

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe Spécialisé n° 5 « Toitures, couvertures, étanchéités »

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, dans les départements européens

Cahier des Prescriptions Techniques communes minimales pour la conception et la réalisation de toitures avec isolation sur ces éléments porteurs

Le Document Technique d'Application du panneau isolant non porteur support d'étanchéité précise les domaines d'emploi acceptés qui peuvent intégrer les cas cités dans la suite du présent Cahier des Prescriptions Techniques.

Ces dispositions peuvent être complétées par des dispositions spécifiques prévues par le Document Technique d'Application qui prévalent alors.

Ce document constitue une version consolidée de l'*e-cahier* 3537 publié en décembre 2005 dans les e-Cahiers du CSTB.

La présente version a été entérinée par le Groupe Spécialisé n° 5 le 29 septembre 2008. Elle annule et remplace l'*e-cahier* 3537

Page 2 non imprimée

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

© CSTB 2009

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, dans les départements européens

Cahier des Prescriptions Techniques communes minimales pour la conception et la réalisation de toitures avec isolation sur ces éléments porteurs

SOMMAIRE

1	Avant-propos	3	ANNEXE 1 - Dépressions de calcul N/m^2 (Pa) calculées au vent normal corrigé pour l'élément porteur TAN	6
2	Objet - Domaine d'application	3	ANNEXE 2 - Dépressions de calcul N/m^2 (Pa) calculées au vent extrême corrigé pour les fixations des TAN sur l'ossature	7
3	Domaine d'emploi	3	ANNEXE 3 - Détermination des portées utiles des tôles d'acier nervurées	9
4	Éléments porteurs en tôles d'acier nervurées ...	3	ANNEXE 4 - Essais sous charges statiques concentrées des panneaux isolants sur les parties en porte-à-faux	20
4.1	Tôles d'acier nervurées	3	ANNEXE 5 - Application simplifiée des Règles V 65 pour les questions relatives au vent	22
4.2	Choix des tôles nervurées et de leur épaisseur en fonction des charges et des portées	3		
4.3	Calcul de la dépression due au vent	4		
4.4	Choix des fixations à l'ossature	4		
4.5	Fixations de couture	4		
5	Panneaux isolants non porteurs	5		
6	Revêtement d'étanchéité	5		
7	Incidence sur les EEP	5		



1 Avant-propos

Il existe des éléments porteurs en tôles d'acier nervurées (TAN), dits « à grandes portées », avec des ouvertures hautes de nervures supérieures à 70 mm, non visés par le NF DTU 43.3 P1.

Dans l'attente d'une révision du NF DTU 43.3, qui intégrerait les dispositions techniques spécifiques aux conditions d'emploi de ces TAN, il est apparu indispensable de procéder à la rédaction d'un guide de prescriptions minimales pour la conception et la réalisation de telles toitures.

2 Objet - Domaine d'application

Le présent document a pour objet de définir les règles minimales de conception et de mise en œuvre des toitures avec éléments porteurs en tôles d'acier nervurées d'ouverture haute de nervure > 70 mm (et ≤ 200 mm), et des panneaux isolants mis en œuvre sur ces éléments porteurs et servant de support à un revêtement d'étanchéité titulaire d'un Document Technique d'Application⁽¹⁾.

Le respect de ces règles est vérifié par le Groupe Spécialisé lors de l'instruction des Documents Techniques d'Application concernant les panneaux isolants non porteurs.

Sauf dispositions contraires ou complémentaires clairement énoncées dans le présent document, l'ensemble des dispositions du NF DTU 43.3 doit être respecté.

Certaines de ces dispositions particulièrement importantes sont reprises dans le présent document.

3 Domaine d'emploi

Ce CPT commun vise les Documents Techniques d'Application de panneaux isolants non porteurs, supports d'étanchéité, qui revendiquent l'emploi sur TAN à ouverture haute de nervure > 70 mm, dans les conditions climatiques de la France européenne et hors climat de montagne.

Le domaine d'emploi du présent Cahier de Prescriptions Techniques commune est celui du NF DTU 43.3 P1, auquel s'ajoutent les éléments porteurs en tôles d'acier nervurées d'ouverture haute de nervure (Ohn) > 70 mm, en dérogation au *paragraphe 3.1.4.1* du NF DTU 43.3 P1-2.

4 Éléments porteurs en tôles d'acier nervurées

4.1 Tôles d'acier nervurées

4.1.1 Matériau de base de l'ouvrage

Les tôles d'acier sont conformes aux *paragraphes 3.1.1 à 3.1.3* du NF DTU 43.3 P1-2.

4.1.2 Géométrie

Voir *figure 1*

- Dans le cas de TAN dont la profondeur des nervures principales h est supérieure à 60 mm :
 - l'ouverture haute de nervure Ohn répondra aux exigences dimensionnelles suivantes :

$$Ohn \leq 1,3 h \quad \text{et} \quad Ohn \leq 200 \text{ mm}$$

1. Ou Avis Technique dans la suite du présent document.

- la largeur du fond de nervure f_n répondra à l'exigence : $15 \text{ mm} \leq f_n \leq 45 \text{ mm}$;
 - la nervure emboîtante comporte une remontée de 15 mm au minimum ;
 - la nervure emboîtée comporte un bord plat de largeur $\geq 1/2 f_n + 5 \text{ mm}$, avec un minimum de 15 mm.
- Dans le cas de TAN dont la profondeur des nervures principales h est inférieure ou égale à 60 mm, toutes les cotes des tôles sont conformes à l'exigence du NF DTU 43.3 P1, à l'exception de l'ouverture haute de nervure Ohn , qui n'excèdera toutefois pas 75 mm.
 - Les tolérances sur les hauteurs de nervures sont :
 - $h < 100 \text{ mm}$: $\pm 1,25 \text{ mm}$,
 - $h \geq 100 \text{ mm}$: $\pm 1,50 \text{ mm}$.

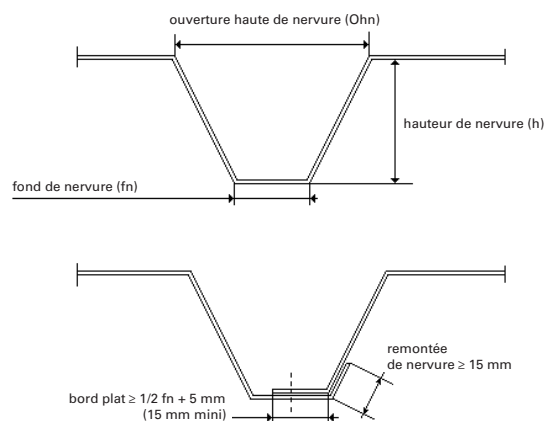


Figure 1 – Dimensions des nervures

4.2 Choix des tôles nervurées et de leur épaisseur en fonction des charges et des portées

Les TAN sont vérifiées conformément à l'*annexe 3* du présent CPT commun, sous charges descendantes et sous charges ascendantes, en résistance et flexibilité.

Elles font l'objet d'une fiche technique présentant les performances sous charges descendantes et ascendantes, validée par une tierce partie indépendante (contrôleur technique par exemple).

Les portées limites utiles des tôles d'acier nervurées sont définies conformément aux dispositions figurant dans l'*annexe A* du NF DTU 43.3 P1-2, en respectant tous les critères définis au *paragraphe 6.2.2* du NF DTU 43.3 P1-1 et notamment, les critères de flèche spécifiques au cas particuliers des grandes portées (*paragraphe 6.2.2.1.2.2*).

En application de la norme NF P 34-503, les largeurs d'appui des tôles sur l'appareillage d'essai seront de 60 mm, pour la caractérisation sous charges descendantes.

Les fiches techniques d'identification mentionnent, en indication technique complémentaire à celles requises par le NF DTU 43.3, cette largeur d'appui de 60 mm.

Un essai complémentaire avec une largeur d'appui différente de 60 mm peut être réalisé pour répondre à des configurations particulières de chantier.

La fiche technique d'identification est alors rédigée en faisant figurer clairement cette largeur d'appui minimale compatible avec les tableaux de charge.

Sous charges ascendantes, la largeur d'appui lors des essais n'est pas un critère dimensionnant.

Dans le cas d'appuis en béton, seule la largeur de l'insert est à prendre en compte comme largeur utile de l'appui, l'entraxe des appuis étant l'entraxe des inserts.

Les porte-à-faux sont autorisés dans les mêmes limites que celles du NF DTU 43.3 (1/10 de la portée, limités à 0,30 m), avec un couturage de la partie en porte-à-faux à 10 cm environ de l'extrémité de la tôle.

Comme dans le NF DTU 43.3, dans le cas d'appuis en béton, le porte-à-faux est compté à partir du nu extérieur de la panne et non de l'insert.

4.3 Calcul de la dépression due au vent

L'ensemble du domaine envisagé par les Règles V 65 est considéré et le calcul au cas par cas reste toujours possible en conformité avec ces Règles. Pour les applications courantes, la démarche simplifiée de l'annexe 5 permet de traiter les domaines suivants : bâtiments à versants plans ou à versants courbes avec nervures des TAN parallèles à la génératrice de la toiture, de hauteur inférieure ou égale à 20 m et d'élancement (λ) inférieur ou égal à 2,5.

4.4 Choix des fixations à l'ossature

Les règles simplifiées du paragraphe 6.2.4 du NF DTU 43.3 P1-1 ne sont plus applicables.

• Fixations avec plaquettes de répartition

Il est mis en œuvre au moins une fixation par nervure et par appui, avec une plaquette de répartition 30 mm × 15 mm × 1,5 mm, conforme au tableau 7 du paragraphe 5.1.1.2 du NF DTU 43.3 P1-2, en plus des éventuelles collerettes incorporées.

La vérification de la résistance des fixations est effectuée, à partir des dépressions de vent en partie courante et en rives (la rive est ici considérée à partir d'un vent perpendiculaire aux génératrices de la toiture), comme suit :

$$1,25 \times L \times \{s_{\text{ext}} - (g + p)\} \times e = R_c / \gamma_m$$

où :

- L est la portée des tôles d'acier nervurées (entraxe des appuis), en m ;
- s_{ext} est la dépression due au vent extrême (selon Règles V 65 avec modificatif n° 2 de décembre 1999), en partie courante et en rives (vent perpendiculaire aux génératrices), en daN/m² ;
- g est le poids propre des TAN, en daN/m² ;

Tableau 1

		Conditions d'essais des TAN en charge ascendante	
		TAN essayées avec plaquettes	TAN essayées sans plaquette
Conditions d'exécution sur chantier	Avec plaquettes	Support acier > 3 mm : $\gamma_m = 1,20$	Support acier > 3 mm : $\gamma_m = 1,20$
		Support acier $\geq 1,5$ mm et ≤ 3 mm, bois : $\gamma_m = 1,35$	Support acier $\geq 1,5$ mm et ≤ 3 mm, bois : $\gamma_m = 1,35$
	Sans plaquette	non autorisé	Support acier > 3 mm : $\gamma_m = 1,50$
		non autorisé	Support acier $\geq 1,5$ mm et ≤ 3 mm, bois : $\gamma_m = 2,50^{(1)}$
Les plaquettes de répartition sont conformes au NF DTU 43.3 P1-2. 1. Valeur forfaitaire dans l'attente de la révision du NF DTU 43.3, qui intégrera les TAN de grandes Ohn.			

- p est la charge permanente (isolant + étanchéité + protection éventuelle), en daN/m² ;
- e est l'entraxe des nervures, en m ;
- R_c est la résistance caractéristique de l'assemblage (élément porteur + tôle + fixation) en daN, obtenue par essais conformes à la norme NF P 30-314 (2) ;
- γ_m est le coefficient de matériau, dont la valeur varie en fonction de la nature de l'élément porteur :
- $\gamma_m = 1,20$ dans l'élément porteur acier d'épaisseur > 3 mm,
- $\gamma_m = 1,35$ dans l'élément porteur acier d'épaisseur $\geq 1,5$ mm et ≤ 3 mm, et dans le bois.

Note : les fiches techniques des fixations ou les DPM peuvent fixer des valeurs supérieures pour le coefficient γ_m .

• Fixation sans plaquette de répartition

La fixation sans plaquette n'est possible que si la fiche technique de la tôle d'acier nervurée a été établie sans plaquette.

Les fixations sont conformes au tableau 7 du paragraphe 5.1.1.2 de la norme NF DTU 43.3 P1-2.

La vérification de la résistance des fixations et assemblages est effectuée de la même façon que dans le cas précédent, mais avec un coefficient de matériau γ_m majoré.

Ce coefficient sera dans tous les cas au minimum :

- $\gamma_m = 1,50$ dans élément porteur acier d'épaisseur > 3 mm ;
- $\gamma_m = 2,50$ dans élément porteur acier d'épaisseur $\geq 1,5$ mm et ≤ 3 mm, et dans le bois.

Note : ces valeurs de γ_m sont plus élevées dans le cas des fixations sans plaquettes pour prendre en compte la fatigue résultant des efforts dynamiques exercés sur l'assemblage.

• Synthèse

Le coefficient γ_m pour les différentes configurations possibles est donné par le tableau 1.

4.5 Fixations de couture

Les fixations de couture sont espacées de 0,75 m environ.

2. La définition de la résistance mécanique R_c de la fixation doit tenir compte de sa mise en œuvre dans une tôle perforée ou crevée en nervure.

5 Panneaux isolants non porteurs

L'isolant est mis en œuvre conformément aux dispositions du *paragraphe 6.4* du NF DTU 43.3 P1-1.

Le Document Technique d'Application de l'isolant précisera les surfaces de contact minimales nécessaires entre les plages des TAN et l'isolant, et les géométries de TAN compatibles.

Pour l'instruction d'un dossier de demande d'un Document Technique d'Application le demandeur devra réaliser une campagne d'essais de charges statiques concentrées. Elle sera réalisée selon l'*annexe 4* pour les parties en porte-à-faux revendiquées.

Les ouvertures hautes de nervure (Ohn) compatibles avec chaque épaisseur de panneau sont indiquées dans le Document Technique d'Application, ces Ohn sont déterminées à partir :

- de la caractéristique spécifiée de charge statique concentrée de rupture en porte-à-faux ;
- du retour d'expérience des chantiers réalisés ;
- du domaine d'emploi des panneaux.

La charge statique concentrée de rupture en porte-à-faux des panneaux est indiquée au Dossier Technique, en newton (N), en valeur déclarée par le fabricant (VDF) accompagnée d'une tolérance déclarée ou d'une valeur limite annoncée par le fabricant (VLF).

Lorsqu'il existe un sens de pose privilégié des panneaux, une identification faciale permet leur repérage sur site.

Le Dossier Technique donne les spécifications particulières concernant les fixations, notamment en termes de répartition, dès lors que les spécifications générales du NF DTU 43.3 ne sont plus adaptées.

Le demandeur précisera les procédures d'autocontrôle et leur fréquence, justifiant de la constance des performances.

6 Revêtement d'étanchéité

Le revêtement d'étanchéité est mis en œuvre conformément à son Document Technique d'Application.

Le respect de la densité de fixations résultant du calcul dans les principes et règles sont définis dans le Document Technique d'Application du revêtement conduira alors, si nécessaire, à réduire la distance entre rangées de fixations (soit largeur réduite de lés, soit avec des rangées complémentaires de fixations).

7 Incidence sur les EEP

Il est rappelé que les dispositions du NF DTU 43.3 s'appliquent.

Ceci entraîne notamment, dans le cas des noues à pente nulle avec tôles parallèles à la noue, de respecter le *paragraphe E.2.2.3.4.2* du NF DTU 43.3 P1-1, c'est-à-dire lorsque la portée est supérieure à 3,50 m :

- de positionner une EEP en « milieu » de chaque portée, que le dispositif d'évacuation soit gravitaire ou dépressionnaire ;
- de mettre en œuvre un chevêtre pour supporter l'EEP, cela quelque soit la dimension du passage de l'EEP.

ANNEXE 1

Dépressions de calcul N/m² (Pa) calculées au vent normal corrigé pour l'élément porteur TAN

(suivant Règles V 65 avec modificatif n° 2)

Tableau 1.1 – Versants plans - Travaux neufs - bâtiments fermés ($\mu \leq 5\%$)

Hauteur (m)	Position	c_p	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante rives	1,05	467	631	561	729	701	876	841	1 009
12	Courante rives	1,05	487	657	584	759	730	913	876	1 051
15	Courante rives	1,05	514	694	617	802	771	964	925	1 110
18	Courante rives	1,05	539	728	647	841	809	1 011	970	1 165
20	Courante rives	1,05	555	749	666	866	832	1 040	999	1 198

Tableau 1.2 – Versants plans - Travaux neufs - Bâtiments ouverts ($\mu \geq 35\%$)

Hauteur (m)	Position	c_p	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante rives	1,55	690	931	828	1 076	1 035	1 293	1 242	1 490
12	Courante rives	1,55	718	970	862	1 121	1 078	1 347	1 293	1 552
15	Courante rives	1,55	759	1 024	910	1 184	1 138	1 423	1 366	1 639
18	Courante rives	1,55	796	1 074	955	1 242	1 194	1 492	1 433	1 719
20	Courante rives	1,55	819	1 106	983	1 278	1 229	1 536	1 474	1 769

Tableau 1.3 – Versants courbes - Travaux neufs - bâtiments fermés ($\mu \leq 5\%$)

Hauteur (m)	Position	c_p	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante rives	1,4	623	841	748	972	935	1 168	1 121	1 346
12	Courante rives	1,4	649	876	779	1 012	973	1 217	1 168	1 402
15	Courante rives	1,4	685	925	822	1 069	1 028	1 285	1 234	1 480
18	Courante rives	1,4	719	970	863	1 121	1 078	1 348	1 294	1 553
20	Courante rives	1,4	740	999	888	1 154	1 110	1 387	1 332	1 598

Tableau 1.4 – Versants courbes - Travaux neufs - Bâtiments ouverts ($\mu \geq 35\%$)

Hauteur (m)	Position	c_p	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante rives	1,9	846	1 141	1 015	1 319	1 268	1 585	1 522	1 826
12	Courante rives	1,9	881	1 189	1 057	1 374	1 321	1 651	1 585	1 902
15	Courante rives	1,9	930	1 256	1 116	1 451	1 395	1 744	1 674	2 009
18	Courante rives	1,9	976	1 317	1 171	1 522	1 463	1 829	1 756	2 107
20	Courante rives	1,9	1 004	1 355	1 205	1 566	1 506	1 883	1 807	2 169

ANNEXE 2

Dépressions de calcul N/m² (Pa) calculées au vent extrême corrigé pour les fixations des TAN sur l'ossature

(suivant Règles V 65 avec modificatif n° 2)

Tableau 2.1 – Versants plans - Travaux neufs - bâtiments fermés ($\mu \leq 5\%$)

Hauteur (m)	Position	c_p	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	1	779	1 051	935	1 215	1 168	1 460	1 402	1 682
	Rives	1,7	1 324	1 787	1 589	2 065	1 986	2 482	2 383	2 860
12	Courante	1	811	1 095	973	1 265	1 217	1 521	1 460	1 752
	Rives	1,7	1 379	1 862	1 655	2 151	2 069	2 586	2 482	2 979
15	Courante	1	857	1 156	1 028	1 336	1 285	1 606	1 542	1 850
	Rives	1,7	1 456	1 966	1 748	2 272	2 184	2 730	2 621	3 146
18	Courante	1	899	1 213	1 078	1 402	1 348	1 685	1 617	1 941
	Rives	1,7	1 528	2 062	1 833	2 383	2 291	2 864	2 750	3 300
20	Courante	1	925	1 248	1 110	1 443	1 387	1 734	1 665	1 997
	Rives	1,7	1 572	2 122	1 887	2 452	2 358	2 948	2 830	3 396

Tableau 2.2 – Versants plans - Travaux neufs - bâtiments ouverts ($\mu \geq 35\%$)

Hauteur (m)	Position	c_p	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	1,5	1 168	1 577	1 402	1 822	1 752	2 190	2 103	2 523
	Rives	2	1 558	2 103	1 869	2 430	2 336	2 920	2 804	3 364
12	Courante	1,5	1 217	1 643	1 460	1 898	1 825	2 281	2 190	2 628
	Rives	2	1 622	2 190	1 947	2 531	2 434	3 042	2 920	3 504
15	Courante	1,5	1 285	1 735	1 542	2 005	1 927	2 409	2 313	2 775
	Rives	2	1 713	2 313	2 056	2 673	2 570	3 212	3 084	3 701
18	Courante	1,5	1 348	1 820	1 617	2 103	2 022	2 527	2 426	2 911
	Rives	2	1 797	2 426	2 157	2 804	2 696	3 370	3 235	3 882
20	Courante	1,5	1 387	1 873	1 665	2 164	2 081	2 601	2 497	2 996
	Rives	2	1 850	2 497	2 219	2 885	2 774	3 468	3 329	3 995

Tableau 2.3 – Versants courbes - Travaux neufs - bâtiments fermés ($\mu \leq 5\%$)

Hauteur (m)	Position	c_p	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	1,1	857	1156	1 028	1 336	1 285	1 606	1 542	1 850
	Rives	1,9	1 480	1997	1 776	2 308	2 219	2 774	2 663	3 196
12	Courante	1,1	892	1 205	1 071	1 392	1 338	1 673	1 606	1 927
	Rives	1,9	1 541	2 081	1 850	2 404	2 312	2 890	2 774	3 329
15	Courante	1,1	942	1 272	1 131	1 470	1 413	1 767	1 696	2 035
	Rives	1,9	1 628	2 197	1 953	2 539	2 441	3 052	2 930	3 516
18	Courante	1,1	988	1 334	1 186	1 542	1 483	1 853	1 779	2 135
	Rives	1,9	1 707	2 305	2 049	2 663	2 561	3 201	3 073	3 688
20	Courante	1,1	1 017	1 373	1 221	1 587	1 526	1 907	1 831	2 197
	Rives	1,9	1 757	2 372	2 108	2 741	2 636	3 294	3 163	3 795

Tableau 2.4 – Versants courbes - Travaux neufs - bâtiments ouverts ($\mu \geq 35\%$)

Hauteur (m)	Position	c_p	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
			normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé	normal	exposé
10	Courante	1,6	1 246	1 682	1 495	1 944	1 869	2 336	2 243	2 691
	Rives	2	1 558	2 103	1 869	2 430	2 336	2 920	2 804	3 364
12	Courante	1,6	1 298	1 752	1 558	2 025	1 947	2 434	2 336	2 804
	Rives	2	1 622	2 190	1 947	2 531	2 434	3 042	2 920	3 504
15	Courante	1,6	1 371	1 850	1 645	2 138	2 056	2 570	2 467	2 960
	Rives	2	1 713	2 313	2 056	2 673	2 570	3 212	3 084	3 701
18	Courante	1,6	1 438	1 941	1 725	2 243	2 157	2 696	2 588	3 105
	Rives	2	1 797	2 426	2 157	2 804	2 696	3 370	3 235	3 882
20	Courante	1,6	1 480	1 997	1 776	2 308	2 219	2 774	2 663	3 196
	Rives	2	1 850	2 497	2 219	2 885	2 774	3 468	3 329	3 995

ANNEXE 3

Détermination des portées utiles des tôles d'acier nervurées

I Généralités

La présente annexe a pour objet de définir les conditions de détermination des portées à partir d'essais.

Les performances des tôles d'acier nervurées ainsi déterminées sont considérées aux états limites.

Note : il est rappelé que dans le cas de la participation des tôles d'acier nervurées à la stabilité d'ensemble ou locale de l'ossature, des dispositions complémentaires doivent être définies.

II Exécution des essais de flexion

II.1 Modalités

Elles sont définies dans la norme NF P 34-503 « Plaques profilées en tôles d'acier revêtues ou non et panneaux - Essais de flexion sous charges linéaires et/ou sous charges concentrées ».

Dans les essais de chargement réparti sur 3 appuis, il est recommandé de mesurer les flèches résiduelles, si possible jusqu'à la ruine de la maquette.

II.2 Programme d'essais de flexion

Ce paragraphe définit le type et le nombre minimal d'essais à réaliser.

Des essais complémentaires peuvent être réalisés afin de préciser ou de compléter le domaine d'emploi des plaques nervurées (essais sur portées intermédiaires, essais sur portées réduites, essais avec différentes largeurs d'appui, essais avec différents types de fixations, ...).

La démarche rationnelle pour la conduite des essais est définie comme suit.

II.2.1 Essai de charge concentrée

Les modalités d'essai sont précisées dans les paragraphes 8.1.2 et 8.4.3.1 de la norme NF P 34-503.

L'essai consiste à déterminer expérimentalement la portée maximale sur deux appuis d'une tôle d'acier nervurée pour laquelle la ruine survient sous une charge concentrée supérieure ou égale à 200 daN.

II.2.2 Essai sous charge répartie descendante sur deux ou trois appuis

Les modalités d'essai sont précisées dans le paragraphe 8.4.1 de la norme NF P 34-503.

Les quatre essais à réaliser au minimum sont indiqués dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 – Codification des essais de flexion sous charge répartie descendante

Nombre d'appuis	Grande portée Ldg	Petite portée Ldp
2	D1	D2
3	D3	D4

Compte tenu du poids du système de transmission des charges, il est recommandé d'envisager une grande portée d'essai correspondant à une charge d'utilisation d'au moins 75 daN/m².

Il est par ailleurs recommandé de choisir la petite portée d'essai *Ldp* pour une charge d'utilisation envisageable de l'ordre de 200 daN/m² (minimum 175 daN/m²).

II.2.3 Essai sous charge répartie ascendante sur deux ou trois appuis

Les modalités d'essai sont précisées dans le paragraphe 8.4.2 de la norme NF P 34-503.

Chaque nervure principale des TAN est fixée sur chaque appui.

Les quatre essais à réaliser au minimum sont indiqués dans le tableau 3.2 ci-dessous.

Tableau 3.2 – Codification des essais de flexion sous charge répartie ascendante

Nombre d'appuis	Grande portée Lag	Petite portée Lap
2	A1	A2
3	A3	A4

Compte tenu du poids du système de transmission des charges, il est recommandé d'envisager une grande portée d'essai correspondant à une charge d'utilisation d'au moins 50 daN/m².

Il est par ailleurs recommandé de choisir la petite portée d'essai *Lap* pour une charge d'utilisation envisageable de l'ordre de 150 daN/m² (minimum 125 daN/m²).

III Interprétation des résultats des essais de flexion

III.1 Résultat des essais

III.1.1 Généralités

L'interprétation qui suit est valable pour une famille d'essais :

- une géométrie de profil, les profils perforés constituent une autre géométrie ;
- une épaisseur donnée de tôle d'acier nervurée ;
- une largeur d'appui donnée ;
- présence ou absence de plaquettes de répartitions 30 mm × 15 mm × 1,5 mm.

III.1.2 Essai de charge concentrée

Cet essai donne la portée maximale non corrigée des tôles, indépendamment des performances sous chargement réparti.

La charge de ruine est notée *C* pour une portée *Lc*, elle doit être supérieure ou égale à 200 daN.

III.1.3 Essai sous charge répartie

III.1.3.1 Correction des graphiques charges / flèches

Le bombement éventuel des éléments avant mise en charge peut introduire un décalage des graphiques charge-déformation par rapport à l'origine des coordonnées (charges en ordonnées, flèches en abscisse).

La correction est effectuée en prenant, pour origine réelle des charges, l'intersection de la droite représentative de la variation des flèches avec l'axe des ordonnées.

Cette correction n'est pas applicable à la charge de ruine, celle-ci étant indépendante de la mesure des déformations.

III.1.3.2 Détermination de la déformation permanente

La déformation permanente est déterminée à partir de la méthode des tangentes, soit à partir du dernier point avant la ruine en l'absence d'inflexion sévère du graphique charge / déformation, soit à partir du point de la première inflexion sévère du graphique charge / déformation.

III.2 Interprétation des résultats des essais

III.2.1 Principes

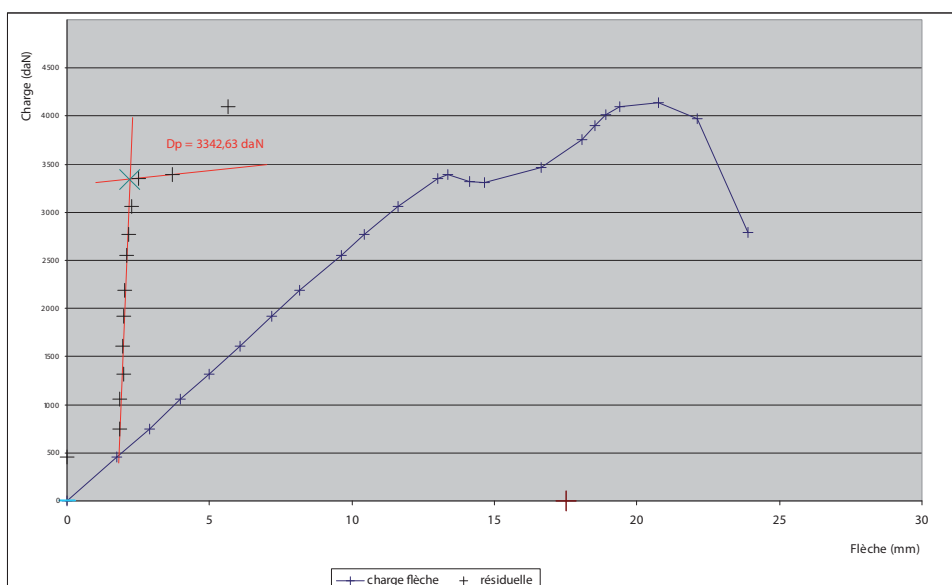
À partir de chaque essai, on détermine les valeurs :

- des moments d'inertie sous charge répartie ;
- des moments de flexion correspondant soit à la ruine en travée des profils, soit au critère d'apparition de déformation permanente sur appui intermédiaire.

Ensuite, essai par essai, les valeurs ci-dessus sont corrigées afin de tenir compte des écarts entre épaisseur et limite d'élasticité des tôles effectivement testées et les valeurs nominales de ces mêmes épaisseurs et limite d'élasticité en fabrication courante.

Enfin, pour chaque cas de chargement, on détermine les valeurs de calcul :

- des moments d'inertie sous charge répartie ;
- des moments de flexion.



Exemple type de courbe en 3 appuis avec TAN dite « à grande portée »

III.1.3.3 Charges

Pour chaque essai réalisé, les charges figurant dans le tableau 3.3 ci-dessous sont relevées.

Tableau 3.3 – Codification des charges relevées lors des essais de flexion sous charges réparties

Sens de chargement	Nombre d'appuis	Repère	Portée (m)	Charges (daN/m ²)		
				Flèche L/200	Ruine	Déformation permanente
Essais sous charge descendante	2	D1	Ldg ₁	U _{2D1}	R _{2D1}	/
		D2	Ldp ₁	U _{2D2}	R _{2D2}	/
	3	D3	Ldg ₂	U _{3D3}	R _{3D3}	D _{3D3}
		D4	Ldp ₂	U _{3D4}	R _{3D4}	D _{3D4}
Essais sous charge ascendante	2	A1	Lag ₁	U _{2A1}	R _{2A1}	/
		A2	Lap ₁	U _{2A2}	R _{2A2}	/
	3	A3	Lag ₂	U _{3A3}	R _{3A3}	D _{3A3}
		A4	Lap ₂	U _{3A4}	R _{3A4}	D _{3A4}

Note : les poids propres des maquettes doivent être inclus aux valeurs des charges de ruine (R) et de déformation permanente (D).

III.2.2 Corrections en fonction des épaisseurs et des limites d'élasticité

Soit :

- t_n : épaisseur nominale de la tôle d'acier galvanisée ;
- t_e : épaisseur moyenne de la tôle d'acier galvanisée mesurée sur chaque maquette ;
- f_y : limite d'élasticité minimale garantie ;
- f_{ye} : limite d'élasticité moyenne mesurée sur chaque maquette ;
- γ_t : coefficient ayant les valeurs suivantes, selon la tolérance sur épaisseur des tôles d'acier galvanisées (P 34-310) :
 - tolérance normale (N) : 0,90 ;
 - tolérance décalée (D) : 0,96.

On procède essai par essai aux corrections en multipliant les moments d'inertie et moments de flexion calculés par les facteurs ci-dessous :

a) Moments d'inertie :

$$\beta_i = \gamma_t \times \left(\frac{t_n}{t_e} \right)$$

b) Moment de flexion sous chargement réparti :

$$\beta_m = \gamma_t \times \left(\frac{t_n}{t_e} \right) \times \left(\frac{f_y}{f_{ye}} \right)$$

c) Moment de flexion sous charge concentrée :

$$\beta_c = \left(\frac{t_n}{t_e} \right) \times \left(\frac{f_y}{f_{ye}} \right)$$

III.2.3 Valeurs de calcul

Pour les tôles d'acier nervurées, il y a lieu de déterminer les valeurs de calcul suivantes.

III.2.3.1 Moment de flexion sous charge concentrée

À partir de l'essai de charge concentrée, on détermine un moment de flexion comme suit :

$$M_c = \beta_c \times \frac{C \times L_c}{4}$$

III.2.3.2 Moments d'inertie conventionnels

À partir des essais sur deux et trois appuis, on définit les moments d'inertie conventionnels suivants.

a) Action des charges descendantes :

- travée simple (au minimum essais D1 et D2)

$$I_{d2} = \left(\frac{5}{384} \right) \times \left(\frac{1}{E} \right) \times \left(\frac{1}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{ij} \times \frac{U_{Dj} \times L_{dj}^4}{f_{dj}} \right]$$

- travée double (au minimum essais D3 et D4)

$$I_{d3} = \left(\frac{1}{192} \right) \times \left(\frac{1}{E} \right) \times \left(\frac{1}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{ij} \times \frac{U_{Dj} \times L_{dj}^4}{f_{dj}} \right]$$

- autres cas de continuité

$$I_{dm} = \frac{(I_{d2} + I_{d3})}{2}$$

Avec :

- n : nombre d'essais pris en compte ;
- E : module de Young : 210 000 N/mm² ;
- U_{Dj} : charge obtenue lors de l'essai considéré sous charge descendante ;
- L_{dj} : portée de l'essai considéré sous charge descendante ;
- f_{dj} : flèche pour la charge U_{Dj} à la portée L_{dj} .

b) Action des charges ascendantes :

- travée simple (au minimum essais A1 et A2)

$$I_{a2} = \left(\frac{5}{384} \right) \times \left(\frac{1}{E} \right) \times \left(\frac{1}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{ij} \times \frac{U_{Aj} \times L_{aj}^4}{f_{aj}} \right]$$

- travée double (au minimum essais A3 et A4)

$$I_{a3} = \left(\frac{1}{192} \right) \times \left(\frac{1}{E} \right) \times \left(\frac{1}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{ij} \times \frac{U_{Aj} \times L_{aj}^4}{f_{aj}} \right]$$

- autres cas de continuité

$$I_{am} = \frac{(I_{a2} + I_{a3})}{2}$$

Avec :

- U_{Aj} : charge obtenue lors de l'essai considéré sous charge ascendante ;
- L_{aj} : portée de l'essai considéré sous charge ascendante ;
- f_{aj} : flèche pour la charge U_{Aj} à la portée L_{aj} .

III.2.3.3 Moment de flexion

À partir des essais sur deux et trois appuis, on définit les moments de flexion qui suivent.

a) Action des charges descendantes :

- travée simple (au minimum essais D1 et D2)

$$M_{d2T} = \left(\frac{0,9}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{mj} \times \frac{R_{Dj} \times L_{dj}^2}{8} \right]$$

- travées multiples (au minimum essais D3 et D4)

$$M_{d3T} = \left(\frac{0,9}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{mj} \times \frac{R_{Dj} \times L_{dj}^2}{8} \right]$$

$$M_{d3A} = \left(\frac{0,9}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{mj} \times \frac{D_{Dj} \times L_{dj}^2}{8} \right]$$

b) Action des charges ascendantes :

- travée simple (au minimum essais A1 et A2)

$$M_{a2T} = \left(\frac{0,9}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{mj} \times \beta_{rj} \times \frac{R_{Aj} \times L_{aj}^2}{8} \right]$$

- travées multiples (au minimum essais A3 et A4)

$$M_{a3T} = \left(\frac{0,9}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{mj} \times \beta_{rj} \times \frac{R_{Aj} \times L_{aj}^2}{8} \right]$$

$$M_{a3A} = \left(\frac{0,9}{n} \right) \times \sum \left[\beta_{mj} \times \beta_{rj} \times \frac{D_{Aj} \times L_{aj}^2}{8} \right]$$

Avec :

β_{rj} : coefficient dépendant du mode de ruine :

- ruine du profil : 1 ;
- ruine d'assemblage : 0,625.

IV Interpolations et extrapolations

IV.1 En termes de charge

Les valeurs de calcul sont extrapolables pour des charges inférieures à celles obtenues après exploitation des essais.

Pour des charges supérieures à celles obtenues après exploitation des essais et en l'absence d'essais complémentaires, les valeurs de calcul des moments de flexion sont extrapolables de manière inversement proportionnelle aux charges considérées.

IV.2 En termes de portée

Les valeurs de calcul sont extrapolables pour des portées supérieures à celles de l'essai.

Pour des portées inférieures à celles de l'essai et en l'absence d'essais complémentaires, les valeurs de calcul des moments de flexion sont extrapolables de manière proportionnelle aux portées.

IV.3 En termes d'épaisseur

Les valeurs de calcul sont interpolables par simple proportionnalité des épaisseurs nominales de l'essai.

Les valeurs de calcul sont extrapolables :

- pour les épaisseurs nominales supérieures, par simple proportionnalité du rapport des épaisseurs nominales ;
- pour les épaisseurs nominales inférieures, par simple proportionnalité des épaisseurs nominales, dans la limite d'un écart de 10 % et à condition que la limite d'élasticité minimale (f_{ye}) de calcul soit accrue dans le même rapport, conformément aux principes du *paragraphe III.2.2*.

IV.4 En termes de critère de flèche

Les moments d'inertie restent valables pour des critères de flèche plus sévères que ceux considérés aux essais.

IV.5 En termes de largeur d'appui

Les valeurs de calcul restent valables pour des largeurs d'appui supérieures à celle de l'essai.

Les valeurs de calcul, sous l'effet des charges ascendantes, restent valables pour des largeurs d'appui inférieures à celle de l'essai.

Les valeurs de calcul, sous l'effet des charges descendantes ne sont pas extrapolables pour des largeurs d'appui inférieures à celle de l'essai.

V Exploitations des essais - Principes de vérification des tôles d'acier nervurées

V.1 Généralités

On trouvera ci-après de manière exhaustive les contrôles à mener pour la vérification des tôles d'acier nervurées.

Les principaux symboles utilisés pour les charges sont donnés dans le *tableau 3.4* ci-dessous.

Tableau 3.4 – Symboles et valeurs des charges

Symbole	Signification	Valeurs proposées
Q	Charge concentrée	Tolérance normale sur épaisseur : 175 daN Tolérance décalée sur épaisseur : 160 daN
g	Poids propre des tôles	En daN/m ² - masse × 0,98
p	Charges permanentes	En daN/m ²
F	Charge linéaire de montage	200 daN/m
q	Charge répartie de montage	100 daN/m ²
s	Charge d'exploitation descendante (aussi appelée surcharge)	En daN/m ² , la plus élevée de : - la charge d'entretien - la charge de neige
d	Charge ascendante	En daN/m ² - effets du vent normal

Les valeurs de calcul issues des essais, pour une épaisseur donnée, un type d'assemblage et une largeur d'appui, sont récapitulées dans le *tableau 3.5* ci-dessous.

Tableau 3.5 – Rappel des valeurs de calcul issues des essais

Type d'essai	Moment d'inertie	Moment en travée	Moment sur appui
Deux appuis charge concentrée	/	M_c	/
Deux appuis charges descendantes	I_{d2}	M_{d2T}	/
Trois appuis charges descendantes	I_{d3}	$M_{d3T}^{(1)}$	$M_{d3A}^{(2)}$
Deux appuis charges ascendantes	I_{a2}	M_{a2T}	/
Trois appuis charges ascendantes	I_{a3}	$M_{a3T}^{(1)}$	$M_{a3A}^{(2)}$
1. Correspond à la ruine dans l'une des deux travées après plastification sur appui intermédiaire. 2. Correspond au critère de bifurcation des flèches résiduelles (tangentes à la courbe), cf. <i>paragraphe III.1.3.2</i> .			

Pour chaque profil, la fiche technique devra indiquer les éléments présentés par le *tableau 3.6* ci-dessous

Tableau 3.6 – Présentation des valeurs de calcul pour chaque profil

Valeurs de calcul valables pour le profil :							
Nuance d'acier :		Largeur d'appui mini :			Épaisseurs		
Tolérance sur épaisseur :		Plaquettes de répartition :			t1	t2	t3
Masse surfacique (kg/m ²) :				m			
Action des charges descendantes	Moments d'inertie cm ⁴ /ml	Travée simple		I_{d2}			
		Deux travées égales		I_{d3}			
		Continuité		I_{dm}			
	Moments de flexion daNm/ml	En travée	Système élastique	M_{d2T}			
			Système élasto-plastique	M_{d3T}			
		Sur appui		M_{d3A}			
		Sous charge concentrée		M_c			
Action des charges ascendantes	Moments d'inertie cm ⁴ /ml	Travée simple		I_{a2}			
		Deux travées égales		I_{a3}			
		Continuité		I_{am}			
	Moments de flexion daNm/ml	En travée	Système élastique	M_{a2T}			
			Système élasto-plastique	M_{a3T}			
		Sur appui		M_{a3A}			

V.2 Travée simple

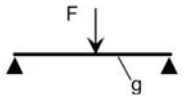
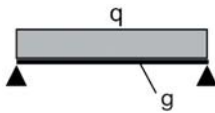
V.2.1 Action des charges descendantes

V.2.1.1 Sécurité à la pose - Situation exceptionnelle

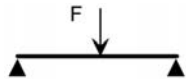
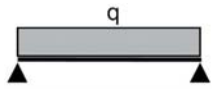
$$Q \times \frac{L}{4} \leq M_c$$

V.2.1.2 Intégrité - Sécurité au montage - Situation normale

a) Résistance

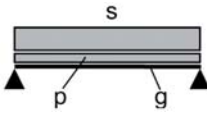
Cas de charge		Répartition élastique
	Moment en travée	$1,35 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,5 \times F \times \frac{L}{4} \leq M_{d2T}$
	Moment en travée	$\frac{L^2}{8} \times (1,35 \times g + 1,5 \times q) \leq M_{d2T}$

b) Flexibilité

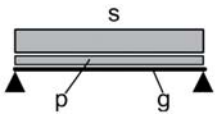
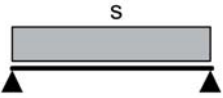
Cas de charge		
	Flèche à mi-travée	$\frac{(F \times L^3)}{(48 \times E \times I_{d2})} \leq \frac{L}{150}$
	Flèche à mi-travée	$\frac{q \times L^4}{(77 \times E \times I_{d2})} \leq \frac{L}{150}$

V.2.1.3 Situation d'exploitation normale

a) Résistance

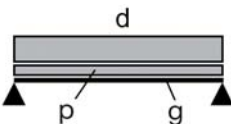
Cas de charge		Répartition élastique
	Moment en travée	$\frac{L^2}{8} \times [1,35 \times (g + p) + 1,5 \times s] \leq M_{d2T}$

b) Flexibilité

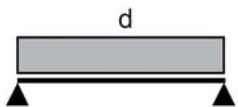
Cas de charge		
	Ensemble des charges	$\frac{(g + p + s) \times L^4}{(77 \times E \times I_{d2})} \leq \frac{L}{200}$
	Charge d'exploitation seule	$\frac{s \times L^4}{(77 \times E \times I_{d2})} \leq \frac{L}{250}^{(1)}$
<p>1. Critère de flèche :</p> <ul style="list-style-type: none"> - si $L \leq 5 \text{ m}$ $\rightarrow \frac{L}{250}$ - si $5 < L \leq 6 \text{ m}$ $\rightarrow 0,02 \text{ m}$ - si $L > 6 \text{ m}$ $\rightarrow \frac{L}{300}$ 		

V.2.2 Action des charges ascendantes - Situation d'exploitation normale

a) Résistance

Cas de charge		Répartition élastique
	Moment en travée	$\frac{L^2}{8} \times [1,75 \times d - (g + p)] \leq M_{a2T}$

b) Flexibilité

Cas de charge		
	Charge de vent seul	$d \times \frac{L^4}{(77 \times E \times I_{a2})} \leq \frac{L}{180}$

V.3 Travées multiples

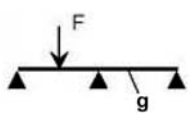
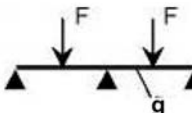
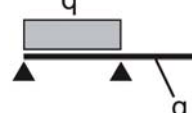
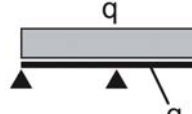
V.3.1 Action des charges descendantes

V.3.1.1 Sécurité à la pose - Situation exceptionnelle

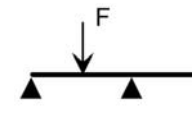
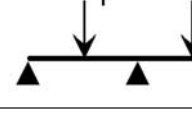
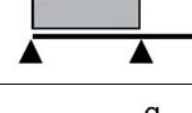
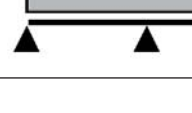
$$Q \times \frac{L}{4} \leq M_c$$

V.3.1.2 Intégrité - Sécurité au montage - Situation normale

a) Résistance ⁽¹⁾

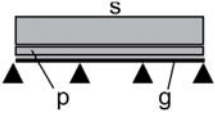
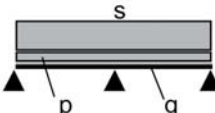
Cas de charge		Répartition élastique ⁽²⁾	Répartition élasto-plastique ⁽³⁾
	Moment en travée	$1,35 \times 0,07 \times g \times L^2 + 1,5 \times 0,203 \times F \times L \leq M_{d2T}$	
	Moment sur appui	$1,35 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,5 \times 0,094 \times F \times L \leq M_{d3A}$	
	Moment en travée	$1,35 \times 0,07 \times g \times L^2 + 1,5 \times 0,156 \times F \times L \leq M_{d2T}$	$1,35 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,5 \times F \times \frac{L}{4} \leq M_{d3T}$
	Moment sur appui	$1,35 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,5 \times 0,188 \times F \times L \leq M_{d3A}$	$1,2 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,2 \times 0,188 \times F \times L \leq M_{d3A}$
	Moment en travée	$1,35 \times 0,07 \times g \times L^2 + 1,5 \times 0,096 \times q \times L^2 \leq M_{d2T}$	
	Moment sur appui	$1,35 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,5 \times q \times \frac{L^2}{16} \leq M_{d3A}$	
	Moment en travée	$1,35 \times 0,07 \times g \times L^2 + 1,5 \times 0,07 \times q \times L^2 \leq M_{d2T}$	$1,35 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,5 \times q \times \frac{L^2}{8} \leq M_{d3T}$
	Moment sur appui	$1,35 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,5 \times q \times \frac{L^2}{8} \leq M_{d3A}$	$1,2 \times g \times \frac{L^2}{8} + 1,2 \times q \times \frac{L^2}{8} \leq M_{d3A}$
<p>1. La résistance doit être vérifiée pour l'un ou l'autre des deux cas de répartition. Le cas le moins sévère peut être retenu.</p> <p>2. En répartition élastique des moments de flexion et efforts tranchants, la ruine sur appui doit être évitée (pondération 1,35 et 1,5).</p> <p>3. En répartition élasto-plastique des moments de flexion et efforts tranchants, on autorise une certaine plastification sur appui. Elle sera limitée ainsi que les déformations résiduelles, par la prise en compte d'un coefficient de pondération réduit (1,2).</p>			

b) Flexibilité

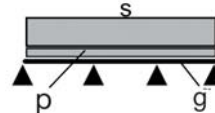
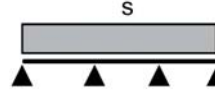
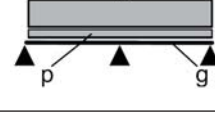
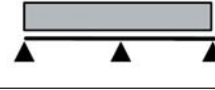
Cas de charge		
	Flèche à mi-travée	$\frac{F \times L^3}{(67 \times E \times I_{dm})} \leq \frac{L}{150}$
	Flèche à mi-travée	$\frac{F \times L^3}{(110 \times E \times I_{d3})} \leq \frac{L}{150}$
	Flèche à mi-travée	$\frac{q \times L^4}{(110 \times E \times I_{dm})} \leq \frac{L}{150}$
	Flèche à mi-travée	$\frac{q \times L^4}{(192 \times E \times I_{d3})} \leq \frac{L}{150}$

V.3.1.3 Situation d'exploitation normale

a) Résistance ⁽¹⁾

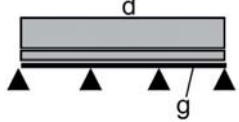
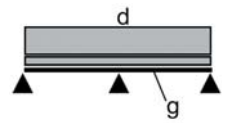
Cas de charge		Répartition élastique ⁽²⁾	Répartition élasto-plastique ⁽³⁾
	Moment en travée	$0,08 \times L^2 \times [1,50 \times s + 1,35 \times (g + p)] \leq M_{d2T}$	$\frac{L^2}{8} \times [1,50 \times s + 1,35 \times (g + p)] \leq M_{d3T}$
	Moment sur appui	$0,107 \times L^2 \times [1,50 \times s + 1,35 \times (g + p)] \leq M_{d3A}$	$0,107 \times L^2 \times 1,20 \times (s + g + p) \leq M_{d3A}$
	Moment en travée	$0,07 \times L^2 \times [1,50 \times s + 1,35 \times (g + p)] \leq M_{d2T}$	$\frac{L^2}{8} \times [1,50 \times s + 1,35 \times (g + p)] \leq M_{d3T}$
	Moment sur appui	$\frac{L^2}{8} \times [1,50 \times s + 1,35 \times (g + p)] \leq M_{d3A}$	$1,20 \times \frac{L^2}{8} \times (s + g + p) \leq M_{d3A}$
<p>1. La résistance doit être vérifiée pour l'un ou l'autre des deux cas de répartition. Le cas le moins sévère peut être retenu.</p> <p>2. En répartition élastique des moments de flexion et efforts tranchants, la ruine sur appui doit être évitée (pondération 1,35 et 1,5).</p> <p>3. En répartition élasto-plastique des moments de flexion et efforts tranchants, on autorise une certaine plastification sur appui. Elle sera limitée ainsi que les déformations résiduelles, par la prise en compte d'un coefficient de pondération réduit (1,2).</p>			

b) Flexibilité

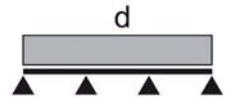
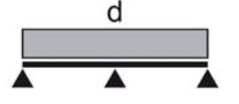
Cas de charge		
	Ensemble des charges	$\frac{(g + p + s) \times L^4}{(148 \times E \times I_{dm})} \leq \frac{L}{200}$
	Charge d'exploitation seule	$\frac{s \times L^4}{(148 \times E \times I_{dm})} \leq \frac{L}{250} \quad (1)$
	Ensemble des charges	$\frac{(g + p + s) \times L^4}{(192 \times E \times I_{d3})} \leq \frac{L}{200}$
	Charge d'exploitation seule	$\frac{s \times L^4}{(192 \times E \times I_{d3})} \leq \frac{L}{250} \quad (1)$
<p>1. Critère de flèche :</p> <ul style="list-style-type: none"> - si $L \leq 5 \text{ m}$ $\rightarrow \frac{L}{250}$ - si $5 < L \leq 6 \text{ m}$ $\rightarrow 0,02 \text{ m}$ - si $L > 6 \text{ m}$ $\rightarrow \frac{L}{300}$ 		

V.3.2 Action des charges ascendantes - Situation d'exploitation normale

a) Résistance ⁽¹⁾

Cas de charge		Répartition élastique ⁽²⁾	Répartition élasto-plastique ⁽³⁾
	Moment en travée	$0,08 \times L^2 \times [1,75 \times d - (g + p)] \leq M_{a2T}$	$\frac{L^2}{8} \times [1,75 \times d - (g + p)] \leq M_{a3T}$
	Moment sur appui	$0,107 \times L^2 \times [1,75 \times d - (g + p)] \leq M_{a3A}$	$0,107 \times L^2 \times [1,20 \times d - (g + p)] \leq M_{a3A}$
	Moment en travée	$0,07 \times L^2 \times [1,75 \times d - (g + p)] \leq M_{a2T}$	$\frac{L^2}{8} \times [1,75 \times d - (g + p)] \leq M_{a3T}$
	Moment sur appui	$\frac{L^2}{8} \times [1,75 \times d - (g + p)] \leq M_{a3A}$	$\frac{L^2}{8} \times [1,20 \times d - (g + p)] \leq M_{a3A}$
<p>1. La résistance doit être vérifiée pour l'un ou l'autre des deux cas de répartition. Le cas le moins sévère peut être retenu.</p> <p>2. En répartition élastique des moments de flexion et efforts tranchants, la ruine sur appui doit être évitée (pondération 1,35 et 1,5).</p> <p>3. En répartition élasto-plastique des moments de flexion et efforts tranchants, on autorise une certaine plastification sur appui. Elle sera limitée ainsi que les déformations résiduelles, par la prise en compte d'un coefficient de pondération réduit (1,2).</p>			

b) Flexibilité

Cas de charge		
	Charge de vent seul	$\frac{d \times L^4}{(148 \times E \times I_{am})} \leq \frac{L}{180}$
	Charge de vent seul	$\frac{d \times L^4}{(192 \times E \times I_{a3})} \leq \frac{L}{180}$

VI Présentation des résultats

La présentation des résultats, pour chaque profil, comporte au moins les éléments suivants :

- les valeurs de calcul rappelées dans le *tableau 3.6* ;
- la conformité des méthodes de détermination des valeurs de calculs et de vérification des tôles d'acier nervurées à la présente annexe ;
- les *tableaux* de charges tels que présentés par les *tableaux 3.7 et 3.8*.

Les portées sous charges ascendantes seront limitées aux portées maximales autorisées lors de la phase de montage.

Le système travées multiples correspond à la plus faible portée d'utilisation entre une pose trois appuis ou quatre appuis en travées égales. Le fabricant peut, s'il le souhaite, détailler la pose sur trois appuis.

Les valeurs indiquées dans les colonnes « travées multiples » sont considérées valables en cas d'écarts entre portées adjacentes ne dépassant pas 20 %. Lorsque l'écart entre portées adjacentes est supérieur à 20 %, la vérification des tôles d'acier nervurées sera adaptée au cas de pose envisagé, tout en conservant les valeurs de calcul inchangées.

Le fabricant est autorisé à adopter une présentation différente et à compléter les informations.

Tableau 3.7 – Présentation des résultats sous charges descendantes

Portées maximales d'utilisation du profil							
Travée simple			Charges descendantes		Travées multiples		
t1	t2	t3	Charges d'exploitation (daN/m ²)	Charges permanentes (daN/m ²)	t1	t2	t3
			100	10			
				20			
				25			
				100			
			110	10			
				20			
				25			
				100			
			125	10			
				25			
			150	10			
				25			
				120			
			175	10			
				25			
			200	10			
				25			

Tableau 3.8 – Présentation des résultats sous charges ascendantes

Portées maximales d'utilisation du profil							
Travée simple			Charges ascendantes		Travées multiples		
t1	t2	t3	Charge de vent normal (daN/m ²)	Charges permanentes (daN/m ²)	t1	t2	t3
			50	10			
				25			
			75	10			
				25			
			100	10			
				25			
			125	10			
				25			
			150	10			
				25			
				50			
			175	10			
				25			
				50			
			200	10			
				25			
				50			
			225	10			
				25			
				50			

ANNEXE 4

Essais sous charges statiques concentrées des panneaux isolants sur les parties en porte-à-faux

Cet essai simule le déplacement d'une personne sur les parties en porte-à-faux de l'isolant.

Liminaire

L'essai est réalisé sur une série de trois éprouvettes prélevées dans trois panneaux supports isolants différents. Ces trois panneaux sont pris parmi un lot de panneaux préalablement identifiés.

Dans le cadre d'une détermination initiale d'une ouverture haute de nervure (Ohn), par exemple pour une nouvelle revendication⁽³⁾, le critère d'acceptation du lot pour l'essai du porte-à-faux est le suivant :

- les panneaux du lot sont issus d'un même cycle de fabrication des panneaux ;
- la masse volumique apparente, la contrainte à 10 % de déformation et la résistance à la traction ou la résistance en flexion du panneau, si elles sont revendiquées au Dossier Technique, doivent être proches de la valeur minimale spécifiée au Dossier Technique du support isolant⁽⁴⁾.

I Éprouvettes

L'essai est réalisé sur une série de trois éprouvettes d'une largeur de 600 mm ou de la largeur du panneau, si celle-ci est inférieure à 600 mm. La longueur de l'éprouvette doit être choisie en fonction de l'ouverture haute de nervure maximale souhaitée, mais ne pas être inférieure à 450 mm.

Sont mesurées les dimensions linéaires des éprouvettes (NF EN 12085), longueur - largeur et leur épaisseur.

Lorsqu'il existe un sens de pose privilégié des panneaux, par exemple :

- pour l'une des faces planes qui serait à placer en

face supérieure de l'appareil d'essai ;

- pour un sens longitudinal ou transversal de la projection des panneaux,

le demandeur indique au préalable le principe de pose des éprouvettes.

Lorsqu'il n'existe pas de sens de pose privilégié, l'essai est effectué sur deux séries : l'une dans le sens longitudinal, l'autre dans le sens transversal.

Convention

Le sens longitudinal et le sens transversal d'une éprouvette sont définis par rapport à l'orientation de la plaque rigide :

- sens longitudinal (L), lorsque la plaque est perpendiculaire à la longueur du panneau ;
- sens transversal (T), lorsque la plaque est perpendiculaire à la largeur du panneau

comme indiqué sur la *figure 4.1*.

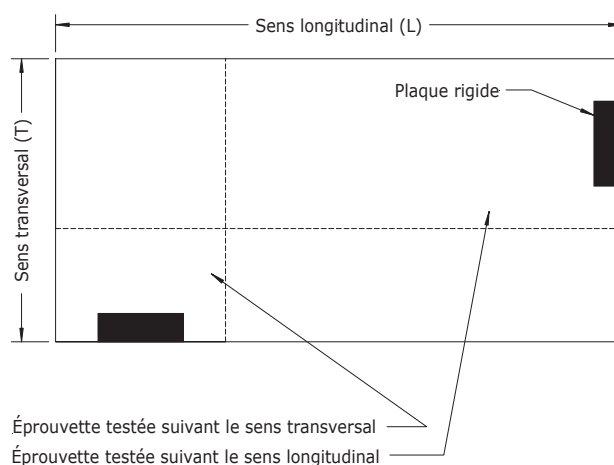


Figure 4.1 – Définition des sens longitudinal et transversal d'une éprouvette

Conditionnement des éprouvettes

Il convient de les entreposer pendant au moins 24 h à (23 ± 5) °C avant de réaliser les essais.

3. Une nouvelle revendication peut correspondre, par exemple, à un nouveau procédé isolant support sur TAN de grandes Ohn, ou à une nouvelle revendication d'Ohn pour une épaisseur d'isolant.

4. Lorsque les moyennes de la masse volumique, de la contrainte à 10 % de déformation, de la résistance en traction ou de la résistance en flexion apparaissent au *tableau* des caractéristiques spécifiées du Dossier Technique, les valeurs du lot sont comprises entre les valeurs minimum et moyenne. Ces dispositions concernent les essais en vue d'une détermination initiale de l'ouverture haute de nervure.

Dans le cas contraire, les valeurs de la masse volumique, de la contrainte à 10 % de déformation, de la résistance en traction ou de la résistance en flexion du lot sont comprises entre la valeur minimale spécifiée au Dossier Technique et la moyenne de fabrication des panneaux isolants. Conventionnellement, cette moyenne de fabrication correspond à la moyenne arithmétique des valeurs mesurées sur une période de production de douze mois au plus, défalquée de deux fois l'écart type correspondant.

II Mode opératoire

L'essai doit porter sur le panneau isolant à sa position la plus critique, lorsqu'une de ses extrémités est projetée au-dessus de l'ouverture haute de nervure. Mais il convient de tenir compte des recommandations éventuelles du fabricant quant au sens de la pose, à la portée libre maximale, etc.

Il convient d'effectuer l'essai à $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

L'éprouvette est positionnée comme l'indique la *figure 4.2*, de manière à être fermement plaquée contre l'élément porteur par l'action d'une plaque rigide de 100 mm de largeur, sur laquelle une charge de $(1\,000 \pm 100)$ N est appliquée. (La charge doit être suffisante pour maintenir en place le panneau isolant mais ne pas l'endommager).

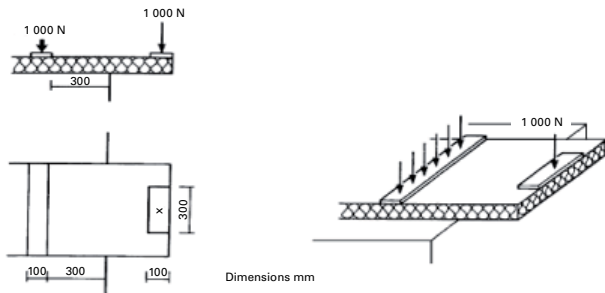


Figure 4.2 – Agencement de l'essai sur parties en porte-à-faux, indiquant le positionnement de l'éprouvette

La longueur du porte-à-faux est mesurée, puis :

- une charge statique de $(1\,000 \pm 20)$ N, répartie sur la plaque rigide de 100×300 mm est appliquée. La charge est appliquée lentement à une vitesse de (20 ± 5) mm/min, afin d'éviter que soient générées des forces dynamiques ;
- on mesure la déformation sous charge « d_c », une fois la stabilisation obtenue (généralement en moins de 15 secondes), puis cette charge est annulée ;
- au minimum 2 minutes après, on mesure la déformation résiduelle « d_r » de l'éprouvette déchargée ;
- après détermination des valeurs de déformation « $d_c - d_r$ », l'éprouvette testée est remise en charge à vitesse de (20 ± 5) mm/min jusqu'à rupture. La rupture correspond à la force maximale relevée.

Appareillage

Les mesures du porte-à-faux et des déformations sont faites avec une exactitude de ± 2 mm, règle ou ruban métallique par exemple.

Le mesurage en continu de la force à chaque instant doit permettre une lecture à ± 2 %.

III Résultats

On examine le panneau pour en déterminer la rupture éventuelle.

Le rapport d'essais doit comporter les informations suivantes :

- a) La référence de ce CPT commun pour TAN d'ouverture haute de nervure (Ohn) comprises entre 70 mm et 200 mm (*e-Cahier du CSTB 3537_V2*).
- b) L'identification des panneaux isolants :
 - appellation commerciale, usine, producteur ou fournisseur,
 - numéro de code de production,
 - type de produit et marquage facial,
 - sens de pose particulier ou non des éprouvettes (panneaux),
 - emballage,
 - forme sous laquelle les panneaux sont arrivés au laboratoire,
 - autres informations, par exemple, épaisseur nominale donnée par le producteur ou fournisseur, masse volumique nominale (NF EN 1602) et compression à 10 % de déformation (NF EN 826).
- c) Le mode opératoire :
 - historique préalable à l'essai et à l'échantillonnage, par exemple l'endroit et par qui a été effectué l'échantillonnage,
 - conditionnement,
 - toutes dérogations éventuelles aux *paragraphes I et II*,
 - date de l'essai,
 - informations générales concernant l'essai,
 - événements ayant pu affecter les résultats.

Note : les informations relatives à l'appareillage et à l'identification du technicien devraient être disponibles au laboratoire, mais pas nécessairement consignées dans le rapport d'essai.

- d) Les résultats pour chaque éprouvette :
 - la longueur du porte-à-faux, en mm ;
 - la valeur d_c de déformation sous la charge de 1 000 N ou la charge de rupture, si cette dernière est $< 1\,000$ N ;
 - la déformation résiduelle d_r après déchargement, en mm ;
 - la charge statique concentrée de rupture en porte-à-faux, en N ;
 - et la valeur moyenne pour trois éprouvettes fonction de l'Ohn testée.

ANNEXE 5

Application simplifiée des Règles V 65 pour les questions relatives au vent

I Objet

L'objet de cette annexe est de donner aux utilisateurs des tableaux permettant d'effectuer de manière simple, le choix des tôles d'acier nervurées, ainsi que les portées d'utilisation sous l'action des charges de soulèvement, et de leurs fixations à l'ossature.

Les tableaux des charges ascendantes sont déterminés en fonction :

- des zones de vent des Règles V 65 avec modificatif n° 2 de décembre 1999 ;
- des sites normaux et exposés ;
- de la forme de la toiture : plane ou courbe ;
- du type de bâtiment : ouvert ou fermé, d'élanement courant pour lequel le coefficient de forme est $\gamma_0 = 1$;
- de la hauteur des bâtiments au-dessus du sol : 10 - 12 - 15 - 18 - 20 m dans les conditions qui sont celles de la méthode simplifiée des Règles V 65 modifiées (*chapitre III, article 2,9*) ;
- des charges ascendantes de calcul de dépression dues au vent dans les parties courantes ainsi que sur les rives de la toiture⁽⁵⁾ ;
- pour les tôles : sous un vent normal parallèle aux génératrices en appliquant la majoration de rives à l'ensemble de la toiture,
- pour leurs fixations : sous un vent extrême perpendiculaire aux génératrices, les rives étant comptées sur une largeur égale au 1/10 de la hauteur du bâtiment sans être inférieure à 2 m.

II Domaine d'application

Le respect des règles simplifiées données ci-après permet de respecter l'application obligatoire des Règles V 65 modifiées, dans le cadre du domaine d'application précisé ci-dessous. Toutefois, un calcul complet peut être réalisé au cas par cas afin d'établir les charges de soulèvement à prendre en compte.

Cette annexe ne s'applique qu'à des bâtiments de hauteur inférieure ou égale à 20 m et d'élanement (λ) inférieur ou égal à 2,5.

Pour les oscillations fondamentales du bâtiment concernant l'ossature seule, il n'est pas pris de majoration à cet égard.

Le *tableau 5.1* ci-dessous indique les pressions dynamiques de base normale à prendre en compte, en N/m² (ou pascal).

III Coefficients

III.1 Coefficient de site

Les sites protégés ne sont pas pris en compte dans cette annexe compte tenu du faible nombre de cas où ces sites se présentent.

Les pressions dynamiques correspondent à des sites normaux, seuls les sites exposés sont soumis à majoration :

$$k_s = \begin{array}{l} 1,00 \text{ en site normal,} \\ 1,35 \text{ en site exposé zone 1,} \\ 1,30 \text{ en site exposé zone 2,} \\ 1,25 \text{ en site exposé zone 3,} \\ 1,20 \text{ en site exposé zone 4.} \end{array}$$

Tableau 5.1

Hauteur (m)	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4	
	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé	Site normal	Site exposé
10	500	675	600	780	750	938	900	1 080
12	521	703	625	813	781	977	938	1 125
15	550	743	660	858	825	1 031	990	1 188
18	577	779	692	900	865	1 082	1 038	1 246
20	594	802	713	926	891	1 113	1 069	1 283

5. La détermination de la portée utile des TAN est faite selon les valeurs de vent normal, sachant que le coefficient multiplicateur 1,75 du vent extrême est pris en compte pour la vérification de résistance de ces éléments.

III.2 Coefficient de dimension

Les coefficients de réduction δ sont fonction de la plus grande dimension du maître-couple intéressant l'élément considéré. Lorsque les éléments sont continus, les coefficients sont calculés pour la plus grande dimension correspondant à chaque travée supposée isolée.

Les portées usuelles pour les tôles d'acier nervurées sont généralement comprises entre 3 m et 6 m, mais peuvent descendre parfois jusqu'à 2,50 m. Afin de n'avoir qu'un seul principe de tableaux, le coefficient unique adopté correspond à une dimension de 3 m, soit $\delta = 0,89$, ce qui représente une erreur de 2 % pour une portée de 2,50 m.

III.3 Coefficients de pression

Les bâtiments considérés ont des élancements inférieurs ou égaux à 2,5 ($\lambda \leq 2,5$). De ce fait, prendre $\gamma_0 = 1$, place en sécurité.

III.3.1 Coefficient d'actions intérieures

Le coefficient c_i est donné par le *tableau 5.2*. Les valeurs retenues sont les valeurs maximales indiquées par les Règles V 65 modifiées lorsque l'élément porteur est considéré comme perméable au vent, μ % ⁽⁶⁾.

Tableau 5.2

Élément porteur	Bâtiment fermé $\mu \leq 5$ %	Bâtiment ouvert $\mu \geq 35$ %
TAN	0,3	0,8

III.3.2 Coefficient d'actions extérieures

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, les principes suivants sont retenus pour le coefficient c_e ⁽⁷⁾ :

III.3.2.1 Cas de l'élément porteur TAN

Le coefficient c_e est donné par le *tableau 5.3*.

En rive de toiture, une majoration de 50 % du coefficient en partie courante affecte le quart de la longueur du bâtiment sur chaque rive de pignon (pour un vent parallèle aux génératrices de la toiture). Étant donné cette importante surface, il n'est retenu qu'un seul coefficient d'action extérieure affectant toute la surface et incluant cette majoration et de fait :

Tableau 5.3

	Coefficient d'action extérieure ⁽¹⁾
Parties courantes et rives	Versant plan : $1,5 c_e = 0,75$ Versant courbe : $1,5 c_e = 1,10$
1. Vent parallèle aux génératrices.	

III.3.2.2 Cas des fixations de TAN sur l'ossature

Le coefficient c_e est donné par le *tableau 5.4*.

Tableau 5.4

	Coefficient d'action extérieure ⁽¹⁾
Parties courantes	Versant plan : $c_e = 0,70$ Versant courbe : $c_e = 0,80$
Rives ⁽²⁾	$2 c_e$ ⁽³⁾
1. Vent perpendiculaire aux génératrices. 2. Y compris au droit d'un mur en surplomb. 3. Sur une largeur $1/10 h$, sans être inférieure à 2 m.	

III.3.2.3 Dépressions de calcul

Les *annexes 1 et 2* présentent les dépressions à prendre en compte dans le cas des versants plans et courbes : au vent normal pour les TAN, et au vent extrême pour les fixations des TAN à la structure ; les valeurs de ces tableaux correspondent aux pressions dynamiques (voir *tableau 5.1*) corrigées, affectées du coefficient c_p du *tableau 5.5a* pour l'élément porteur TAN et du *tableau 5.5b* pour les fixations de TAN sur l'ossature.

Tableau 5.5a

	c_p	c_p max	
		$\mu \leq 5$ %	$\mu \geq 35$ %
Partie courante et rives	$c_i + 1,5 c_e$	/	/

Tableau 5.5b

	c_p	c_p max	
		$\mu \leq 5$ %	$\mu \geq 35$ %
Partie courante	$c_i + c_e$	/	/
Rives	$c_i + 2 c_e$	2	2

6. La perméabilité des parois est définie au *paragraphe 1,313* du *chapitre III* des Règles V 65 modifiées.

7. Il n'est pas tenu compte d'un effet particulier pour les angles, qui sont soumis aux mêmes dispositions que celles des rives selon les *tableaux 5.3 - 5.4*.

SIÈGE SOCIAL

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

CSTB
le futur en construction

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