

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe Spécialisé n° 7

Produits et systèmes d'étanchéité
et d'isolation complémentaire
de parois verticales

Détermination de la sollicitation du vent selon l'Eurocode 1 : application au cas des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant

Ce document a été entériné le 21 mai 2014 par le Groupe Spécialisé n° 7
« Produits et systèmes d'étanchéité et d'isolation complémentaire
de parois verticales » de la Commission chargée de formuler des Avis Techniques.

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

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

© CSTB 2014

Détermination de la sollicitation du vent selon l'Eurocode 1 : application au cas des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant

SOMMAIRE

1. Introduction.....	2	Annexe 1	
1.1 Objet.....	2	Sollicitation de calcul	
1.2 Domaine d'application	2	à l'action du vent en dépression S_d	7
2. Sollicitation du vent déterminée		Annexe 2	
selon l'Eurocode 1	2	Catégories de terrain	11
2.1 Sollicitation de calcul.....	2		
2.2 Sollicitation caractéristique.....	2		
3. Les régions climatiques et			
les catégories de terrain	3		
3.1 Régions climatiques	3		
3.2 Catégories de terrain	4		
4. Autres coefficients d'effet			
et de pression – valeurs retenues	5		
4.1 Coefficient d'orographie.....	5		
4.2 Coefficient de direction	5		
4.3 Coefficient de saison	5		
4.4 Coefficient de pression intérieure	5		
4.5 Coefficient de pression extérieure			
en partie courante.....	5		
4.6 Coefficient de pression extérieure			
en rive de paroi	5		
5. Valeurs de sollicitation de calcul			
du vent	6		
6. Références	6		

1. Introduction

1.1 Objet

Le présent document a pour objet de déterminer la sollicitation du vent en dépression selon l'Eurocode 1 – Partie 1-4 – Action du vent (NF EN 1991-1-4) et son Annexe nationale, dans le cas des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant, pour les configurations les plus courantes de bâtiment, en France métropolitaine.

Ce document renvoie aux *Cahiers du CSTB 3701* « Détermination de la résistance au vent des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant fixés mécaniquement par chevilles » et *3702* « Détermination de la résistance au vent des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé fixés mécaniquement par profilés ».

Les calculs de l'action du vent ont été réalisés selon l'Eurocode 1 – Partie 1-4 (NF EN 1991-1-4) et son Annexe nationale dans le cadre restrictif d'hypothèses simplificatrices, qui sont présentées dans le corps de ce document. Les résultats de ces calculs sont donnés en *Annexe 1*.

1.2 Domaine d'application

Le présent document concerne les systèmes d'isolation thermique extérieure qui relèvent du Guide d'Agrément Technique Européen n° 004 (ETAG 004) et qui font l'objet d'un Document Technique d'Application ou d'un Avis Technique.

Il ne s'applique qu'aux cas les plus simples de bâtiments et est destiné à calculer la stabilité au vent des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant. Par conséquent, les bâtiments concernés doivent répondre à la liste des exigences ci-dessous. En dehors de cette configuration, il convient de se référer à l'Eurocode 1 pour déterminer l'action du vent.

Les bâtiments concernés sont les bâtiments répondant à l'ensemble des conditions suivantes :

- position de la construction dans l'espace :
 - bâtiment situé entre 0 et 900 m d'altitude,
 - pente moyenne du terrain au vent inférieure à 3°. Le terrain au vent doit être pris en considération jusqu'à une distance équivalente à 10 fois la hauteur de l'élément de relief isolé (colline, falaise, etc.),
 - bâtiment non situé dans une zone de sillage turbulent,
 - bâtiment non soumis à l'influence d'une construction de grande hauteur ;
- forme d'ensemble de la construction :
 - bâtiment constitué d'un bloc unique à toiture unique,
 - bâtiment prismatique à base rectangulaire,
 - hauteur du bâtiment n'excédant pas 60 m,
 - hauteur du bâtiment inférieure ou égale à cinq fois la largeur du bâtiment.

2. Sollicitation du vent déterminée selon l'Eurocode 1

2.1 Sollicitation de calcul

La sollicitation de calcul à l'action du vent en dépression S_d (exprimée en Pa ou N/m²) est donnée par la relation :

$$S_d = \gamma_F \cdot S_k$$

S_k : sollicitation caractéristique due au vent, en Pa ou N/m²

γ_F : coefficient partiel de sécurité sur la sollicitation du vent, égal à 1,5

2.2 Sollicitation caractéristique

La sollicitation caractéristique S_k est égale à la sollicitation due à l'action du vent normal W_e .

Elle s'exprime en Pa ou N/m², et est donnée par la relation :

$$W_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$q_p(z_e)$: pression dynamique de pointe en N/m²

z_e : hauteur de référence en m

c_{pe} : coefficient de référence pour la pression extérieure

La hauteur de référence z_e est prise égale à la hauteur du bâtiment H .

La pression dynamique $q_p(z_e)$ agissant à la hauteur z_e au-dessus du sol est donnée par la relation suivante :

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2$$

$q_p(z)$: pression dynamique de pointe à la hauteur z

$l_v(z)$: intensité de la turbulence à la hauteur z

ρ : masse volumique de l'air (prise égale à 1,225 kg/m³)

v_m : vitesse moyenne du vent, en m/s

L'intensité de la turbulence est donnée par la relation suivante :

$$l_v(z) = \begin{cases} \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_o)} & \text{pour } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \\ l_v(z_{\min}) & \text{pour } z \leq z_{\min} \end{cases}$$

Avec

$$k_l = 1 - 2 \cdot 10^{-4} [\log_{10}(z_o) + 3]^6$$

z_0 : longueur de rugosité en m (cf. *Tableau 2*)
 $c_0(z)$: coefficient d'orographie
 k_t : coefficient de turbulence

La vitesse moyenne du vent est définie en fonction de la direction de celui-ci et de la période de l'année :

$$v_m = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

$c_r(z)$: coefficient de rugosité :
 c_{dir} : coefficient de direction
 c_{season} : coefficient de saison
 $v_{b,0}$: valeur de base de la vitesse de référence du vent¹ en m/s (cf. *Tableau 1*)

Le coefficient de rugosité $c_r(z)$ qui dépend du facteur de terrain k_r est donné par la relation suivante :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ pour } z_{min} < z < z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \text{ pour } z \leq z_{min}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

z_{min} : hauteur minimale en m (cf. *Tableau 2*)
 z_0 : longueur de rugosité en m (cf. *Tableau 2*)
 z_{max} = 200 m
 $z_{0,II}$ = 0,05 m

3. Les régions climatiques et les catégories de terrain

3.1 Régions climatiques

Les régions climatiques de la France métropolitaine sont représentées sur la *Figure 1*. Ces régions sont identiques à celles définies dans les Règles NV 65. Les valeurs de base de la vitesse de référence correspondant à ces régions sont données dans le *Tableau 1*.

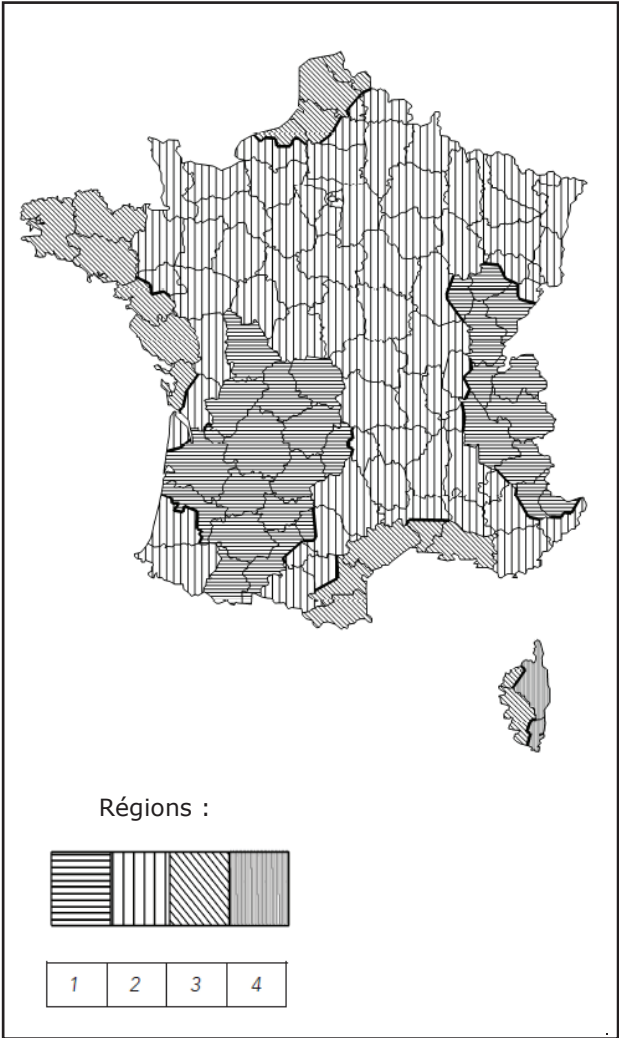


Figure 1 – Carte des régions de vent en France métropolitaine²

Tableau 1 – Valeur de base de la vitesse de référence $v_{b,0}$ par région, en France métropolitaine

Région	1	2	3	4
$v_{b,0}$ (m/s)	22	24	26	28

¹ La valeur de base de la vitesse de référence du vent $v_{b,0}$ est la vitesse moyenne sur 10 minutes caractéristiques, à une hauteur de 10 m au-dessus du sol en catégorie de terrain II.

² Extrait de l'Annexe Nationale à l'Eurocode 1 – Partie 1 - 4 – Clause 4.2.

3.2 Catégories de terrain

À l'intérieur d'une région à laquelle correspond une valeur de base de la vitesse de référence, il convient de tenir compte de la nature du terrain d'implantation de la construction. Les terrains sont répartis en cinq catégories présentées dans le *Tableau 2* et illustrées en *Annexe 2*.

Dans le cas du littoral méditerranéen, hors Corse, les systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant dont la situation correspond à la catégorie 0 sont considérés comme en catégorie de terrain II, vis-à-vis des effets du vent.

La catégorie de terrain à prendre en compte est définie dans une zone de rayon R qui dépend de la hauteur H du bâtiment, et qui est donné dans le *Tableau 3*.

Lorsqu'il existe au moins deux catégories de terrain dans le secteur angulaire considéré, il convient de retenir la catégorie de terrain la plus élevée.

Les documents particuliers du marché préciseront la catégorie de terrain de l'ouvrage.

À défaut, on peut prendre en compte, par simplification, les catégories de terrain suivantes selon la topographie du site de l'ouvrage :

- mer ou zone côtière exposée aux vents de mers, lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km : catégorie de terrain 0 ;
- campagne : catégorie de terrain II ;
- zones urbaines ou industrielles : catégorie de terrain IIIb.

Tableau 2 – Catégories et paramètres de terrain

Catégories de terrain		Longueur de rugosité z_0 (m)	Hauteur minimale z_{\min} (m)
0	Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer ; lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km	0,005	1
II	Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur	0,05	2
IIIa	Campagne avec des haies, vignobles, bocage, habitat dispersé	0,20	5
IIIb	Zone urbanisée ou industrielle ; bocage dense ; vergers	0,5	9
IV	Zone urbaine dont au moins 15 % de la surface est recouverte de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m ; forêts	1,0	15

Tableau 3 – Rayon de la zone à prendre en compte pour la définition de la catégorie de terrain, en fonction de la hauteur du bâtiment

Hauteur H (m)	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Rayon R (m)	300	460	740	1 050	1 370	1 700	2 040	2 400	2 760	3 130

4. Autres coefficients d'effet et de pression – valeurs retenues

Les valeurs retenues pour les coefficients d'effet et de pression valent pour les systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant situés sur des bâtiments définis au paragraphe 1.2.

4.1 Coefficient d'orographie

Les effets de l'orographie peuvent être négligés lorsque la pente moyenne du terrain au vent est inférieure à 3° . Le terrain au vent peut être pris en considération jusqu'à une distance équivalente à 10 fois la hauteur de l'élément orographique isolé.

Un coefficient $c_o(z) = 1$ est appliqué.

4.2 Coefficient de direction

Le coefficient de direction autorise une réduction des vitesses de vent considérées lorsque le vent vient d'une direction où la probabilité d'occurrence de vents forts est moindre.

Un coefficient de direction $c_{dir} = 1$ est appliqué.

4.3 Coefficient de saison

Le coefficient de saison permet de tenir compte du fait que le risque de vents forts est plus faible entre avril et octobre, dans le cas de projets de faible durée. Dans une situation de projet durable, le coefficient de saison est égal à 1.

Un coefficient de saison $c_{season} = 1$ est appliqué.

4.4 Coefficient de pression intérieure

Dans le cas du calcul de la stabilité des panneaux isolants des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant, l'action du vent sur la paroi intérieure du bâtiment n'intervient pas.

Un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = 0$ est appliqué.

4.5 Coefficient de pression extérieure en partie courante

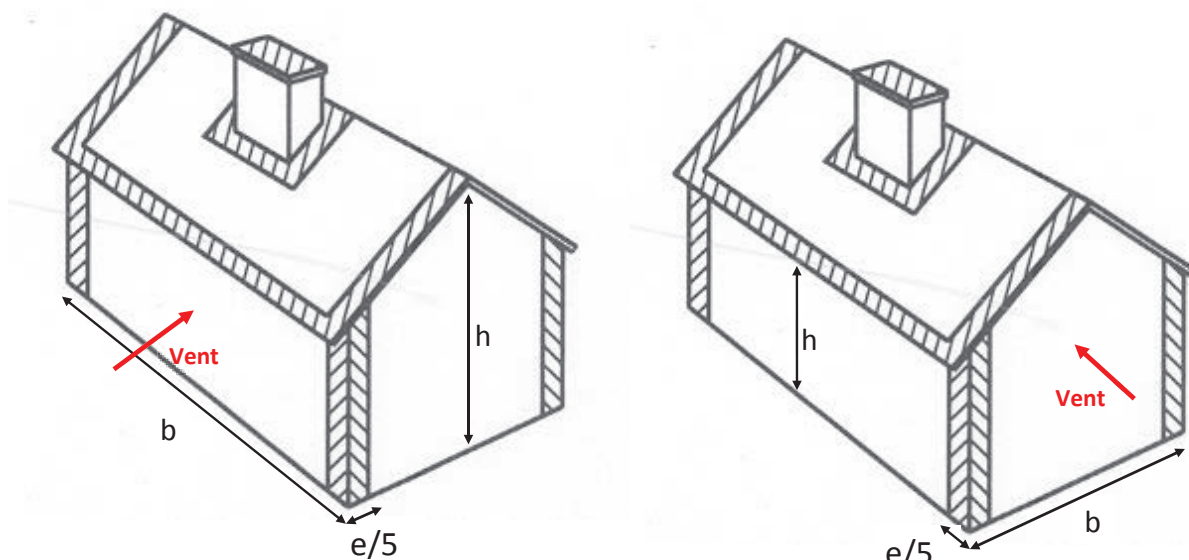
Le coefficient de pression extérieure $c_{pe,1}$ est donné pour la face sous le vent car la stabilité au vent des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant est calculée en traction.

Un coefficient de pression extérieure en partie courante $c_{pe} = -1,1$ est appliqué³.

4.6 Coefficient de pression extérieure en rive de paroi

Les actions locales intéressent particulièrement les systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant. Elles sont à prendre en compte à partir de l'arête des dièdres formés par deux façades consécutives sur une profondeur égale à $1/5^e$ de la plus petite des deux dimensions suivantes : b ou $2h$ (cf. Figure 2).

Un coefficient de pression extérieure en rive de paroi $c_{pe} = -1,4$ est appliqué.



e = la plus petite des deux dimensions suivantes : b ou $2h$

b : dimension du côté perpendiculaire au vent

h : hauteur de la paroi

Figure 2 – Illustration des zones de rive sur un bâtiment

³ Cf. Eurocode 1 - § 7. 2. 10 - Note 2 - 4^e alinéa : « Pour les murs comportant une paroi extérieure imperméable et une paroi intérieure également imperméable mais plus rigide, la force extérieure peut être calculée à partir de $C_{p,net} = C_{pe}$ »

5. Valeurs de sollicitation de calcul du vent

Les valeurs de sollicitation dues à l'action du vent en dépression sur les systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant sont données en *Annexe 1*. Pour chaque région climatique, un tableau indique la sollicitation due au vent en fonction de la catégorie de terrain et de la hauteur du bâtiment.

Les valeurs, exprimées en Pa ou N/m², sont arrondies au multiple de 5 immédiatement supérieur.

Les tableaux donnés en *Annexe 1* donnent la valeur S_d qui est mentionnée au paragraphe 3.1 des *Cahiers du CSTB 3701* et *3702*, sans qu'il soit nécessaire de multiplier cette valeur par un coefficient de sécurité supplémentaire.

6. Références

- NF EN 1991-1-4 (novembre 2005) : Eurocode 1 : actions sur les structures - Partie 1-4 : actions générales - Actions du vent.
- NF EN 1991-1-4/NA (mars 2008) : Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4 :2005 : Actions générales – actions du vent.
- DTU P 06-002 (février 2009) : Règles NV 65 - Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions.
- European Technical Approval Guideline no. 004 (ETAG 004): External thermal insulation composite systems with rendering (ETICS), édition 2000 - amended August 2011 - amended February 2013.
- Cahier du CSTB 3035_V2, juillet 2013 : Cahier des Prescriptions Techniques d'emploi et de mise en œuvre des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé.
- Cahier du CSTB 3701, janvier 2012 : Détermination de la résistance au vent des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant fixés mécaniquement par cheville.
- Cahier du CSTB 3702, janvier 2012 : Détermination de la résistance au vent des systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé fixés mécaniquement par profilés.

Annexe 1

Sollicitation de calcul

à l'action du vent en dépression S_d

Pour chaque région climatique (régions 1 à 4), les valeurs sont données en fonction du type de terrain (0, II, IIIa, IIIb et IV) et de la hauteur de référence z_e .

La hauteur de référence z_e est prise égale à la hauteur du bâtiment H .

Remarque

Contrairement aux Règles NV 65 qui permettaient de faire varier la pression du vent en fonction de la hauteur de l'élément considéré sur la façade, l'Annexe nationale de l'Eurocode 1 invalide cette pratique pour les zones en dépression¹.

Région 1					
Hauteur de référence	S_d en partie courante (N/m²)				
z_e	IV	IIIb	IIIa	II	0
6 m	635	660	745	995	1 280
12 m	635	750	960	1 205	1 475
18 m	690	880	1 090	1 340	1 595
24 m	785	975	1 190	1 435	1 680
30 m	860	1 055	1 270	1 510	1 750
36 m	925	1 120	1 335	1 575	1 805
42 m	980	1 180	1 395	1 630	1 855
48 m	1 025	1 230	1 445	1 680	1 900
54 m	1 070	1 275	1 490	1 725	1 935
60 m	1 110	1 315	1 530	1 760	1 970
z_e	S_d en rive de paroi (N/m²)				
6 m	805	840	950	1 265	1 630
12 m	805	955	1 220	1 535	1 875
18 m	880	1 120	1 390	1 705	2 025
24 m	995	1 245	1 515	1 825	2 140
30 m	1 095	1 345	1 615	1 925	2 225
36 m	1 175	1 425	1 700	2 005	2 300
42 m	1 245	1 500	1 775	2 075	2 360
48 m	1 305	1 565	1 840	2 135	2 415
54 m	1 360	1 620	1 895	2 190	2 465
60 m	1 410	1 675	1 945	2 240	2 510

¹ Cf. Clause 7.2.2 de l'Annexe nationale à l'Eurocode 1 – Action du vent.

Région 2					
Hauteur de référence	S_d en partie courante (N/m²)				
z_e	IV	IIIb	IIIa	II	0
6 m	755	785	885	1 185	1 525
12 m	755	890	1 140	1 435	1 755
18 m	820	1 045	1 300	1 590	1 895
24 m	935	1 165	1 415	1 705	2 000
30 m	1 020	1 255	1 510	1 800	2 080
36 m	1 100	1 335	1 590	1 875	2 150
42 m	1 165	1 400	1 660	1 940	2 210
48 m	1 220	1 460	1 720	2 000	2 260
54 m	1 275	1 515	1 770	2 050	2 305
60 m	1 320	1 565	1 820	2 095	2 345
z_e	S_d en rive de paroi (N/m²)				
6 m	960	1 000	1 130	1 510	1 940
12 m	960	1 135	1 450	1 825	2 230
18 m	1 045	1 330	1 655	2 025	2 410
24 m	1 185	1 480	1 805	2 170	2 545
30 m	1 300	1 600	1 925	2 290	2 650
36 m	1 395	1 700	2 025	2 385	2 735
42 m	1 480	1 785	2 110	2 470	2 810
48 m	1 555	1 860	2 185	2 545	2 875
54 m	1 620	1 930	2 255	2 610	2 935
60 m	1 680	1 990	2 315	2 670	2 985

Région 3					
Hauteur de référence	S_d en partie courante (N/m²)				
z_e	IV	IIIb	IIIa	II	0
6 m	885	920	1 040	1 390	1 785
12 m	885	1 045	1 335	1 685	2 060
18 m	965	1 230	1 525	1 870	2 225
24 m	1 095	1 365	1 665	2 005	2 345
30 m	1 200	1 475	1 775	2 110	2 445
36 m	1 290	1 565	1 865	2 200	2 525
42 m	1 365	1 645	1 945	2 280	2 590
48 m	1 435	1 715	2 015	2 345	2 650
54 m	1 495	1 780	2 080	2 405	2 705
60 m	1 550	1 835	2 135	2 460	2 755
z_e	S_d en rive de paroi (N/m²)				
6 m	1 125	1 175	1 325	1 770	2 275
12 m	1 125	1 330	1 700	2 145	2 620
18 m	1 225	1 560	1 940	2 375	2 830
24 m	1 390	1 735	2 115	2 550	2 985
30 m	1 525	1 875	2 255	2 685	3 110
36 m	1 640	1 990	2 375	2 800	3 210
42 m	1 735	2 095	2 475	2 900	3 295
48 m	1 825	2 185	2 565	2 985	3 375
54 m	1 900	2 265	2 645	3 060	3 440
60 m	1 970	2 335	2 720	3 130	3 505

Région 4					
Hauteur de référence	S_d en partie courante (N/m²)				
z_e	IV	IIIb	IIIa	II	0
6 m	1 025	1 070	1 205	1 610	2 075
12 m	1 025	1 210	1 550	1 955	2 385
18 m	1 120	1 425	1 765	2 165	2 580
24 m	1 270	1 580	1 930	2 325	2 720
30 m	1 390	1 710	2 055	2 450	2 835
36 m	1 495	1 815	2 165	2 550	2 925
42 m	1 585	1 910	2 255	2 640	3 005
48 m	1 660	1 990	2 340	2 720	3 075
54 m	1 730	2 060	2 410	2 790	3 135
60 m	1 795	2 130	2 480	2 855	3 195
z_e	S_d en rive de paroi (N/m²)				
6 m	1 305	1 360	1 535	2 050	2 635
12 m	1 305	1 540	1 975	2 485	3 035
18 m	1 420	1 810	2 250	2 755	3 285
24 m	1 615	2 010	2 455	2 955	3 460
30 m	1 770	2 175	2 615	3 115	3 605
36 m	1 900	2 310	2 755	3 245	3 725
42 m	2 015	2 425	2 870	3 360	3 825
48 m	2 115	2 530	2 975	3 460	3 915
54 m	2 205	2 625	3 070	3 550	3 990
60 m	2 285	2 710	3 155	3 630	4 065

Annexe 2

Catégories de terrain

Cette Annexe fournit des photographies aériennes illustrant les différentes catégories de terrain. Elles sont extraites de l'Annexe nationale à l'Eurocode 1 – Partie 1-4, Clause 4.3.2 (1).



Photo 1 – Rugosité 0 (mer) et rugosité IV (ville)



Photo 2 – Rugosité II (rase campagne, aéroport)



Photo 3 – Rugosité II (rase campagne)



Photo 4 – Rugosité IIIa (campagne avec des haies, bocage, etc.)



Photo 5 – Rugosité IIIb (bocage dense)



Photo 6 – Rugosité IIIb (zone industrielle)



Photo 7 – Rugosité IV (ville)



Photo 8 – Rugosité IV (ville)



Photo 9 – Rugosité IV (forêt)

SIÈGE SOCIAL

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



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