revendiqué ; le Document Technique d'Application du revêtement indiquera dans ce cas l'espacement minimum requis.

9. Une conception avec les lignes de fixations parallèles aux nervures nécessite des dispositions complémentaires pour le choix des tôles d'acier nervurées ; notamment, un essai « au caisson de vent » propre au système doit être joint à la demande du Document Technique d'Application du revêtement. Le Document Technique d'Application précise les dispositions à prévoir dans le cas où les lignes de fixations sont prévues parallèles aux nervures.

10. D'autres épaisseurs définies dans l'Agrément Technique Européen peuvent être revendiquées.

- les recouvrements entre feuilles d'étanchéité sont adaptés pour respecter les valeurs x et y (largeur en débord et largeur de recouvrement au-delà de la plaquette) prescrites pour le revêtement.



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

4.4.3.3.1 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 décrit au § 5.3.7.1 de l'ETAG n° 006 ;
- 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'attelage complet ⁽³⁾ sur locaux à faible et moyenne hygrométrie ⁽²⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	Acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾
Résistance à la corrosion de l'attelage complet ⁽³⁾ sur locaux à forte hygrométrie ⁽²⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾
Pk minimal (daN)	90	90	90	90	09	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 P84-206 (réf. DTU 43.3) avec clou acier et corps de rivet et entretoise alu.

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 déboulonnage 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. 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.

4.4.3.3.2 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 décrit au § 5.3.7.1 de l'ETAG n° 006 ;
- 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'attelage complet ⁽³⁾ sur locaux à faible et moyenne hygrométrie ⁽²⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	Acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾
Résistance à la corrosion de l'attelage complet ⁽³⁾ sur locaux à forte hygrométrie ⁽²⁾	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	15 cycles avec surface rouille $\leq 15\%$ ⁽⁹⁾ ou acier inoxydable austénitique ⁽¹⁰⁾
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 P84-206 (réf. DTU 43.3) avec clou acier et corps de rivet et entretoise alu.
2. Classes d'hygrométrie selon les normes NF P84 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 de l'annexe 4 (selon l'annexe D de l'ETAG n° 006) :
– 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 déboulonnage 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. 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.

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

4.4.4.1 Cas où la ruine du système de référence s'est produite au niveau de l'ancrage de la fixation dans l'élément porteur ou de l'assemblage plaque/élément de liaison

- La valeur R_{ns} à retenir est donnée par le tableau 4 en travaux neufs ou le tableau 5 en réfection.
- La valeur Pk_{sr} (résistance caractéristique du système de fixation utilisé dans l'essai de référence) est donnée par la fiche technique de la fixation.
- La valeur admissible $Wadm_{sr}$ des fixations dans le système de référence est donnée par le Document Technique d'Application du procédé.

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.

4.4.4.2 Autres cas de ruine du système de référence

Les autres modes de ruine seront étudiés au cas par cas lors de l'instruction de la demande du Document Technique d'Application.

5. Prescriptions concernant les matériaux des revêtements fixés mécaniquement

5.1 Généralités

Il est rappelé que les systèmes et kits de feuilles souples d'étanchéité fixées mécaniquement doivent être marqués CE conformément à l'arrêté du 24 avril 2001 ⁽¹¹⁾.

À ce titre, les feuilles d'étanchéité revendiquées dans le Document Technique d'Application doivent être choisies parmi celles citées dans l'Agrément Technique Européen du système.

5.2 En travaux neufs

Indépendamment de leur évaluation générale selon les Guides UEAtc, relatifs aux revêtements d'étanchéités, général et spécifiques, les revêtements fixés mécaniquement devront répondre aux conditions suivantes ⁽¹²⁾ :

a) Revêtements en bitume modifié :

- bicouches, la 1^{ère} couche étant fixée mécaniquement :

- épaisseur totale : 5,0 mm – 0,
- résistance au poinçonnement statique : ≥ 15 kg (L3),

– monocouches :

- épaisseur : $> 4,0$ mm – 5 %,
- résistance au poinçonnement statique : ≥ 25 kg (L4) ;

b) Revêtements en PVC-P :

toutes les membranes seront armées. Elles auront les caractéristiques ci-après suivant le type d'armature :

– armature grille polyester :

- épaisseur : $\geq 1,2$ mm (– 0,1 mm),
- rupture à la traction : ≥ 65 daN/50mm,
- résistance au poinçonnement statique : ≥ 25 kg (L4),

– armature voile de verre :

- épaisseur : $\geq 1,5$ mm (– 0,1 mm),
- rupture à la traction : ≥ 65 daN/50mm,
- résistance au poinçonnement statique : ≥ 25 kg (L4).

c) Autres revêtements PIB, TPO, EPDM etc. : les membranes seront évaluées au cas par cas.

5.3 En réfection

Il n'y a pas d'exigences *a priori*.

Les systèmes seront traités au cas par cas lors de l'instruction de la demande du Document Technique d'Application, en référence à la norme NF P84-208 (réf. DTU 43.5).

6. Prescriptions concernant la description des fixations

6.1 Généralités

Il est rappelé que les systèmes et kits de feuilles souples d'étanchéité fixées mécaniquement doivent être marqués CE conformément à l'arrêté du 24 avril 2001 ⁽¹³⁾.

À ce titre, les attelages de fixation mécanique revendiqués dans le Document Technique d'Application doivent être choisis parmi ceux cités dans l'Agrément Technique Européen du système.

6.2 En travaux neufs

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

11. Arrêté du 24 avril 2001 (JORF du 5 mai 2001).

12. D'autres caractéristiques définies dans l'Agrément Technique Européen peuvent être revendiquées.

13. Arrêté du 24 avril 2001 (JORF du 5 mai 2001).

Annexe 1

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

- des revêtements d'étanchéité fixés mécaniquement

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 complexe d'étanchéité de toiture

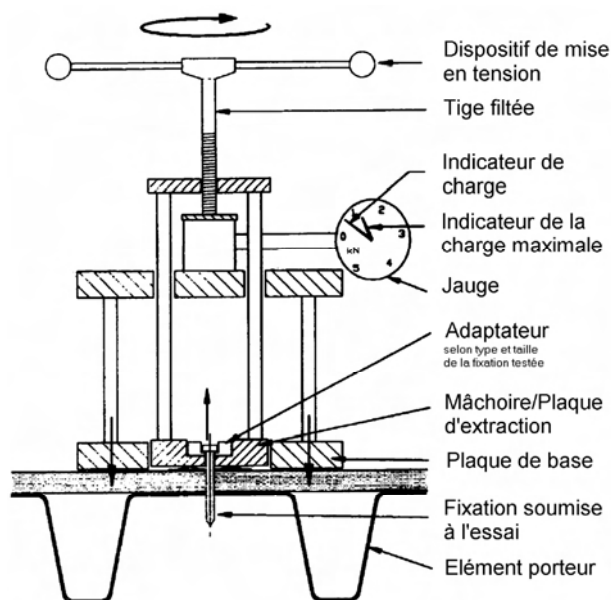
Objet de l'essai

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'empattement 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 (¹⁴) ; 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 (¹⁵).

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

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

15. 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 :

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

où :

F_{adm} = charge admissible par fixation ;

X = valeur moyenne arithmétique de tous les essais d'arrachement ;

v = facteur de sécurité ⁽¹⁶⁾ ;

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.

16. L'Agrément Technique Européen et le Document Technique d'Application peuvent prévoir d'autres facteurs et/ou éléments porteurs.

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 : - diamètre en mm : - longueur en mm : Application : définition du système Référence de la fiche technique de l'attelage (fiche à joindre) :	Type de plaquette : - épaisseur en mm : - dimensions (L x l ou Ø) en mm :
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, $\bar{X} =$	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 : $F_{adm} = \frac{\bar{X}}{v} =$ daN			

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

1) Valeur moyenne arithmétique, $\bar{X} = \left(\frac{\text{Somme des valeurs}}{\text{Nombre d'essais}} \right) =$ 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 l'Agrément Technique Européen donne la charge admissible par fixation d'aptitude à l'usage Wadm suivante :

$$Wadm = 415 \text{ N/fixation}$$

2. Coefficients correcteurs

Le coefficient de température C_T dépend du matériau de revêtement. Les matériaux connus présentent des coefficients C_T variant de 1 à 0,5.

L'exemple retient :

$$C_T = 0,82$$

Le coefficient de correction, pour un type de rupture de variance connue, sera :

$$m = 0,8$$

3. Effort admissible par fixation

Il est :

$$Wadm_{sr} = \frac{Wadm \times C_T}{m}$$

soit $Wadm_{sr} = 425 \text{ N/fixation}$

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 3, ou l'espacement entre fixations dans chaque rangée, compte tenu de la largeur utile des feuilles.

Il est convenu d'arrondir, pour l'espacement entre fixations, au chiffre entier inférieur (par exemple : < 26 ---> 25).

4. Présentation des conditions d'emploi des systèmes d'étanchéité 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	2,93	3
Rives	2 120	4,99	5
Angles	2 993	7,04	7 (*)
* Cette densité conduirait à des espacements des fixations beaucoup trop faibles. En pratique, on adoptera des espacements plus grands (par exemple en rapprochant les rangées : doublement ou triplement des rangées et espacements deux ou trois fois plus grands).			

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	6,87	7 (*)
Rives	3 896	9,16	10 (*)
Angles	5 649	13,29	14 (**)
* Cette densité conduirait à des espacements des fixations beaucoup trop faibles. En pratique, on adoptera des espacements plus grands (par exemple en rapprochant les rangées : doublement ou triplement des rangées et espacements deux ou trois fois plus grands). ** Cet espacement inférieur à 18 cm nécessite une évaluation spécifique dans le Document Technique d'Application (cf. le renvoi 8 en bas de page 7).			

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	1,44	3
Rives	1 225	2,88	3
Angles	1 838	4,32	5

5. Présentation des conditions d'emploi des systèmes d'étanchéité fixés mécaniquement par l'écartement E (cm) maximal entre fixations

Dans chaque rangée, pour une largeur utile de feuilles de 0,90 m.

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	37,8	37
Rives	2 120	22,2	22
Angles	2 993	15,8	15 (*)
* Cet espacement inférieur à 18 cm nécessite une évaluation spécifique dans le Document Technique d'Application (cf. le renvoi 8 en bas de page 7).			

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	16,1	16 (*)
Rives	3 896	12,1	12 (*)
Angles	5 649	8,3	8 (**)

* Cet espacement inférieur à 18 cm nécessite une évaluation spécifique dans le Document Technique d'Application (cf. le renvoi 8 en bas de page 7).

** Cet écartement est irréaliste. En pratique, on adoptera des espacements plus grands (par exemple en rapprochant les rangées : doublement ou triplement des rangées et espacements deux ou trois fois plus grands).

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	77,0	37
Rives	1 225	38,5	37
Angles	1 838	25,6	25

6. Adaptation des conditions d'emploi à un nouveau système (cas d'un revêtement d'étanchéité fixé 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 conforme à la norme NF P84-206 (réf. DTU 43.3) $e_{sr} = 0,75$ mm,
- vis autoperceuse Ø 4,8 et plaquette 40 × 40 × 0,8 de $Pk_{ft} = 154$ daN,
- $Wadm_{sr} = 65$ daN.

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

- partie courante = 4/m²
- rives = 6/m²
- angles = 8/m²

Le chantier propose le système suivant :

- support béton cellulaire autoclavé armé $\rho_{ns} = 600$ kg/m³
- vis métallique inoxydable à pas spécial et plaquette 80 × 40 × 1 de $Pk_{ft} = 111$ daN pour $\rho_{ft} = 500$ kg/m³ ⁽¹⁷⁾,

En se reportant au paragraphe 4.4 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,
- $\rho_{ns} \geq \rho_{sr}$,
- $Pk_{ns} = 111$ daN est supérieur à 90 daN.

En conséquence :

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

Selon application du paragraphe 4.1 :

$$Wadm_{ns} = \left(\frac{100}{154} \right) \times Wadm_{sr} = \left(\frac{100}{154} \right) \times 65$$

ce qui donne :

$$Wadm_{ns} = 42 \text{ daN}$$

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 :

- $D_{ns} \geq 3$
- D_{ns} est exprimé par valeurs entières, l'arrondi à l'unité supérieure se faisant à partir de X,1 inclus :

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

- D_{ns} est tel que l'espacement entre fixations dans la rangée ≥ 18 cm.

En se reportant au tableau 1.3, on obtient :

Partie courante :

$$D_{ns} = \frac{1\,309}{420} = 3,12 \text{ soit } D_{ns} = 4 \text{ fixations/m}^2$$

En rive :

$$D_{ns} = \frac{2\,618}{420} = 6,23 \text{ soit } D_{ns} = 7 \text{ fixations/m}^2$$

En angle :

$$D_{ns} = \frac{3\,927}{420} = 9,35 \text{ soit } D_{ns} = 10 \text{ fixations/m}^2$$

17. Le nouvel attelage de fixation doit être nommément cité dans l'Agrément Technique Européen du système.

Annexe 6

Action de la température

1. Essai standard

Les systèmes d'étanchéité de toitures doivent résister sans détérioration à des températures allant de - 20 °C à + 80 °C ⁽¹⁸⁾ susceptibles de se produire à la surface des toitures et à des alternances brusques de température de l'ordre de 60 °C. Cependant, les charges maximales dues au vent ne se produisent qu'à des températures modérées (- 10 °C à + 40 °C). L'action de la température sur la résistance à l'arrachement sous l'action du vent des revêtements d'étanchéité de toiture fixés mécaniquement est prise en considération par un facteur de correction C_T .

En règle générale, le facteur de correction C_T est déterminé par des essais standard de résistance à la déchirure au clou sur le revêtement étanchéité conformes à la norme NF EN 12310-1. L'essai doit être réalisé dans les deux directions (machine et travers) ; la valeur C_T à retenir correspondra à la valeur la moins élevée obtenue dans chaque sens (L × T). Par dérogation à la méthode d'essai décrite dans la norme, la distance entre le trou à forer et le bord de l'éprouvette devrait correspondre à la distance que le titulaire du Document Technique d'Application prévoit pour son système de fixation entre la fixation et le bord inférieur du lé. Dans le cas de membranes avec armature en tissu, le trou est à forer entre les fils. Les éprouvettes sont préalablement conditionnées pendant 6 heures à la température de l'essai. Les essais sont à réaliser à :

$$v - 10\text{ °C} = (-10 \pm 2)\text{ °C},$$

$$v\ 23\text{ °C} = (23 \pm 2)\text{ °C},$$

$$\text{et } v\ 40\text{ °C} = (40 \pm 2)\text{ °C}.$$

À partir des valeurs déterminées, on évalue les facteurs de correction suivants :

$$C_{T1} = \frac{D(v\ 40\text{ °C})}{D(v\ 23\text{ °C})} \leq 1,0$$

et

$$C_{T2} = \frac{D(v - 10\text{ °C})}{D(v\ 23\text{ °C})} \leq 1,0$$

C'est le plus petit des deux facteurs de correction qui doit être pris en considération pour l'action de la température. La valeur maximale du facteur de correction C_T doit être de 1,0.

2. Essais complémentaires

Si le titulaire du Document Technique d'Application le désire, on peut effectuer des essais sur le système d'étanchéité de toiture complet pour une détermination plus précise du comportement aux températures chaudes. Les dimensions minimales de la maquette pour cet essai doivent être de 2 m × 1 m. Si la structure porteuse est constituée de tôles d'acier à profil trapézoïdal, les 2,0 m doivent être pris dans le sens de la portée. La fixation à tester est à disposer parallèlement au côté court dans la partie centrale. La charge est appliquée à l'aide d'un caisson à vide. La surface du système étanchéité de toiture peut être échauffée à l'aide d'un radiateur aux rayons infrarouges. Les essais sont à réaliser à $v = (23 \pm 5)\text{ °C}$ (essai témoin) et $v = (40 \pm 5)\text{ °C}$ sous charge cyclique. Chaque cycle comprend 500 cycles de charge conformément au diagramme charge-temps de la figure 3 de l'ETAG n° 006.

Pendant le premier cycle, la pression dans le caisson à vide doit être réglée de façon à obtenir une charge de calcul de 300 N/fixation. Pour chaque cycle suivant, la charge de calcul est augmentée de 100 N par fixation. Le rapport entre la charge maximale (cycle de charge avant la défaillance) à $v = 23\text{ °C}$ et la charge maximale (cycle de charge au moment de la défaillance) à $v = 40\text{ °C}$ est obtenu par le facteur de correction C_{T1} :

$$C_{T1} = \frac{W_{\text{temp.}}(v\ 40\text{ °C})}{W_{\text{temp.}}(v\ 23\text{ °C})} \leq 1,0$$

Cette même démarche peut être appliquée pour la détermination plus précise du comportement aux températures froides avec l'évaluation de C_{T2} :

$$C_{T2} = \frac{W_{\text{temp.}}(v - 10\text{ °C})}{W_{\text{temp.}}(v\ 23\text{ °C})} \leq 1,0$$

18. Ces températures peuvent être portées à - 30 °C et à + 80 °C dans le cas de climats très froids. Le Document Technique d'Application le mentionnera.