



Date de publication :
10 mai 2014

Actions du vent sur les bâtiments selon l'Eurocode 1 – Partie 1-4

Cet article est issu de : **Construction et travaux publics | Les superstructures du bâtiment**

par **Danielle CLAVAUD**

Mots-clés

réglementation | Risques | vent
| Bâtiment | Réglementation |
Normalisation | règles de
constructions | Eurocode 1

Résumé Un bâtiment doit résister aux actions auxquelles il risque d'être soumis pendant sa durée de vie. Cet article indique comment déterminer les actions du vent naturel à prendre en compte pour calculer les structures des bâtiments, ainsi que leurs éléments constitutifs pour chacune des zones affectées par ces actions. La vitesse locale du vent dépend du lieu, de la hauteur au-dessus du sol, du type de terrain que celui-ci rencontre sur sa trajectoire. De son côté, un bâtiment se présente comme un obstacle à la progression du vent. Ce dernier y exerce des pressions sur les parois qui engendrent des forces perpendiculaires à la surface de la construction. Les actions sur la construction dépendent de la forme, des dimensions, de la rigidité, des ouvertures (portes, fenêtres, fuites) pratiquées dans le bâtiment, ainsi que de son environnement immédiat. [...]

Keywords

regulation | Risks | wind |
building construction | Codes |
normalisation | buildings codes
| Eurocode 1

Abstract A building must resist the actions to which it is likely to be subjected for its lifetime. This paper shows how to determine the natural wind actions to be taken into account to design building structures as well as their components for each zone affected by these actions.

Pour toute question :

Service Relation clientèle
Techniques de l'Ingénieur
Immeuble Pleyad 1
39, boulevard Ornano
93288 Saint-Denis Cedex

Par mail :
infos.clients@teching.com

Par téléphone :
00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **07/03/2017**

Pour le compte : **7200030444 - univ. paris est marne la vallee // 195.221.193.43**

Actions du vent sur les bâtiments selon l'Eurocode 1 – Partie 1-4

par **Danielle CLAVAUD**

Chef de projet Recherche

Centre technique industriel de la construction métallique

1. Domaine d'application – Classification	C 3 306 – 2
2. Vitesse et pression dynamique du vent	– 2
2.1 Vitesse de référence	– 2
2.2 Vent moyen	– 3
2.2.1 Catégories de terrain	– 3
2.2.2 Augmentation de la vitesse moyenne	– 3
2.3 Turbulence du vent	– 10
2.4 Pression dynamique de pointe	– 11
3. Actions du vent	– 12
3.1 Pressions aérodynamiques sur les surfaces	– 12
3.2 Forces exercées par le vent	– 13
4. Coefficients de pression et de frottement	– 13
4.1 Coefficients de pression pour les bâtiments	– 13
4.1.1 Coefficients de pression extérieure	– 13
4.1.2 Coefficients de pression intérieure	– 20
4.1.3 Coefficients de pression résultante.....	– 20
4.2 Coefficients de frottement	– 24
5. Coefficient structural	– 24
5.1 Définition de z_s	– 25
5.2 Turbulence du vent	– 25
5.3 Fonction de densité spectrale $S_L(z, n)$	– 25
5.4 Coefficient de réponse quasi-statique B^2	– 26
5.5 Facteur de pointe k_p	– 26
5.6 Coefficient de réponse résonante R^2	– 27
5.7 Caractéristiques dynamiques des structures	– 28
5.7.1 Fréquence fondamentale.....	– 28
5.7.2 Déformée du mode fondamental	– 28
5.7.3 Masse équivalente m_e	– 29
5.7.4 Décrément logarithmique d'amortissement δ	– 29
5.7.5 Décrément logarithmique d'amortissement structural δ_s	– 30
5.7.6 Valeurs du coefficient structural	– 30
6. Exemple d'application	– 32
6.1 Détermination de la pression dynamique de pointe	– 33
6.1.1 Vitesse de référence v_b	– 33
6.1.2 Pression dynamique de base	– 34
6.1.3 Coefficient d'exposition.....	– 34
6.1.4 Pression dynamique de pointe	– 35
6.2 Forces exercées par le vent	– 35
6.2.1 Coefficient structural $c_s c_d$	– 35
6.2.2 Coefficients de pression extérieure c_{pe}	– 35
7. Conclusion	– 40
Pour en savoir plus	Doc. C 3 306

L'ensemble des règles techniques, harmonisées pour le dimensionnement des ouvrages de bâtiment et de génie civil au niveau européen, a été publié. Ces normes européennes, appelées Eurocodes, remplacent les règles nationales en vigueur.

Dans ce cadre, l'Eurocode 1 définit les actions sur les structures. Il est composé de plusieurs parties rattachées à diverses actions. La partie 1-4 fournit des indications pour la conception structurale des ouvrages de construction en ce qui concerne les actions du vent. Une Annexe nationale apporte un ensemble de précisions et de compléments, permettant l'application de cette norme, pour la conception des ouvrages de construction à réaliser sur le territoire national français.

La norme NF EN 1991-1-4 de novembre 2005 et son Annexe nationale NF EN 1991-1-4/NA de mars 2008 – avec ses Amendements NF EN 1991-1-4/NA/A1 d'octobre 2010 [1] [2] et NF EN 1991-1-4/NA/A2 de juin 2012 – sont destinées aux calculateurs, aux concepteurs, aux constructeurs et aux autorités publiques. Elles fixent les valeurs des vitesses du vent et permettent d'évaluer les efforts correspondants, agissant sur la structure d'une construction.

Pour la cohérence des calculs, elles sont destinées à être utilisées avec les autres parties de l'Eurocode 1, ainsi qu'avec les autres Eurocodes. En particulier, ceux qui traitent spécifiquement des structures (EN 1992 à 1999).

Les bâtiments doivent être conçus et dimensionnés pour résister aux vents les plus forts qui sont susceptibles de se produire au cours de leur vie sur leur lieu d'implantation. La carte des vitesses du vent sur notre territoire métropolitain est basée sur une série de mesures de vitesses maximales effectuée par Météo France. Pour les départements d'outre-mer, en particulier, les départements soumis aux cyclones tropicaux, les vitesses des vents extrêmes ont été déterminées à partir des relevés météorologiques et d'estimations basées sur la cartographie du vent maximum historiquement vraisemblable [3] [4].

1. Domaine d'application – Classification

Ce document se limite aux actions du vent sur les bâtiments couvrants dont la hauteur peut atteindre 200 m.

L'EN 1991-1-4 traite plus largement des actions du vent sur :

- les ouvrages de génie civil ;
- les toitures isolées ;
- les cylindres ;
- les structures en treillis ;
- les ponts.

Ces sujets pourront faire l'objet d'un document complémentaire.

Les actions du vent doivent être classées comme des actions variables fixes.

Elles sont considérées comme un ensemble simplifié de forces, ou de pressions, d'effets équivalents aux effets extrêmes du vent turbulent. Les pressions qui s'exercent sur les parois engendrent des forces perpendiculaires à la surface de la construction.

Elles doivent être déterminées pour chaque situation de projet. Les évolutions au cours des phases d'exécution doivent être examinées. La fatigue doit être prise en compte pour les structures sensibles.

L'ouverture d'une porte ou d'une fenêtre, fermée en situation de projet durable, est considérée comme une situation de projet accidentelle.

Les situations de projet durables (exploitation), transitoires (exécution) et accidentelles (exceptionnelle) sont définies dans l'Eurocode EN 1990.

2. Vitesse et pression dynamique du vent

La vitesse du vent peut être considérée comme l'addition vectorielle d'une composante représentant la vitesse moyenne et d'une composante représentant la vitesse turbulente et instantanée.

2.1 Vitesse de référence

Les valeurs caractéristiques sont déterminées à partir de la vitesse de référence $v_{b,0}$ (ou de la pression dynamique de référence $q_{b,0}$), dont la période moyenne de retour est de 50 ans (probabilité de dépassement p sur une période de 1 an = 0,02) et sont attachées à la carte de zonage (figure 1). C'est une vitesse moyenne sur 10 min, à une hauteur de 10 m, en rase campagne.

Le découpage en « régions » par départements et, pour les départements appartenant à plusieurs zones par cantons font respectivement l'objet des tableaux 1 et 2.

■ Calcul de la pression dynamique q

La pression dynamique q (en N/m^2) est établie par application du théorème de Bernoulli à partir de la vitesse du vent v (en m/s) :

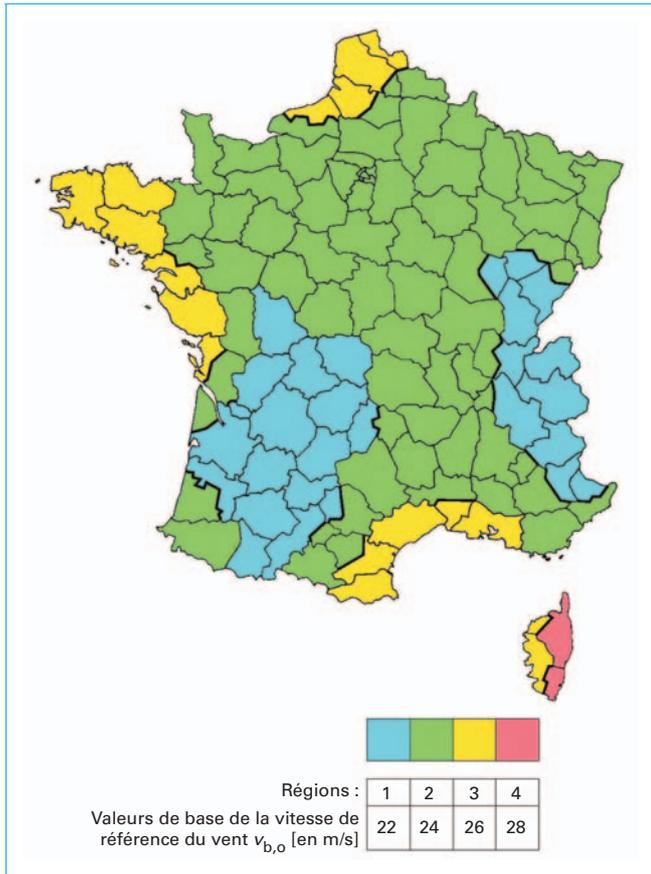
$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

avec ρ masse volumique de l'air = 1,225 kg/m^3

■ Coefficients de direction (c_{dir}) et de Saison (c_{season})

Cette valeur de base de référence peut, éventuellement, être corrigée par :

- un coefficient de direction c_{dir} ($c_{dir} \max = 1$) ;


Figure 1 – Carte de zonage

– un coefficient de saison c_{season} ($c_{\text{season}} \text{ max} = 1$) ; alors :

$$V_b = C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot V_{b,0}$$

• Le **coefficient de direction** C_{dir} ne s'applique à une valeur $V_{b,0}$ que si les directions de vent correspondantes (normales à une face $\pm 45^\circ$) sont entièrement contenues dans l'intervalle défini sur la figure 2. Les valeurs de ce coefficient de direction sont attachées à la carte de la figure 2.

Le secteur angulaire nominal de $\pm 45^\circ$ peut être ramené à $\pm 15^\circ$ si la construction a fait l'objet d'une étude par simulation (étude en soufflerie ou simulation numérique).

• Le **coefficient de saison** c_{season} , représenté à la figure 3, s'applique aux constructions provisoires ou en phase d'exécution.

Ce coefficient c_{season} peut être associé au coefficient de probabilité c_{prob} , dont les valeurs sont données dans le tableau 3.

$$c_{\text{prob}} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln[-\ln(1-p)]}{1 - K \cdot \ln[-\ln(0,98)]} \right)^n$$

avec K paramètre de forme = 0,15,
 n exposant = 0,5 pour des probabilités $p > 0,02$.

• Le **coefficient de saison pour les DOM** exposés aux cyclones fait l'objet du tableau 4.

2.2 Vent moyen

La vitesse de vent moyen $v_m(z)$ est nécessaire pour calculer le coefficient structural $c_s c_d$.

La vitesse du vent est modifiée par :

- la hauteur z (en m) au-dessus du sol ;
- la rugosité du terrain attachée à la catégorie de terrain, définie dans le tableau 5 ;
- l'orographie.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b$$

avec $v_m(z)$ vitesse moyenne du vent à la hauteur z ,

$c_0(z)$ coefficient orographique,

$c_r(z)$ coefficient de rugosité :

$$= k_r \cdot \ln(z / z_0) \quad \text{pour } z_{\text{min}} \leq z \leq z_{\text{max}}$$

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

avec z_0 longueur de rugosité de la catégorie de terrain considérée,

k_r facteur de terrain :

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

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m (catégorie de terrain II)}$$

$$z_{\text{max}} = 200 \text{ m}$$

2.2.1 Catégories de terrain

La catégorie de terrain est à spécifier dans les documents du marché. Les catégories de terrain et les différents paramètres attachés à chacune de ces catégories sont définis dans le tableau 5.

Les figures 4, 5, 6, 7 et 8 donnent des illustrations des différentes catégories de terrain.

À défaut de spécification dans les documents du marché, la rugosité du terrain peut être prise en compte en fonction de la distance sur laquelle s'étend cette rugosité et du secteur angulaire de 30° , soit $\pm 15^\circ$ par rapport à la direction du vent (indiquée par la figure 9).

Le rayon R du secteur angulaire dépend de la hauteur h de la construction :

$$R = 23 \cdot h^{1,2}$$

avec $R > 300 \text{ m}$ et h en m.

2.2.2 Augmentation de la vitesse moyenne

La vitesse moyenne du vent peut augmenter du fait de l'orographie (voir § 2.2.2.1) ou de la proximité d'une construction de grande hauteur (voir § 2.2.2.2).

2.2.2.1 Effets de l'orographie

Les effets de l'orographie peuvent être négligés si la pente moyenne du terrain au vent est inférieure à 3° , alors, $c_0(z) = 1$.

Le coefficient d'orographie $c_0(z)$ est toujours ≥ 1 .

Tableau 1 – Classement par département

Départements	Région(s)	Départements	Région(s)	Départements	Région(s)
01 Ain	1 ; 2	32 Gers	1	64 Pyrénées-Atlantiques	2
02 Aisne	2	33 Gironde	1 ; 2	65 Hautes-Pyrénées	1
03 Allier	2	34 Hérault	3	66 Pyrénées-Orientales	3
04 Alpes-de-Haute-Provence	1 ; 2	35 Ille-et-Vilaine	2	67 Bas-Rhin	2
05 Hautes-Alpes	1 ; 2	36 Indre	2	68 Haut-Rhin	2
06 Alpes-Maritimes	1 ; 2	37 Indre-et-Loire	2	69 Rhône	2
07 Ardèche	2	38 Isère	1 ; 2	70 Haute-Saône	1 ; 2
08 Ardennes	2	39 Jura	1	71 Saône-et-Loire	2
09 Ariège	2	40 Landes	1 ; 2	72 Sarthe	2
10 Aube	2	41 Loir-et-Cher	2	73 Savoie	1
11 Aude	2 ; 3	42 Loire	2	74 Haute-Savoie	1
12 Aveyron	2	43 Haute-Loire	2	75 Paris	2
13 Bouches-du-Rhône	3	44 Loire-Atlantique	2 ; 3	76 Seine-Maritime	2 ; 3
14 Calvados	2	45 Loiret	2	77 Seine-et-Marne	2
15 Cantal	1 ; 2	46 Lot	1	78 Yvelines	2
16 Charente	1	47 Lot-et-Garonne	1	79 Deux-Sèvres	2
17 Charente-Maritime	1 ; 2 ; 3	48 Lozère	2	80 Somme	2 ; 3
18 Cher	2	49 Maine-et-Loire	2	81 Tarn	1 ; 2
19 Corrèze	1	50 Manche	2	82 Tarn-et-Garonne	1
2B Haute-Corse	3 ; 4	51 Marne	2	83 Var	2
2A Corse-du-Sud	3 ; 4	52 Haute-Marne	2	84 Vaucluse	2
21 Côte-d'Or	1 ; 2	53 Mayenne	2	85 Vendée	3
22 Côtes-d'Armor	3	54 Meurthe-et-Moselle	2	86 Vienne	1
23 Creuse	1	55 Meuse	2	87 Haute-Vienne	1
24 Dordogne	1	56 Morbihan	3	88 Vosges	2
25 Doubs	1 ; 2	57 Moselle	2	89 Yonne	2
26 Drôme	2	58 Nièvre	2	90 Territoire de Belfort	2
27 Eure	2	59 Nord	2 ; 3	91 Essonne	2
28 Eure-et-Loir	2	60 Oise	2	92 Hauts-de-Seine	2
29 Finistère	3	61 Orne	2	93 Seine-Saint-Denis	2
30 Gard	2 ; 3	62 Pas-de-Calais	2 ; 3	94 Val-de-Marne	2
31 Haute-Garonne	1 ; 2	63 Puy-de-Dôme	2	95 Val-d'Oise	2

Tableau 2 – Départements appartenant à plusieurs régions – découpage selon les cantons à partir du découpage administratif de la France publié par IGN – Paris 1997 (Édition 2)

Départements	Région(s)	Cantons
01 – Ain	2	Bâgé-le-Châtel, Chalamont, Châtillon-sur-Chalaronne, Coligny, Meximieux, Miribel, Montluel, Montrevel-en-Bresse, Pont-de-Vaux, Pont-de-Veyle, Reyrieux, Saint-Triviers-de-Courtes, Saint-Triviers-sur-Moignans, Thoissey, Trévoux, Villars-les-Dombes
	1	Tous les autres cantons
04 – Alpes-de-Haute-Provence	1	Annot, Barcelonnette, Colmars, Entrevaux, Javie (la), Lauzet-Ubaye (le), Saint-André-les-Alpes, Seyne
	2	Tous les autres cantons
05 – Hautes-Alpes	2	Aspres-sur-Buëch, Barillonnette, Laragne-Montéglin, Orpierre, Ribiers, Rosans, Serres, Tallard, Veynes
	1	Tous les autres cantons
06 – Alpes-Maritimes	1	Guillaumes, Puget-Théniers, Saint-Étienne-de-Tinée, Saint-Martin-Vésubie, Saint-Sauveur-sur-Tinée, Villars-sur-Var
	2	Tous les autres cantons
11 – Aude	2	Alaigne, Alzonne, Belpech, Carcassonne (tous cantons), Castelnaudary (tous cantons), Chala-bre, Conques-sur-Orbiel, Fanjeaux, Limoux, Mas-Cabardès, Montréal, Saissac, Salles-sur-l'Hers
	3	Tous les autres cantons
15 – Cantal	2	Allanche, Chaudes-Aigues, Condat, Massiac, Murat, Pierrefort, Ruynes-en-Margeride, Saint-Flour (tous cantons)
	1	Tous les autres cantons
17 – Charente-Maritime	1	Montendre, Montguyon, Montlieu-la-Garde
	2	Archiac, Aulnay, Burie, Cozes, Gémozac, Jonzac, Loulay, Matha, Mirambeau, Pons, Saintes (tous cantons), Saint-Genis-de-Saintonge, Saint-Hilaire-de-Villefranche, Saint-Jean-d'Angély, Saint-Porchaire, Saint-Savinien, Saujon, Tonnay-Boutonne,
	3	Tous les autres cantons
2A – Corse-du-Sud	4	Bonifacio, Figari, Levie, Porto-Vecchio, Serra-di-Scopamène
	3	Tous les autres cantons
2B – Haute-Corse	3	Belgodère, Calenzana, Calvi, Île-Rousse (l')
	4	Tous les autres cantons
21 – Côte-d'Or	1	Auxonne, Chenôve, Dijon (tous cantons), Fontaine-Française, Fontaine-les-Dijon, Genlis, Grancey-le-Château-Neuville, Is-sur-Tille, Mirebeau-sur-Bèze, Pontailler-sur-Saône, Saint-Jean-de-Losne, Saint-Seine-l'Abbaye, Selongey
	2	Tous les autres cantons
25 – Doubs	2	Audincourt, Clerval, Etupes, Hérimoncourt, Isle-sur-le-Doubs (l'), Maîche, Montbéliard (tous cantons), Pont-de-Roide, Saint-Hippolyte, Sochaux, Valentigney
	1	Tous les autres cantons
30 – Gard	3	Aigues-Mortes, Aimargues, Aramon, Beaucaire, Bouillargues, Saint-Gilles, Marguerittes, Nîmes (tous cantons), Quissac, Saint-Mamert-du-Gard, Sommières, Vauvert
	2	Tous les autres cantons

Tableau 2 – Départements appartenant à plusieurs régions – découpage selon les cantons à partir du découpage administratif de la France publié par IGN – Paris 1997 (Édition 2) (suite)

Départements	Région(s)	Cantons
31 – Haute-Garonne	2	Auterive, Caraman, Cintegabelle, Lanta, Montgiscard, Nailloux, Revel, Villefranche-de-Lauragais
	1	Tous les autres cantons
33 – Gironde	2	Castelnaud-de-Médoc, Lesparre-Médoc, Pauillac, Saint-Laurent-Médoc, Saint-Vivien-de-Médoc
	1	Tous les autres cantons
38 – Isère	2	Beaurepaire, Heyrieux, Roussillon, Saint-Jean-de-Bournay, Vienne (tous cantons)
	1	Tous les autres cantons
40 – Landes	2	Amou, Castets, Dax (tous cantons), Montfort-en-Chalosse, Mugron, Peyrehorade, Pouillon, Saint-Martin-de-Seignanx, Saint-Vincent-de-Tyrosse, Soustons, Tartas (tous cantons)
	1	Tous les autres cantons
44 – Loire-Atlantique	2	Ancenis, Blain, Châteaubriant, Derval, Guémené-Penfao, Ligné, Moisdon-la-Rivière, Nort-sur-Erdre, Nozay, Riaillé, Rougé, Saint-Julien-de-Vouvantes, Saint-Marc-la-Jaille, Saint-Nicolas-de-Redon, Varades
	3	Tous les autres cantons
59 – Nord	2	Arleux, Anzin, Avesnes-sur-Helpe (tous cantons), Bavay, Berlaimont, Bouchain, Cambrai (tous cantons), Carnières, Cateau-Cambrésis (le), Clary, Condé-sur-l'Escaut, Denain, Douai (tous cantons), Hautmont, Landrecies, Marchiennes, Marcoing, Maubeuge (tous cantons), Solre-le-Château, Orchies, Quesnoy (le) (tous cantons), Saint-Amand-les-Eaux (tous cantons), Solesmes, Trélon, Valenciennes (tous cantons)
	3	Tous les autres cantons
62 – Pas-de-Calais	2	Bapaume, Bertincourt, Croisilles, Marquion, Vitry-en-Artois
	3	Tous les autres cantons
70 – Haute-Saône	1	Autrey-lès-Gray, Champlitte, Dampierre-sur-Salon, Fresne-Saint-Mamès, Gray, Gy, Marnay, Montbozon, Pesmes, Rioz, Scey-sur-Saône-et-Saint-Albin
	2	Tous les autres cantons
76 – Seine-Maritime	3	Bacqueville-en-Caux, Blangy-sur-Bresle, Cany-Barville, Eu, Dieppe (tous cantons), Envermeu, Fontaine-le-Dun, Offranville, Saint-Valéry-en-Caux
	2	Tous les autres cantons
80 – Somme	2	Ailly-sur-Noye, Albert, Bray-sur-Somme, Chaulnes, Combles, Ham, Montdidier, Moreil, Nesle, Péronne, Roisel, Rosières-en-Santerre, Roye
	3	Tous les autres cantons
81 – Tarn	1	Cadalen, Castelnaud-de-Montmiral, Cordes-sur-Ciel, Gaillac, Graulhet, Lavaur, Lisle-sur-Tarn, Rabastens, Saint-Paul-Cap-de-Joux, Salvagnac, Vaour
	2	Tous les autres cantons

■ Obstacles de hauteurs et de formes variées

Si l'orographie est constituée d'obstacles de hauteurs et de formes variées (cas le plus fréquent de terrain complexe), alors, $C_0 \geq 1$

Pour $z \geq 10$ m

$$c_0 = 1 + 0,004 \cdot \Delta A_c \cdot e^{-0,014(z-10)}$$

Pour $z < 10$ m

$$c_0 = c_0(10)$$

avec : $\Delta A_c = A_c - A_m$

avec A_c altitude du lieu de construction,
 A_m altitude moyenne locale du terrain

$$A_m = 1/10(2 \cdot A_c + A_{N_1} + A_{N_2} + A_{E_1} + A_{E_2} + A_{S_2} + A_{O_1} + A_{O_2})$$

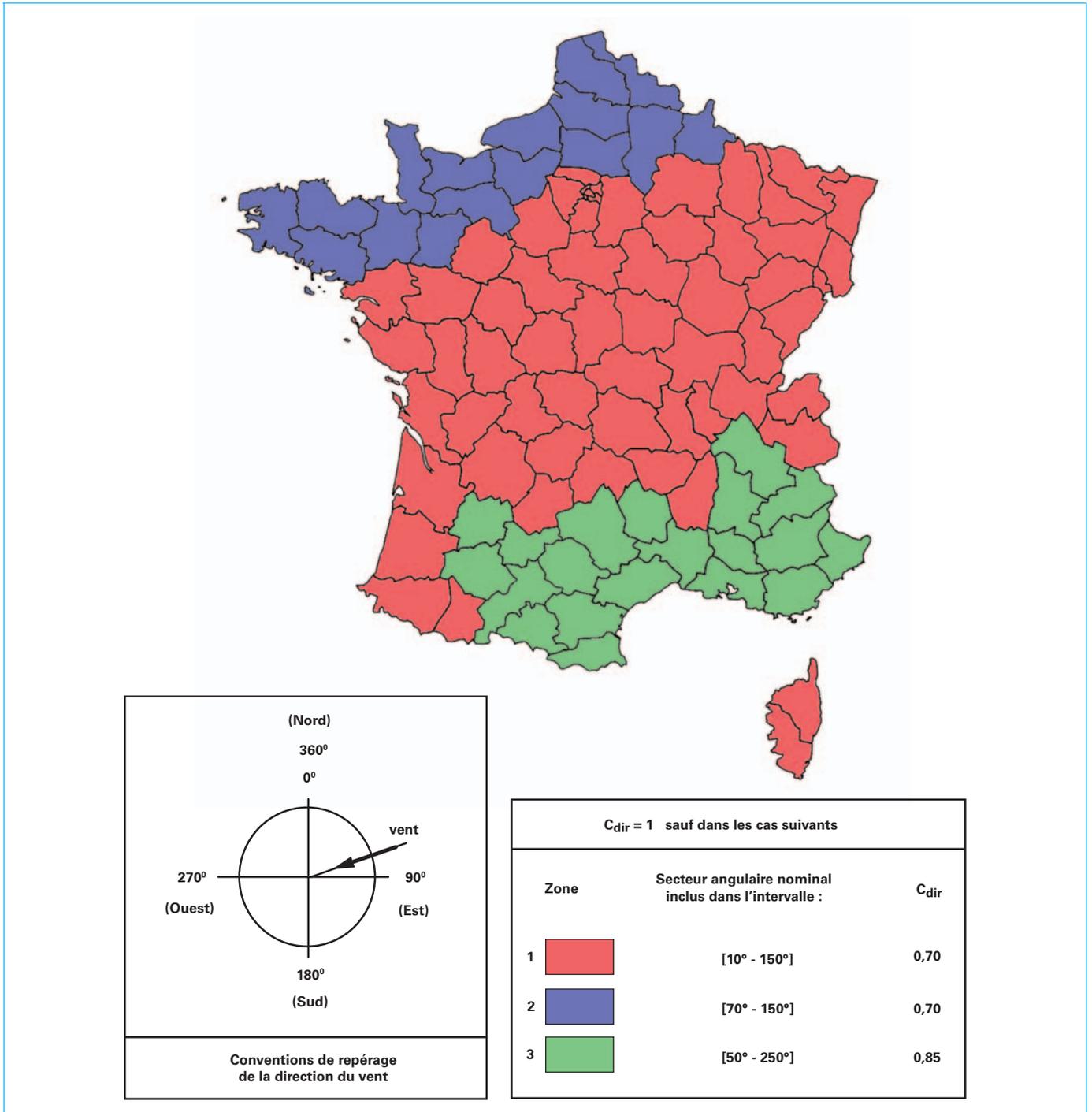


Figure 2 – Valeurs et secteurs angulaires du coefficient de direction

avec A_N, A_E, A_S, A_O , altitudes aux points situés dans les 4 directions cardinales (nord, est, sud, ouest) à 500 m du lieu de construction,

$A_{N_2}, A_{E_2}, A_{S_2}, A_{O_2}$, altitudes aux points situés dans les 4 directions cardinales à 1 000 m du lieu de construction.

■ Orographie constituée d'obstacles individualisés

• Sur les collines isolées (ou en chaîne), ou les falaises et les escarpements, la vitesse du vent varie en fonction de la pente $\Phi = H/L_v$ du versant amont, dans la direction du vent, comme défini à la figure 10. Les collines en chaîne et les falaises ou escarpements ont une grande longueur perpendiculairement au vent,

Parution : mai 2014 - Ce document a été délivré pour le compte de 7200030444 - univ. paris est marnes la vallée // 195.221.193.43

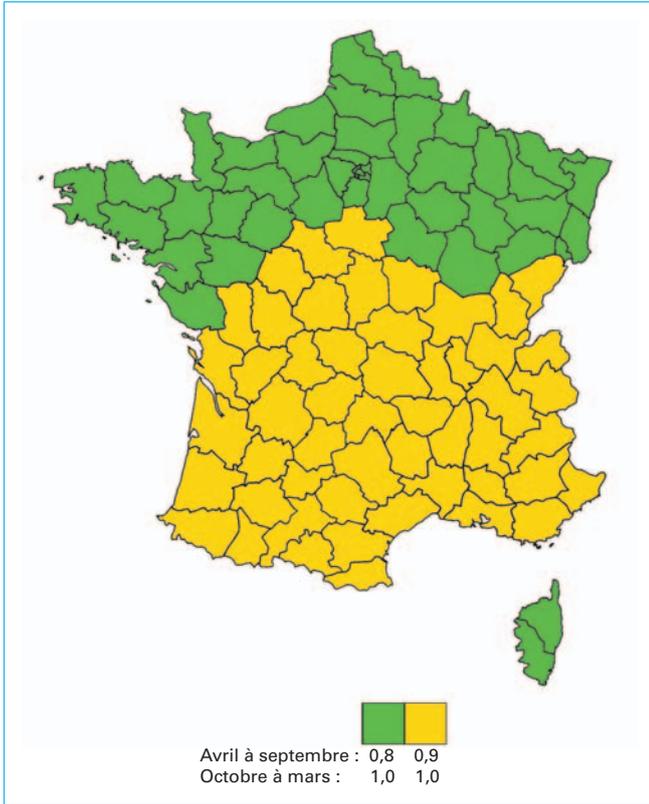


Figure 3 – Valeurs du coefficient de saison pour la métropole

Probabilité p de dépassement	0,02	0,04	0,10	0,20	0,50
Période de retour (en années)	50	25	10	5	2
c_{prob}	1,00	0,97	0,92	0,88	0,82

Départements	Saisons	c_{season}
Guadeloupe	Décembre à mai	0,55
	Juin à novembre	1
Martinique	Décembre à mai	0,60
	Juin à novembre	1
Mayotte	Juin à septembre	0,65
	Octobre à mai	1
Réunion	Juin à septembre	0,60
	Octobre à mai	1

égale au moins à 10 fois la hauteur H de l'obstacle. Les collines isolées ont une longueur limitée par comparaison à leur hauteur, de sorte que le vent peut les contourner latéralement.

Le coefficient d'orographie est :

$$c_0 = v_m(z)/v_{mf}(z)$$

avec $v_m(z)$ vitesse moyenne du vent à la hauteur z au-dessus du terrain,
 $v_{mf}(z)$ vitesse moyenne du vent à la hauteur z au-dessus d'un terrain plat.

• **Au voisinage du sommet**, à une distance du sommet $|X| < k_{red}L$, défini comme suit :

$$c_0 = 1 \quad \text{pour } \Phi < 0,05$$

$$c_0 = 1 + S_{max} \left(1 - \frac{|X|}{k_{red}L} \right) \cdot e^{-\alpha z/L} \quad \text{pour } \Phi \geq 0,05$$

avec S_{max} coefficient fonction de la forme de l'obstacle et du rapport H/L et donné dans le tableau 6,

L_u longueur du versant au vent, en suivant la direction du vent,

L longueur caractérisant le versant au vent :

$$= L_u/2 \quad \text{pour } \Phi < 0,25$$

$$= 2H \quad \text{pour } \Phi > 0,25$$

X distance horizontale entre le lieu de construction considéré et le sommet de l'obstacle,

z distance verticale mesurée à partir du niveau du sol au lieu considéré,

α et k_{red} coefficients définis dans le tableau 6.

Toutes ces définitions sont données sur la figure 11, concernant les collines isolées ou en chaîne et sur la figure 12, concernant les falaises et escarpements.

2.2.2.2 Effets de la proximité d'une construction de grande hauteur

Les vitesses de vent peuvent être augmentées par la proximité d'une construction (C) de grande hauteur H ($H > 30$ m).

Il convient de tenir compte de l'aggravation des effets du vent sur les constructions avoisinantes de hauteur $h < H/2$ et situées à une distance x de (C).

avec x distance minimale entre une façade de la construction étudiée et une façade ou un angle de (C) :

$$x < 2r \quad \text{avec } r = \min(H, 2L)$$

avec L plus grande dimension en plan de (C),

Si $x < r$ hauteur de référence : $z_e = r/2$

Si $r \leq x < 2r$ hauteur de référence :

$$z_e = \frac{1}{2} \left[r - \left(1 - \frac{2h}{r} \right) \cdot (x - r) \right]$$

Ces dimensions font l'objet de la figure 13.

Tableau 5 – Catégories et paramètres de terrain

Catégories de terrain	z_0 (en m)	z_{min} (en m)	k_r	k_t ($c_0 = 1$)
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	0,162	1
II – Rase campagne, avec, ou non, quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments,...) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur	0,05	2	0,190	0,995
IIIa – Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé	0,20	5	0,209	0,970
IIIb – Zones urbanisées ou industrielles ; bocage dense ; vergers	0,5	9	0,223	0,923
IV – Zones urbaines, dont au moins 15 % de la surface est recouvert de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m	1,0	15	0,234	0,854

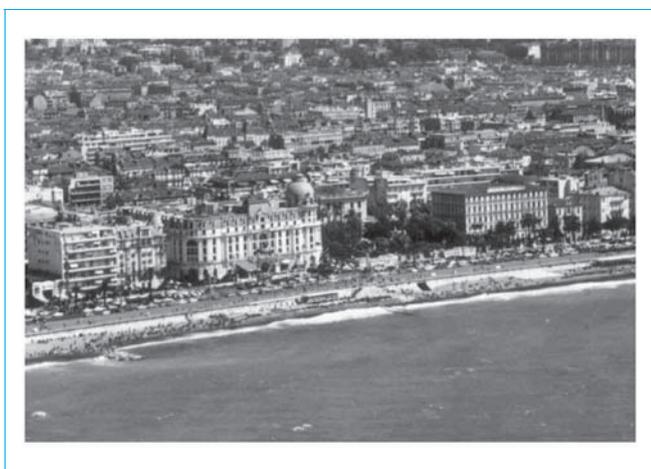

Figure 4 – Catégorie de terrain 0 (mer) et IV (ville)

Figure 6 – Catégorie de terrain IIIa (campagne avec haies, bocage)

Figure 5 – Catégorie de terrain II (rase campagne, aéroport)



Figure 7 – Catégorie de terrain IIIb (bocage dense, zone industrielle)

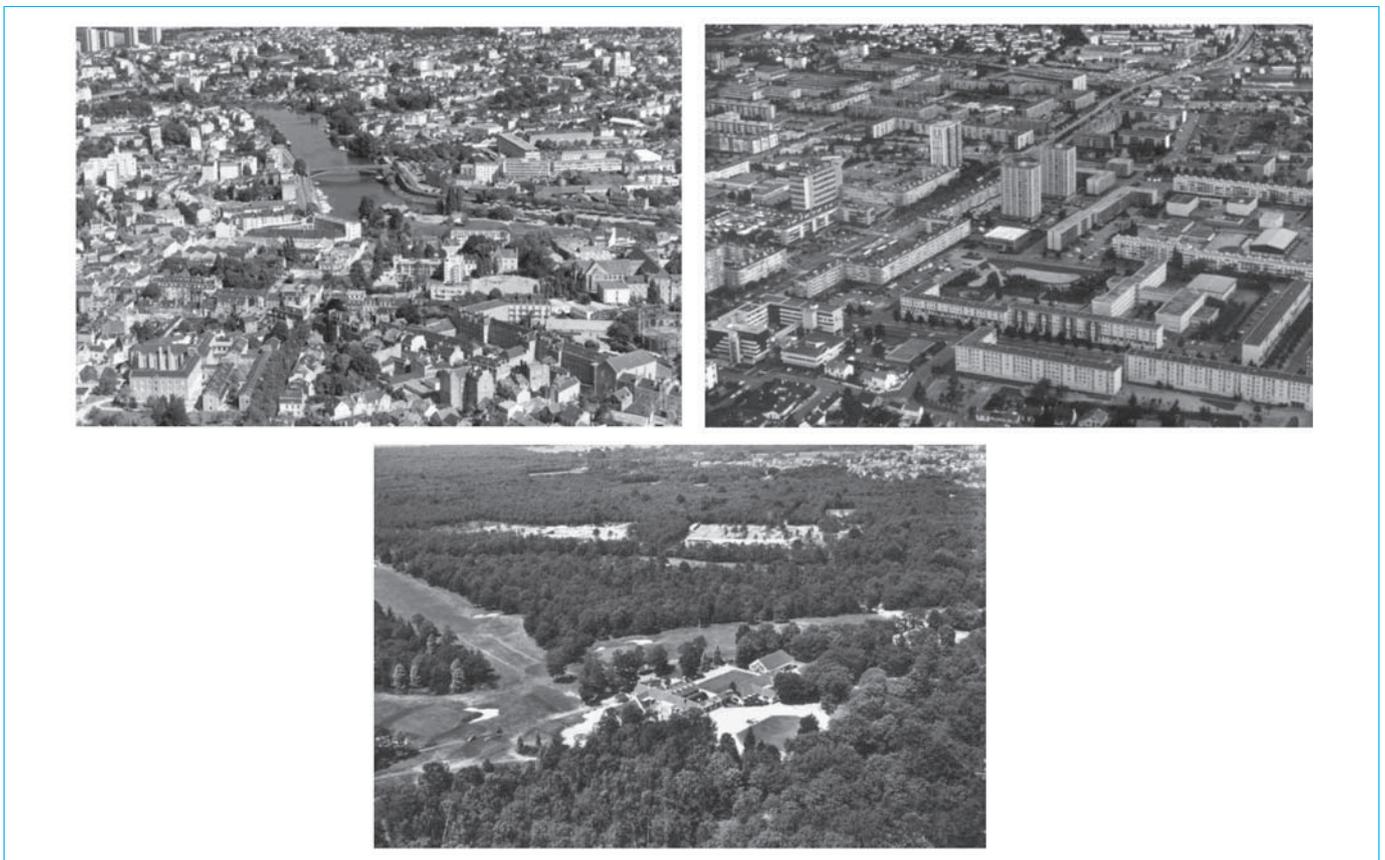


Figure 8 – Catégorie de terrain IV (ville, forêt)

2.3 Turbulence du vent

L'intensité de la turbulence $I_v(z)$ est l'écart-type de la turbulence divisé par la vitesse moyenne du vent :

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)}$$

avec σ_v écart-type de la turbulence = $k_r \cdot v_b \cdot k_1$

où k_1 coefficient de turbulence :

- pour un site plat $k_1 = 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log_{10}(z_0) + 3)^6$,
- pour une orographie complexe

$$k_1 = c_0(z) \left[1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log_{10}(z_0) + 3)^6 \right].$$

$c_0(z)$ coefficient d'orographie,

z_0 longueur de rugosité de la catégorie de terrain considérée.

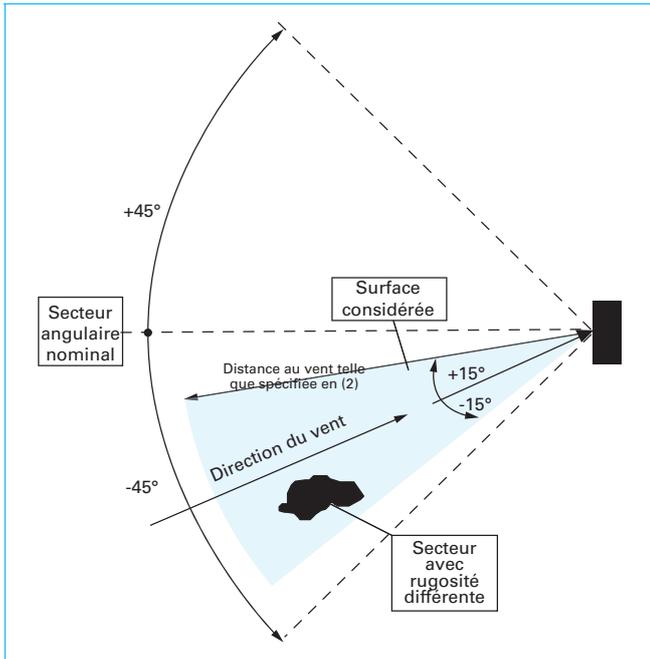


Figure 9 – Évaluation de la rugosité du terrain

Les valeurs du coefficient de turbulence k_t pour $c_0(z) = 1$ sont données dans le tableau 5.

2.4 Pression dynamique de pointe

La pression dynamique de pointe est la pression dynamique de calcul :

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

avec ρ masse volumique de l'air = 1,225 kg/m³,

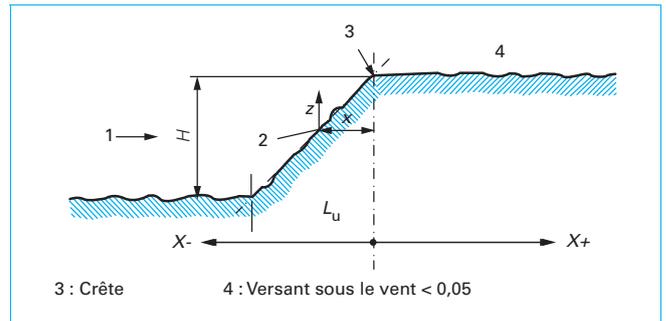


Figure 12 – Définition des paramètres pour les falaises et escarpements

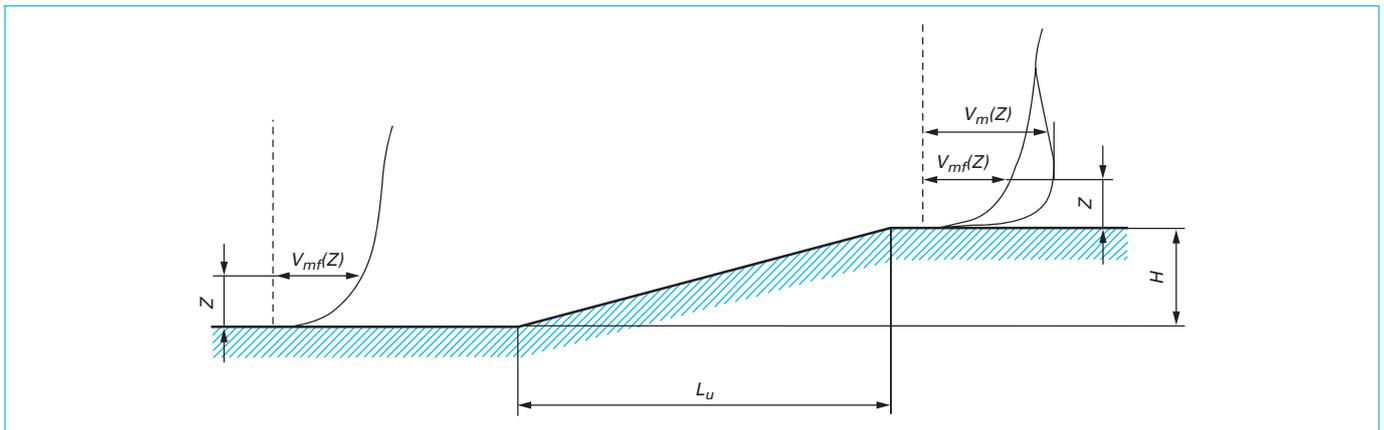


Figure 10 – Augmentation de la vitesse du vent due à l'orographie

Tableau 6 – Paramètres relatifs au calcul du coefficient orographique				
Formes de l'obstacle	S_{max}	α	k_{red}	
			$X < 0$	$X > 0$
Collines et chaînes	2,2 H/L	3	1,5	1,5
Falaises et escarpements	1,3 H/L	2,5	1,5	4
Collines isolées	1,6 H/L	4	1,5	1,5

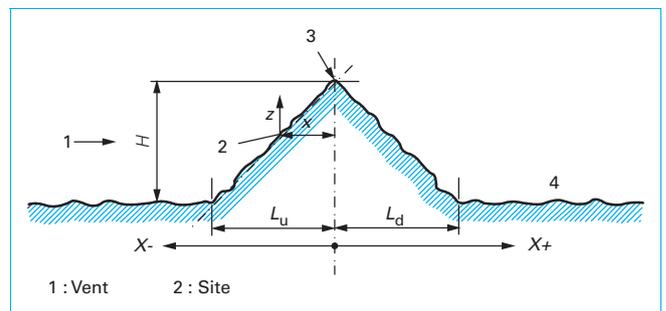


Figure 11 – Définition des paramètres pour les collines isolées ou en chaîne

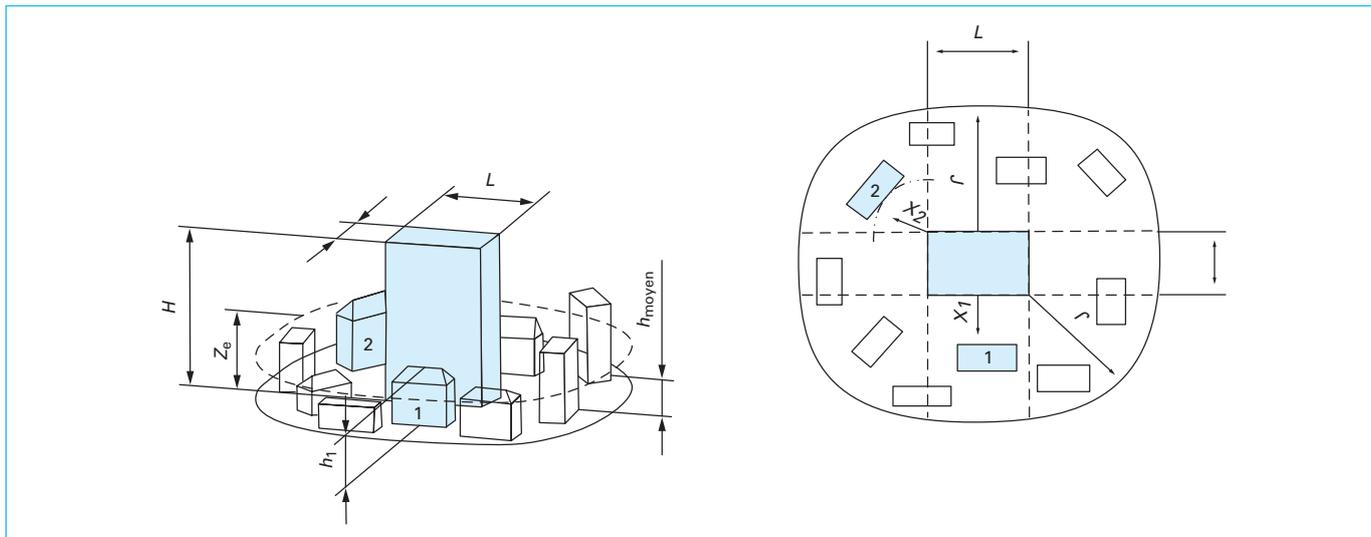


Figure 13 – Dimensions relatives aux bâtiments et obstacles rapprochés

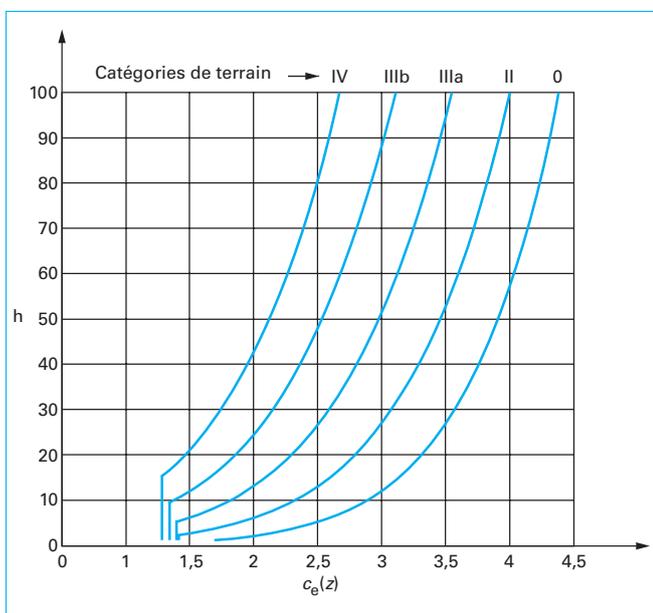


Figure 14 – Représentations de $c_e(z)$ pour $c_0(z) = 1$

d'où $c_e(z) = \text{coefficient d'exposition} = \frac{q_p(z)}{q_b}$

Soit :

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

et

$$c_e(z) = \left[1 + \frac{7 \cdot k_1 \cdot k_r}{c_0(z) \cdot c_r(z)} \right] \cdot c_0^2(z) \cdot c_r^2(z)$$

avec q_b pression dynamique de référence.

La figure 14 donne les abaques des valeurs de $c_e(z)$ en fonction de la hauteur au-dessus du sol et de la catégorie de terrain pour $c_0(z) = 1$.

3. Actions du vent

3.1 Pressions aérodynamiques sur les surfaces

Les pressions qui s'exercent sur les éléments de la surface engendrent des forces perpendiculaires à la surface de construction.

■ La pression aérodynamique w_e agissant sur les parois extérieures est déterminée par l'expression :

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

■ La pression aérodynamique w_i agissant sur les parois intérieures est déterminée par l'expression :

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

avec $q_p(z_e), q_p(z_i)$ pressions dynamiques de pointe,

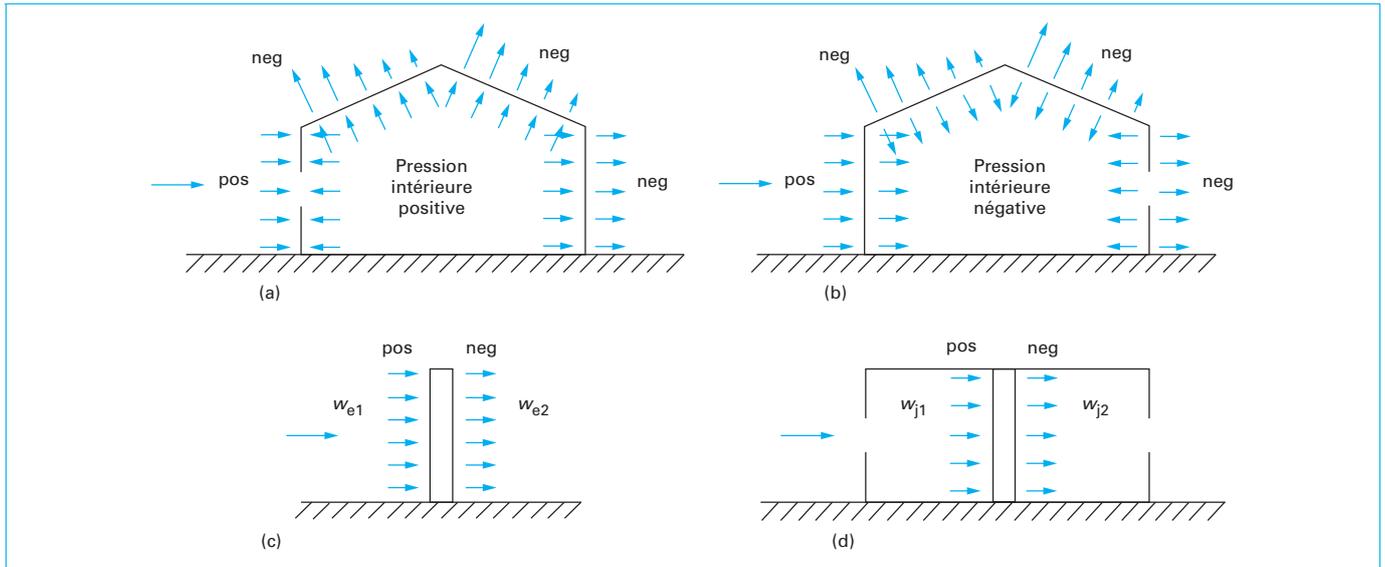
z_e, z_i hauteurs de référence pour les pressions extérieures et intérieures,

c_{pe}, c_{pi} coefficients de pression extérieures et intérieures.

La pression nette sur un mur, un toit, un élément est la différence entre les pressions s'exerçant sur les surfaces opposées en tenant compte de leurs signes.

Par convention, la pression s'exerce en direction de la surface et considérée positive ; la succion s'éloigne de la surface et considérée négative.

La figure 15 représente les pressions aérodynamiques sur les surfaces.


Figure 15 – Pressions aérodynamiques sur les surfaces

3.2 Forces exercées par le vent

Les forces exercées par le vent F_w sont déterminées à l'aide des coefficients de force c_f et définies par l'expression :

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

Ces forces peuvent être déterminées par sommation vectorielle sur les éléments, comme définies par l'expression :

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{éléments}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

avec $c_s c_d$ coefficient structural,
 c_f coefficient de force,
 A_{ref} aire de référence (aire d'influence de l'élément considéré),
 $q_p(z_e)$ pression dynamique de pointe à la hauteur z_e .

Ces forces peuvent être déterminées par sommation vectorielle des forces calculées à partir des pressions extérieures F_{we} et intérieures F_{wi} , comme indiqué par les équations suivantes :

$$F_{we} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{surfaces}} w_e \cdot A_{ref}$$

$$F_{wi} = \sum_{\text{surfaces}} w_i \cdot A_{ref}$$

Pour les bâtiments de grande dimension, il convient de prendre en compte les effets de frottement du vent. Ceux-ci peuvent être négligés si l'aire des surfaces parallèles au vent est inférieure à quatre fois l'aire de toutes les surfaces extérieures perpendiculaires au vent.

Dans le cas contraire, les forces de frottement F_{fr} sont déterminées par l'expression :

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

avec c_{fr} coefficient de frottement.

L'organigramme de la figure 16 fournit la procédure à utiliser pour déterminer les forces appliquées sur la structure.

Le **calcul de la vitesse moyenne** n'est nécessaire que pour déterminer le coefficient structural $c_s c_d$.
 La **pression dynamique de pointe** peut être calculée à partir de la vitesse de référence v_b et du coefficient d'exposition $c_e(z)$.

4. Coefficients de pression et de frottement

Il convient de prendre en compte les coefficients adaptés à la structure à étudier :

- les coefficients de pression (intérieure et extérieure) sont définis pour :
 - les bâtiments ;
- les coefficients de pression nette sont définis pour :
 - les murs isolés, les clôtures et les acrotères,
 - les auvents ;
- les coefficients de frottement sont définis pour :
 - les murs et grandes surfaces.

4.1 Coefficients de pression pour les bâtiments

4.1.1 Coefficients de pression extérieure

Les coefficients de pression extérieure c_{pe} pour les bâtiments dépendent de la surface chargée A (aire de référence, soit, l'aire d'influence de l'élément considéré).

L'Eurocode fournit des valeurs des coefficients de pression c_{pe} pour $A = 1 \text{ m}^2$ et $A = 10 \text{ m}^2$.

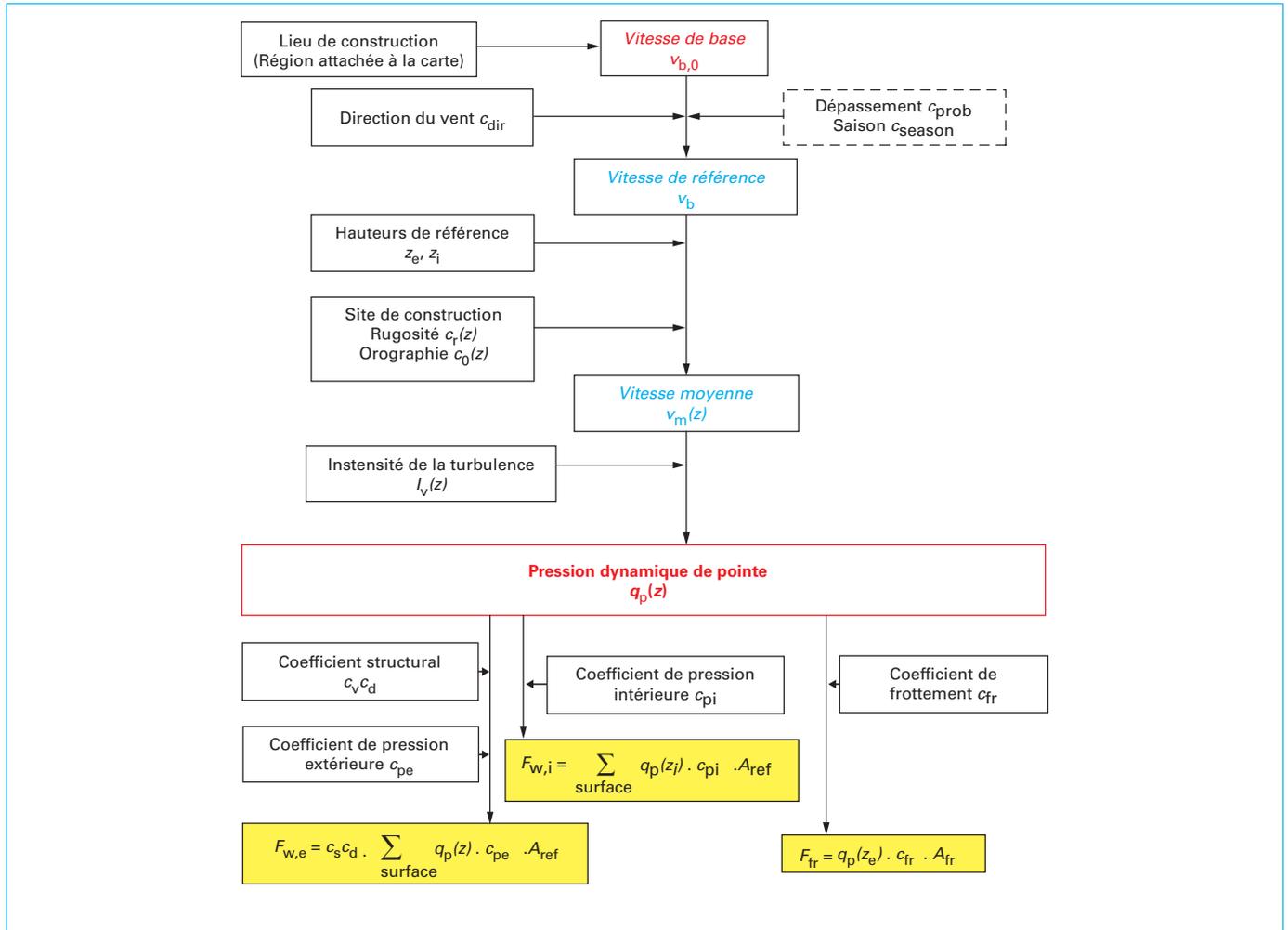


Figure 16 – Organigramme de calcul des forces appliquées à la structure bâtie

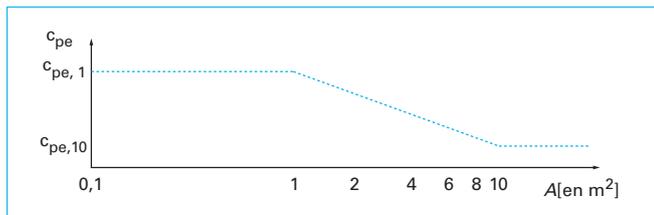


Figure 17 – Interpolation des valeurs de c_{pe} pour une aire A comprise entre 1 m^2 et 10 m^2

Pour $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$, c_{pe} est déterminé à partir de l'équation suivante, illustrée par la figure 17 :

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \cdot \log_{10} A$$

avec $c_{pe,1}$ coefficient de pression extérieure pour $A \leq 1 \text{ m}^2$ qui permet le calcul des petits éléments et de leurs fixations,

$c_{pe,10}$ coefficient de pression extérieure pour $A \geq 10 \text{ m}^2$ qui permet le calcul de la structure portante.

4.1.1.1 Murs verticaux des bâtiments à plans rectangulaires

Une construction prismatique à base quadrangulaire peut être traitée comme une construction à base rectangulaire, à condition que deux côtés consécutifs forment toujours un angle supérieur à 75° et inférieur à 105° .

La hauteur de référence z_e pour les pressions extérieures dépend du facteur de forme h/b du bâtiment, où h est la hauteur totale et b la dimension perpendiculaire à la direction du vent. La figure 18 représente la hauteur de référence en fonction de h et de b , ainsi que le profil correspondant de la pression dynamique sur la face au vent.

avec b dimension du bâtiment perpendiculaire à la direction du vent,

h hauteur totale du bâtiment (en général, au faîtage).

La hauteur de référence z_i pour les pressions intérieures est égale à la hauteur de référence z_e associée au niveau duquel se trouve l'ouverture contribuant à la création de la pression intérieure. S'il existe plusieurs ouvertures, la plus grande valeur de z_e est utilisée pour déterminer z_i .

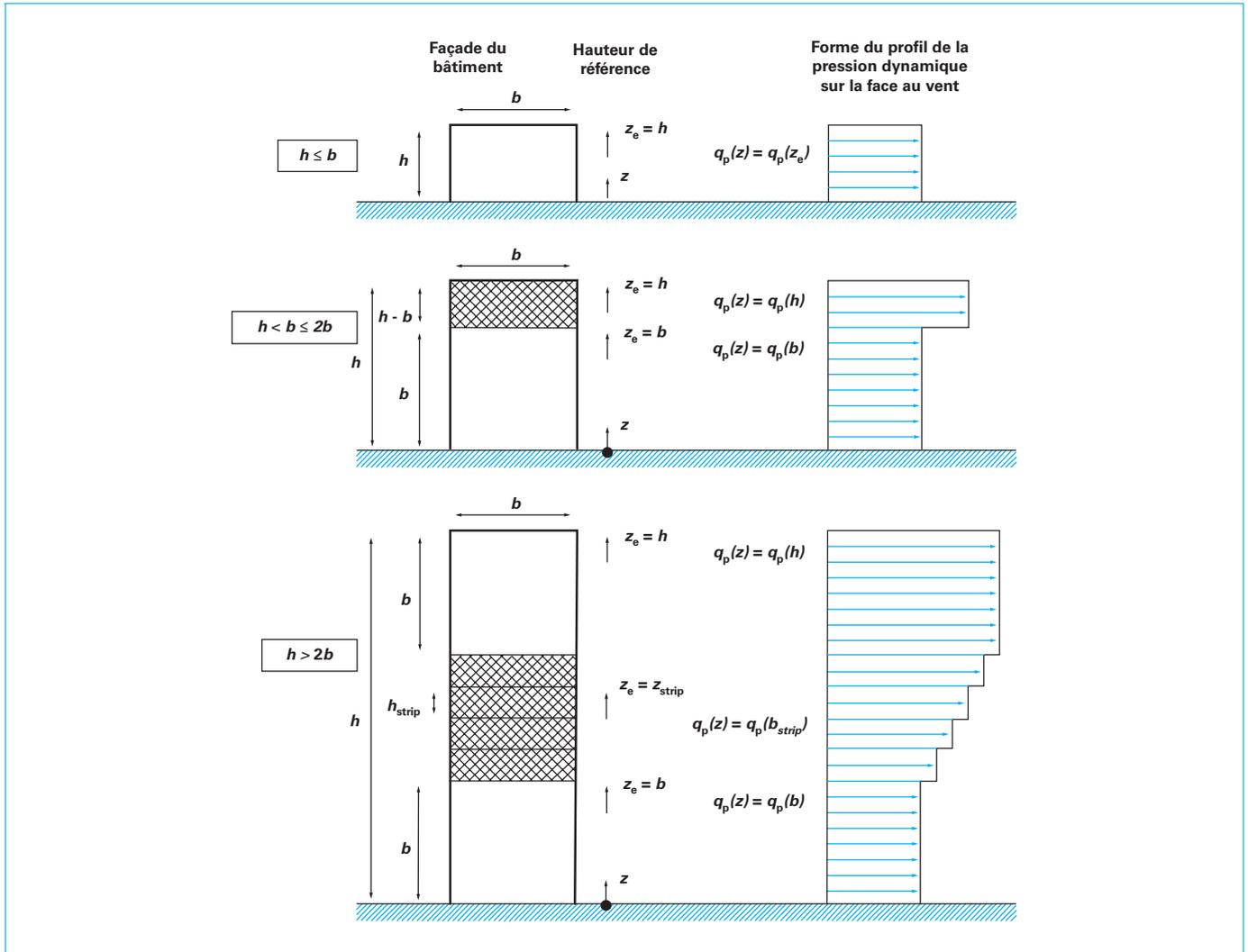


Figure 18 – Hauteurs de référence z_e , dépendant de h et de b

4.1.1.2 Coefficients de pression pour les murs verticaux

Les coefficients de pression extérieure c_{pe} sont fournis sous forme de tableaux. À chaque tableau est associée une figure définissant les zones où doivent s'appliquer les coefficients c_{pe} pour :

- les murs verticaux (figure 19 et tableau 7) ;
- les toitures-terrasses (angle de la toiture avec l'horizontale $0^\circ < \alpha < 5^\circ$) sans et avec acrotère, à rives arrondies, à brisis mansardés (figure 20 et tableau 8) ;
- les toitures à 1, 2, 4 versants ou multiples (figures 21, 22, 23, 24 et tableaux 9, 10 et 11).

Pour tenir compte du défaut de corrélation entre les pressions aérodynamiques au vent et sous le vent, la force résultante est multipliée par 1 pour les bâtiments avec $h/d \geq 5$, elle est multipliée par 0,85 pour les bâtiments avec $h/d \leq 1$. Une interpolation linéaire peut être appliquée pour des valeurs intermédiaires de h/d .

4.1.1.3 Constructions éloignées du sol

Une construction de hauteur h éloignée du sol d'une distance h_1 (avec $h_1 < h$) peut être traitée comme une construction reposant sur le sol et de hauteur $h + h_1$. Sur la face inférieure, le coefficient de pression $c_{pe,10}$ peut-être pris égal à $-1,3$ sur une profondeur $0,2.e$ depuis le bord au vent, où e est la plus petite des deux dimensions b ou $2.h$ et $-0,8$ au-delà ; la pression dynamique de pointe $q_p(z_e)$ étant calculée à la hauteur $h + h_1$.

4.1.1.4 Coefficients de pression pour les toitures

■ Toitures-terrasses

Sont considérées comme toitures-terrasses, les toitures dont l'angle α avec l'horizontale est $\pm 5^\circ$

Une interpolation linéaire peut être appliquée pour des valeurs intermédiaires de h_p/h , r/h et α .

Les valeurs de c_{pe} pour $h_p/h > 0,10$, seront prises égales à celles de $h_p/h = 0,1$

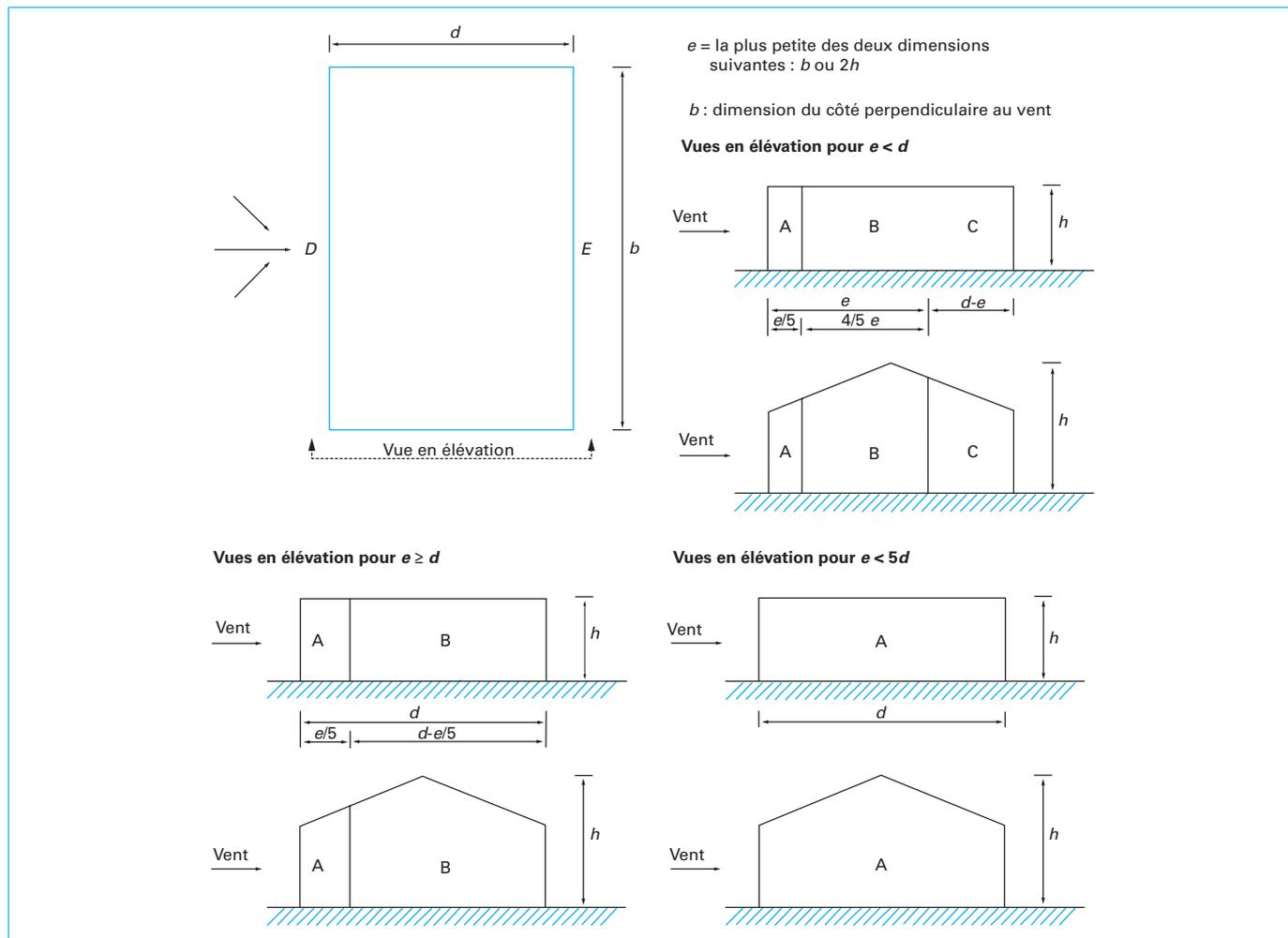


Figure 19 – Légendes relatives aux murs verticaux

Tableau 7 – Valeurs de c_{pe} pour les murs verticaux

Zones	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
$h/d \geq 5$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
$1 < h/d < 5$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$h/d \leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Une interpolation linéaire peut être appliquée pour des valeurs intermédiaires de h/d .

■ Toitures à un seul versant

Pour $\theta = 0^\circ$ la pression varie entre des valeurs positives et des valeurs négatives. Deux cas sont alors à envisager :

- un cas présentant toutes les valeurs positives ;
- un cas présentant toutes les valeurs négatives.

Un mélange de valeurs positives et négatives sur un même versant n'est pas admis.

Une interpolation linéaire entre des valeurs de même signe peut être appliquée pour des valeurs intermédiaires de α .

■ Toitures à deux versants

Pour $\theta = 0^\circ$ la pression varie entre des valeurs positives et des valeurs négatives. Deux cas sont alors à envisager :

- un cas présentant toutes les valeurs positives ;
- un cas présentant toutes les valeurs négatives.

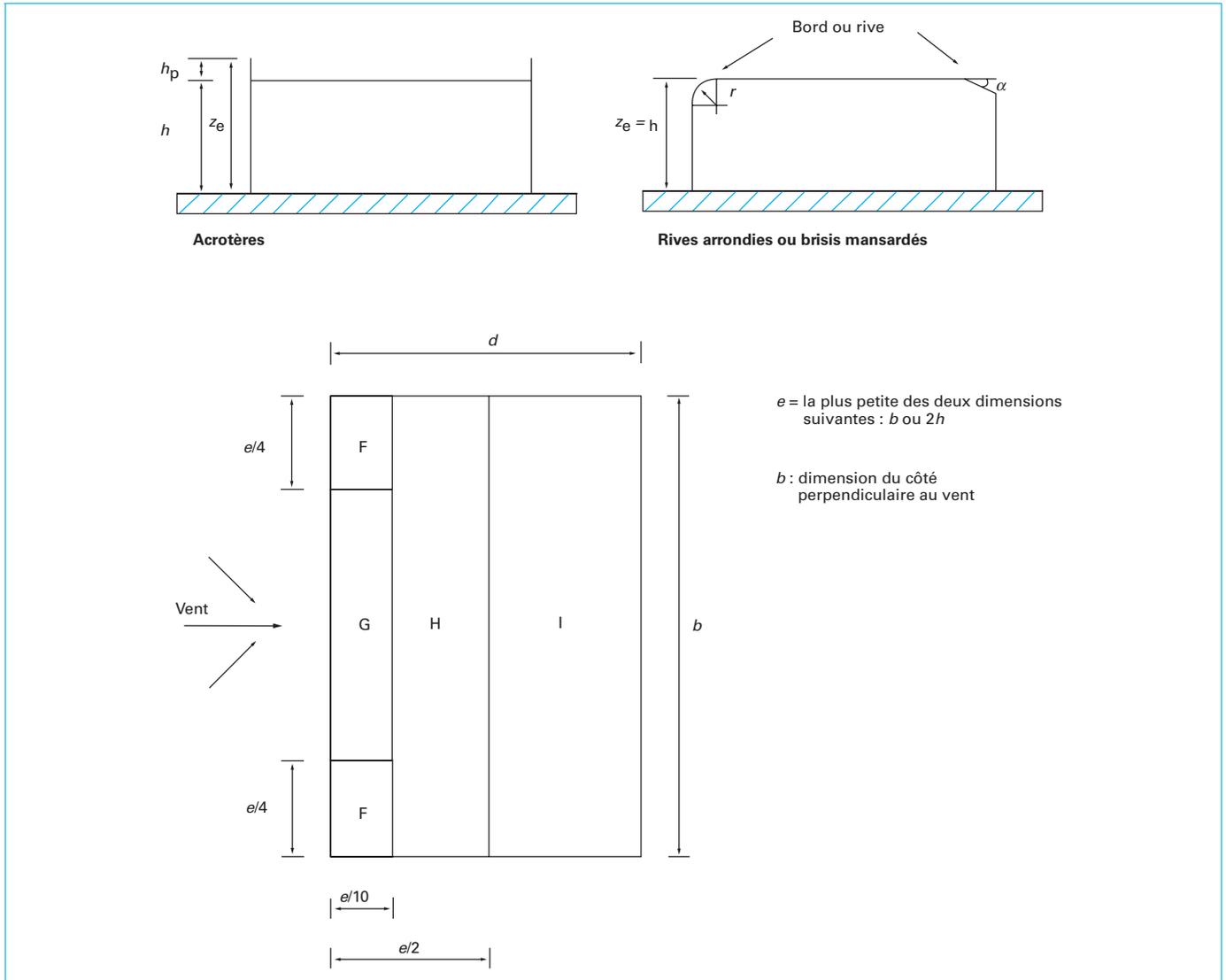


Figure 20 – Légendes applicables aux toitures-terrasses

 Tableau 8 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures-terrasses

Types de toiture		Zones						
		F		G		H		I
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10} = c_{pe,1}$
Rives à arêtes vives		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2 et -0,2
Avec acrotères	$h_p / h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2 et -0,2
	$h_p / h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2 et -0,2
	$h_p / h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2 et -0,2
Rives arrondies	$r / h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2 et -0,2
	$r / h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2 et -0,2
	$r / h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2 et -0,2

Tableau 8 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures-terrasses (suite)								
Types de toiture		Zones						
		F		G		H		I
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10} = c_{pe,1}$
Brisis mansardés	$\alpha = 30^\circ$	- 1,0	- 1,5	- 1,0	- 1,5	- 0,3		+ 0,2 et - 0,2
	$\alpha = 45^\circ$	- 1,2	- 1,8	- 1,3	- 1,9	- 0,4		+ 0,2 et - 0,2
	$\alpha = 60^\circ$	- 1,3	- 1,9	- 1,3	- 1,9	- 0,5		+ 0,2 et - 0,2

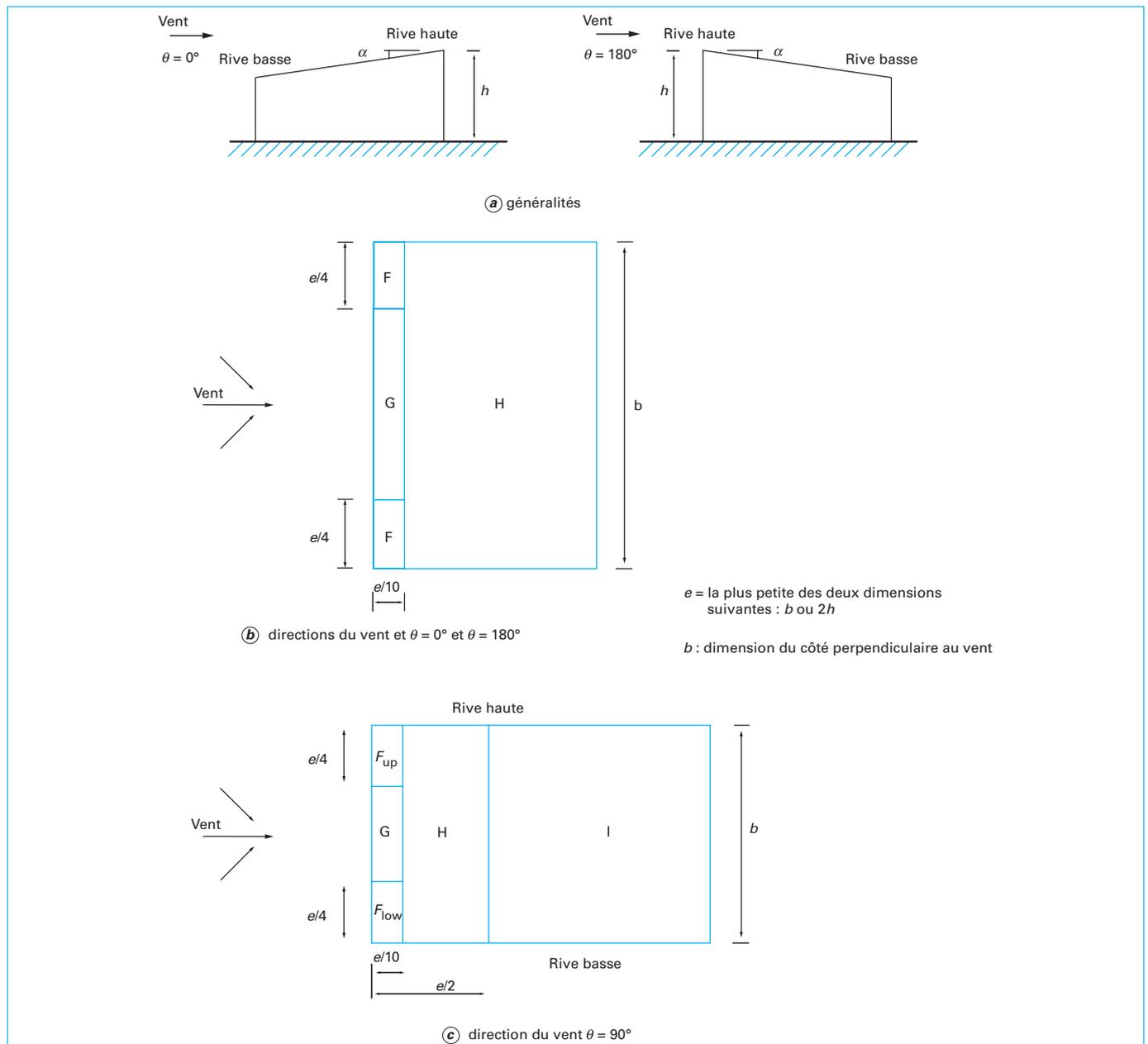


Figure 21 – Légendes applicables aux toitures à un seul versant

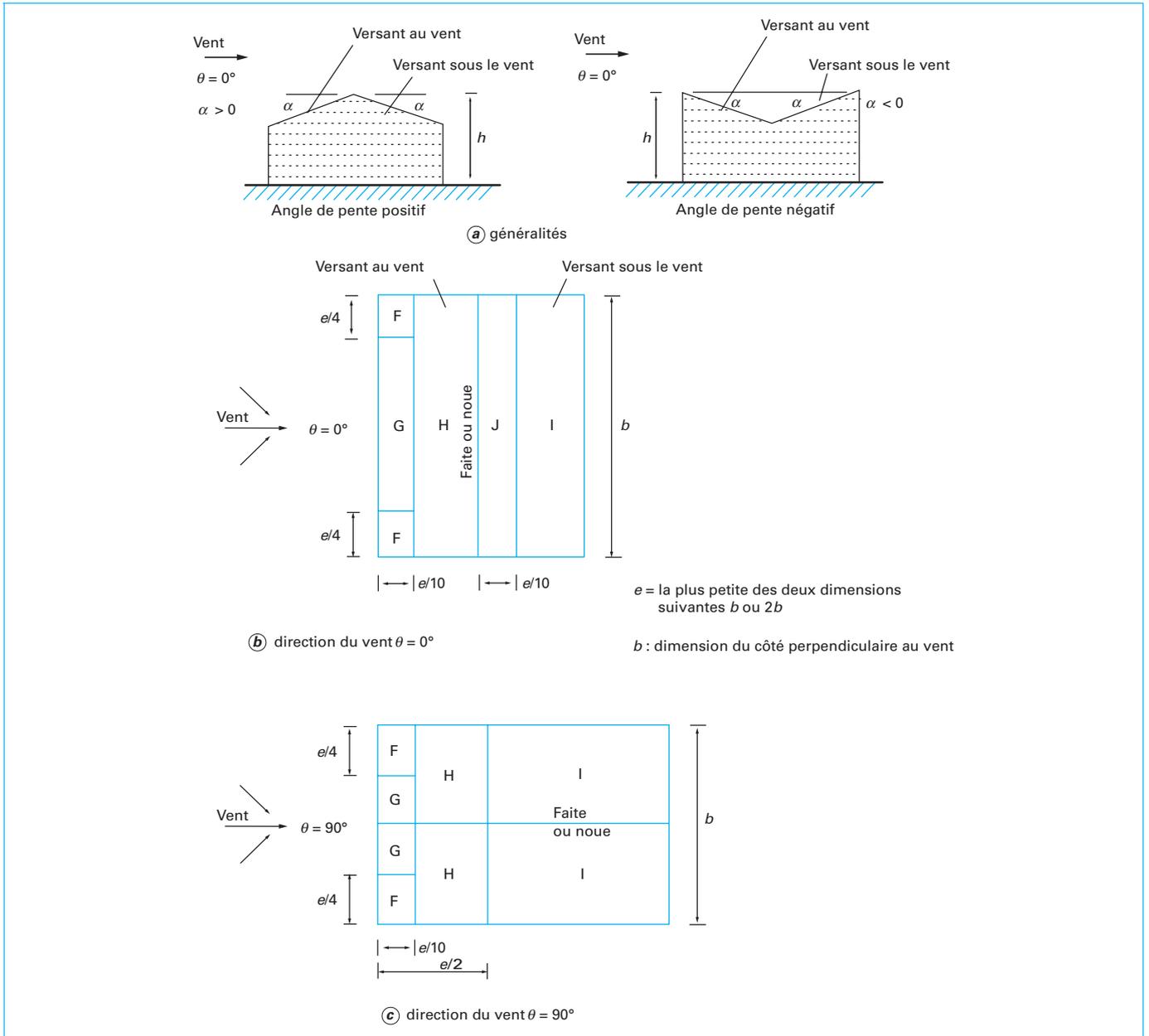


Figure 22 – Légendes relatives aux toitures à deux versants

Un mélange de valeurs positives et négatives sur un même versant n'est pas admis.

Une interpolation linéaire entre des valeurs de même signe peut être appliquée pour des valeurs intermédiaires de α .

■ **Toitures à quatre versants**

■ **Toitures à plusieurs versants**

Dans le cas de bâtiments constitués de blocs accolés, tous les blocs se succédant dans la direction du vent sont considérés comme fermés et isolés. Ils sont vérifiés pour résister à des actions d'ensemble égales à la moitié de celles qui s'exercent sur le bloc

directement frappé par le vent, celui-ci soufflant normalement au plan des joints.

Si, pour un vent perpendiculaire au faîtage, la force horizontale est nulle, il convient de prendre une force de frottement F_{fr} :

$$F_{fr} = 0,05 q_p(z_e) \cdot A_{shed}$$

■ **Toitures en voûte**

Les coefficients de pression extérieure c_{pe} sont fournis sur différentes zones en fonction de h/d et de l/d , sous forme de diagrammes, tels que donnés à la figure 25.

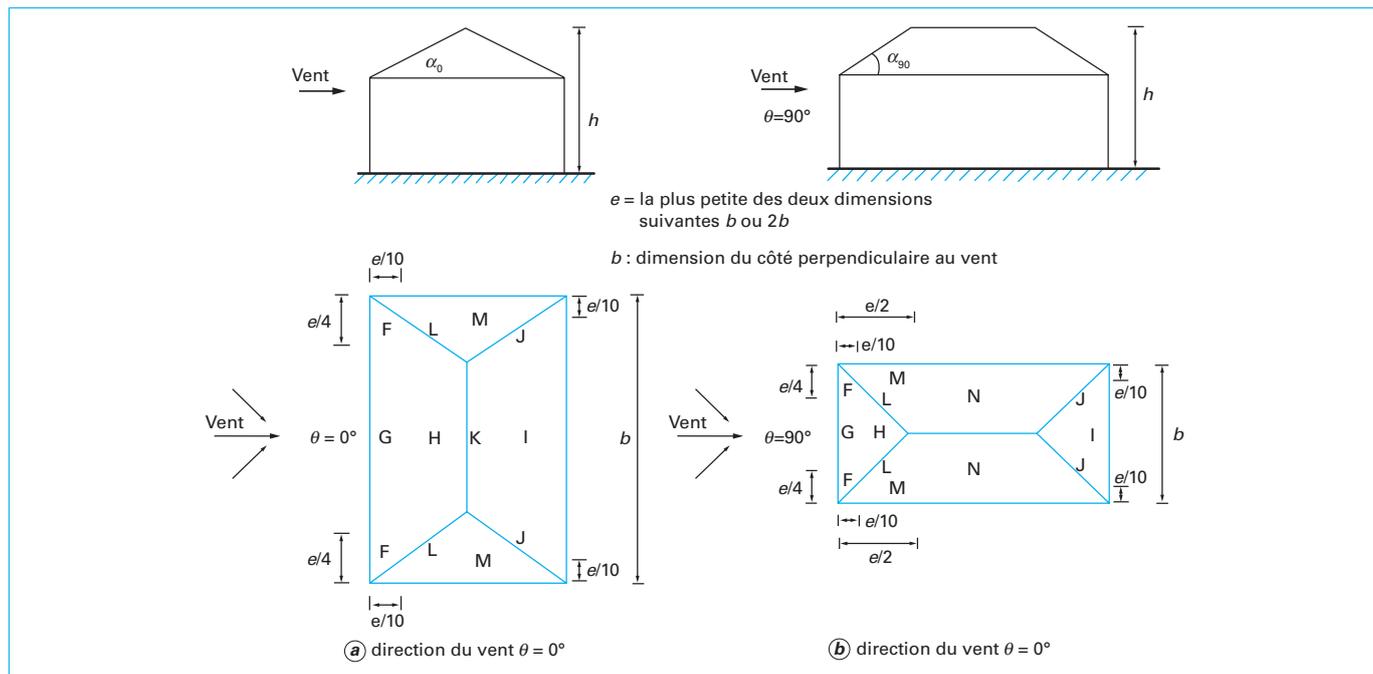


Figure 23 – Légendes relatives aux toitures à quatre versants

■ Toitures en forme de dôme

Comme pour les toitures en voûtes, les coefficients de pression extérieure c_{pe} sont fournis sur différentes zones en fonction de h/d et de f/d , sous forme de diagrammes, tels que donnés à la figure 26.

4.1.2 Coefficients de pression intérieure

■ Le coefficient de pression intérieure **dépend de la dimension et de la répartition des ouvertures** (ouvertures permanentes ou à considérer comme pouvant rester ouvertes en exploitation par grand vent) dans l'enveloppe du bâtiment.

• Si, sur au moins 2 faces, l'aire totale des ouvertures sur chaque face représente au moins 30 % de l'aire de cette face, le bâtiment est considéré comme une toiture isolée.

• Si l'aire des ouvertures dans une face est au moins égale à deux fois l'aire des ouvertures dans les autres faces, cette face est dite « dominante », et la valeur du coefficient de pression intérieure c_{pi} est proportionnelle à celle du coefficient de pression extérieure au niveau de ces ouvertures :

- aire des ouvertures sur la face dominante = 2 fois aire des ouvertures sur les autres faces, alors $c_{pi} = 0,75 c_{pe}$;
- aire des ouvertures sur la face dominante ≥ 3 fois aire des ouvertures sur les autres faces, alors $c_{pi} = 0,90 c_{pe}$.

■ Une interpolation linéaire peut être appliquée pour des valeurs intermédiaires.

Si le bâtiment est sans face dominante, le coefficient de pression intérieure est déterminé en fonction du rapport de la hauteur à la profondeur du bâtiment (h/d), et du rapport d'ouverture μ (aires des ouvertures où le coefficient de pression extérieure est négatif sur l'aire de toutes les ouvertures) pour chaque direction de vent θ , comme indiqué à la figure 27.

$$\text{avec } \mu = \frac{\sum \text{aire des ouvertures où } c_{pe} \leq 0}{\sum \text{aire de toutes les ouvertures}}$$

■ Une interpolation linéaire peut être appliquée pour des valeurs comprises entre $h/d = 0,25$ et $h/d = 1,0$:

- s'il se révèle impossible de déterminer le rapport d'ouverture μ avec certitude ;
- les valeurs successives du coefficient de pression intérieure $c_{pi} + 0,2$ et $-0,3$ sont prises en compte ;
- si une ouverture, placée sur une face dominante est fermée par vents violents (pression dynamique de calcul) ($c_{pi} = +0,2$ puis $-0,3$ en situation de projet durable ou transitoire) et est considérée comme ouverte en situation de projet accidentelle.

La prise en compte des ouvertures de petites dimensions, telles que fenêtres, ouvrants, cheminées... ainsi que la perméabilité de fond, telles que fuites autour des portes, fenêtres, équipements techniques,... et la perméabilité à travers l'enveloppe du bâtiment (cette perméabilité de fond se situe entre 0,01 % et 0,1 %) permet de réduire la valeur de la pression intérieure.

4.1.3 Coefficients de pression résultante

4.1.3.1 Acrotères et murs isolés

Pour le calcul des acrotères, le coefficient de pression résultante $c_{p,net}$ est :

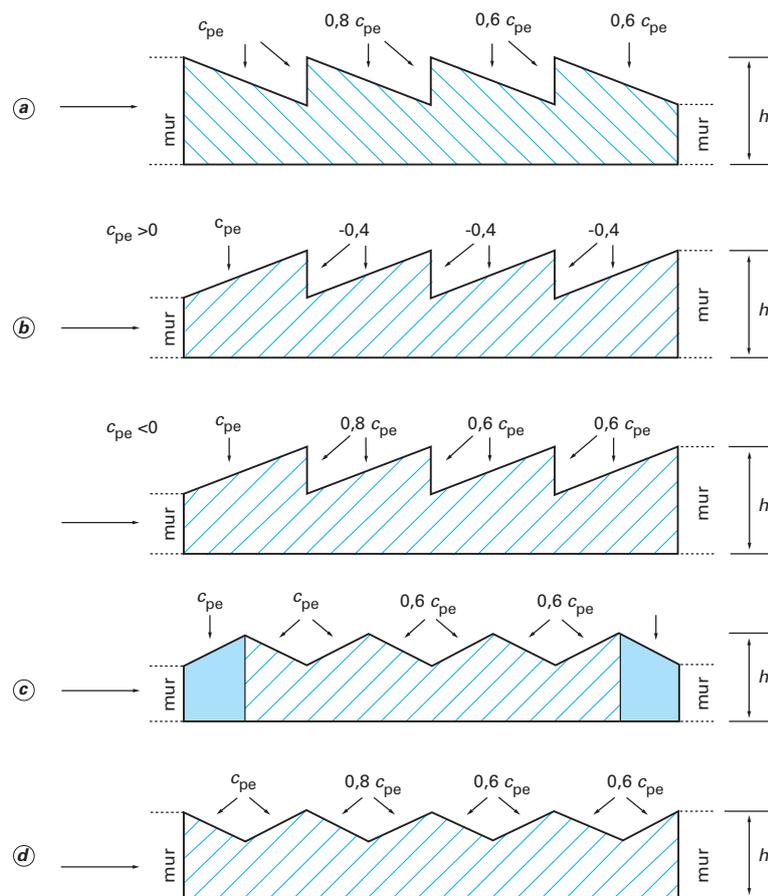
- le long des zones F, $c_{p,net} = 2,0$;
- le long de la zone G, $c_{p,net} = 1,5$;
- pour les acrotères sous le vent, $c_{p,net} = 1,0$.

La figure 28 définit les zones sur les murs isolés et le tableau 12 en donne les valeurs de $c_{p,net}$.

4.1.3.2 Auvents

La géométrie et les dimensions respectives du bâtiment et de l'auvent font l'objet de la figure 29. La répartition des zones sur ceux-ci fait l'objet de la figure 30.

Les coefficients de pression nette $c_{p,net}$ du tableau 13 s'appliquent aux auvents plans, attenants à une paroi verticale, avec une largeur $d_1 \leq 10$ m et formant avec l'horizontale un angle de $\pm 10^\circ$.



- Configurations (a) et (b) : valeur de c_{pe} = valeur de c_{pe} de la toiture à un seul versant
 - Configurations (c) : 1^{re} valeur de c_{pe} = valeur de c_{pe} de la toiture à un seul versants ; valeurs de c_{pe} suivantes = valeurs de c_{pe} de la toiture à deux versants à noues.
 - Configurations (d) : valeur de c_{pe} = valeur de c_{pe} de la toiture à deux versants à noues.
- Pour toutes ces configurations, les zones F/G/J ne sont à considérer que pour le versant au vent

 Figure 24 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures multiples

 Tableau 9 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures à un seul versant

Angles de pente α	Zones pour la direction du vent $\theta = 0^\circ$						Zones pour la direction du vent $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+ 0,0		+ 0,0		+ 0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+ 0,2		+ 0,2		+ 0,2							

Tableau 9 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures à un seul versant (suite)

Angles de pente α	Zones pour la direction du vent $\theta = 0^\circ$						Zones pour la direction du vent $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
30°	- 0,5	- 1,5	- 0,5	- 1,5	- 0,2		- 1,1	- 2,3	- 0,8	- 1,5	- 0,8	
	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,4							
45°	- 0,0		- 0,0		- 0,0		- 0,6	- 1,3	- 0,5		- 0,7	
	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,6							
60°	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,7		- 0,5	- 1,0	- 0,5		- 0,5	
75°	+ 0,8		+ 0,8		+ 0,8		- 0,5	- 1,0	- 0,5		- 0,5	
	Zones pour la direction du vent $\theta = 90^\circ$											
	F_{up}		F_{low}		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	- 2,1	- 2,6	- 2,1	- 2,4	- 1,8	- 2,0	- 0,6	- 1,2	- 0,5			
15°	- 2,4	- 2,9	- 1,6	- 2,4	- 1,9	- 2,5	- 0,8	- 1,2	- 0,7	- 1,2		
30°	- 2,1	- 2,9	- 1,3	- 2,0	- 1,5	- 2,0	- 1,0	- 1,3	- 0,8	- 1,2		
45°	- 1,5	- 2,4	- 1,3	- 2,0	- 1,4	- 2,0	- 1,0	- 1,3	- 0,9	- 1,2		
60°	- 1,2	- 2,0	- 1,2	- 2,0	- 1,2	- 2,0	- 1,0	- 1,3	- 0,7	- 1,2		
75°	- 1,2	- 2,0	- 1,2	- 2,0	- 1,2	- 2,0	- 1,0	- 1,3	- 0,5			

Tableau 10 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures à deux versants

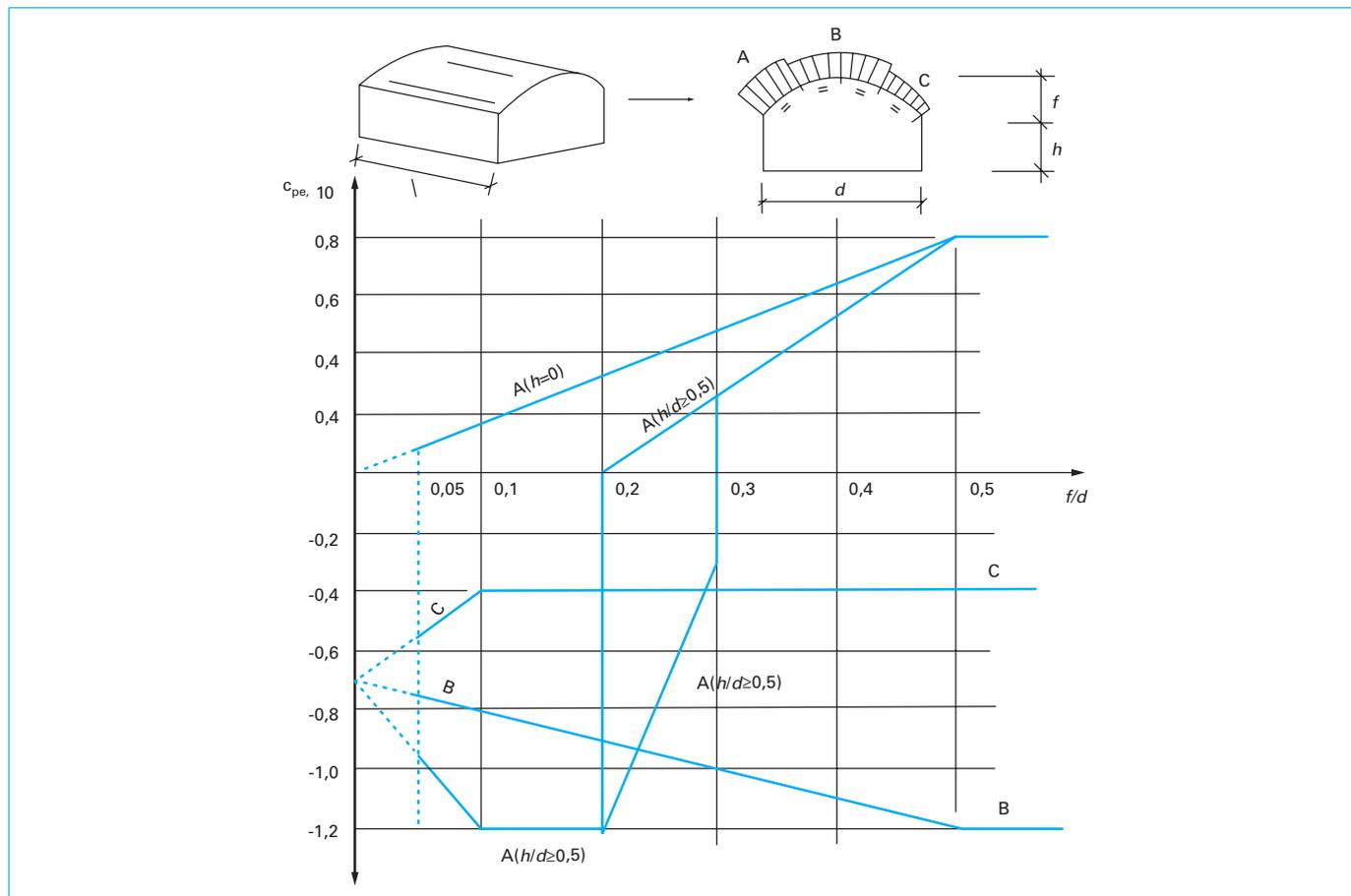
Angles de pente α	Zones pour la direction du vent $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
- 45°	- 0,6		- 0,6		- 0,8		- 0,7		- 1,0	- 1,5
- 30°	- 1,1	- 2,0	- 0,8	- 1,5	- 0,8		- 0,6		- 0,8	- 1,4
- 15°	- 2,5	- 2,8	- 1,3	- 2,0	- 0,9	- 1,2	- 0,5		- 0,7	- 1,2
- 5°	- 2,3	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,8	- 1,2	+ 0,2		+ 0,2	
							- 0,6		- 0,6	
5°	- 1,7	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,6	- 1,2	- 0,6		- 0,6	
	+ 0,0		+ 0,0		+ 0,0		+ 0,2		+ 0,2	
15°	- 0,9	- 2,0	- 0,8	- 1,5	- 0,3		- 0,4		- 1,0	- 1,5
	+ 0,2		+ 0,2		+ 0,2		+ 0,0		+ 0,0	+ 0,0
30°	- 0,5	- 1,5	- 0,5	- 1,5	- 0,2		- 0,4		- 0,5	
	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,4		+ 0,0		+ 0,0	

Tableau 10 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures à deux versants (suite)

Angles de pente α	Zones pour la direction du vent $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
45°	- 0,0		- 0,0		- 0,0		- 0,2		- 0,3	
	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,6		+ 0,0		+ 0,0	
60°	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,7		- 0,2		- 0,3	
75°	+ 0,8		+ 0,8		+ 0,8		- 0,2		- 0,3	
	Zones pour la direction du vent $\theta = 90^\circ$									
	F		G		H		I			
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
- 45°	- 1,4	- 2,0	- 1,2	- 2,0	- 1,0	- 1,3	- 0,9		- 1,2	
- 30°	- 1,5	- 2,1	- 1,2	- 2,0	- 1,0	- 1,3	- 0,9		- 1,2	
- 15°	- 1,9	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,8	- 1,2	- 0,8		- 1,2	
- 5°	- 1,8	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,7	- 1,2	- 0,6		- 1,2	
5°	- 1,6	- 2,2	- 1,3	- 2,0	- 0,7	- 1,2		- 0,6		
15°	- 1,3	- 2,0	- 1,3	- 2,0	- 0,6	- 1,2		- 0,5		
30°	- 1,1	- 1,5	- 1,4	- 2,0	- 0,8	- 1,2		- 0,5		
45°	- 1,1	- 1,5	- 1,4	- 2,0	- 0,9	- 1,2		- 0,5		
60°	- 1,1	- 1,5	- 1,2	- 2,0	- 0,8	- 1,0		- 0,5		
75°	- 1,1	- 1,5	- 1,2	- 2,0	- 0,8	- 1,0		- 0,5		

Tableau 11 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures à quatre versants

Angles de pente θ_0 pour $\theta = 0^\circ$ α_{90} pour $\theta = 90^\circ$	Zones pour la direction du vent $\theta = 0^\circ$ et $\theta = 90^\circ$															
	F		G		H		I	J		K		L		M		N
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$ $c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$ $c_{pe,1}$
5°	- 1,7	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,6	- 1,2	- 0,3	- 0,6		- 0,6		- 1,2	- 2,0	- 0,6	- 1,2	- 0,4
	+ 0,0		+ 0,0		+ 0,0											
15°	- 0,9	- 2,0	- 0,8	- 1,5	- 0,3		- 0,5	- 1,0	- 1,5	- 1,2	- 2,0	- 1,4	- 2,0	- 0,6	- 1,2	- 0,3
	+ 0,2		+ 0,2		+ 0,2											
30°	- 0,5	- 1,5	- 0,5	- 1,5	- 0,2		- 0,4	- 0,7	- 1,2	- 0,5		- 1,4	- 2,0	- 0,8	- 1,2	- 0,2
	+ 0,5		+ 0,7		+ 0,4											
45°	- 0,0		- 0,0		- 0,0		- 0,3	- 0,6		- 0,3		- 1,3	- 2,0	- 0,8	- 1,2	- 0,2
	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,6											
60°	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,7		- 0,3	- 0,6		- 0,3		- 1,2	- 2,0	- 0,4		- 0,2
75°	+ 0,8		+ 0,8		+ 0,8		- 0,3	- 0,6		- 0,3		- 1,2	- 2,0	- 0,4		- 0,2


Figure 25 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures en voûte

Ces valeurs restent en vigueur, quelle que soit la position e_1 de l'avent par rapport à l'angle du bâtiment.

Deux cas de charge sont à considérer :

- une action descendante (positive) ;
- une action ascendante (négative).

4.2 Coefficients de frottement

Lorsque le vent balaye de larges surfaces de construction, des forces de frottement non négligeables peuvent se développer tangentielllement à la surface.

Les forces de frottement s'appliquent sur la partie des surfaces extérieures parallèles au vent, situées au-delà d'une certaine distance des bords au vent ou des angles au vent de la toiture, comme indiqué à la figure 31.

Elles dépendent de la rugosité de la surface et se déterminent à l'aide du coefficient de frottement c_{fr} figurant dans le tableau 14.

5. Coefficient structural

Le coefficient structural $c_s c_d$ peut-être pris = 1 pour :

- les bâtiments dont la hauteur $H < 15$ m ;
- les éléments de façade ou de toiture dont la fréquence propre $f > 5$ Hz ;

– les bâtiments en charpente avec cloisons dont la hauteur $H < 100$ m et cette hauteur $H < 4 \cdot b$ (b = dimension en plan du bâtiment perpendiculaire à la direction du vent).

Pour les autres structures, la procédure détaillée doit être appliquée.

Dans tous les cas, le coefficient structural $c_s c_d$ peut être déterminé par la procédure détaillée :

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s)}$$

avec c_s

coefficient de dimension (effet réducteur). Il traduit la non simultanéité des pointes de pression sur la construction :

$$c_s = \frac{1 + 7 \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s)}$$

c_d

coefficient dynamique (effet majorateur). Il traduit le fait que les vibrations engendrées par la turbulence entrent en résonance avec la structure :

$$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}$$

k_p

facteur de pointe,

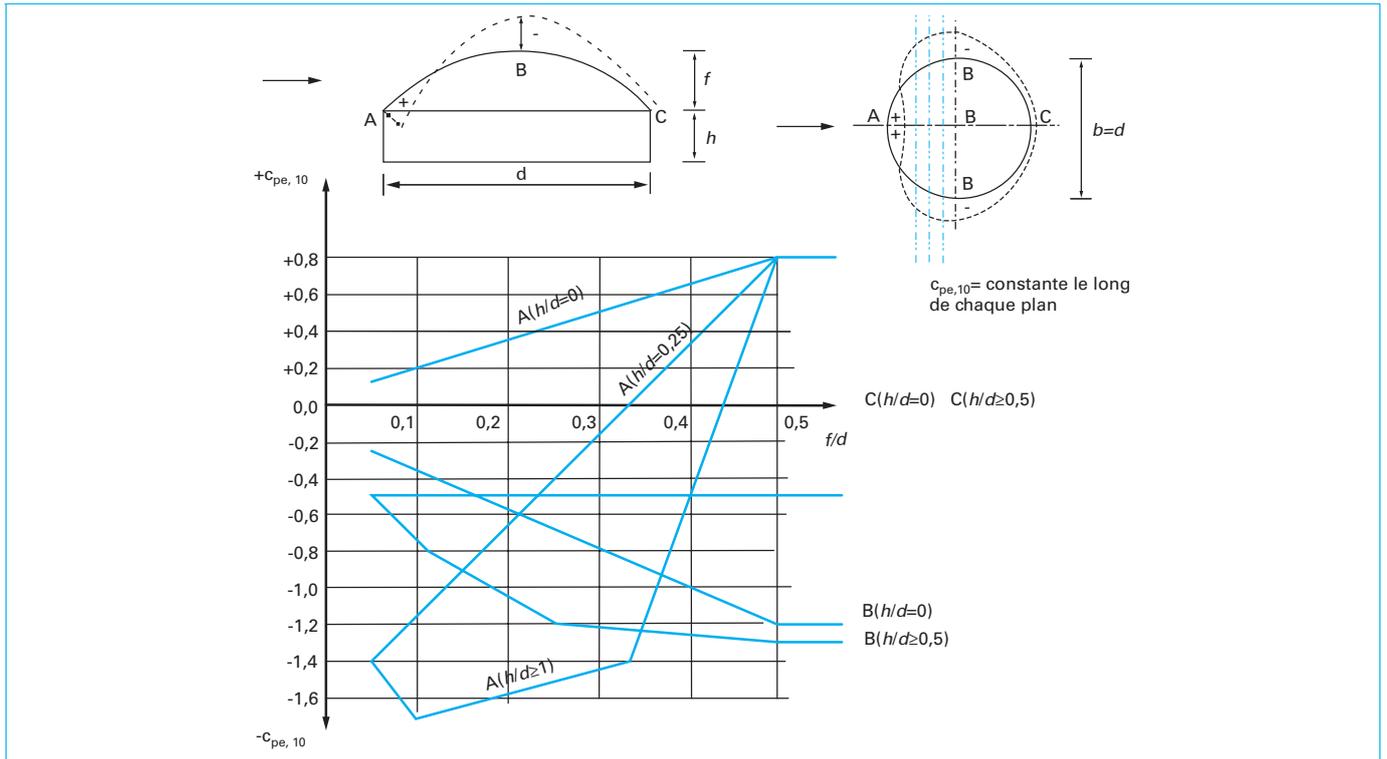


Figure 26 – Valeurs de c_{pe} pour les toitures en forme de dôme

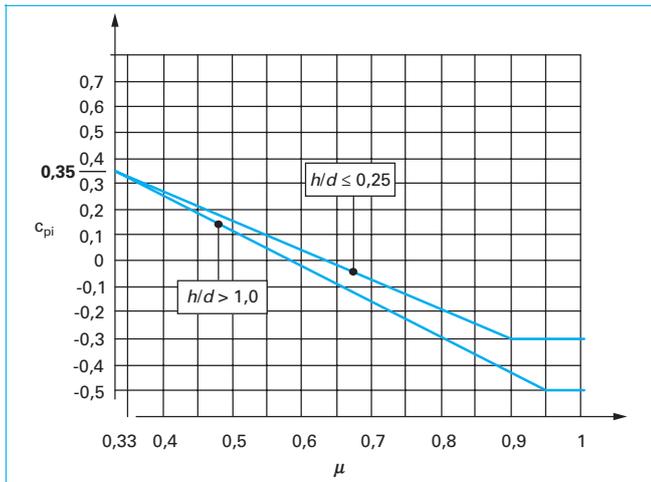


Figure 27 – Coefficients de pression intérieure c_{pi} pour ouvertures uniformément réparties

- B^2 coefficient de réponse quasi-statique (imparfaite corrélation de la pression sur la surface),
- R^2 coefficient de réponse résonante (résonance du mode de vibration engendrée par la turbulence).

Il est inutile de dissocier le coefficient structural $c_s c_d$ en c_s et c_d

5.1 Définition de z_s

La hauteur z_s est définie à la figure 32.

5.2 Turbulence du vent

L'échelle de turbulence $L(z)$ représente la dimension moyenne des rafales du vent.

Pour $z < 200$ m :

$$L(z) = L_t \left(\frac{z}{z_t} \right)^\alpha \quad \text{pour } z \geq z_{\min}$$

$$L(z) = L(z_{\min}) \quad \text{pour } z < z_{\min}$$

- avec z_t hauteur de référence = 200 m,
- L_t échelle de référence = 300 m,
- α 0,67 + 0,05 ln (z_0).

5.3 Fonction de densité spectrale $S_L(z, n)$

La fonction de densité spectrale $S_L(z, n)$ est la distribution du vent en fréquence. Elle est donnée à la figure 33 en fonction de la fréquence adimensionnelle f_L :

$$S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 f_L(z, n)}{(1 + 10,2 f_L(z, n))^{5/3}}$$

avec

$$f_L(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)}$$

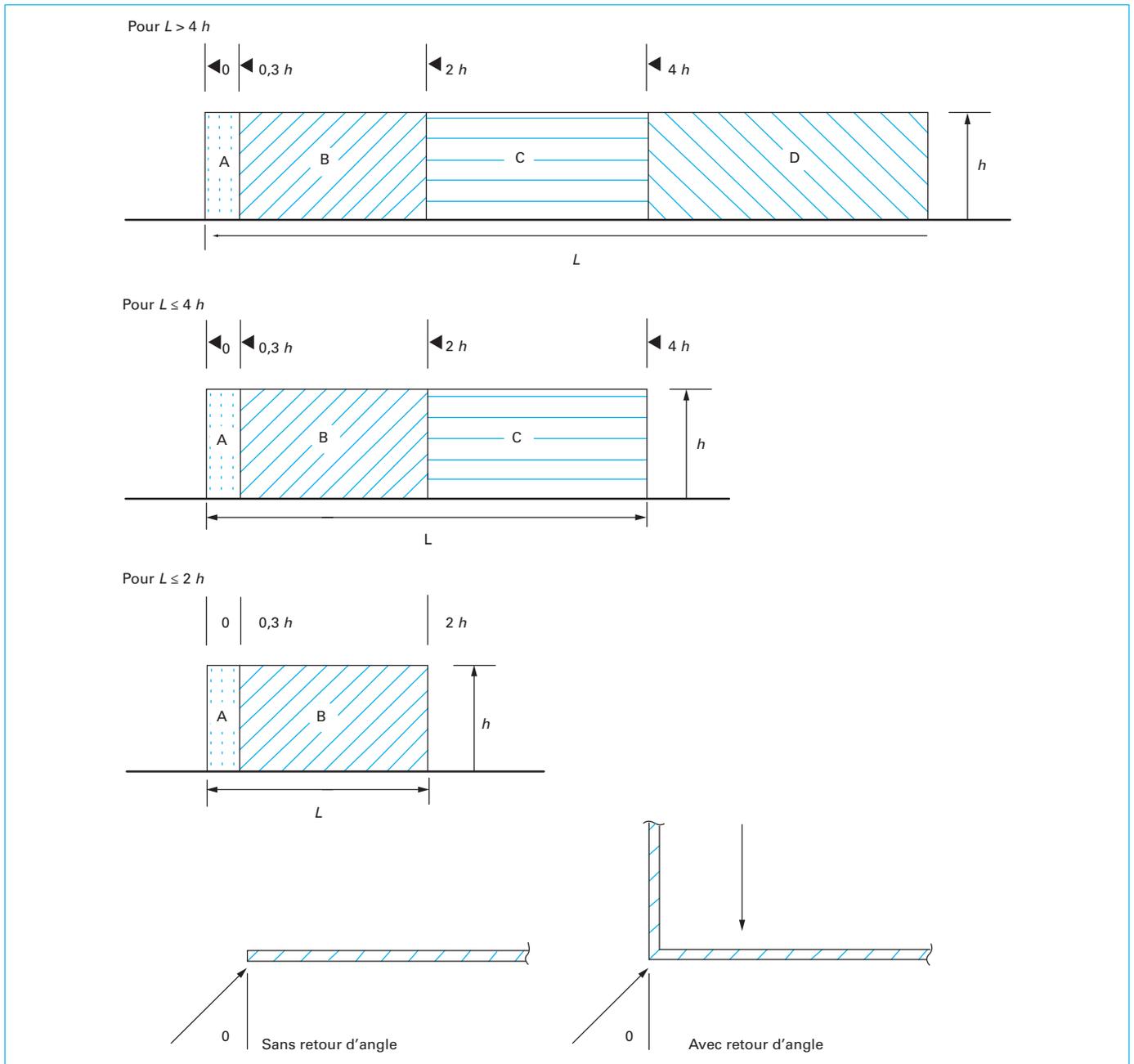


Figure 28 – Légendes relatives aux murs isolés

5.4 Coefficient de réponse quasi-statique B^2

Le coefficient de réponse quasi-statique B^2 traduit l'absence de corrélation parfaite de la pression sur la surface :

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}}$$

avec b, h largeur et hauteur de la construction,

$L(z_s)$ échelle de turbulence à la hauteur de référence z_s .

On se place en sécurité en prenant $B^2 = 1$

5.5 Facteur de pointe k_p

Le facteur de pointe k_p est le rapport de la valeur maximale de la partie fluctuante de la réponse à son écart type. Il est représenté à la figure 34 en fonction du produit $v.T$

Tableau 12 – Valeurs de $c_{p,net}$ pour les murs isolés et les acrotères						
Taux de remplissage	Zones		A	B	C	D
$\varphi = 1$	Sans retour d'angle	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	Avec retour d'angle et $l \geq h$		2,1	1,8	1,4	1,2
$\varphi = 0,8$			1,2	1,2	1,2	1,2

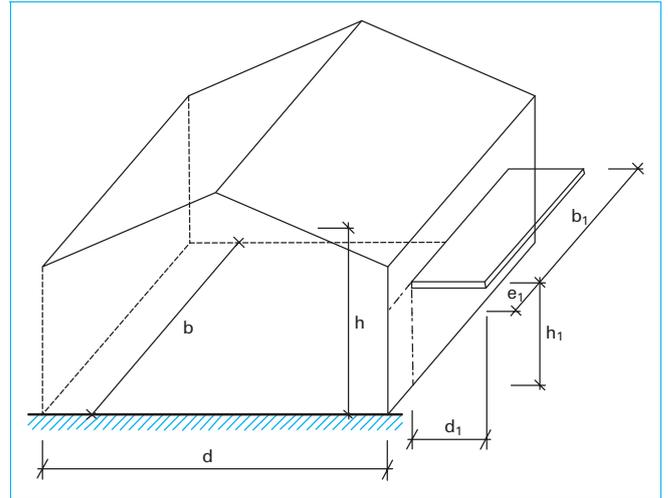


Figure 29 – Géométries et dimensions respectives du bâtiment et de l'auvent

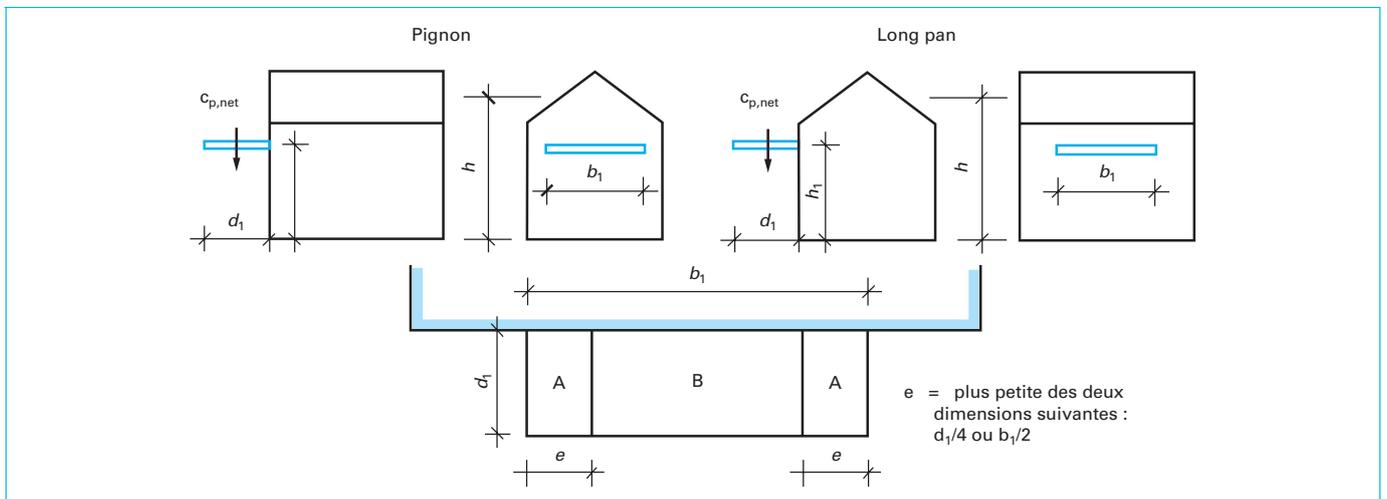


Figure 30 – Dimensions et répartition des zones sur les auvents

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$$

avec T durée d'intégration de la vitesse moyenne du vent = 600 s,

v fréquence de franchissement :

$$v = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad \text{et} \quad v \geq 0,08 \text{ Hz}$$

avec $n_{1,x}$ fréquence propre de la construction.

La limite $v \geq 0,08$ Hz correspond à un facteur de pointe $k_p = 3$.

5.6 Coefficient de réponse résonante R^2

Le coefficient de réponse résonante R^2 traduit l'effet de la turbulence en résonance avec la construction :

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b)$$

avec δ décrétement logarithmique total,

R_h, R_b fonctions d'admittance aérodynamique représentées à la figure 35 en fonction de η_h et η_b .

Pour une déformée de mode fondamental, on peut calculer de manière approchée :

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h})$$

$$R_h = 1 \text{ pour } \eta_h = 0$$

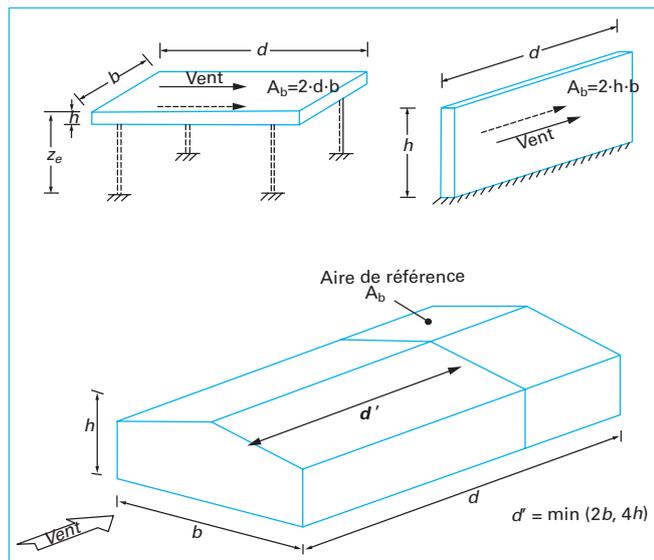
$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b})$$

$$R_b = 1 \text{ pour } \eta_b = 0$$

Tableau 13 – Valeurs de $c_{p,net}$ sur les différentes zones des auvents

Rapports des hauteurs h_1/h	Zone A			Zone B		
	Charges descendantes	Charges ascendantes		Charges descendantes	Charges ascendantes	
		$h_1/d_1 \leq 1,0$	$h_1/d_1 \geq 3,5$		$h_1/d_1 \leq 1,0$	$h_1/d_1 \geq 3,5$
$\leq 1,0$	1,1	- 0,9	- 1,4	0,9	- 0,2	- 0,5
0,2	0,8	- 0,9	- 1,4	0,5	- 0,2	- 0,5
0,3	0,7	- 0,9	- 1,4	0,4	- 0,2	- 0,5
0,4	0,7	- 1,0	- 1,5	0,3	- 0,2	- 0,5
0,5	0,7	- 1,0	- 1,5	0,3	- 0,2	- 0,5
0,6	0,7	- 1,1	- 1,6	0,3	- 0,4	- 0,7
0,7	0,7	- 1,2	- 1,7	0,3	- 0,7	- 1,0
0,8	0,7	- 1,4	- 1,9	0,3	- 1,0	- 1,3
0,9	0,7	- 1,7	- 2,2	0,3	- 1,3	- 1,6
1,0*	0,7	- 2,0	- 2,5	0,3	- 1,6	- 1,9

* Pour $h_1/h = 1$, l'auvent peut être considéré comme une « avancée de toit ».
 Une interpolation linéaire peut être utilisée pour les valeurs intermédiaires de h_1/h .
 Une interpolation linéaire est nécessaire pour les valeurs intermédiaires de : $1,0 < h_1/d_1 < 3,5$.


Figure 31 – Aire de référence pour le frottement

avec :

$$\eta_h = \frac{4,6h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad \eta_h = \frac{4,6b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x})$$

5.7 Caractéristiques dynamiques des structures

5.7.1 Fréquence fondamentale

La fréquence fondamentale n_1 (en Hz) peut être déterminée par les méthodes classiques (méthodes de Rayleigh, de Vianello-Stodola ou autres), ou à l'aide d'équations forfaitaires, par exemple :

Tableau 14 – Valeurs des coefficients de frottement c_{fr}

Surfaces	Coefficient de frottement c_{fr}
Lisse (acier, béton lisse)	0,01
Rugueuse (béton brut, bardeaux bitumés)	0,02
Très rugueuse (ondulations, nervures, pliures)	0,04

■ Pour les structures en console :

$$n_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{x_1}}$$

avec g accélération de la pesanteur = 9,81 m/s²,
 x_1 déplacement maximal dû au poids propre (en m).

■ Pour les bâtiments à plusieurs niveaux :

$$n_1 = \frac{46}{h}$$

avec h hauteur de la construction (en m).

5.7.2 Déformée du mode fondamental

La déformée du mode fondamental a pour expression (représentée à la figure 36) :

$$\Phi_1(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\zeta$$

avec $z = 0,6$ pour les constructions à ossature élancée et murs non porteurs ou bardage,

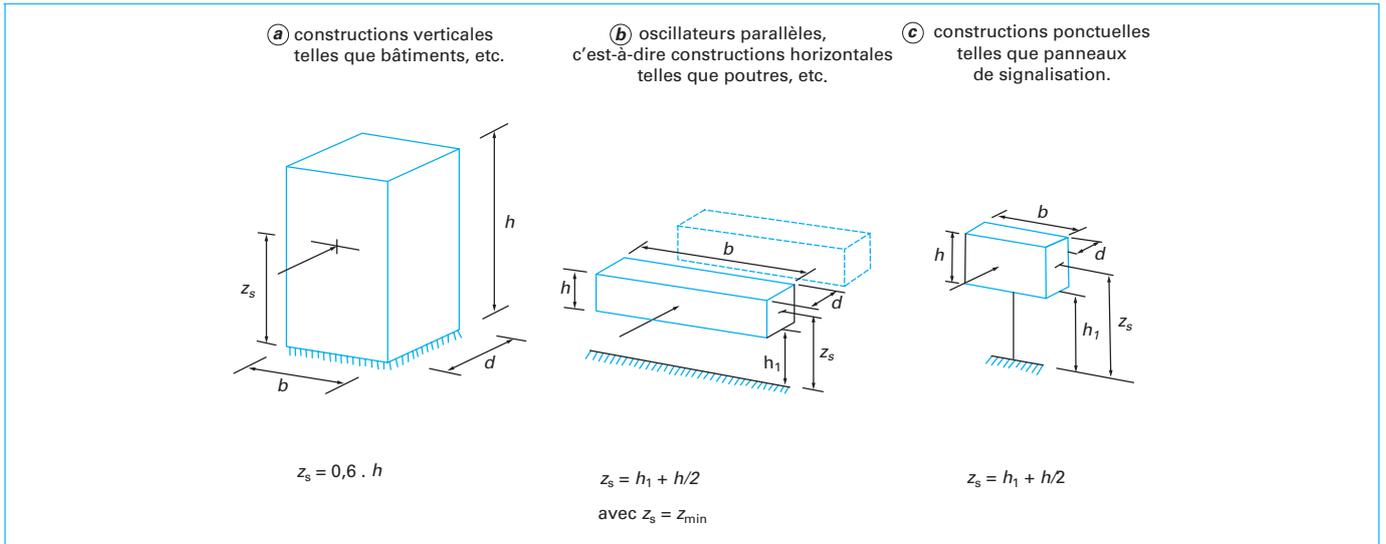


Figure 32 – Définition de z_s

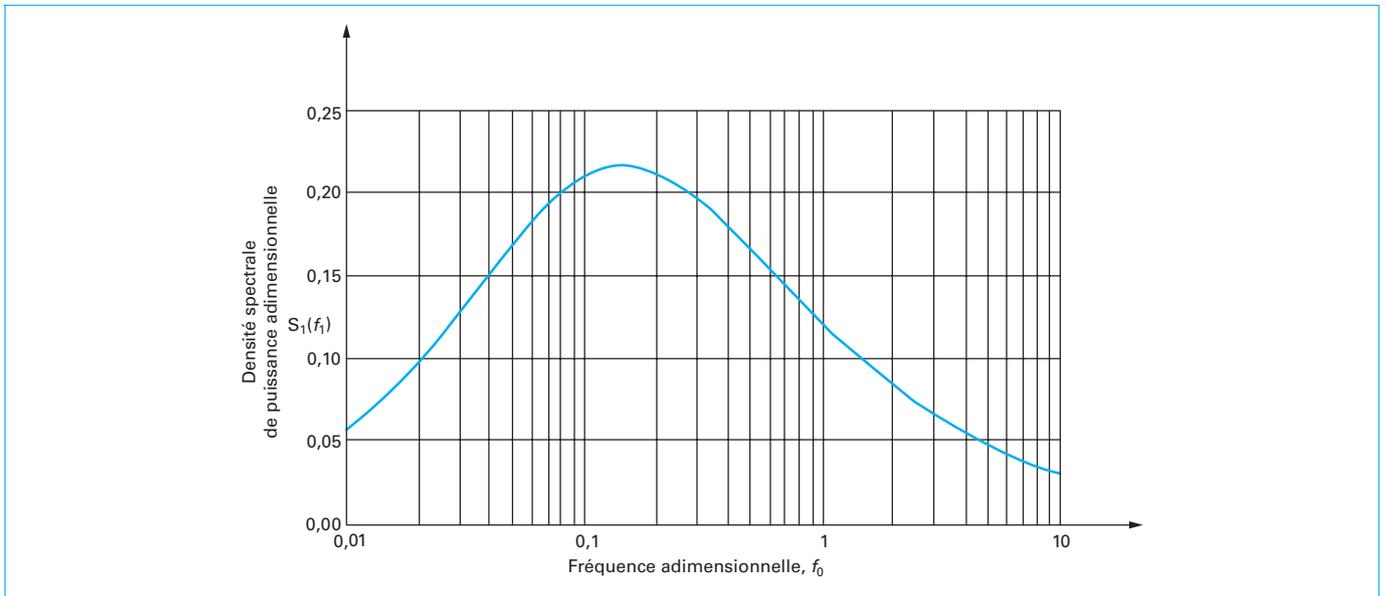


Figure 33 – Fonction de densité spectrale de puissance adimensionnelle $S_L(f_0)$

- $z = 1,0$ pour les bâtiments à noyau central,
- $z = 1,5$ pour les bâtiments élancés en encorbellement ou supportés par noyau central,
- $z = 2,0$ pour les tours et les cheminées,
- $z = 2,5$ pour les tours métalliques à treillis.

avec m masse par unité de longueur,
 ℓ hauteur ou portée de la construction.

5.7.3 Masse équivalente m_e

$$m_e = \frac{\int_0^{\ell} m(s) \cdot \Phi_1^2(s) ds}{\int_0^{\ell} \Phi_1^2(s) ds}$$

5.7.4 Décrément logarithmique d'amortissement δ

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d$$

avec δ_s amortissement structural,
 δ_a amortissement aérodynamique pour le mode fondamental :

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot V_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot \mu_e}$$

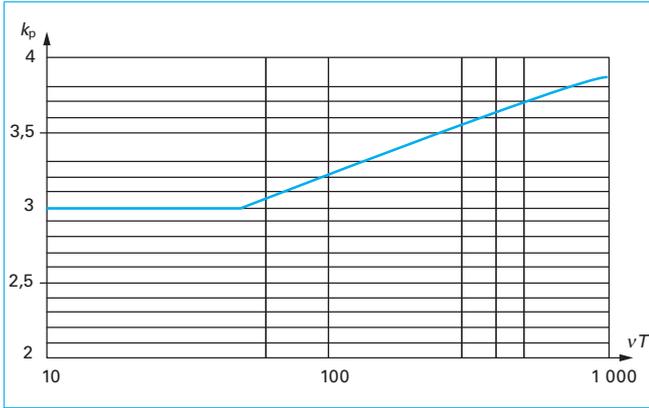


Figure 34 – Valeurs du facteur de pointe k_p

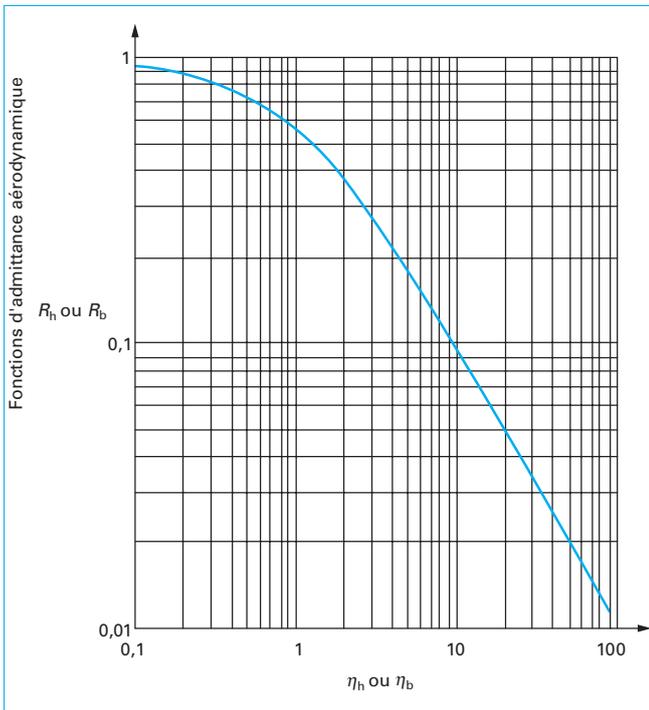


Figure 35 – Fonctions d'admittance aérodynamique R_h et R_b

avec μ_e masse équivalente par unité d'aire de la construction :

$$\mu_e = \frac{\int_0^h \int_0^b \mu(y, z) \cdot \Phi_1^2(y, z) \cdot dy \cdot dz}{\int_0^h \int_0^b \Phi_1^2(y, z) \cdot dy \cdot dz}$$

■ Pour les surfaces rectangulaires :

$\mu(y, z)$ = masse par unité d'aire

$\Phi_1(y, z)$ = déformée modale

■ Pour des déformations modales constantes pour chaque hauteur z ($\Phi(y, z)$ indépendant de y), alors :

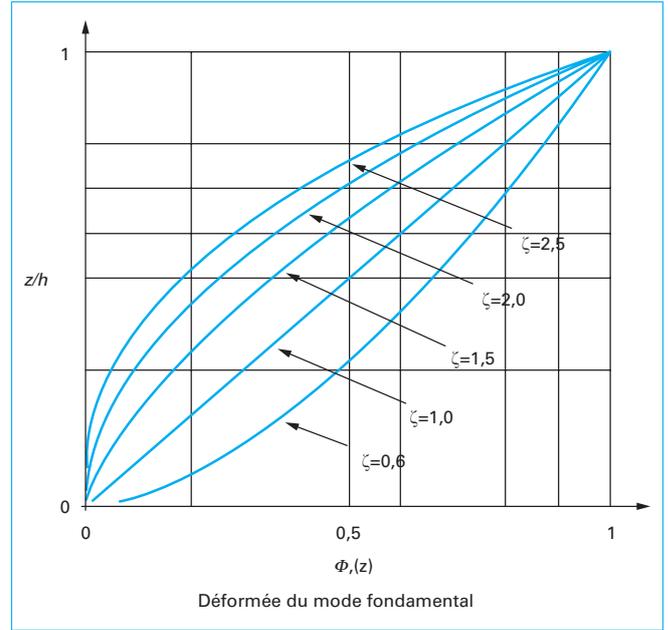


Figure 36 – Déformée du mode fondamental de flexion pour les bâtiments, tours et cheminées en console à partir du sol

Tableau 15 – Valeurs du décretement logarithmique d'amortissement structural

Types de construction	δ_s
Bâtiments en béton armé	0,10
Bâtiments en acier	0,05
Structures mixtes acier + béton	0,08

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e}$$

avec δ_d amortissement dû à des dispositifs spéciaux.

5.7.5 Décretement logarithmique d'amortissement structural δ_s

Le tableau 15 donne les valeurs du décretement logarithmique d'amortissement structural pour quelques types de constructions.

5.7.6 Valeurs du coefficient structural

Les abaques qui suivent (figures 37, 38, 39 et 40) fournissent les valeurs du coefficient structural par pas de 0,02 en fonction :

– des dimensions du bâtiment :

- h = hauteur totale, $5 \text{ m} \leq h \leq 60 \text{ m}$,
- b = dimension perpendiculaire à la direction du vent, $15 \text{ m} \leq b \leq 60 \text{ m}$;

– de la valeur de base de la vitesse de référence sur la France métropolitaine selon la région considérée :

- $v_{b,0} = 22 \text{ m/s}$ (région 1),
- $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$ (région 2),
- $v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$ (région 3),
- $v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$ (région 4) ;

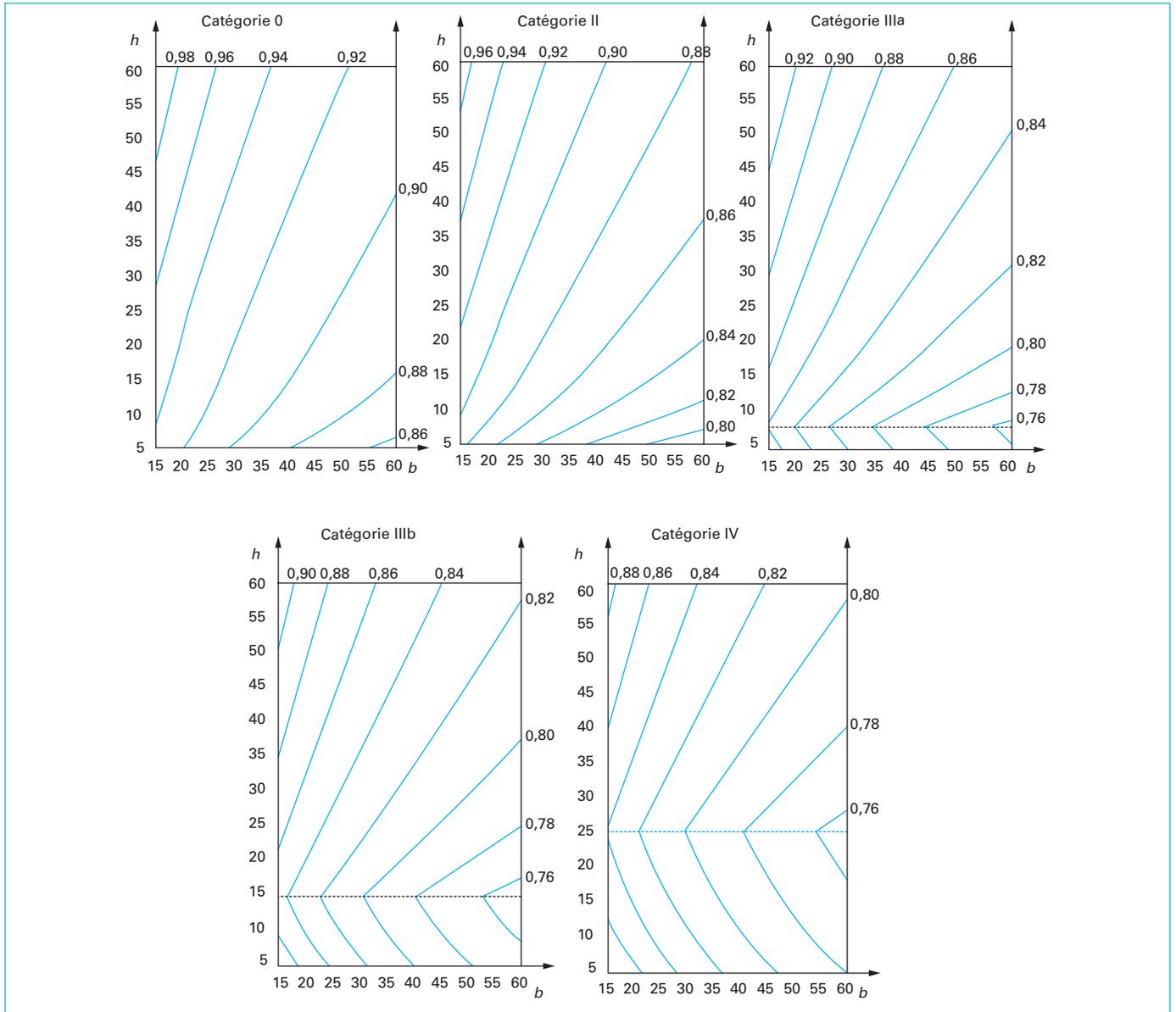


Figure 37 – Valeurs du coefficient structural pour $v_{b,0} = 22$ m/s (région 1)

– pour chacune des régions, de la **catégorie de terrain** (rugosité) :

- catégorie 0 (mer),
- catégorie II (rase campagne),
- catégorie IIIa (bocage),
- catégorie IIIb (zone industrielle),
- catégorie IV (centre ville).

Ces abaques ont été construits pour :

- $c_0(z_s)$ = coefficient d'orographie = 1 ;
- δ_a = décrément logarithmique d'amortissement aérodynamique = 0 (valeur sécuritaire) ;
- δ_s = décrément logarithmique d'amortissement structural du mode fondamental (pour un bâtiment en acier $\delta_s = 0,05$) ;

– δ_d = décrément logarithmique d'amortissement dû à des dispositifs spéciaux = 0 ;

– c_{season} = coefficient de saison = 1 ;

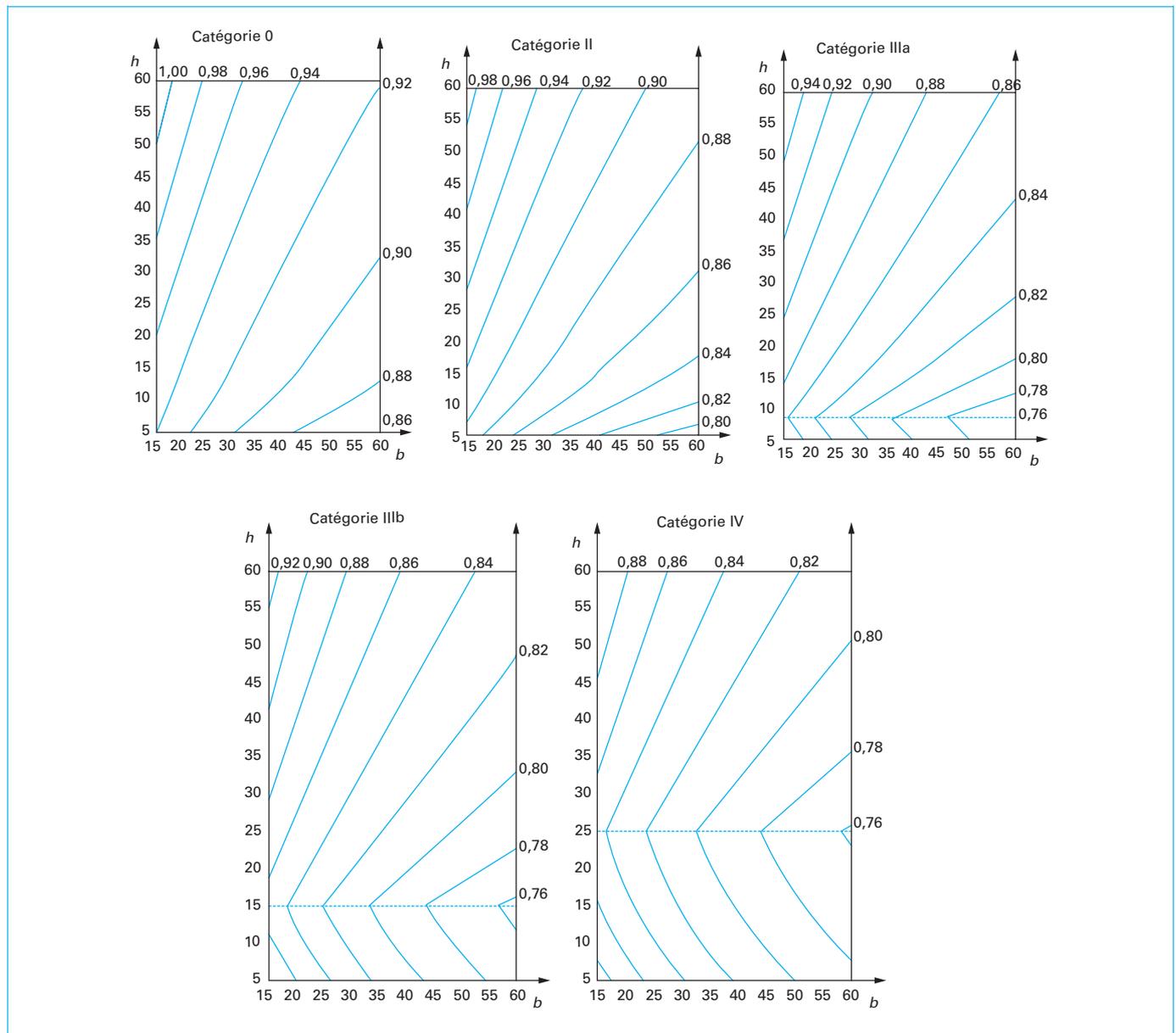
– c_{dir} = coefficient de direction = 1 ;

– $n_{1,x}$ = fréquence propre de la structure (en Hz) en utilisant la formule forfaitaire :

$$n_{1,x} = \frac{46}{h}$$

Les courbes présentent un point singulier qui se produit à une hauteur $h = z_{min} / 0,6$ (tableau 16).

Ces valeurs sont matérialisées par des pointillés sur les graphiques des figures 37, 38, 39 et 40 (si $z_{min} / 0,6 > 5$ m).


 Figure 38 – Valeurs du coefficient structural pour $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$ (région 2)

6. Exemple d'application

Il s'agit d'un bâtiment industriel de $15 \text{ m} \times 35 \text{ m}$, de 10 m de hauteur, avec une toiture à deux versants symétriques faisant un angle de 15° avec l'horizontale. Il est situé dans une zone industrielle proche de Poitiers en terrain plat (pente moyenne du terrain $< 3^\circ$). Les ouvertures sont fermées en exploitation par grand vent. Dans ce cas, les combinaisons d'actions en situation de projet durables sont, aux ELU, avec le vent comme action dominante :

$$G + 1,5 W + (1,5 \times 0,5) S$$

puis $G + 1,5 W + 1,5 \psi_0 Q$

avec	G	charges permanentes,
	W	actions du vent,
	$0,75 S$	valeur quasi-permanente de la charge de neige,
	$\psi_0 Q$	valeur de combinaison des charges d'exploitation.

Les combinaisons d'actions, ainsi que les coefficients ψ sont définis dans l'Eurocode EN 1990.

La figure 41 représente le bâtiment et son orientation.

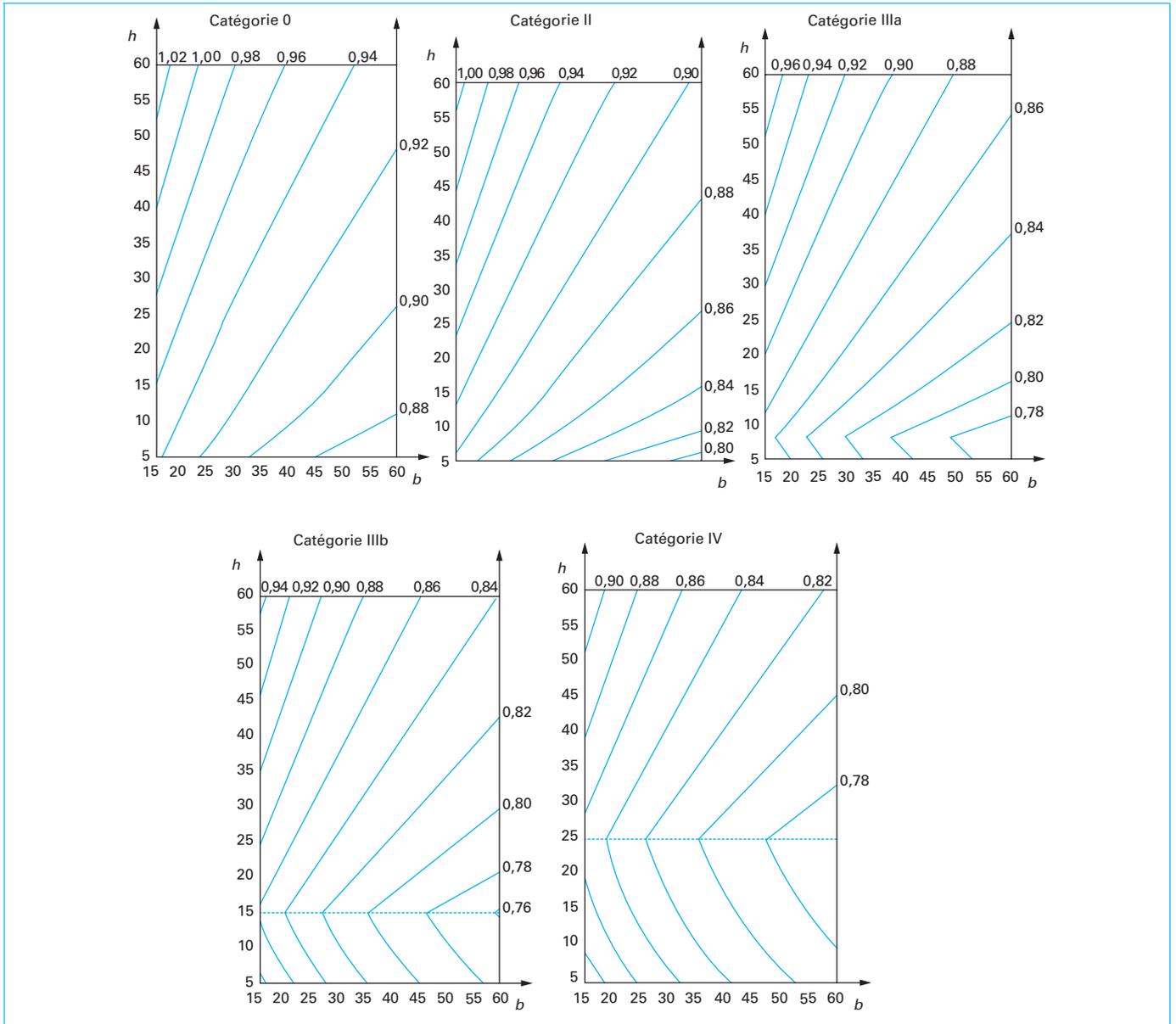


Figure 39 – Valeurs du coefficient structural pour $v_{b,0} = 26$ m/s (région 3)

6.1 Détermination de la pression dynamique de pointe

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

La pression dynamique de pointe est la pression dynamique de calcul.

Poitiers (Vienne) est classé en région 1.

6.1.1 Vitesse de référence v_b

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

avec	$v_{b,0}$	valeur de base de référence du vent (en m/s), rattachée à un découpage administratif de la carte de France (22 m/s en région 1),
	c_{season}	coefficient de saison (utilisable, éventuellement, en phase de construction) = 1,
	c_{dir}	coefficient de direction (prend en compte les vents dominants) = 0,70 sur le long pan Est (vent venant de l'Est) = 1 sur les autres faces du bâtiment
	v_b	= 22 · 0,7 = 15,4 m/s pour le long pan Est,
	v_b	= 22 m/s pour les autres faces.

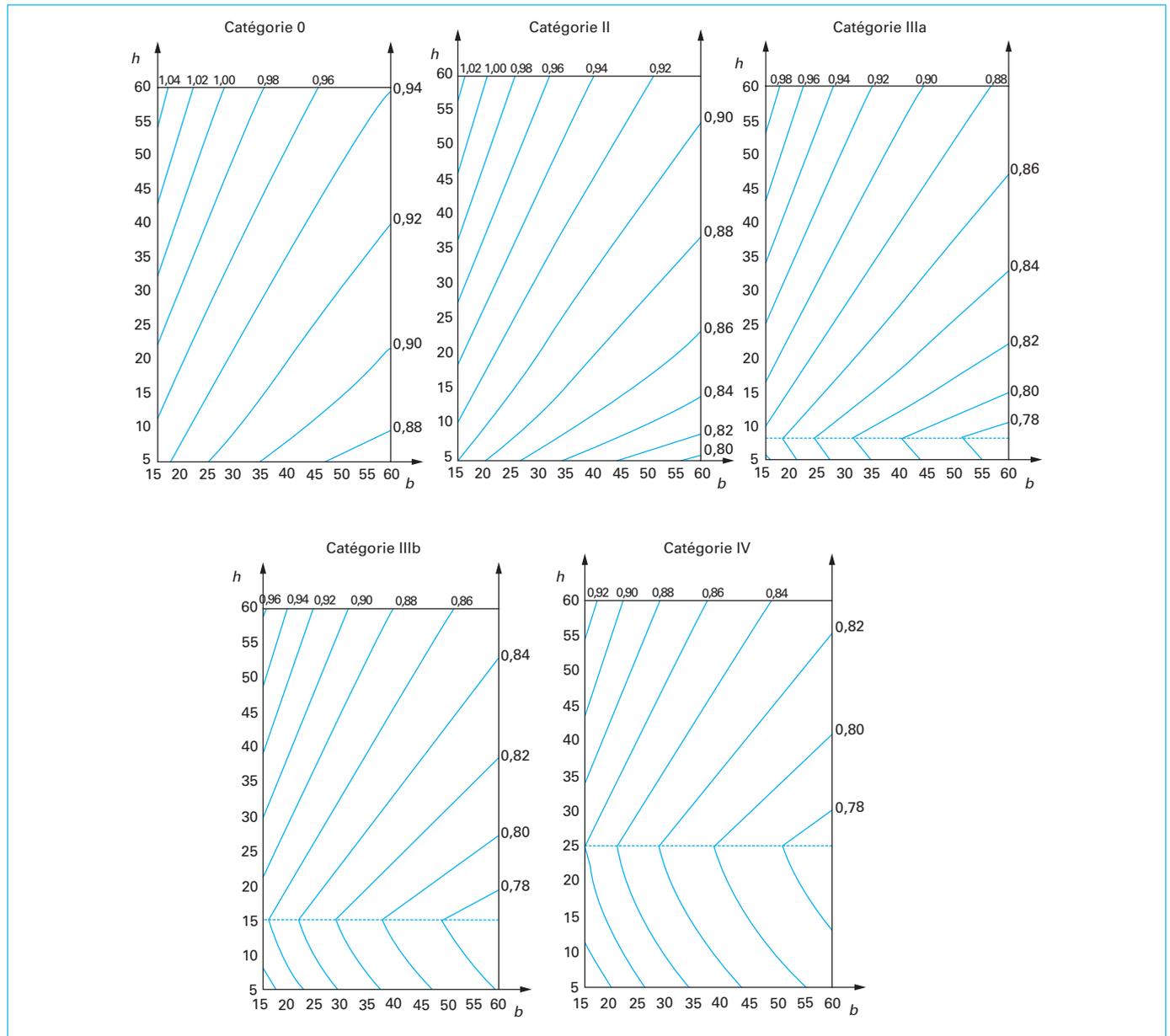


Figure 40 – Valeurs du coefficient structural pour $v_{b,0} = 28$ m/s (région 4)

Catégorie de terrain	0	II	IIIa	IIIb	IV
$z_{\min} / 0,6$ (en m)	1,67	3,33	8,33	15,00	25,00

6.1.2 Pression dynamique de base q_b

La pression dynamique de base $q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2$

$q_b = 145 \text{ N/m}^2$ pour le long pan Est, soit $14,5 \text{ daN/m}^2$

$q_b = 296 \text{ N/m}^2$ pour les autres faces, soit $29,6 \text{ daN/m}^2$

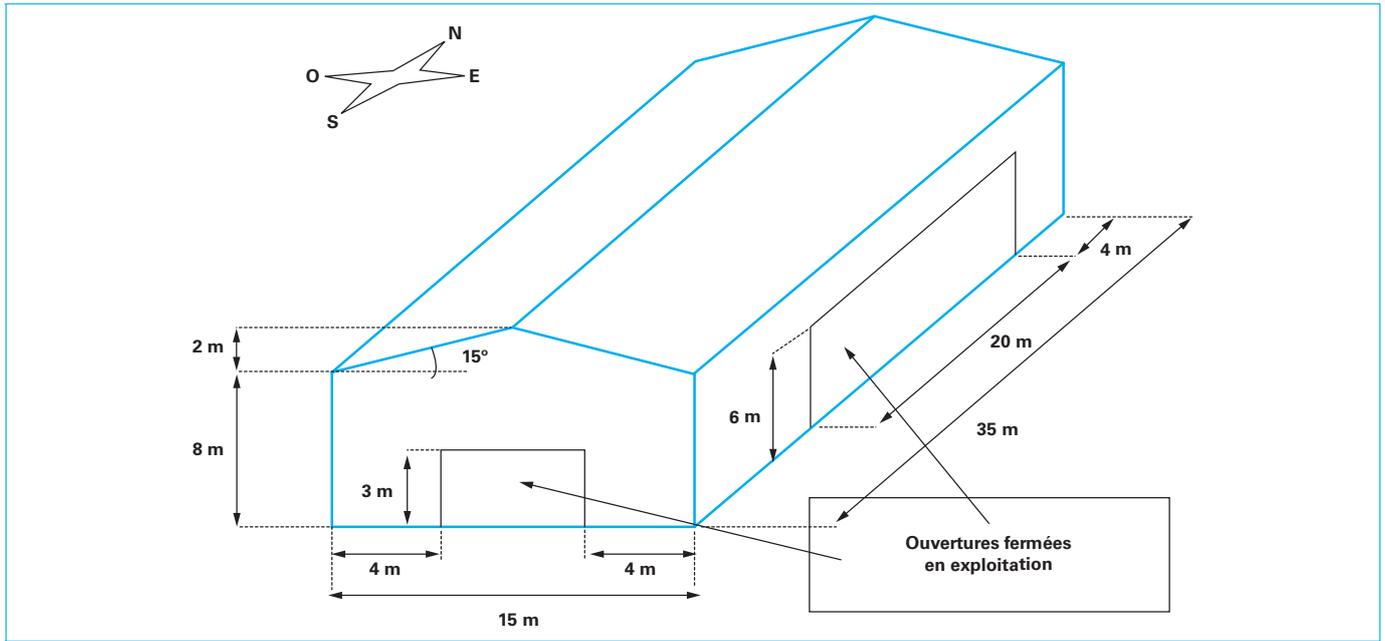
6.1.3 Coefficient d'exposition

$$c_e(z) = \left[1 + \frac{7 \cdot k_1 \cdot k_r}{c_0(z) \cdot c_r(z)} \right] \cdot c_0^2(z) \cdot c_r^2(z)$$

avec $c_0(z)$ coefficient d'orographie (relief) = 1 (pente moyenne du terrain < 3°).

Le bâtiment se trouve en zone industrielle, soit en catégorie de terrain IIIb, alors :

- $z_0 = 0,5 \text{ m}$
- $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$
- $k_r = 0,223$
- $k_1 = 0,923$


Figure 41 – Dimensions et orientation du bâtiment

avec $c_r(z)$ coefficient de rugosité à la hauteur $z = k_r \cdot \ln(z/z_0)$.

À la hauteur $z = 10$ m (hauteur de la construction),

$$c_r(10) = 0,223 \ln(10/0,5) = 0,669$$

$$c_e(10) = \left[1 + \frac{7 \cdot 0,0923 \cdot 0,223}{1 \cdot 0,669} \right] \cdot 1 \cdot 0,669^2 = 1,411$$

6.1.4 Pression dynamique de pointe

La pression dynamique de calcul à la hauteur de référence $z_e = 10$ m a pour valeurs :

$$q_p(10) = 20,5 \text{ daN/m}^2 \text{ pour le long pan Est}$$

$$q_p(10) = 41,8 \text{ daN/m}^2 \text{ pour les autres faces}$$

Vent Est : $q_p(10) = 20,5 \text{ daN/m}^2$
Autres directions du vent : $q_p(10) = 41,8 \text{ daN/m}^2$

6.2 Forces exercées par le vent

$$F = [c_{sd} \cdot \sum q_p(z_e) \cdot c_{pe} - \sum q_p(z_i) \cdot c_{pi}] \cdot A_{ref} + c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

6.2.1 Coefficient structural c_{sd}

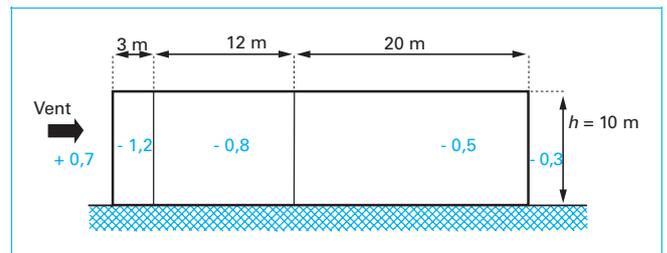
La hauteur du bâtiment est $h = 10$ m.

■ Pour un vent sur pignon, $b = 15$ m

$$c_{sd} = 0,90 \text{ (lu sur les abaques)}$$

■ Pour un vent long pan, $b = 35$ m

$$c_{sd} = 0,80 \text{ (lu sur les abaques)}$$


Figure 42 – Valeurs de c_{pe} pour les murs verticaux avec vent sur pignon

6.2.2 Coefficients de pression extérieure c_{pe}

6.2.2.1 Murs verticaux

■ Vent sur pignon

$$h = 10 \text{ m}$$

$$b = 15 \text{ m (perpendiculaire à la direction du vent)}$$

$$h < b, \text{ donc } z_e = \text{hauteur de référence} = h = 10 \text{ m}$$

$$d = 35 \text{ m (parallèle à la direction du vent)}$$

$$h/d = 10/35 = 0,29$$

$$2h = 20 \text{ m}$$

$$e = 15 \text{ m (plus petite dimension entre } b \text{ ou } 2h)$$

$$e < d$$

$$e/5 = 3 \text{ m}$$

$$4/5 e = 12 \text{ m}$$

$$d - e = 20 \text{ m}$$

La figure 42 donne les valeurs des coefficients de pression extérieure pour les zones A, B, C, D et E sur les murs verticaux avec vent sur pignon.

■ Vent sur long pan

- $h = 10 \text{ m}$
- $b = 35 \text{ m}$ (perpendiculaire à la direction du vent)
- $h < b$ donc :
- $z_e =$ hauteur de référence $= h = 10 \text{ m}$
- $d = 35 \text{ m}$ (parallèle à la direction du vent)
- $h/d = 10/35 = 0,29$
- $2h = 20 \text{ m}$
- $e = 20 \text{ m}$ (plus petite dimension entre b ou $2h$)
- $e > d$
- $e/5 = 4 \text{ m}$
- $d - e/5 = 27 \text{ m}$

La figure 43 donne les valeurs des coefficients de pression extérieure pour les zones A, B, D et E sur les murs verticaux avec vent sur long pan.

6.2.2.2 Toiture

L'angle α de la toiture avec l'horizontale est de $+15^\circ$

■ Vent sur pignon

- $h = 10 \text{ m}$
- $b = 15 \text{ m}$ (perpendiculaire à la direction du vent)
- Faîte parallèle à la direction θ du vent : $\theta = 90^\circ$
- $z_e =$ hauteur de référence $= h = 10 \text{ m}$
- $d = 35 \text{ m}$ (parallèle à la direction du vent)
- $2h = 20 \text{ m}$
- $e = 15 \text{ m}$ (plus petite dimension entre b ou $2h$)
- $e/4 = 3,75 \text{ m}$
- $e/10 = 1,5 \text{ m}$
- $e/2 = 7,5 \text{ m}$

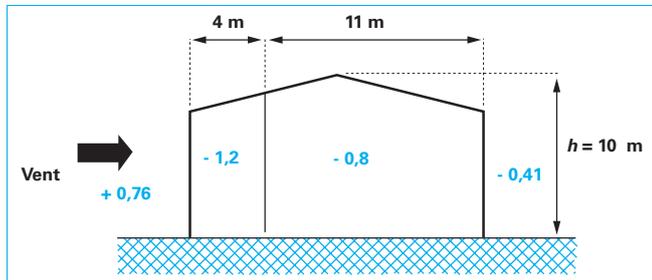


Figure 43 – Valeurs de c_{pe} pour les murs verticaux avec vent sur long pan

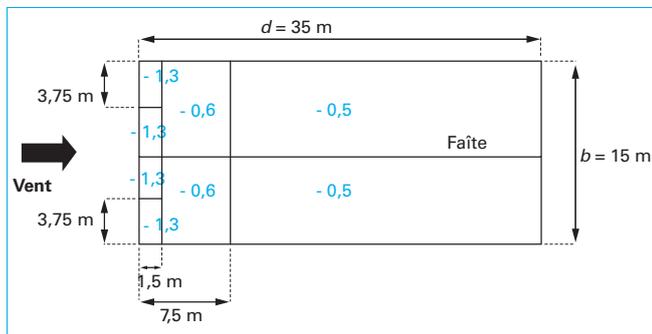


Figure 44 – Valeurs de c_{pe} sur la toiture avec vent sur pignon

La figure 44 donne les valeurs des coefficients de pression extérieure pour les zones F, G, H et I sur les toitures à deux versants avec $\alpha > 0$ et vent sur pignon ($\theta = 90^\circ$).

■ Vent sur long pan

- $h = 10 \text{ m}$
- $b = 35 \text{ m}$ (perpendiculaire à la direction du vent)
- Faîte perpendiculaire à la direction θ du vent : $\theta = 0^\circ$
- $z_e =$ hauteur de référence $= h = 10 \text{ m}$
- $d = 15 \text{ m}$ (parallèle à la direction du vent)
- $2h = 20 \text{ m}$
- $e = 20 \text{ m}$ (plus petite dimension entre b ou $2h$)
- $e/4 = 5 \text{ m}$
- $e/10 = 2 \text{ m}$

La figure 45 donne les valeurs des coefficients de pression extérieure pour les zones F, G, H, I et J sur les toitures à deux versants avec $\alpha > 0$ et vent sur long pan ($\theta = 0^\circ$).

La direction du vent n'est pas constante ; celui-ci peut être ascendant ou descendant, créant ainsi des dépressions ou des pressions sur la toiture. Il convient de prendre successivement les valeurs positives, puis négatives, des coefficients de pression extérieure c_{pe} . Un mélange de valeurs positives et négatives sur un même versant n'est pas admis.

6.2.2.3 Coefficients de pression intérieure c_{pi}

Les ouvertures sont fermées en exploitation par grand vent, en situation de projet durable et transitoire, il convient de considérer les valeurs :

$$c_{pi} = +0,2 \text{ puis } c_{pi} = -0,3$$

La hauteur de référence $z_i = z_e = 10 \text{ m}$.

6.2.2.4 Coefficients de frottement c_{fr}

■ Vent sur pignon

- Aire des surfaces parallèles au vent :

$$2 \times 35(8 + 7,76) = 1103 \text{ m}^2$$

- Aire des surfaces perpendiculaires au vent :

$$2 \times 15(8 + 1) = 270 \text{ m}^2$$

- Aire des surfaces parallèles au vent $< 4 \times$ aire des surfaces perpendiculaires au vent ; il n'y a pas de forces de frottement :

$$F_{fr} = 0$$

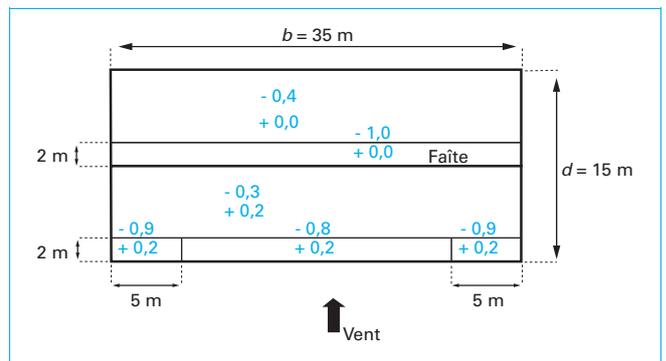


Figure 45 – Valeurs de c_{pe} sur la toiture avec vent sur long pan

Vent sur long pan

Aire des surfaces parallèles au vent $< 4 \times$ aire des surfaces perpendiculaires au vent ; il n'y a pas de forces de frottement.

$$F_{fr} = 0$$

6.2.2.5 Forces sur les parois

$$F/A_{ref} = c_s c_d \cdot \sum q_p(z_e) \cdot c_{pe} - \sum q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

Les tableaux **18**, **19**, **20**, **21**, **22**, **23** et **24** puis les schémas (figures **46**, **47**, **48**, **49**, **50**, **51**, **52** et **53**) respectifs donnent les valeurs de F/A_{ref} en fonction des directions du vent et des valeurs du coefficient de pression intérieure.

Vent sur pignon (Sud ou Nord)

$$q_p(10) = 41,8 \text{ daN/m}^2 ; c_s c_d = 0,90$$

- Avec un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = + 0,2$
- Avec un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = - 0,3$:

Zones	c_{pe}	$c_s c_d \cdot c_{pe}$	$c_s c_d \cdot c_{pe} - c_{pi}$	F/A_{ref} (en daN/m ²)	
Murs verticaux	A	- 1,2	- 1,08	- 1,28	- 53,5
	B	- 0,8	- 0,72	- 0,92	- 38,5
	C	- 0,5	- 0,45	- 0,65	- 27,2
	D	+ 0,7	+ 0,63	+ 0,43	+ 18,0
	E	- 0,3	- 0,27	- 0,47	- 19,6
Toitures	F	- 1,5	- 1,35	- 1,55	- 64,8
	G	- 1,5	- 1,35	- 1,55	- 64,8
	H	- 0,6	- 0,54	- 0,74	- 30,9
	I	- 0,5	- 0,45	- 0,65	- 27,2

Zones	c_{pe}	$c_s c_d \cdot c_{pe}$	$c_s c_d \cdot c_{pe} - c_{pi}$	F/A_{ref} (en daN/m ²)	
Murs verticaux	A	- 1,2	- 1,08	- 0,78	- 32,6
	B	- 0,8	- 0,72	- 0,42	- 17,6
	C	- 0,5	- 0,45	- 0,15	- 6,3
	D	+ 0,7	+ 0,63	+ 0,93	+ 38,9
	E	- 0,3	- 0,27	- 0,03	+ 1,3
Toitures	F	- 1,5	- 1,35	- 1,05	- 43,9
	G	- 1,5	- 1,35	- 1,05	- 43,9
	H	- 0,6	- 0,54	- 0,24	- 10,0
	I	- 0,5	- 0,45	- 0,15	- 6,3

Zones	c_{pe}	$c_s c_d \cdot c_{pe}$	$c_s c_d \cdot c_{pe} - c_{pi}$	F/A_{ref} (en daN/m ²)	
Murs verticaux	A	- 1,2	- 0,96	- 1,16	- 48,5
	B	- 0,8	- 0,64	- 0,84	- 35,1
	D	+ 0,76	+ 0,61	+ 0,41	+ 17,1
	E	- 0,41	- 0,33	- 0,53	- 22,6
Toitures	F	+ 0,2	+ 0,16	- 0,04	- 1,7
	G	+ 0,2	+ 0,16	- 0,04	- 1,7
	H	+ 0,2	+ 0,16	- 0,04	- 1,7
	I	+ 0,0	+ 0,0	- 0,2	- 8,4
	J	+ 0,0	+ 0,0	- 0,2	- 8,4

Zones	c_{pe}	$c_s c_d \cdot c_{pe}$	$c_s c_d \cdot c_{pe} - c_{pi}$	F/A_{ref} (en daN/m ²)	
Murs verticaux	A	- 1,2	- 0,96	- 1,16	- 48,5
	B	- 0,8	- 0,64	- 0,84	- 35,1
	D	+ 0,76	+ 0,61	+ 0,41	+ 17,1
	E	- 0,41	- 0,33	- 0,53	- 22,2
	F	- 0,9	- 0,72	- 0,92	- 38,5
Toitures	G	- 0,8	- 0,64	- 0,84	- 35,1
	H	- 0,3	- 0,24	- 0,44	- 18,4
	I	- 0,4	- 0,32	- 0,52	- 21,7
	J	- 1,0	- 0,8	- 1,0	- 41,8

Zones	c_{pe}	$c_s c_d \cdot c_{pe}$	$c_s c_d \cdot c_{pe} - c_{pi}$	F/A_{ref} (en daN/m ²)	
Murs verticaux	A	- 1,2	- 0,96	- 1,16	- 48,5
	B	- 0,8	- 0,64	- 0,84	- 35,1
	D	+ 0,76	+ 0,61	+ 0,41	+ 17,1
	E	- 0,41	- 0,33	- 0,53	- 22,2
	F	+ 0,2	+ 0,16	- 0,04	- 1,7
Toitures	G	+ 0,2	+ 0,16	- 0,04	- 1,7
	H	+ 0,2	+ 0,16	- 0,04	- 1,7
	I	- 0,4	- 0,32	- 0,52	- 21,7
	J	- 1,0	- 0,8	- 1,0	- 41,8

Tableau 22 – Valeurs de F/A_{ref} pour $c_{pi} = -0,3$ et $c_{pe} \geq 0$ par vent ouest (sur long pan)

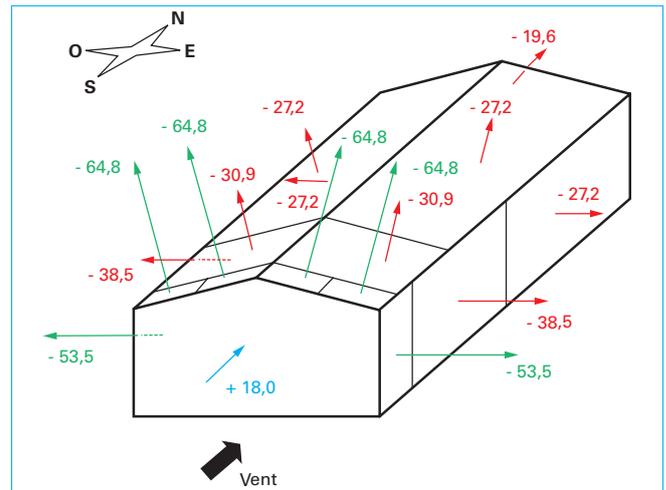
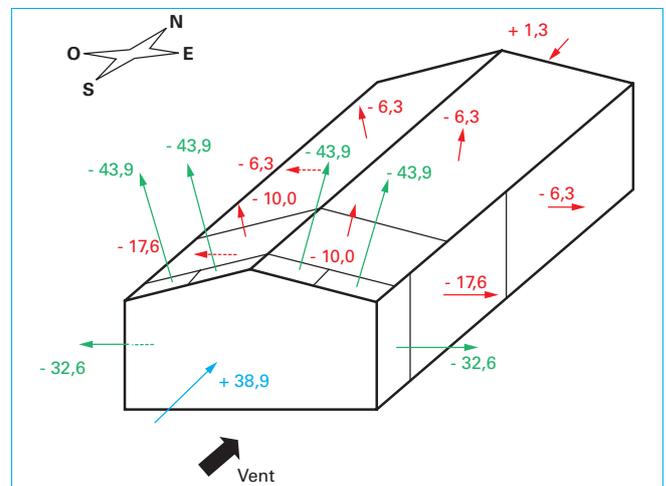
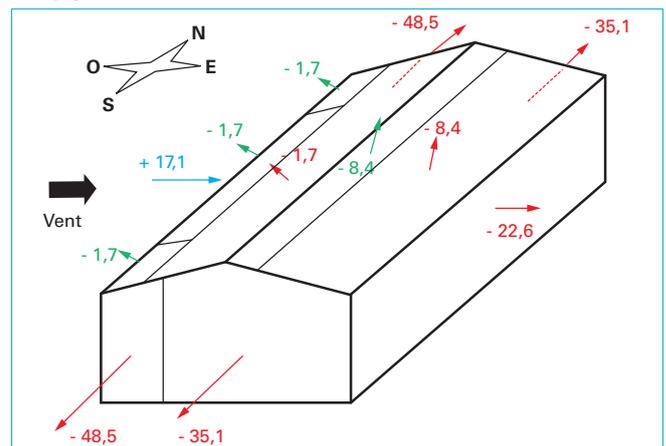
Zones	c_{pe}	$c_s c_d \cdot c_{pe}$	$c_s c_d \cdot c_{pe} - c_{pi}$	F/A_{ref} (en daN/m ²)	
Murs verticaux	A	-1,2	-0,96	-0,66	-27,6
	B	-0,8	-0,64	-0,34	-14,2
	D	+0,76	+0,61	+0,91	+38,0
	E	-0,41	-0,33	-0,03	-1,3
Toitures	F	+0,2	+0,16	+0,46	+19,2
	G	+0,2	+0,16	+0,46	+19,2
	H	+0,2	+0,16	+0,46	+19,2
	I	+0,0	+0,0	+0,3	+12,5
	J	+0,0	+0,0	+0,3	+12,5

Tableau 23 – Valeurs de F/A_{ref} pour $c_{pi} = -0,3$ et $c_{pe} \leq 0$ par vent ouest (sur long pan)

Zones	c_{pe}	$c_s c_d \cdot c_{pe}$	$c_s c_d \cdot c_{pe} - c_{pi}$	F/A_{ref} (en daN/m ²)	
Murs verticaux	A	-1,2	-0,96	-0,66	-27,6
	B	-0,8	-0,64	-0,34	-14,2
	D	+0,76	+0,61	+0,91	+38,0
	E	-0,41	-0,33	-0,03	-1,3
Toitures	F	-0,9	-0,72	-0,42	-17,6
	G	-0,8	-0,64	-0,34	-14,2
	H	-0,3	-0,24	+0,06	+2,5
	I	-0,4	-0,32	-0,02	-0,8
	J	-1,0	-0,8	-0,5	-20,9

Tableau 24 – Valeurs de F/A_{ref} pour $c_{pi} = -0,3$ et $c_{pe} \geq 0$ au vent et $c_{pe} \leq 0$ sous le vent

Zones	c_{pe}	$c_s c_d \cdot c_{pe}$	$c_s c_d \cdot c_{pe} - c_{pi}$	F/A_{ref} (en daN/m ²)	
Murs verticaux	A	-1,2	-0,96	-0,66	-27,6
	B	-0,8	-0,64	-0,34	-14,2
	D	+0,76	+0,61	+0,91	+38,0
	E	-0,41	-0,33	-0,03	-1,3
Toitures	F	+0,2	+0,16	+0,14	+5,9
	G	+0,2	+0,16	+0,14	+5,9
	H	+0,2	+0,16	+0,14	+5,9
	I	-0,4	-0,32	-0,02	-0,08
	J	-1,0	-0,8	-0,50	-20,9


Figure 46 – Valeurs de F/A_{ref} pour $c_{pi} = +0,2$ par vent sud ou nord (sur pignon)

Figure 47 – Valeurs de F/A_{ref} pour $c_{pi} = -0,3$ par vent sud ou nord (sur pignon)

Figure 48 – Valeurs de F/A_{ref} pour $c_{pi} = +0,2$ et $c_{pe} \geq 0$ par vent ouest (sur long pan)

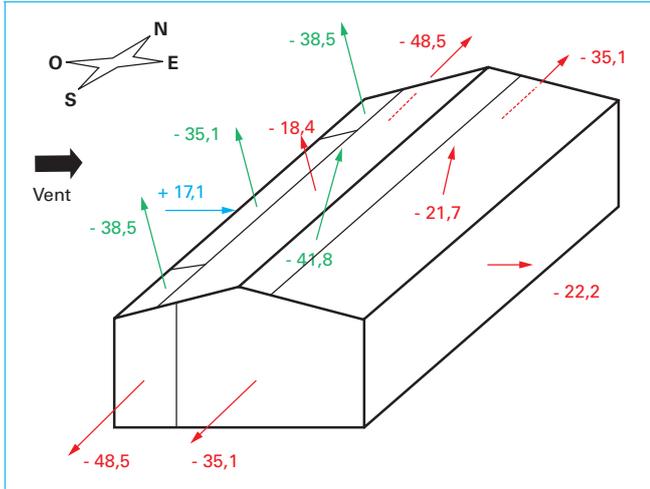


Figure 49 – Valeurs de FA_{ref} pour $c_{pi} = +0,2$ et $c_{pe} \leq 0$ par vent ouest (sur long pan)

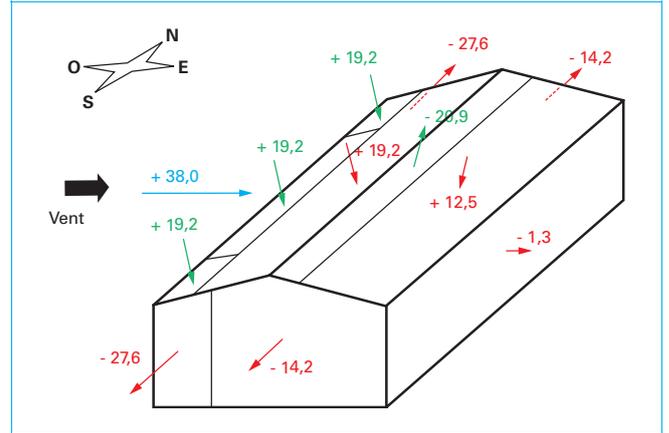


Figure 51 – Valeurs de FA_{ref} pour $c_{pi} = -0,3$ et $c_{pe} \geq 0$ par vent ouest (sur long pan)

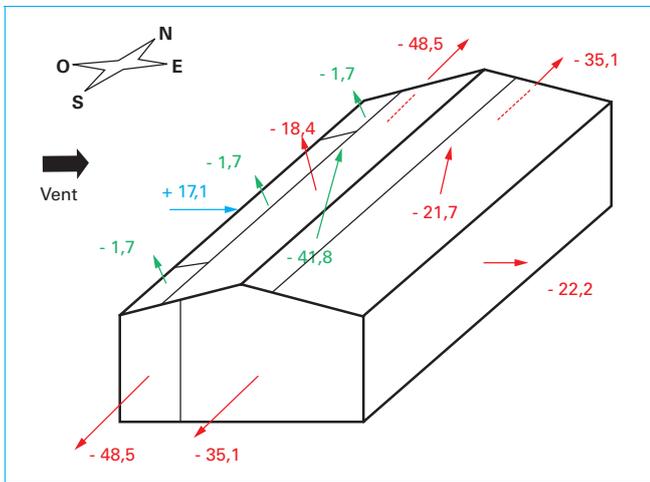


Figure 50 – Valeurs de FA_{ref} pour $c_{pi} = +0,2$ et $c_{pe} \geq 0$ au vent et $c_{pe} \leq 0$ sous le vent

■ Vent sur long pan ouest

$$q_p(10) = 41,8 \text{ daN/m}^2 ; c_s c_d = 0,80$$

- Avec un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = +0,2$ et un coefficient de pression extérieure sur la toiture $c_{pe} \geq 0$:
- Avec un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = +0,2$ et un coefficient de pression extérieure sur la toiture $c_{pe} \leq 0$:
- Avec un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = +0,2$ et un coefficient de pression extérieure $c_{pe} \geq 0$ sur le versant au vent et $c_{pe} \leq 0$ sur le versant sous le vent :
- Avec un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = -0,3$ et un coefficient de pression extérieure sur la toiture $c_{pe} \geq 0$

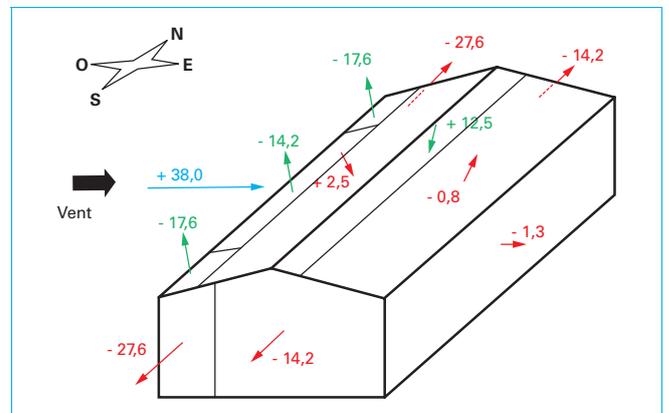


Figure 52 – Valeurs de FA_{ref} pour $c_{pi} = -0,3$ et $c_{pe} \leq 0$ par vent ouest (sur long pan)

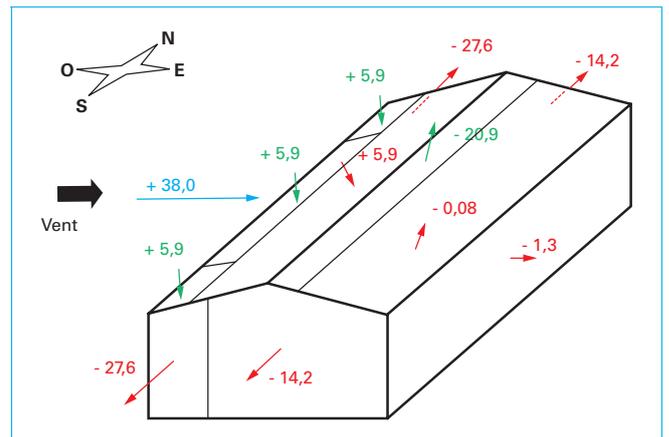


Figure 53 – Valeurs de FA_{ref} pour $c_{pi} = -0,3$ et $c_{pe} \geq 0$ au vent et $c_{pe} \leq 0$ sous le vent

- Avec un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = -0,3$ et un coefficient de pression extérieure sur la toiture $c_{pe} \leq 0$

- Avec un coefficient de pression intérieure $c_{pi} = -0,3$ et un coefficient de pression extérieure $c_{pe} \geq 0$ sur le versant au vent et $c_{pe} \leq 0$ sur le versant sous le vent :

Les cas où le coefficient de pression extérieure $c_{pe} \leq 0$ sur le versant au vent et $c_{pe} \geq 0$ sur le versant sous le vent sont peu probables et ne sont donc pas traités ici.

■ Vent sur long pan est

Les valeurs de F/A_{ref} pour un vent provenant de l'Est sont symétriques à celles du vent venant de l'Ouest avec un coefficient de réduction de 51 %.

6.2.2.6 Situation de projet accidentelle

L'une des ouvertures peut être ouverte accidentellement (bris, oubli, incident ou défaut de fermeture,...) par vent violent. Il convient alors de calculer le bâtiment avec la porte ou la fenêtre ouverte en situation de projet accidentelle ; dans ce cas, la combinaison des actions devient (pour $A_c \leq 1000 \text{ m}^2$, la charge de neige est affectée du coefficient $\psi_2 = 0$) :

$$G + W + \psi_2 Q$$

avec G charges permanentes,
 W actions du vent,
 $\psi_2 Q$ valeur quasi-permanente des charges d'exploitation.

Une seule porte étant ouverte, elle devient ouverture dominante avec :

Aire des ouvertures dans la face dominante $\geq 3 \times$ aire des ouvertures dans les autres faces, alors, $c_{pi} = 0,9 c_{pe}$.

Il convient de prendre en considération les valeurs les plus élevées de c_{pi} , soit $0,9 I_{c_{pe}I_{max}}$; les autres valeurs ne sont pas dimensionnantes.

■ Porte ouverte sur le pignon

- Pour un vent sur pignon sud :

$$c_{pe} = +0,7 ; \text{ alors } c_{pi} = +0,63$$

- Pour un vent sur long pan ouest ou long pan est, la porte se trouve entièrement en zone B où :

$$c_{pe} = 0,8 ; \text{ alors } c_{pi} = -0,72$$

Le calcul des forces exercées sur la structure s'effectue de la même façon que précédemment.

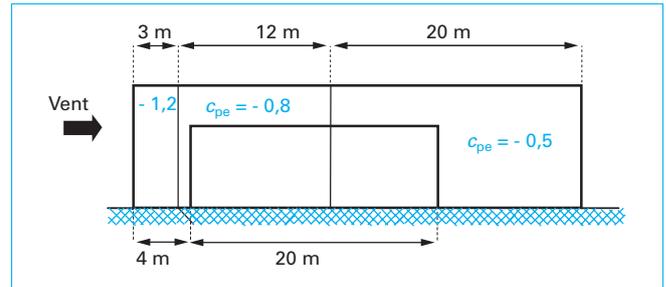


Figure 54 – Position relative de la porte et des coefficients c_{pe} pour un vent sur pignon nord

■ Porte ouverte sur le long pan

- Comme précédemment pour un vent sur long pan est :

$$c_{pe} = +0,76 ; \text{ alors } c_{pi} = +0,68$$

La figure 54 représente la position de la porte par rapport à la position des coefficients de pression extérieure.

- Avec un vent sur pignon nord

La porte se trouve en zone B ($c_{pe} = -0,8$) sur une longueur de $15 - 4 = 11 \text{ m}$ et en zone C ($c_{pe} = -0,5$) sur une longueur de $20 - 11 = 9 \text{ m}$.

Alors :

$$c_{pi} = 0,9 \left[\frac{11}{20} (-1,8) + \frac{9}{20} (-0,5) \right] = -0,6$$

Le calcul des forces exercées sur la structure s'effectue de la même façon que précédemment.

En affectant les actions du vent en situation de projet durable d'un coefficient de pondération 1,5, et les actions du vent en situation de projet accidentelle d'un coefficient 1, on peut aisément vérifier que ce dernier cas ne dimensionne que très peu d'éléments.

7. Conclusion

Les actions du vent sur d'autres types de construction que les bâtiments, comme les toitures isolées, les profilés, les cylindres, les structures en treillis, les ponts, peuvent être déterminées à l'aide de la norme NF EN 1991-1-4.

Après un délai suffisant d'utilisation du texte, des aménagements, correctifs, compléments ou précisions peuvent y être apportés, tant au niveau national qu'au niveau européen. Il s'agit toutefois de conserver un compromis raisonnable entre les impératifs économiques et sécuritaires.

Le Comité européen de normalisation (CEN) envisage de proposer une version simplifiée des textes « Eurocodes ».

Actions du vent sur les bâtiments selon l'Eurocode 1 – Partie 1-4

par **Danielle CLAVAUD**

Chef de projet Recherche

Centre technique industriel de la construction métallique

Sources bibliographiques

CECM. – *Recommandations pour le calcul des effets du vent sur les constructions*. CECM n° 52, 1987, Construction Métallique n° 1 (1989).

DELAUNAY (D.). – *Vents extrêmes dus aux cyclones tropicaux dans les DOM-TOM*. Cahiers du CSTB n° 2078 (1986).

MARINO (J.L.) et POURRET (V.). – *Durées de retour des vents cycloniques (sur les Antilles françaises)*. METEO-France, DIRAG.

À lire également dans nos bases

CLAVAUD (D.). – *Charges de neige sur les constructions selon l'Eurocode 1 – Partie 1-3*. [C 3 305] (2014).

CALGARO (J.A.). – *Normes du bâtiment et des travaux publics – Base fiabiliste des Eurocodes*. [C 60] (2013).

AUBERT (J.). – *Détermination des épaisseurs des vitrages en façade et toiture, en pose traditionnelle*. [N 4 405] (2012).

Classements de performances en construction. [TBA 212] (2013).

Événements

Séminaire de l'AIV a lieu tous les deux ans

<http://www.aiv.asso.fr>

Normes et standards

AFNOR Eurocode 1 *Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent* – NF EN 1991-1-4 AFNOR, 2005, NF EN 1991-1-4 AFNOR, 2012.

NF EN 1990 AFNOR et NF EN 1990/NA AFNOR

2003 et 2011

AFNOR Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures.

[2] CECM *Recommandations pour le calcul des effets du vent sur les constructions* – CECM n° 52, 1987, Construction Métallique n° 1, 1989.

Annuaire

Organismes – Fédérations – Associations (liste non exhaustive)

Association de l'Ingénierie du Vent AIV
<http://www.aiv.asso.fr>

Laboratoires – Bureaux d'études – Écoles – Centres de recherche (liste non exhaustive)

- **Météo france**
<http://www.meteofrance.fr>
- **Centre technique et scientifique du bâtiment CSTB**
<http://www.cstb.fr>

GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre, leurs compléments et mises à jour**, et bénéficiez des **services inclus**.



RÉDIGÉE ET VALIDÉE
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE
SUR TOUS SUPPORTS
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 350 000 utilisateurs
- + de 10 000 articles de référence
- + de 80 offres
- 15 domaines d'expertise

- Automatique - Robotique
- Biomédical - Pharma
- Construction et travaux publics
- Électronique - Photonique
- Énergies
- Environnement - Sécurité
- Génie industriel
- Ingénierie des transports
- Innovation
- Matériaux
- Mécanique
- Mesures - Analyses
- Procédés chimie - Bio - Agro
- Sciences fondamentales
- Technologies de l'information

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

ACCÈS



Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant toute la durée de la souscription



Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés pour ordinateurs, tablettes et mobiles

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



Questions aux experts*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



Impression à la demande

Commandez les éditions papier de vos ressources documentaires



Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

ILS NOUS FONT CONFIANCE



www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com