



FEUILLET D'INFORMATION

L'ACTION DU VENT SUR LES TOITURES PLATES CONFORMÉMENT À LA NORME SUR L'ACTION DU VENT NBN EN 1991-1-4

L'UBAtc délivre des ATG portant sur des étanchéités et des isolations de toiture précisant l'aptitude à l'emploi des matériaux d'isolation et d'étanchéité fabriqués en usine et destinés à une application en toiture. En raison du passage de la norme belge NBN B03-002-1 relative à l'action du vent à la norme belgo-européenne NBN EN 1991-1-4 relative à l'action du vent, il convient d'adapter les textes d'ATG concernant l'étanchéité de toiture et l'isolation pour toitures plates. La Note d'Information Technique NIT 215 « *La toiture plate. Composition, matériaux, réalisation, entretien.* » (CSTC, 2000) se base également sur la norme NBN B03-002-1, de sorte qu'il convient également d'adapter les tableaux présentés dans cette NIT.

Ce feuillet d'information de l'UBAtc présente un aperçu du calcul général de l'action du vent sur une toiture plate comportant des matériaux d'isolation et des étanchéités de toiture sous agrément ATG. Les règles spéciales d'application pour chaque produit individuel sont mentionnées dans les ATG concernés. La liste des ATG peut être consultée sur le site www.ubatc.be.

Ce feuillet d'information de l'UBAtc ne peut pas être utilisé comme document de référence normatif mais a pour but d'expliquer la méthode d'évaluation utilisée pour les ATG.

1. PRINCIPES DE BASE

En Belgique, depuis 1988, l'action du vent était calculée conformément à la norme NBN B03-002-1. À la suite de la ratification de l'Annexe nationale ANB de la norme européenne harmonisée NBN EN 1991-1-4 fin décembre 2010, la norme belge NBN B03-002-1 a été retirée et remplacée par les deux documents belgo-européens précités.

Dans ce feuillet d'information, nous nous penchons plus en détail sur l'action du vent sur une toiture plate conformément à la normalisation actuelle.

La norme belgo-européenne NBN EN 1991-1-4 relative à l'action du vent se base sur un vent avec une période de retour de 50 ans. Par analogie avec la NIT 239 « *Fixation mécanique des isolants et étanchéités sur tôles d'acier profilées* » (CSTC, 2010), il a été choisi de calculer l'action du vent sur une toiture plate pour un vent dont la période de

retour est de 25 ans (ce qui correspond plus ou moins à la durée de vie des matériaux de toiture ; c.-à-d. $c_{\text{prob}} = 0,959$), moyennant l'application d'un coefficient de sécurité γ_Q pour « *structures secondaires* » (c.-à-d. un facteur de sécurité de 1,25) (cf. Rapport du CSTC n° 11 « *Application des Eurocodes à la conception des menuiseries extérieures* », 2009 et NIT 239).

Ce feuillet d'information de l'UBAtc traite exclusivement de l'action du vent sur une toiture plate. La norme NBN 1991-1-4 relative à l'action du vent définit une toiture plate comme un pan de toiture dont la pente ne dépasse pas 5°.

2. ACTION DU VENT

Conformément à la NBN EN 1991-1-4, l'action du vent sur une toiture plate peut être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$F_{\text{wd}} = \gamma_Q \cdot c_e(z) \cdot q_{\text{ref},50\text{ans}} \cdot c_{\text{prob}}^2 \cdot c_p \quad (1)$$

Avec :

F_{wd} = valeur de calcul de l'action du vent (en N/m²)
 γ_Q = coefficient partiel de sécurité de l'action du vent (ici : $\gamma_Q = 1,25$ supposé)
 $c_e(z)$ = coefficient d'exposition (selon la classe de rugosité du terrain)
 $q_{\text{ref},50\text{ans}}$ = la valeur moyenne de la pression dynamique de référence du vent sur une période de retour de 50 ans

c_{prob}^2 = coefficient de période de retour du vent (ici : $c_{prob}^2 = 0,920$ supposé)

c_p = coefficient de pression du vent (combinaison entre le coefficient de dépression extérieure c_{pe} et le coefficient de surpression intérieure c_{pi})

L'action du vent sur une toiture dépend principalement :

- de la situation du bâtiment (situation géographique en Belgique, classe de rugosité

du terrain 0-I-II-III-IV, proximité d'un haut bâtiment,...)

- des caractéristiques du bâtiment (hauteur de toiture, dimensions de la toiture, zone de toiture considérée : zone d'angle – zone de rive – zones courantes,...)



Fig. 1: Vitesse de référence du vent $v_{b,0}$ en Belgique

2.1 SITUATION DU BÂTIMENT

2.1.1 Situation géographique

La situation géographique de la toiture considérée influence la vitesse de référence du vent $v_{b,0}$: celle-ci varie entre 23m/s et 26m/s (voir la figure 1).

2.1.2 Classe de rugosité du terrain

Le caractère plus local (et plus particulièrement la rugosité) du terrain donne lieu à une classification supplémentaire de l'action du vent (voir aussi la figure 2) :

- Classe 0 : Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer

- Classe I : Lac ou zone à végétation négligeable et libre de tout obstacle
- Classe II : Zone à végétation basse telle que de l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'une distance au moins égale à 20 fois leur hauteur
- Classe III : Zone à couverture végétale régulière ou avec des bâtiments ou des obstacles isolés séparés les uns des autres d'une distance au plus égale à 20 fois leur hauteur (par exemple, village, zone suburbaine, forêt permanente)
- Classe IV : Zone urbaine dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments d'une hauteur moyenne supérieure à 15 m

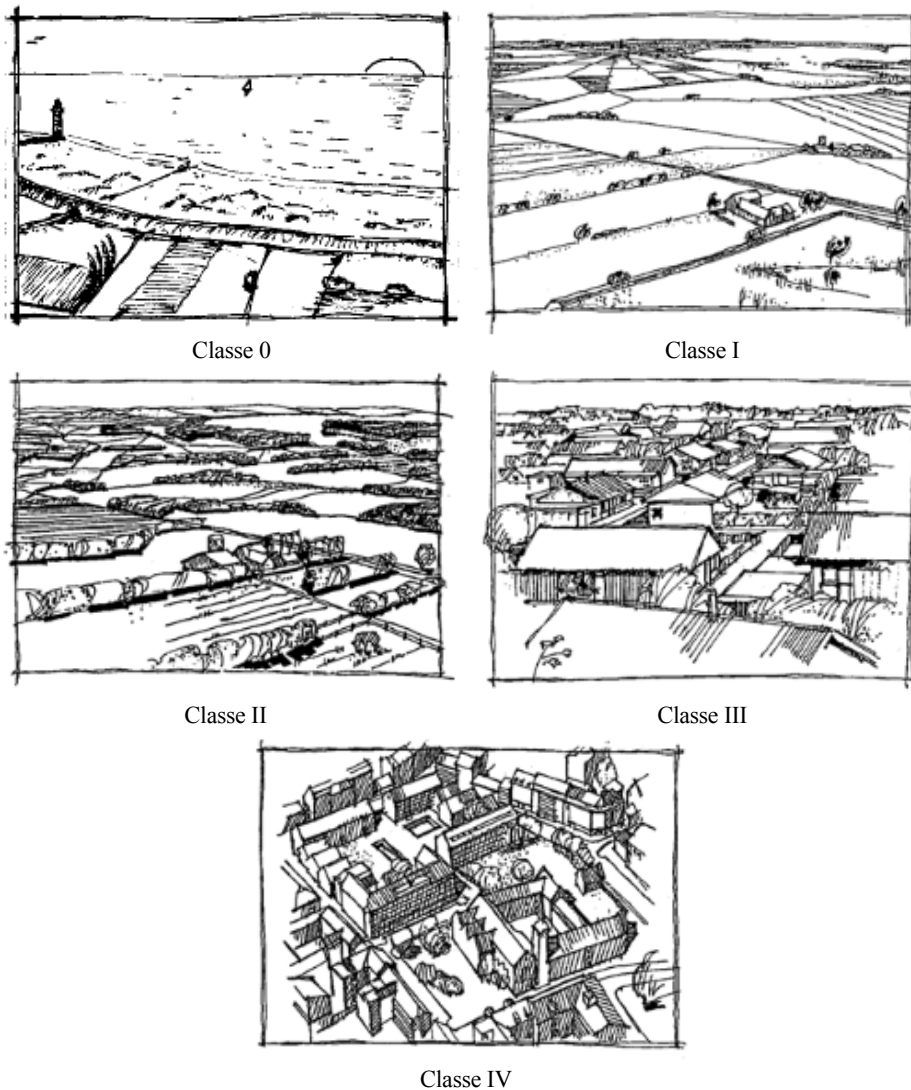


Fig. 2 : Classe de rugosité du terrain (NBN EN 1991-1-4)

Pour le calcul des toitures plates, on prend la classe la plus sévère applicable pour un certain secteur, dans lequel on prend en considération une zone d'un rayon de x mètres autour du bâtiment :

$$x = \max(23 \cdot z_e^{1,2}; 300 \text{ m})$$

avec : z_e = hauteur de référence en m

2.1.3 Hauteur de référence z_e

La hauteur de référence z_e dépend aussi bien de la hauteur du bâtiment proprement dit que des caractéristiques du terrain sur lequel le bâtiment se trouve. Dans le cas de terrains plats, la hauteur de référence z_e correspond à la hauteur du bâtiment. En ce qui concerne les terrains dénivelés et dans le cas de bâtiments des classes 0 et I – où la différence de hauteur entre la toiture et le niveau de la mer à marée basse doit être prise en compte – la hauteur de

référence z_e est différente de la hauteur du bâtiment (voir la figure 3).

Un bâtiment deux fois plus grand que la hauteur moyenne des constructions avoisinantes va influencer négativement l'action du vent sur ces constructions. Dans ce cas, il y a lieu de tenir compte d'une hauteur de référence z_e accrue pour la détermination de l'action du vent sur les toitures des bâtiments voisins.

Dans la classe de rugosité du terrain IV, au droit de bâtiments proches les uns des autres et d'autres obstacles, on pourra prendre en compte une hauteur de référence z_e réduite. Ce phénomène dépend toutefois de la direction du vent.

Pour plus de détails et des caractéristiques supplémentaires, voir la norme NBN EN 1991-1-4 et l'Annexe nationale.

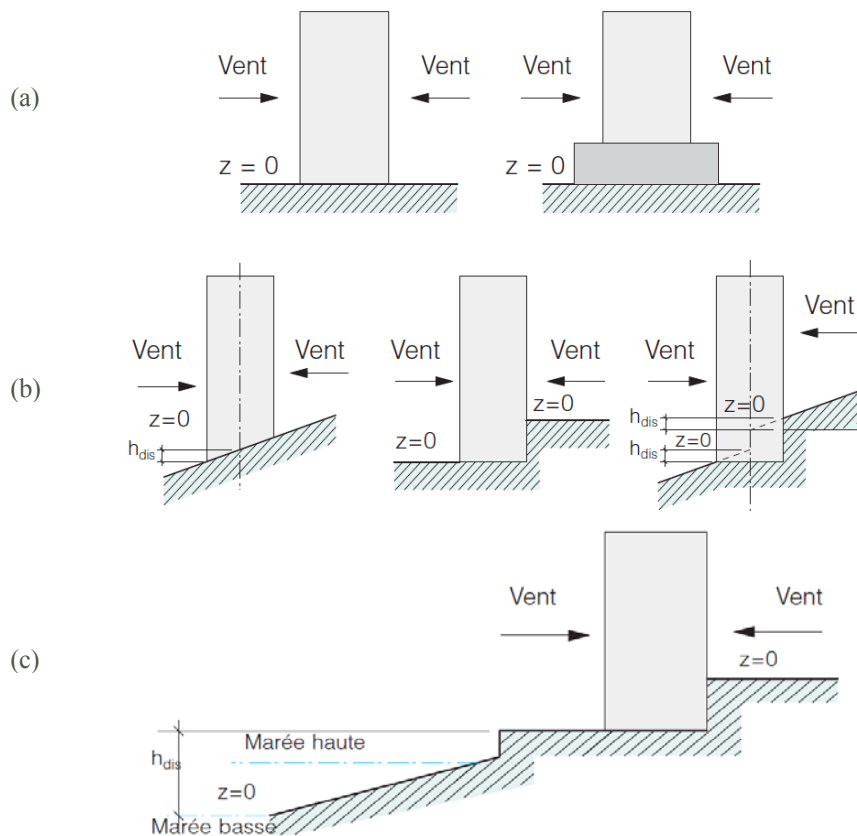


Fig. 3 : Indication niveau zéro ($z = 0$) pour la détermination de la hauteur de référence z_e

- (a) Terrain plat
- (b) Terrain présentant une dénivellation
- (c) Bord de mer

2.2 CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT

2.2.1 Zones de toiture

Selon la hauteur, la largeur et la longueur du bâtiment à toiture plate, on distingue quatre zones de toiture : la zone d'angle, la zone de rive, la zone courante 1 et la zone courante 2 (voir la figure 4).

Les turbulences de vent sont dues à des interruptions « soudaines » dans la circulation globale du vent. Elles sont par conséquent les plus importantes dans les zones d'angle et de rive et moins importantes dans les zones courantes.

Les zones d'angle et de rive mesurant en théorie moins d'1 m sont déconseillées.

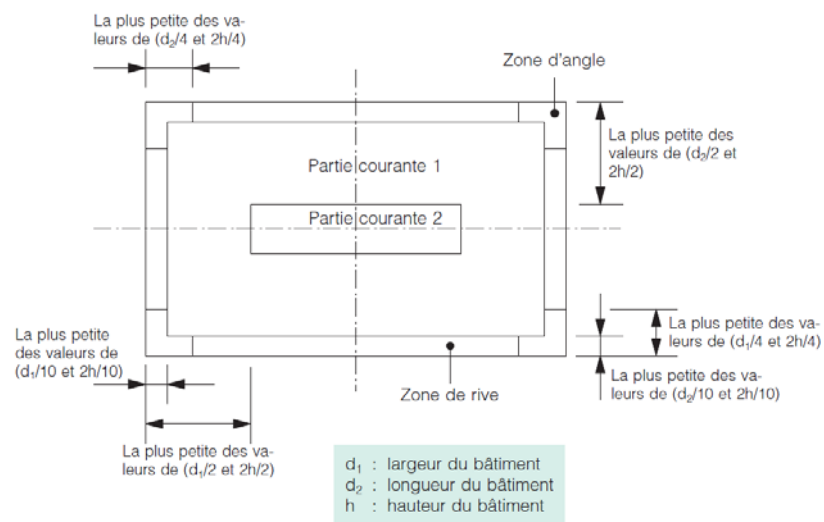


Fig. 4 : Zones de toiture d'une toiture plate

2.2.2 Coefficient de pression

L'action du vent, telle que définie dans l'équation (1), dépend d'un coefficient de pression. La valeur de ce coefficient de pression c_p dépend d'une part de la zone de toiture considérée et d'autre part des caractéristiques de la structure portante et de l'étanchéité à l'air des éléments.

Le coefficient de pression c_p est la combinaison d'un coefficient de pression extérieure c_{pe} et d'un coefficient de pression intérieure c_{pi} .

Grosso modo, une structure de toiture peut être subdivisée en deux couches : d'une part le plancher de toiture et d'autre part la couverture de toiture. Comme il est supposé que le plancher de toiture est plus rigide que la couverture de toiture, le coefficient de pression qui s'applique à la couverture de toiture dépendra surtout du comportement en termes d'étanchéité à l'air du plancher de toiture.

Dans le cas d'un plancher de toiture étanche à l'air, la couverture de toiture ne sera pas influencée par le coefficient de pression intérieure. L'équation suivante est dès lors d'application :

$$c_p = c_{pe} \quad (2)$$

Un plancher en béton monolithique constitue un exemple de plancher de toiture étanche à l'air.

Par contre, si le plancher de toiture est perméable à l'air, la couverture de toiture sera influencée aussi bien par le coefficient de pression extérieure que par

le coefficient de pression intérieure. Dans ce cas, le coefficient de pression est calculé comme suit :

$$c_p = c_{pe} - c_{pi} \quad (3)$$

Un plancher de toiture composé de tôles d'acier profilées sans pare-vapeur ou avec un pare-vapeur posé en indépendance constitue un exemple de plancher de toiture perméable à l'air.

2.2.2.1 Coefficient de pression extérieure

Dans ce feuillet d'information de l'UBAtc, la détermination du coefficient de pression extérieure se limite aux bâtiments dont les toitures plates répondent aux exigences suivantes :

- la toiture plate comporte des rives à crêtes vives, avec ou sans acrotères
- le bâtiment est en surpression
- le pan de toiture présente une pente qui ne dépasse pas 5°

Étant donné la souplesse des membranes d'étanchéité de toiture, il est indiqué de partir d'un élément dont la surface soumise à la charge ne dépasse pas 1 m² et d'effectuer le calcul en utilisant le coefficient de pression extérieure local $c_{pe,1}$. Le coefficient de pression extérieure $c_{pe,1}$ est présenté au tableau 1 pour les conditions limites susmentionnées.

Pour les toitures plates à rives arrondies et/ou à brisis mansardés et pour d'autres conditions limites, voir la norme NBN EN 1991-1-4 et l'Annexe nationale.

$c_{pe,1}$					
Type de toiture		Zone d'angle	Zone de rive	Zone courante 1	Zone courante 2
Rives à arrêtes vives sans acrotère		-2,5	-2,0	-1,2	-0,2
Rives à arêtes vives avec acrotère (*)	$h_p/h = 0.025$ (**)	-2,2	-1,8	-1,2	-0,2
	$h_p/h = 0.05$	-2,0	-1,6	-1,2	-0,2
	$h_p/h = 0.1$	-1,8	-1,4	-1,2	-0,2

(*) h_p = hauteur de rive; h = hauteur bâtiment sans acrotère

(**) cas courant

Tableau 1 : Coefficient de pression extérieure $c_{pe,1}$

2.2.2.2 Coefficient de pression intérieure

Le coefficient de pression intérieure dépend de l'étanchéité à l'air des façades. On distingue en effet les bâtiments avec façade dominante et sans façade dominante.

Un bâtiment comportant une façade dominante est un bâtiment dont l'aire des ouvertures sur une façade est considérablement plus grande que l'aire des ouvertures dans les autres façades. On entend par ouverture une ouverture permanente ou une ouverture dont on peut supposer qu'elle est ouverte pendant l'exploitation. Il s'agit notamment des fenêtres et portes ouvertes, des fuites d'air autour des portes, des fenêtres et autres percements dans la façade/toiture.

Si l'aire des ouvertures dans la façade dominante est égale au double de l'aire des ouvertures dans les autres façades, l'équation suivante est d'application :

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe,façade} \quad (4)$$

avec $c_{pe,façade} = c_{pe,1}$ au droit des ouvertures dans la façade dominante.

Si l'aire des ouvertures dans la façade dominante est égale au triple de l'aire des ouvertures dans les autres façades, l'équation suivante est d'application :

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe,façade} \quad (5)$$

Si l'aire des ouvertures dans la façade dominante se situe entre le double et le triple de l'aire des ouvertures dans les autres façades, on peut utiliser une interpolation linéaire entre les équations (4) et (5).

Étant donné que $c_{pe,façade}$ représente le coefficient de pression extérieure au droit des ouvertures dans la façade dominante et que la situation la plus défavorable pour la stabilité de l'étanchéité et de l'isolation de toiture correspond à une situation dans laquelle une surpression intérieure maximale serait combinée aux effets de la dépression extérieure sur la toiture: $c_{pe,façade} = c_{pe,1} = +1,0$.

Par conséquent, le coefficient de pression intérieure varie entre :

$$c_{pi} = 0,75 \text{ à } 0,90 \quad (6)$$

Un bâtiment sans façade dominante est un bâtiment dont les façades présentent une perméabilité à l'air uniforme. Le coefficient de pression intérieure c_{pi} est dès lors une fonction du rapport entre la hauteur et la profondeur du bâtiment (h/p), et du coefficient de perméabilité μ pour chaque direction du vent θ . Le coefficient de perméabilité μ peut être calculé comme suit :

$$\mu = \frac{\sum_{\text{aire des ouvertures où } c_{pe} \text{ est négatif ou égal à } 0}}{\sum_{\text{aire de toutes les ouvertures}}} \quad (7)$$

S'il n'est pas possible d'évaluer μ ou en cas de doute concernant la perméabilité du bâtiment, on partira de la valeur la plus défavorable de : $c_{pi} = +0,2$ ou $-0,3$. Dans la mesure où, pour les étanchéités de toiture, c'est surtout la dépression qui est problématique, on partira du principe que :

$$c_{pi} = +0,2 \quad (8)$$

Pour plus de détails et des caractéristiques supplémentaires, voir la norme NBN EN 1991-1-4 et l'Annexe nationale.

2.2.2.3 Coefficient de pression sur des toitures comportant plus d'une couche

Lorsque la toiture comporte plus d'une couche, il convient de calculer l'action du vent séparément pour chaque couche. L'action du vent sur chaque couche dépend de la perméabilité des couches, de leur rigidité relative et des ouvertures aux extrémités de la lame d'air séparant les couches. Une couche est définie

comme imperméable quand sa perméabilité (= rapport entre la surface totale des ouvertures et la surface totale de la couche) $< 0,1 \%$.

Pour les toitures comportant une couche intérieure imperméable et une couche extérieure perméable à ouvertures uniformément réparties, les coefficients de pression suivants sont d'application :

Couche extérieure (surpression) :

$$c_p = 2/3 \cdot c_{pe} \quad (9)$$

Couche extérieure (dépression) :

$$c_p = 1/3 \cdot c_{pe} \quad (10)$$

Couche intérieure :

$$c_p = c_{pe} - c_{pi} \quad (11)$$

Pour plus de détails et d'autres sous-répartitions de toitures à plusieurs couches, voir la norme NBN EN 1991-1-4 et l'Annexe nationale.

2.3 ACTION DU VENT

Les paragraphes précédents donnent lieu à quatre tableaux séparés présentant l'action du vent exercée sur une toiture plate en fonction de la hauteur de la toiture (hauteur de référence z_e), de la classe de rugosité du terrain et des caractéristiques de la composition de toiture: un tableau pour chaque vitesse de référence du vent (voir les tableaux 2 à 5). Dans ces tableaux, l'hypothèse est que le bâtiment se trouve sur un terrain avec une pente de $\leq 5\%$. Pour les pentes supérieures à 5% , voir la norme NBN EN 1991-1-4 et l'Annexe nationale.

Il est déconseillé d'utiliser ces tableaux pour des bâtiments d'une hauteur supérieure à 100 m.

À noter que les valeurs tabulées reflètent uniquement l'action du vent exercée, en incluant un coefficient partiel de sécurité de l'action du vent γ_Q . Lors du dimensionnement de la toiture, les matériaux de toiture doivent avoir une résistance au vent suffisante pour contrer l'action du vent exercée. À cet égard, il ne faut pas oublier de prendre aussi en compte un coefficient partiel de sécurité de matériau. La (valeur de calcul de la) résistance au vent de l'isolation et/ou de l'étanchéité de toiture (collée, soudée ou fixée mécaniquement) est mentionnée dans les ATG concernés. Cette résistance au vent est basée sur les résultats d'essais au vent, prenant également en compte un coefficient de sécurité de matériau de 1,5.

v = 24m/s		HAUTEUR DE TOITURE (m)																												
		0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3					
		I Lac ou zone à végétation négligeable																												
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	5,4	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1
		II Zone à végétation basse																												
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	5,4	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1
		III Zone à couverture végétale régulière																												
		6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		IV Bâtiments > 15m																												
		16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Zone du toit	Acrotères	C _{pe}	C _{pl}	C _p	ACTION DU VENT (N/m ²)																							
Le plancher de toiture est perméable à l'air	Façade dominante (l'aire des ouvertures dans la face dominante ≥ 2 fois l'aire des ouvertures dans les autres façades)	Zone d'angle	Sans acrotère	-2,5	0,75	-3,25	-1809	-1932	-2041	-2138	-2231	-2388	-2523	-2650	-2755	-2852	-3072	-3244	-3397	-3536	-3659	-3868	-4130	-4279	-4410	-4530				
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,75	-2,95	-1642	-1754	-1852	-1941	-2025	-2168	-2290	-2405	-2500	-2588	-2789	-2945	-3084	-3209	-3321	-3511	-3749	-3884	-4003	-4112				
			hp/h = 0.1	-1,8	0,75	-2,55	-1419	-1516	-1601	-1677	-1751	-1874	-1979	-2079	-2161	-2237	-2411	-2545	-2666	-2774	-2871	-3035	-3240	-3358	-3460	-3554				
		Zone de rive	Sans acrotère	-2,0	0,75	-2,75	-1531	-1635	-1727	-1809	-1888	-2021	-2135	-2242	-2331	-2413	-2600	-2745	-2875	-2992	-3096	-3273	-3495	-3621	-3732	-3833				
			h _p /h = 0.025	-1,8	0,75	-2,55	-1419	-1516	-1601	-1677	-1751	-1874	-1979	-2079	-2161	-2237	-2411	-2545	-2666	-2774	-2871	-3035	-3240	-3358	-3460	-3554				
			hp/h = 0.1	-1,6	0,75	-2,35	-1308	-1397	-1476	-1546	-1613	-1727	-1824	-1916	-1992	-2062	-2221	-2346	-2457	-2557	-2646	-2797	-2986	-3094	-3189	-3275				
	Façade dominante (l'aire des ouvertures dans la face dominante ≥ 3 fois l'aire des ouvertures dans les autres façades)	Zone d'angle	Sans acrotère	-2,5	0,90	-3,40	-1892	-2021	-2135	-2237	-2334	-2498	-2639	-2772	-2882	-2983	-3214	-3394	-3554	-3699	-3828	-4047	-4321	-4477	-4614	-4739				
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,90	-3,10	-1725	-1843	-1946	-2039	-2128	-2278	-2406	-2528	-2627	-2720	-2930	-3094	-3241	-3372	-3490	-3690	-3939	-4082	-4207	-4321				
			hp/h = 0.1	-1,8	0,90	-2,90	-1614	-1724	-1821	-1908	-1991	-2131	-2251	-2365	-2458	-2545	-2741	-2895	-3032	-3155	-3265	-3452	-3685	-3819	-3935	-4042				
		Zone de rive	Sans acrotère	-2,0	0,90	-2,90	-1614	-1724	-1821	-1908	-1991	-2131	-2251	-2365	-2458	-2545	-2741	-2895	-3032	-3155	-3265	-3452	-3685	-3819	-3935	-4042				
			h _p /h = 0.025	-1,8	0,90	-2,70	-1503	-1605	-1695	-1776	-1854	-1984	-2096	-2201	-2288	-2369	-2552	-2695	-2822	-2937	-3040	-3214	-3431	-3555	-3664	-3763				
			hp/h = 0.1	-1,4	0,90	-2,30	-1280	-1367	-1444	-1513	-1579	-1690	-1785	-1875	-1949	-2018	-2174	-2296	-2404	-2502	-2589	-2738	-2923	-3029	-3121	-3206				
	Façades à perméabilité uniforme	Zone d'angle	Sans acrotère	-2,5	0,20	-2,70	-1503	-1605	-1695	-1776	-1854	-1984	-2096	-2201	-2288	-2369	-2552	-2695	-2822	-2937	-3040	-3214	-3431	-3555	-3664	-3763				
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,20	-2,40	-1336	-1427	-1507	-1579	-1648	-1764	-1863	-1957	-2034	-2106	-2269	-2396	-2509	-2611	-2702	-2857	-3050	-3160	-3257	-3345				
			hp/h = 0.1	-1,8	0,20	-2,00	-1113	-1189	-1256	-1316	-1373	-1470	-1553	-1631	-1695	-1755	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381	-2542	-2634	-2714	-2788				
		Zone de rive	Sans acrotère	-2,0	0,20	-2,20	-1225	-1308	-1381	-1447	-1510	-1617	-1708	-1794	-1865	-1930	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619	-2796	-2897	-2985	-3066				
			h _p /h = 0.025	-1,8	0,20	-2,00	-1113	-1189	-1256	-1316	-1373	-1470	-1553	-1631	-1695	-1755	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381	-2542	-2634	-2714	-2788				
			hp/h = 0.1	-1,6	0,20	-1,80	-1002	-1070	-1130	-1184	-1236	-1323	-1397	-1468	-1526	-1579	-1702	-1797	-1882	-1958	-2027	-2142	-2287	-2370	-2443	-2509				
Le plancher de toiture est étanche à l'air	Zone courante 1	Sans acrotère	-1,2	-	-1,20	-668	-713	-753	-789	-824	-882	-932	-978	-1017	-1053	-1134	-1198	-1254	-1305	-1351	-1428	-1525	-1580	-1628	-1673					
		hp/h = 0.1	-1,2	-	-1,40	-779	-832	-879	-921	-961	-1029	-1087	-1141	-1187	-1228	-1323	-1397	-1463	-1523	-1576	-1666	-1779	-1843	-1900	-1951					
	Zone courante 2	Sans acrotère	-0,2	0,20	-0,40	-223	-238	-251	-263	-275	-294	-311	-326	-339	-351	-378	-399	-418	-435	-450	-476	-508	-547	-583	-617					
		hp/h = 0.1	-1,2	-	-1,20	-668	-713	-753	-789	-824	-882	-932	-978	-1017	-1053	-1134	-1198	-1254	-1305	-1351	-1428	-1525	-1580	-1628	-1673					

Tableau 3 : Action du vent (en N/m²) sur une toiture plate pour une vitesse de référence du vent v_{b,0} = 24m/s, coefficient de sécurité γ_Q = 1,25, c_{prob} = 0,959 et pente du terrain ≤ 5%

v = 25m/s				HAUTEUR DE TOITURE (m)																							
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
I Lac ou zone à végétation négligeable				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
II Zone à végétation basse				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
III Zone à couverture végétale régulière				6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0		
IV Bâtiments > 15m				16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	-		
				ACTION DU VENT (N/m ²)																							
Le plancher de toiture est perméable à l'air	Façade dominante (l'aire des ouvertures dans la face dominante ≥ 2 fois l'aire des ouvertures dans les autres façades)	Zone du toit	Acrotères	C _{pe}	C _{pi}	C _p	-1962	-2097	-2216	-2321	-2422	-2590	-2740	-2874	-2986	-3095	-3334	-3521	-3689	-3838	-3969	-4197	-4481	-4642	-4784	-4915	
		Zone d'angle	Sans acrotère	-2,5	0,75	-3,25	-1781	-1903	-2012	-2107	-2198	-2351	-2487	-2609	-2711	-2809	-3026	-3196	-3348	-3484	-3603	-3810	-4068	-4213	-4342	-4461	
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,75	-2,95	-1660	-1774	-1875	-1964	-2049	-2192	-2318	-2432	-2527	-2619	-2821	-2979	-3121	-3248	-3359	-3551	-3792	-3928	-4048	-4159	
			hp/h = 0.05	-2,0	0,75	-2,75	-1540	-1645	-1739	-1821	-1900	-2032	-2150	-2255	-2343	-2428	-2616	-2762	-2894	-3012	-3114	-3293	-3516	-3642	-3754	-3856	
			hp/h = 0.1	-1,8	0,75	-2,55	-1419	-1516	-1603	-1678	-1751	-1873	-1981	-2078	-2159	-2238	-2411	-2546	-2667	-2775	-2870	-3035	-3240	-3357	-3459	-3554	
			hp/h = 0.1	-1,4	0,75	-2,15	-1298	-1387	-1466	-1535	-1602	-1713	-1812	-1901	-1976	-2047	-2205	-2329	-2440	-2539	-2626	-2777	-2965	-3071	-3165	-3251	
			Zone courante 1	-	-1,2	0,75	-1,95	-1177	-1258	-1330	-1393	-1453	-1554	-1644	-1724	-1792	-1857	-2000	-2112	-2213	-2303	-2382	-2518	-2689	-2785	-2949	
			Zone courante 2	-	-0,2	0,75	-0,95	-574	-613	-648	-678	-708	-757	-801	-840	-873	-905	-975	-1029	-1078	-1122	-1160	-1227	-1310	-1357	-1437	
Le plancher de toiture est perméable à l'air	Façade dominante (l'aire des ouvertures dans la face dominante ≥ 3 fois l'aire des ouvertures dans les autres façades)	Zone d'angle	Sans acrotère	-2,5	0,90	-3,40	-2053	-2194	-2319	-2428	-2534	-2710	-2866	-3007	-3124	-3237	-3488	-3683	-3859	-4016	-4152	-4391	-4688	-4856	-5005	-5142	
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,90	-3,10	-1872	-2000	-2114	-2214	-2310	-2471	-2613	-2741	-2848	-2952	-3180	-3358	-3519	-3661	-3786	-4003	-4274	-4428	-4563	-4688	
			hp/h = 0.05	-2,0	0,90	-2,90	-1751	-1871	-1978	-2071	-2161	-2311	-2445	-2565	-2665	-2761	-2975	-3142	-3292	-3425	-3542	-3745	-3999	-4142	-4269	-4386	
			hp/h = 0.1	-1,8	0,90	-2,70	-1630	-1742	-1841	-1928	-2012	-2152	-2276	-2388	-2481	-2571	-2770	-2925	-3065	-3189	-3298	-3487	-3723	-3856	-3974	-4083	
			Zone de rive	Sans acrotère	-2,0	0,90	-2,90	-1751	-1871	-1978	-2071	-2161	-2311	-2445	-2565	-2665	-2761	-2975	-3142	-3292	-3425	-3542	-3745	-3999	-4142	-4269	-4386
			h _p /h = 0.025	-1,8	0,90	-2,70	-1630	-1742	-1841	-1928	-2012	-2152	-2276	-2388	-2481	-2571	-2770	-2925	-3065	-3189	-3298	-3487	-3723	-3856	-3974	-4083	
			hp/h = 0.05	-1,6	0,90	-2,50	-1509	-1613	-1705	-1785	-1863	-1992	-2107	-2211	-2297	-2381	-2565	-2708	-2838	-2953	-3053	-3229	-3447	-3571	-3680	-3781	
			hp/h = 0.1	-1,4	0,90	-2,30	-1389	-1484	-1568	-1643	-1714	-1833	-1939	-2034	-2113	-2190	-2359	-2492	-2611	-2716	-2809	-2970	-3171	-3285	-3386	-3478	
			Zone courante 1	-	-1,2	0,90	-2,10	-1268	-1355	-1432	-1500	-1565	-1674	-1770	-1857	-1930	-2000	-2154	-2275	-2384	-2480	-2565	-2712	-2896	-2999	-3091	-3176
			Zone courante 2	-	-0,2	0,90	-1,10	-664	-710	-750	-786	-820	-877	-927	-973	-1011	-1047	-1128	-1192	-1249	-1299	-1343	-1421	-1517	-1571	-1619	-1663
Le plancher de toiture est étanche à l'air	Façades à perméabilité uniforme	Zone d'angle	Sans acrotère	-2,5	0,20	-2,70	-1630	-1742	-1841	-1928	-2012	-2152	-2276	-2388	-2481	-2571	-2770	-2925	-3065	-3189	-3298	-3487	-3723	-3856	-3974	-4083	
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,20	-2,40	-1449	-1548	-1637	-1714	-1788	-1913	-2023	-2122	-2205	-2285	-2462	-2600	-2724	-2835	-2931	-3099	-3309	-3428	-3533	-3629	
			hp/h = 0.05	-2,0	0,20	-2,20	-1328	-1419	-1500	-1571	-1639	-1753	-1854	-1946	-2021	-2095	-2257	-2383	-2497	-2598	-2687	-2841	-3033	-3142	-3238	-3327	
			hp/h = 0.1	-1,8	0,20	-2,00	-1208	-1290	-1364	-1428	-1490	-1594	-1686	-1769	-1838	-1904	-2052	-2167	-2270	-2362	-2443	-2583	-2758	-2857	-2944	-3025	
			Zone de rive	Sans acrotère	-2,0	0,20	-2,20	-1328	-1419	-1500	-1571	-1639	-1753	-1854	-1946	-2021	-2095	-2257	-2383	-2497	-2598	-2687	-2841	-3033	-3142	-3238	-3327
			h _p /h = 0.025	-1,8	0,20	-2,00	-1208	-1290	-1364	-1428	-1490	-1594	-1686	-1769	-1838	-1904	-2052	-2167	-2270	-2362	-2443	-2583	-2758	-2857	-2944	-3025	
			hp/h = 0.05	-1,6	0,20	-1,80	-1087	-1161	-1228	-1285	-1341	-1435	-1517	-1592	-1654	-1714	-1846	-1950	-2043	-2126	-2198	-2325	-2482	-2571	-2650	-2722	
			hp/h = 0.1	-1,4	0,20	-1,60	-966	-1032	-1091	-1143	-1192	-1275	-1349	-1415	-1470	-1524	-1641	-1733	-1816	-1890	-1954	-2066	-2206	-2285	-2355	-2420	
			Zone courante 1	-	-1,2	0,20	-1,40	-845	-903	-955	-1000	-1043	-1116	-1180	-1238	-1286	-1333	-1436	-1517	-1589	-1653	-1710	-1808	-1930	-2000	-2061	-2117
			Zone courante 2	-	-0,2	0,20	-0,40	-242	-258	-273	-286	-298	-319	-337	-354	-368	-381	-410	-433	-454	-472	-489	-517	-552	-571	-589	-605

Tableau 4 : Action du vent (en N/m²) sur une toiture plate pour une vitesse de référence du vent v_{b,0} = 25m/s, coefficient de sécurité γ_Q = 1,25, c_{prob} = 0,959 et pente du terrain ≤ 5%

3. LESTAGE

Le lestage sur une toiture plate peut être composé de différents types de matériaux, à savoir de dalles, de gravier ou d'un ensemble plus monolithe comme du béton ou de l'asphalte coulé.

Le lestage peut également revêtir plusieurs fonctions. Il peut être posé pour :

- reprendre l'action du vent sur la toiture posée en indépendance ou une toiture insuffisamment collée/soudée
- éviter le flottement de panneaux d'isolation dans le cas de toitures inversées

et/ou il peut remplir d'autres fonctions non structurelles, comme par exemple :

- une protection contre les rayons UV
- une limitation de la sollicitation thermique de la toiture
- une amélioration du comportement au feu
- des fonctions esthétiques
- d'autres fonctions pratiques (par ex. l'aménagement d'un passage comme issue de secours sur la toiture,...)

Dans tous les cas, le lestage sera soumis aux effets du vent et il conviendra de calculer le lestage pour résister à ces effets.

Lorsque le lestage est posé pour des fonctions non structurelles, il doit être lui-même résistant au vent.

Lorsque le lestage est posé afin de garantir la stabilité globale de la structure, il doit non seulement être lui-même résistant au vent, mais il doit également être dimensionné pour aider à reprendre l'action du vent sur la toiture.

Ce feuillet d'information de l'UBAtc traite uniquement de l'influence des forces du vent sur le lestage et n'évoque pas les autres exigences minimales (par exemple l'épaisseur minimale pour respecter le critère $B_{ROOF}(t1)$ pour certaines toitures). D'autres documentations traitent de ces exigences.

3.1 LESTAGE - DALLES

3.1.1 Généralités

Les dalles sont placées de préférence sur des plots, la surface de contact des plots étant suffisamment grande pour éviter une pression exagérée sur le matériau d'étanchéité ou d'isolation. La contrainte de compression permanente autorisée pour des plots est mentionnée dans les ATG des matériaux. L'isolation doit appartenir à la classe P3 ou P4 (cf. NIT 215).

3.1.2 Masse surfacique minimum (en kg/m^2) de dalles posées en indépendance sur des toitures plates

Les résultats ci-dessous ont été obtenus sur la base des hypothèses suivantes :

- les dalles sont posées les unes à côté des autres, le pourcentage d'ouverture de l'ensemble (joints compris) étant $\geq 0,1\%$

- la surface de toiture sur laquelle les dalles sont posées peut être considérée comme étanche à l'air
- le vent ne peut pas circuler sous les dalles en passant par la première rangée de dalles (à la rive de toiture par exemple)
- il n'y a pas lieu de prendre en compte des effets dynamiques du vent
- pente de toiture $\leq 5^\circ$
- pente du terrain $\leq 5\%$
- aucun bâtiment/aucune toiture d'une hauteur au moins 2 fois supérieure à celle du bâtiment/de la toiture concerné(e) ne se trouve à proximité de celui-ci/celle-ci

Pour plus de détails concernant les principes de calcul, nous renvoyons au rapport BRE Digest 295 « *Stability under wind load of loose-laid external roof insulation boards.* » et à la norme NBN EN 1991-1-4 (plus précisément au paragraphe 7.2.10 « Pression exercée sur les murs ou les toitures comportant plusieurs parois » ou au paragraphe 2.2.2.3 de ce feuillet d'information de l'UBAtc).

Les dalles posées sur une toiture plate doivent elles-mêmes résister au vent. Le poids minimum requis est mentionné dans les tableaux 6 à 9. Ce poids ne suffit pas nécessairement pour reprendre l'action du vent sur la toiture posée en indépendance mais suffit pour éviter que les dalles ne se soulèvent et ne se déplacent sous l'effet du vent.

Note : le calcul de l'action du vent tient compte d'un coefficient de sécurité γ_Q de 1,25 et d'une durée de vie de 25 ans. Comme un poids trop faible des dalles posées en indépendance peut nuire à l'équilibre statique, on tiendra également compte d'un coefficient de sécurité supplémentaire sur la masse surfacique minimum requise des dalles posées en indépendance. Par analogie avec la NBN EN 1990 (tableau A.1.2(A)), on tient compte ici d'un coefficient de sécurité γ_G de 1,1.

3.1.3 Masse surfacique requise (en kg/m^2) de dalles posées en indépendance sur des toitures plates pour éviter le soulèvement de l'étanchéité de toiture, de l'isolation,...

Si les dalles doivent permettre de reprendre l'action du vent sur la toiture posée en indépendance, la valeur de calcul de leur poids doit être au moins égale à l'action du vent, comme mentionné au paragraphe 2 (cf. NBN EN 1991-1-4) et doit également répondre au poids minimum prévu dans les tableaux 6 à 9.

Note : dans les deux cas, il ne faut pas oublier de tenir compte de coefficients de sécurité supplémentaires : un coefficient de sécurité de matériau pour la résistance au vent des étanchéités de toiture, de l'isolation,... (voir aussi les ATG concernés) et un coefficient de sécurité γ_G de 1,1 sur le poids des dalles prévues.

v= 23m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)																				
0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Lac ou zone à végétation négligeable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Zone à végétation basse	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Zone à couverture végétale régulière	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Bâtiments > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Zone d'angle	47	50	53	55	58	62	65	69	71	74	80	84	88	92	95	100	107	111	114	117	
Zone de rive	37	40	42	44	46	49	52	55	57	59	64	67	70	73	76	80	86	89	91	94	
Zone courante 1	22	24	25	27	28	30	31	33	34	35	38	40	42	44	45	48	51	53	55	56	
Zone courante 2	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	9	

Tableau 6 : Poids minimum requis (en kg/m², avec coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$) de dalles de lestage résistantes au vent ($v_{b,0} = 23\text{m/s}$, coefficient de sécurité $\gamma_Q = 1,25$, $c_{prob} = 0,959$ et pente du terrain $\leq 5\%$)

v= 24m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)																				
0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Lac ou zone à végétation négligeable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Zone à végétation basse	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Zone à couverture végétale régulière	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Bâtiments > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Zone d'angle	51	55	58	60	63	67	71	75	78	80	87	92	96	100	103	109	116	121	124	128	
Zone de rive	41	44	46	48	50	54	57	60	62	64	69	73	77	80	83	87	93	97	100	102	
Zone courante 1	24	26	28	29	30	32	34	36	37	39	42	44	46	48	50	52	56	58	60	61	
Zone courante 2	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	10	

Tableau 7 : Poids minimum requis (en kg/m², avec coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$) de dalles de lestage résistantes au vent (vent $v_{b,0} = 24\text{m/s}$, coefficient de sécurité $\gamma_Q = 1,25$, $c_{prob} = 0,959$ et pente du terrain $\leq 5\%$)

v= 25m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)																				
0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Lac ou zone à végétation négligeable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Zone à végétation basse	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Zone à couverture végétale régulière	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Bâtiments > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Zone d'angle	55	59	63	65	68	73	77	81	84	87	94	99	104	108	112	118	126	131	135	139	
Zone de rive	44	47	50	52	55	58	62	65	67	70	75	79	83	87	90	95	101	105	108	111	
Zone courante 1	27	28	30	31	33	35	37	39	40	42	45	48	50	52	54	57	61	63	65	67	
Zone courante 2	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	11	11	

Tableau 8 : Poids minimum requis (en kg/m², avec coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$) de dalles de lestage résistantes au vent ($v_{b,0} = 25\text{m/s}$, coefficient de sécurité $\gamma_Q = 1,25$, $c_{prob} = 0,959$ et pente du terrain $\leq 5\%$)

v= 26m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)																				
0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Lac ou zone à végétation négligeable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Zone à végétation basse	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Zone à couverture végétale régulière	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Bâtiments > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Zone d'angle	60	64	68	71	74	79	83	88	91	94	102	107	112	117	121	128	137	142	146	150	
Zone de rive	48	51	54	57	59	63	67	70	73	75	81	86	90	94	97	102	109	113	117	120	
Zone courante 1	29	31	32	34	35	38	40	42	44	45	49	52	54	56	58	61	66	68	70	72	
Zone courante 2	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	10	10	11	11	12	12	

Tableau 9 : Poids minimum requis (en kg/m², avec coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$) de dalles de lestage résistantes au vent ($v_{b,0} = 26\text{m/s}$, coefficient de sécurité $\gamma_Q = 1,25$, $c_{prob} = 0,959$ et pente du terrain $\leq 5\%$)

3.2 LESTAGE - GRAVIER

3.2.1 Généralités

Le gravier peut être roulé ou concassé. Lorsque le gravier présente de nombreux angles tranchants, il convient d'accorder une certaine attention à d'éventuels dommages à la couche de toiture (par ex. à la couverture de toiture) sur laquelle il est posé. Il conviendra éventuellement d'appliquer d'abord une couche de protection.

3.2.2 Diamètre minimum du gravier (en mm)

Les résultats suivants ont été obtenus sur base du BRE Digest 311 « *Wind scour of gravel ballast on roofs.* ». Dans cet article scientifique publié au Royaume-Uni (1986), la vitesse du vent est calculée sur base de données expérimentales, lorsque le grain de gravier commence à être influencé par le vent. Cette vitesse du vent est fonction du diamètre du grain de gravier. Plus le grain de gravier est grand, plus la vitesse du vent devra être élevée pour exercer une quelconque influence.

Le gravier posé sur une toiture plate doit lui-même résister au vent. Le diamètre minimum requis pour éviter que le vent ait un quelconque effet sur le gravier est mentionné dans les tableaux 10 à 13.

Par diamètre minimum, on entend par exemple que pour du gravier 16/32, il faudra tenir compte d'un diamètre minimum de 16 mm.

À titre d'information, il est indiqué dans les tableaux 10 à 13 au moyen de zones grisées dans quelles configurations (hauteur du bâtiment – classe de rugosité) un gravier 16/32 ne suffit pas.

Pour les diamètres de gravier plus grands et moins courants, il est préférable d'opter pour un lestage avec des dalles ou un autre type de lestage.

3.2.3 Masse surfacique requise (en kg/m²) d'un gravier posé sur des toitures plates pour éviter le soulèvement de l'étanchéité de toiture, de l'isolation,...

Si le gravier doit permettre de reprendre l'action du vent sur la toiture posée en indépendance, son poids doit être au moins égal à l'action du vent (cf. NBN EN 1991-1-4), comme mentionné au paragraphe 2. Le diamètre des grains de gravier à prévoir doit également répondre au diamètre minimum mentionné dans les tableaux 10 à 13.

Note : au moment de la détermination de la masse surfacique du gravier, il ne faut pas oublier de tenir compte encore d'un coefficient de sécurité supplémentaire γ_G de 1,1 sur le poids de la couche de gravier (par analogie avec la NBN 1990).

v= 23m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)																			
0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Lac ou zone à végétation négligeable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9
II Zone à végétation basse	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1
III Zone à couverture végétale régulière	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0
IV Bâtiments > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-
Zone d'angle	31	33	35	36	38	40	43	45	46	48	52	55	57	59	61	65	69	71	73	75
Zone de rive	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	29
Zone courante 1	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	29
Zone courante 2	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	29

Tableau 10 : Diamètre minimum requis (en mm) d'un gravier de lestage résistant au vent ($v_{b,0} = 23\text{m/s}$, coefficient de sécurité $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ et pente du terrain $\leq 5\%$)

v= 24m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)																				
0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3	
I Lac ou zone à végétation négligeable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9
II Zone à végétation basse	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Zone à couverture végétale régulière	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Bâtiments > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Zone d'angle	34	36	38	39	41	44	46	49	51	52	56	59	62	64	67	70	75	78	80	82	
Zone de rive	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	
Zone courante 1	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	
Zone courante 2	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	

Tableau 11 : Diamètre minimum requis (en mm) d'un gravier de lestage résistant au vent ($v_{b,0} = 24\text{m/s}$, coefficient de sécurité $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ et pente du terrain $\leq 5\%$)

v= 25m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)																				
0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3	
I Lac ou zone à végétation négligeable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9
II Zone à végétation basse	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Zone à couverture végétale régulière	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Bâtiments > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Zone d'angle	36	39	41	43	45	48	50	53	55	57	61	64	67	70	72	76	81	84	86	89	
Zone de rive	14	15	16	17	17	19	20	21	21	22	24	25	26	27	28	30	32	33	34	35	
Zone courante 1	14	15	16	17	17	19	20	21	21	22	24	25	26	27	28	30	32	33	34	35	
Zone courante 2	14	15	16	17	17	19	20	21	21	22	24	25	26	27	28	30	32	33	34	35	

Tableau 12 : Diamètre minimum requis (en mm) d'un gravier de lestage résistant au vent ($v_{b,0} = 25\text{m/s}$, coefficient de sécurité $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ et pente du terrain $\leq 5\%$)

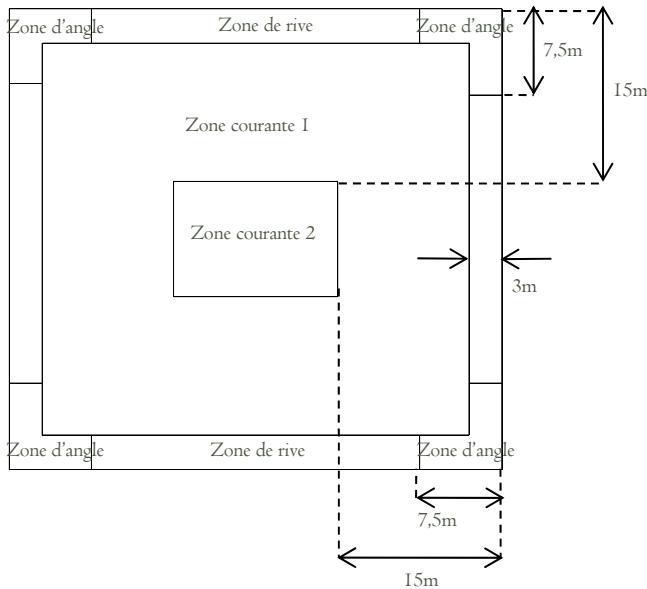
v= 26m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)																				
0 Mer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3	
I Lac ou zone à végétation négligeable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9
II Zone à végétation basse	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Zone à couverture végétale régulière	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Bâtiments > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Zone d'angle	39	42	44	46	48	51	54	57	59	61	66	69	72	75	78	82	88	91	93	96	
Zone de rive	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	32	34	35	36	37	
Zone courante 1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	32	34	35	36	37	
Zone courante 2	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	32	34	35	36	37	

Tableau 13 : Diamètre minimum requis (en mm) d'un gravier de lestage résistant au vent ($v_{b,0} = 26\text{m/s}$, coefficient de sécurité $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ et pente du terrain $\leq 5\%$)

ANNEXE A : EXEMPLE DE CALCUL

Un bâtiment à toiture plate, situé sur un terrain plat à Namur, dont la toiture se trouve à 15 m de hauteur, mesure 40 m de large et 45 m de long. Les rives de la toiture sont droites et le rapport entre la hauteur du relevé de toiture et la hauteur du bâtiment (h_p/h) est de 0,025.

La détermination des zones de toiture est effectuée comme suit :



- $\min(d_1/10, 2h/10) = 3\text{m}$
- $\min(d_1/4, 2h/4) = 7,5\text{m}$
- $\min(d_2/4, 2h/4) = 7,5\text{m}$
- $\min(d_1/2, 2h/2) = 15\text{m}$
- $\min(d_2/2, 2h/2) = 15\text{m}$

Fig. A1 : Zones de toiture de la toiture plate

A1. Exemple 1 : classe de rugosité du terrain II et plancher de toiture étanche à l'air

Dans ce premier exemple, nous supposons que le plancher de toiture est un plancher en béton monolithique.

Le tableau A1 est un extrait du tableau 3, paragraphe 2. Il présente les valeurs de l'action du vent en N/m^2 pour un plancher de toiture étanche à l'air.

$v = 24\text{m/s}$						HAUTEUR DE TOITURE (m)						
0 Mer						-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	
I Lac ou zone à végétation négligeable						4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	
II Zone à végétation basse						9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	
III Zone à couverture végétale régulière						25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	
IV Bâtiments > 15m						61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	
	Zone du toit	Acrotères	c_{pe}	c_{pi}	c_p	ACTION DU VENT (N/m^2)						
Le plancher de toiture est étanche à l'air	Zone d'angle	Sans acrotère	-2,5	-	-2,50	-2363	-2496	-2613	-2720	-2815	-2976	
		$h_p/h = 0.025$	-2,2	-	-2,20	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619	
		$h_p/h = 0.05$	-2,0	-	-2,00	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381	
		$h_p/h = 0.1$	-1,8	-	-1,80	-1702	-1797	-1882	-1958	-2027	-2142	
	Zone de rive	Sans acrotère	-2,0	-	-2,00	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381	
		$h_p/h = 0.025$	-1,8	-	-1,80	-1702	-1797	-1882	-1958	-2027	-2142	
		$h_p/h = 0.05$	-1,6	-	-1,60	-1512	-1597	-1673	-1741	-1801	-1904	
		$h_p/h = 0.1$	-1,4	-	-1,40	-1323	-1397	-1463	-1523	-1576	-1666	
	Zone courante 1	-	-	-1,2	-	-1,20	-1134	-1198	-1254	-1305	-1351	-1428
	Zone courante 2	-	-	-0,2	-	-0,20	-189	-200	-209	-218	-225	-238

Tableau A1 : Action du vent (en N/m^2)

On obtient pour cet exemple :

- Zone d'angle : -2376 N/m^2 (A1)
- Zone de rive : -1944 N/m^2 (A2)
- Zone courante 1 : -1296 N/m^2 (A3)
- Zone courante 2 : $-216,4 \text{ N/m}^2$ (A4)

A1.1 Contrôle de l'étanchéité de toiture collée en adhérence totale

Nous supposons que la résistance utile au vent (valeur de calcul) de l'étanchéité de toiture collée est de 2000 N/m^2 conformément à l'ATG concerné. La résistance au vent est donc suffisante pour la zone courante 1, la

zone courante 2 et la zone de rive (216,4 N/m² ; 1296 N/m² ; 1944 N/m²), mais insuffisante pour la zone d'angle (2376 N/m²). En d'autres termes, il y a lieu d'opter pour une autre solution de toiture ou de prévoir un lestage supplémentaire dans la zone d'angle.

A1.2 Détermination du lestage sous forme de dalles

Dans la zone d'angle, l'action du vent est de 2376 N/m² et la résistance au vent de l'étanchéité de toiture est de 2000 N/m². Dès lors, si l'on souhaite conserver la composition de toiture, il y a lieu de prévoir 376 N/m² de lestage.

En se basant sur des dalles de lestage en béton (coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$ et densité du béton = 1800 kg/m³), on peut en déduire que le poids requis des dalles de béton dans la zone d'angle est de 376 N/m² * 1,1 = 41,4 kg/m², ou que les dalles de béton doivent avoir une épaisseur de 2,3 cm (dans la pratique : 3,0 cm).

Dans la mesure où des dalles en béton sont posées sur la toiture, il convient également de veiller à ce qu'elles soient elles-mêmes résistantes au vent. Pour le vérifier, nous examinons le poids minimum requis conformément au paragraphe 3, tableau 7. Un extrait de ce tableau est repris dans le tableau A2 :

v= 24m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)					
	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
0 Mer	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Lac ou zone à végétation négligeable	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Zone à végétation basse	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Zone à couverture végétale régulière	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Bâtiments > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Zone d'angle	87	92	96	100	103	109
Zone de rive	69	73	77	80	83	87
Zone courante 1	42	44	46	48	50	52
Zone courante 2	7	7	8	8	8	9

Tableau A2 : Poids minimum requis (en kg/m², avec coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$)

On obtient pour cet exemple :

Zone d'angle :	99,3 kg/m ²	dalle en béton de 5,5 cm d'épaisseur ou dans la pratique : 6,0 cm
----------------	------------------------	--

Tableau A3 : Poids minimum requis (en kg/m²) dans la zone d'angle pour l'exemple 1

Bien que, d'un point de vue structurel, l'épaisseur requise des dalles en béton dans la zone d'angle ne soit que de 3,0 cm, il convient d'augmenter l'épaisseur de la dalle jusqu'à 6,0 cm afin d'éviter que les dalles ne se soulèvent elles-mêmes sous l'effet du vent.

A1.3 Détermination du lestage sous forme de gravier

Dans la zone d'angle, l'action du vent est de 2376 N/m² et la résistance au vent de l'étanchéité de toiture est de 2000 N/m². Dès lors, si l'on souhaite conserver la composition de toiture, il y a lieu de prévoir 376 N/m² de lestage.

En se basant sur un gravier de lestage (coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$ et densité du gravier = 1400 kg/m³ - la densité du gravier dépend du type de pierre et du diamètre), on peut en déduire que le poids requis de la couche de gravier est de 376 N/m² * 1,1 = 41,4 kg/m², ou que la couche de gravier doit avoir une épaisseur de 3,0 cm.

Dans la mesure où du gravier est posé sur la toiture, il convient également de veiller à ce que les grains de gravier soient eux-mêmes résistants au vent. Pour le vérifier, nous examinons le diamètre minimum requis conformément au paragraphe 3, tableau 11. Un extrait de ce tableau est repris dans le tableau A4 :

v= 24m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)					
	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
0 Mer	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Lac ou zone à végétation négligeable	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Zone à végétation basse	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Zone à couverture végétale régulière	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Bâtiments > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Zone d'angle	56	59	62	64	67	70
Zone de rive	22	23	24	25	26	27
Zone courante 1	22	23	24	25	26	27
Zone courante 2	22	23	24	25	26	27

Tableau A4 : Diamètre minimum requis (en mm)

On obtient pour cet exemple :

Zone d'angle :	env. 64 mm	Poser de préférence des dalles de lestage
----------------	------------	---

Tableau A5 : Diamètre minimum requis (en mm) dans la zone d'angle pour l'exemple 1

Bien que, d'un point de vue structurel, une couche de gravier de 3,0 cm d'épaisseur suffise dans la zone d'angle, le diamètre minimum requis pour que le gravier ne subisse pas lui-même les effets du vent est trop important (à savoir 64 mm), de sorte qu'il convient tout de même d'opter pour une autre forme de lestage.

A2. Exemple 2 : classe de rugosité du terrain II et plancher de toiture perméable à l'air

Dans ce deuxième exemple, nous supposons que le plancher de toiture est un plancher perméable à l'air, composé de tôles d'acier profilées. Nous supposons également que les façades présentent une répartition uniforme des ouvertures.

Le tableau A6 est un extrait du tableau 3, paragraphe 2. Il présente les valeurs de l'action du vent en N/m² pour un plancher de toiture perméable à l'air et des façades présentant une perméabilité à l'air uniforme.

v = 24m/s		HAUTEUR DE TOITURE (m)												
		0 Mer	-	4,3	5,2	6,2	8,2	I Lac ou zone à végétation négligeable	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
		II Zone à végétation basse	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2						
		III Zone à couverture végétale régulière	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0						
		IV Bâtiments > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-						
Le plancher de toiture est perméable à l'air	Façades à perméabilité uniforme	Zone du toit	Acrotères	c _{pe}	c _{pi}	c _p	ACTION DU VENT (N/m ²)							
		Zone d'angle	Sans acrotère	-2,5	0,20	-2,70	-2552	-2695	-2822	-2937	-3040	-3214		
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,20	-2,40	-2269	-2396	-2509	-2611	-2702	-2857		
			hp/h = 0.05	-2,0	0,20	-2,20	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619		
		hp/h = 0.1	-1,8	0,20	-2,00	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381			
		Zone de rive	Sans acrotère	-2,0	0,20	-2,20	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619		
			h _p /h = 0.025	-1,8	0,20	-2,00	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381		
			hp/h = 0.05	-1,6	0,20	-1,80	-1702	-1797	-1882	-1958	-2027	-2142		
			hp/h = 0.1	-1,4	0,20	-1,60	-1512	-1597	-1673	-1741	-1801	-1904		
		Zone courante 1	-	-1,2	0,20	-1,40	-1323	-1397	-1463	-1523	-1576	-1666		
Zone courante 2	-	-0,2	0,20	-0,40	-378	-399	-418	-435	-450	-476				

Tableau A6 : Action du vent (en N/m²)

On obtient pour cet exemple :

Zone d'angle :	-2592,5 N/m ²	(A5)
Zone de rive :	-2160,5 N/m ²	(A6)
Zone courante 1 :	-1512,1 N/m ²	(A7)
Zone courante 2 :	-431,9 N/m ²	(A8)

A2.1 Contrôle de l'étanchéité de toiture collée en adhérence totale

Nous supposons que la résistance utile au vent (valeur de calcul) de l'étanchéité de toiture collée est de 2000 N/m² conformément à l'ATG concerné. La résistance au vent est donc suffisante pour la zone courante 1 et la zone courante 2 (1512,1 N/m² ; 431,9 N/m²), mais insuffisante pour la zone d'angle et la zone de rive (2592,5 N/m² ; 2160,5 N/m²). En d'autres termes, il convient d'opter pour une autre solution de toiture ou de prévoir un lestage supplémentaire dans la zone d'angle et dans la zone de rive.

A2.2 Détermination du lestage sous forme de dalles

Dès lors, si l'on souhaite conserver la composition de toiture, il y a lieu de prévoir (2592,5 N/m² - 2000 N/m² =) 592,5 N/m² de lestage dans la zone d'angle et (2160,5 N/m² - 2000 N/m² =) 160,5 N/m² de lestage dans la zone de rive.

En se basant sur des dalles de lestage en béton (coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$ et densité du béton = 1800 kg/m³), on peut en déduire que le poids requis des dalles de béton sera le suivant :

Zone d'angle :	592,5 N/m ² * 1,1 = 65,2 kg/m ² (soit une dalle de béton de 3,6 cm d'épaisseur)	(A9)
	(dans la pratique : 4,0 cm)	
Zone de rive :	160,5 N/m ² * 1,1 = 17,7 kg/m ² (soit une dalle de béton de 1,0 cm d'épaisseur)	(A10)
	(dans la pratique : 3,0 cm)	

Dans la mesure où des dalles en béton sont posées sur la toiture, il convient également de veiller à ce qu'elles soient elles-mêmes résistantes au vent. Pour le vérifier, nous examinons le poids minimum requis conformément au paragraphe 3, tableau 7. Un extrait de ce tableau est repris dans le tableau A7 :

v= 24m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)					
	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
0 Mer	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Lac ou zone à végétation négligeable	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Zone à végétation basse	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Zone à couverture végétale régulière	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Bâtiments > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Zone d'angle	87	92	96	100	103	109
Zone de rive	69	73	77	80	83	87
Zone courante 1	42	44	46	48	50	52
Zone courante 2	7	7	8	8	8	9

Tableau A7 : Poids minimum requis (en kg/m², avec coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$)

On obtient pour cet exemple :

Zone d'angle :	99,3 kg/m ²	dalle en béton de 5,5 cm d'épaisseur ou dans la pratique : 6,0 cm
Zone de rive :	79,5 kg/m ²	dalle en béton de 4,4 cm d'épaisseur ou dans la pratique : 5,0 cm

Tableau A8 : Diamètre minimum requis (en mm) par zone de toiture pour l'exemple 1

Cela signifie qu'il y a lieu de prévoir l'épaisseur suivante pour les dalles de béton :

Zone d'angle : 6,0 cm [au lieu de 4,0 cm conformément à (A9)] (A11)

Zone de rive : 5,0 cm [au lieu de 1,0 cm conformément à (A10)] (A12)

A2.3 Détermination du lestage sous forme de gravier

Dès lors, si l'on souhaite conserver la composition de toiture, il y a lieu de prévoir (2592,5 N/m² - 2000 N/m² =) 592,5 N/m² de lestage dans la zone d'angle et (2160,5 N/m² - 2000 N/m² =) 160,5 N/m² de lestage dans la zone de rive.

En se basant sur un gravier de lestage (coefficient de sécurité $\gamma_G = 1,1$ et densité du gravier = 1400 kg/m³ - la densité du gravier dépend du type de pierre et du diamètre), on peut en déduire que le poids requis de la couche de gravier est le suivant :

Zone d'angle : 592,5 N/m² * 1,1 = 65,2 kg/m² (A13)

(soit une couche de gravier de 4,7 cm d'épaisseur)

Zone de rive : 160,5 N/m² * 1,1 = 17,7 kg/m² (A14)

(soit une couche de gravier de 1,3 cm d'épaisseur)

Dans la mesure où du gravier est posé sur la toiture, il convient également de veiller à ce que les grains de gravier soient eux-mêmes résistants au vent. Pour le vérifier, nous examinons le diamètre minimum requis conformément au paragraphe 3, tableau 11. Un extrait de ce tableau est repris dans le tableau A9 :

v= 24m/s	HAUTEUR DE TOITURE (m)					
	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
0 Mer	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Lac ou zone à végétation négligeable	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Zone à végétation basse	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Zone à couverture végétale régulière	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Bâtiments > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Zone d'angle	56	59	62	64	67	70
Zone de rive	22	23	24	25	26	27
Zone courante 1	22	23	24	25	26	27
Zone courante 2	22	23	24	25	26	27

Tableau A9 : Diamètre minimum requis (en mm)

On obtient pour cet exemple :

Zone d'angle :	env. 64 mm	Poser de préférence des dalles de lestage
Zone de rive :	env. 25 mm	

Tableau A10 : Diamètre minimum requis (en mm) par zone de toiture pour l'exemple 1

Cela signifie qu'il y a lieu de prévoir l'épaisseur et le diamètre suivants pour le gravier :

Zone d'angle : 4,7 cm d'épaisseur de couche et 64 mm de diamètre de gravier (A15)

Zone de rive : 1,3 cm d'épaisseur de couche et 25 mm de diamètre de gravier (A16)

Bien que, d'un point de vue structurel, l'épaisseur de la couche de gravier dans la zone d'angle et la zone de rive soit réalisable en pratique, le diamètre minimum requis pour que le gravier ne subisse pas lui-même les effets du vent est trop important (à savoir 64 mm et 25 mm), de sorte qu'il convient tout de même d'opter pour une autre forme de lestage.

A2.4 Détermination du nombre de fixations mécaniques requises dans le cas de panneaux d'isolation

Nous considérons des panneaux d'isolation fixés mécaniquement de 0,60 m x 1,20 m (= 0,72 m²) avec une résistance utile au vent (valeur de calcul) de 400 N par vis (selon la valeur reprise dans l'ATG ou la valeur forfaitaire reprise dans la NIT 239, §7.4.).

Le nombre de vis par panneau d'isolation peut être déterminé comme suit :

Zone d'angle : $-2592,5 \text{ N/m}^2 * 0,72 \text{ m}^2 / 400 \text{ N} = 4,67 \text{ vis}$ (5 vis/panneau) (A17)

Zone de rive : $-2160,5 \text{ N/m}^2 * 0,72 \text{ m}^2 / 400 \text{ N} = 3,89 \text{ vis}$ (4 vis/panneau) (A18)

Zone courante 1 : $-1512,1 \text{ N/m}^2 * 0,72 \text{ m}^2 / 400 \text{ N} = 2,72 \text{ vis}$ (3 vis/panneau) (A19)

Zone courante 2 : $-431,9 \text{ N/m}^2 * 0,72 \text{ m}^2 / 400 \text{ N} = 0,78 \text{ vis}$ (1 vis/panneau) (A20)

Naturellement, il y a lieu de respecter aussi les prescriptions relatives au nombre minimum de fixations par panneau. Ce nombre est déterminé conformément aux directives de l'UBA_{tc} en fonction du matériau qui compose les panneaux d'isolation :

Type d'isolation	Nombre minimum de fixations par panneau
Panneaux en laine minérale (LM)	1 pour les panneaux jusqu'à 2000 x 600 mm ² ou 1200 x 1000 mm ² 2 pour les panneaux plus grands
Mousse synthétique (EPS)	4 pour les panneaux jusqu'à 1,5m ² 6 pour les panneaux jusqu'à 2m ²
Mousse synthétique (PUR, PIR, PF)	4 pour les panneaux jusqu'à 1200 x 600 mm ² 6 pour les panneaux plus grands et/ou les panneaux de 30 mm d'épaisseur
Panneaux de perlite (EPB)	2 pour les panneaux jusqu'à 1200 x 600 mm ² 4 pour les panneaux plus grands

Tableau A11 : Nombre minimum requis de fixations par panneau d'isolation (directives de l'UBA_{tc})

Pour la pose correcte des vis, nous renvoyons à la NIT 239 et à l'ATG portant sur le matériau d'isolation concerné.