

Chapitre 3 : **Evaluation des actions de la neige et du vent sur les bâtiments industriel (Règlement neige et vent version 2013 D.T.R C 2-4.7)**

Partie II : Effet du vent

1.1. Objet

Le présent document technique réglementaire (DTR) fournit les procédures et principes généraux pour la détermination des actions du vent sur l'ensemble des bâtiments et constructions y compris leurs composants et éléments de façade.

1.2. Domaine d'application

1.2.1. Le présent DTR s'applique aux constructions suivantes dont la hauteur est inférieure à 200 m :

- l'ensemble des bâtiments (à usage d'habitation, administratif, scolaire, industriel, de santé, lieux de culte, et d'autres usages.) ;
- les cheminées et ouvrages assimilables ;
- les ouvrages de stockage (réservoirs, châteaux d'eau, silos, et autres.) ;
- les structures verticales et horizontales en treillis (pylônes, grues, échafaudages, passerelles et autres) ;
- les panneaux de signalisation, murs de clôtures et drapeaux.

1.3. Termes associés à la vitesse du vent

Vitesse de pointe : La vitesse de pointe est la valeur quasi-instantanée de la vitesse du vent.

Vitesse moyenne : La vitesse moyenne V_m du vent est la vitesse moyenne dans un intervalle de temps de 10 minutes.

Vitesse moyenne caractéristique : La vitesse moyenne caractéristique (ou vitesse caractéristique) est la valeur caractéristique de la vitesse moyenne du vent.

Vitesse moyenne de référence : La vitesse moyenne de référence V_{ref} (ou vitesse de référence) est la valeur caractéristique de la vitesse moyenne du vent mesurée dans les conditions conventionnelles (cf. ann2.63.1exe 1).

Pression du vent : À chaque vitesse V correspond une pression du vent W : la pression du vent peut être positive (surpression) ou négative (dépression, succion) représentant l'action du vent sur une paroi d'une construction.

vitesse critique : La vitesse critique du vent V_{crit} est la vitesse moyenne du vent à partir de laquelle un effet dynamique supplémentaire peut se produire.

1.4. Principes généraux

1.4.1. Modélisation de l'action du vent

Les actions exercées par le vent sont considérées comme des actions fixes variables.

L'action du vent est représentée par un ensemble simplifié de pressions, ou de forces.

L'action du vent est supposée perpendiculaire aux surfaces extérieures et intérieures des constructions. Pour les surfaces allongées, l'action du vent peut aussi être tangentielle (forces de frottement).

1.4.2. Autres valeurs représentatives

Outre la valeur caractéristique notée Q qui est la principale valeur représentative, les autres valeurs représentatives rentrant dans les différentes combinaisons d'actions sont définies comme suit :

- La valeur de combinaison égale à $\psi_0.Q_k$ avec $\psi_0 = 0.6$;
- La valeur fréquente égale à $\psi_1.Q_k$ avec $\psi_1 = 0.5$;
- La valeur quasi-permanente égale à $\psi_2.Q_k$ avec $\psi_2 = 0$.

2- Bases de calcul

2.1. Direction du vent

Le calcul doit être effectué séparément pour chacune des directions perpendiculaires aux différentes parois de la construction. Par exemple :

- pour une construction rectangulaire, on considérera les deux directions du vent ;
- pour une construction circulaire, on considérera une direction du vent ;
- pour un polygone, on considérera autant de directions du vent que de côtés. Néanmoins, un polygone régulier de plus de dix côtés pourra être considéré comme une construction circulaire dont le diamètre est celui du cercle circonscrit ;
- pour les constructions ajourées ou en treillis, d'autres directions sont à considérer.

2.3. Pression dynamique de pointe

2.3.1. Formule de calcul

La pression dynamique de pointe $q_p(z_e)$, à la hauteur de référence z_e est donnée par :

$$q_p(z_e) = q_{réf} \times C_e(z_e) \quad [N/m^2] \quad (2.1)$$

Où :

$q_{réf}$ (en N/m^2) est la pression dynamique de référence donnée par le tableau 2.2 en fonction de la zone de vent (Cf. annexe 1) ;

C_e est le coefficient d'exposition au vent (Cf. §2.4) ;

z_e (en m) est la hauteur de référence donnée en 2.3.2 :

Zone	$q_{réf}$ (N/m^2)
I	375
II	435
III	500
IV	575

Tableau 2.2 : Valeurs de la pression dynamique de référence

Notes pour le tableau 2.2

q_{ref} (en N/m^2) est calculée par : $q_{ref} = 0,5 \times \rho \times V_{ref}^2$, où V_{ref} (en m/s) est la vitesse de référence du vent (voir annexe 1), et ρ (en kg/m^3) est la masse volumique de l'air. Dans le cadre de ce DTR, ρ a été pris égal à $1,20 kg/m^3$.

Pour les constructions temporaires (durée d'utilisation inférieure à 5 ans); la pression de référence du tableau 2.2 est réduite de 28% (ce qui correspond à une réduction de 15 % sur la vitesse de référence)

2.3.2. Hauteur de référence z_e

- Pour les murs au vent des bâtiments à parois verticales, z_e est déterminé comme indiqué par la figure 2.1 ;
- Pour les murs sous le vent et parallèles au vent, z_e est pris égal à la hauteur du bâtiment au-dessus du niveau du sol ;
- Pour les toitures, z_e est pris égal à la hauteur maximale des bâtiments ;
- Pour tous les autres ouvrages la hauteur de référence est égale à la hauteur maximale de l'élément considéré.

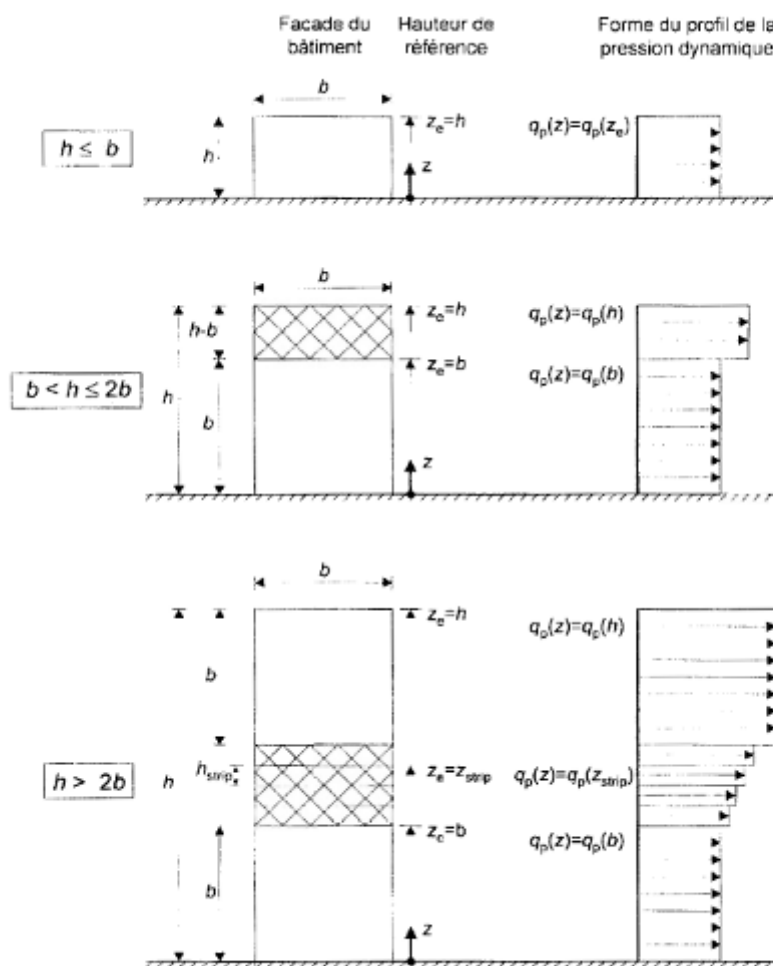


Figure 2.1 : Hauteur de référence z_e et profil correspondant de la pression dynamique

2.4. Coefficient d'exposition

2.4.1. Définitions

Le coefficient d'exposition au vent $C_e(z)$ tient compte des effets de la rugosité du terrain, de la topographie du site et de la hauteur au-dessus du sol. En outre, il tient compte de la nature turbulente du vent.

2.4.2. Formule de calcul

$C_e(z)$ est donné par :

$$C_e(z) = C_t^2(z) \times C_r^2(z) \times [1 + 7I_v(z)] \quad (2.2)$$

où :

- C_r est le coefficient de rugosité (Cf. § 2.4.4),
- C_t est le coefficient de topographie (Cf. § 2.4.5),
- $I_v(z)$ est l'intensité de la turbulence (Cf. §.2.4.6),
- z (en m) est la hauteur considérée.

Dans le cas où $C_t(z) = 1$ le coefficient d'exposition $C_e(z)$ est donné par le tableau 2.3.

Hauteur z (m)	Catégories de terrain				
	0	I	II	III	IV
≤ 1	1,811	1,545	1,423	1,276	1,173
2	2,137	1,883	1,423	1,276	1,173
5	2,603	2,373	1,929	1,276	1,173
10	2,983	2,776	2,352	1,703	1,173
15	3,216	3,025	2,616	1,973	1,440
20	3,387	3,207	2,810	2,174	1,640
25	3,521	3,352	2,965	2,335	1,801
30	3,633	3,472	3,094	2,470	1,937
35	3,729	3,575	3,205	2,587	2,055
40	3,813	3,666	3,302	2,690	2,159
50	3,956	3,820	3,468	2,865	2,337
60	4,074	3,947	3,606	3,012	2,487
70	4,175	4,056	3,725	3,139	2,617
80	4,264	4,152	3,829	3,250	2,731
100	4,414	4,315	4,006	3,440	2,926
125	4,566	4,480	4,187	3,634	3,127
150	4,692	4,617	4,337	3,796	3,295
175	4,800	4,735	4,466	3,936	3,440
200	4,895	4,838	4,579	4,058	3,568

Tableau 2.3 : Valeurs du coefficient d'exposition $C_e(z)$ pour $C_t(z) = 1$

2.4.3. Catégories de terrain

Les catégories de terrain sont données dans le tableau 2.4 ainsi que les valeurs des paramètres suivants :

- K_T , facteur de terrain ;
- z_0 (en m), paramètre de rugosité ;
- z_{min} (en m), hauteur minimale ;
- ϵ , coefficient utilisé pour le calcul du coefficient C_d (cf. chapitre 3).

Lorsqu'il subsiste un doute quant au choix entre deux catégories de terrain, il y a lieu de retenir celui pour lequel les valeurs des paramètres associés sont les plus défavorables (catégorie de terrain la plus faible dans l'échelle de 0 à IV).

Catégories de terrain	K_T	z_0 (m)	z_{min} (m)	ϵ
0 Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer	0,156	0,003	1	0,38
I Lacs ou zone plate et horizontale à végétation négligeable et libre de tous obstacles.	0,170	0,01	1	0,44
II Zone à végétation basse telle que l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur.	0,190	0,05	2	0,52
III Zone à couverture végétale régulière ou des bâtiments, ou avec des obstacles isolés séparés d'au plus 20 fois leur hauteur (par exemple des villages, des zones suburbaines, des forêts permanentes).	0,215	0,3	5	0,61
IV Zones dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m.	0,234	1	10	0,67

Tableau 2.4 : Définition des catégories de terrain

2.4.4. Coefficient de rugosité

Le coefficient de rugosité $C_r(z)$ traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent. Il est défini par la loi logarithmique (logarithme népérien) :

$$\begin{cases} C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{pour } z_{min} \leq z \leq 200\text{m} \\ C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) & \text{pour } z < z_{min} \end{cases} \quad (2.3)$$

Où :

- K_T est le facteur de terrain (tableau 2.4) ;
- z_0 (en m) est le paramètre de rugosité (tableau 2.4) ;
- z_{min} (en m) est la hauteur minimale (tableau 2.4) ;
- z (en m) est la hauteur considérée.

Les valeurs du coefficient de rugosité sont données par le tableau 2.5 en fonction de la catégorie du terrain et de la hauteur

Hauteur z (m)	Catégories de terrains				
	0	I	II	III	IV
≤ 1	0,906	0,783	0,701	0,605	0,539
2	1,014	0,901	0,701	0,605	0,539
3	1,078	0,970	0,778	0,605	0,539
5	1,157	1,056	0,875	0,605	0,539
10	1,265	1,174	1,007	0,754	0,539
15	1,329	1,243	1,084	0,841	0,634
20	1,374	1,292	1,138	0,903	0,701
25	1,408	1,330	1,181	0,951	0,753
30	1,437	1,361	1,215	0,990	0,796
35	1,461	1,387	1,245	1,023	0,832
40	1,482	1,410	1,270	1,052	0,863
50	1,517	1,448	1,312	1,100	0,915
60	1,545	1,479	1,347	1,139	0,958
70	1,569	1,505	1,376	1,172	0,994
80	1,590	1,528	1,402	1,201	1,025
100	1,625	1,566	1,444	1,249	1,078
125	1,659	1,604	1,487	1,297	1,130
150	1,688	1,635	1,521	1,336	1,172
175	1,712	1,661	1,550	1,369	1,209
200	1,733	1,684	1,576	1,398	1,240

Tableau 2.5 : Valeurs du coefficient de rugosité $C_r(z)$

2.4.5. Coefficient de topographie

Le coefficient de topographie $C_t(z)$ prend en compte l'accroissement de la vitesse du vent lorsque celui-ci souffle sur des obstacles tels que les collines, les dénivellations isolées, etc.

2.4.5.1. Il convient de prendre en compte l'effet de topographie dans les limites des zones hachurées des figures 2.2 et 2.3.

2.4.5.2. $C_t(z)$ est déterminé comme suit :

$$\begin{cases} C_t(z) = 1 & \text{pour } \phi < 0,05 \\ C_t(z) = 1 + s_{\max} \times \left(1 - \frac{|x|}{k_{red} \times L} \right) \times e^{-\alpha(z/L)} & \text{pour } \phi \geq 0,05 \end{cases} \quad (2.4)$$

Où :

- ϕ est la pente du versant au vent $\phi = \frac{H}{L_u}$;
- H (en m) est la hauteur du versant ;
- L (en m) est une longueur caractérisant le versant au vent et prenant la valeur :
 $L = \max(0.5L_u ; 2H)$;
- x (en m) est la distance horizontale entre le lieu considéré et la crête de l'obstacle;
- z (en m) est la distance verticale mesurée à partir du niveau du sol au lieu considéré

(site d'implantation);

- S_{max} , α et k_{red} sont des coefficients donnés dans le tableau 2.6 en fonction de la forme de l'obstacle et du rapport H/L.
- L_u et L_d respectivement la longueur du versant au vent et sous le vent.

Forme de l'obstacle	S_{max}	α	k_{red}	
			$x < 0$	$x > 0$
Collines	$2,2 \times H/L$	3	1,5	1,5
Falaises et escarpements	$1,3 \times H/L$	2,5	1,5	4

Tableau 2.6 : Paramètres relatifs à la détermination de $C_i(z)$

Lorsque la fonction $\left(1 - \frac{|x|}{k_{red} \times L}\right)$ prend une valeur négative il y a lieu de considérer la valeur nulle.

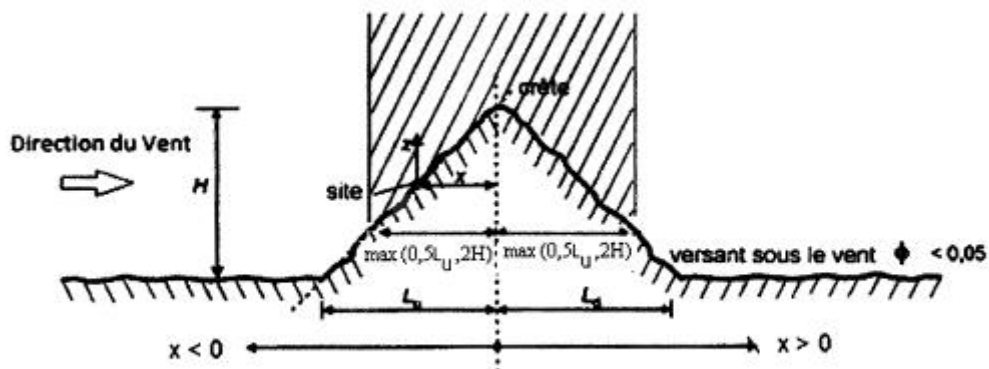


Figure 2.2 : Paramètres pour la détermination de $C_i(z)$ aux alentours des collines

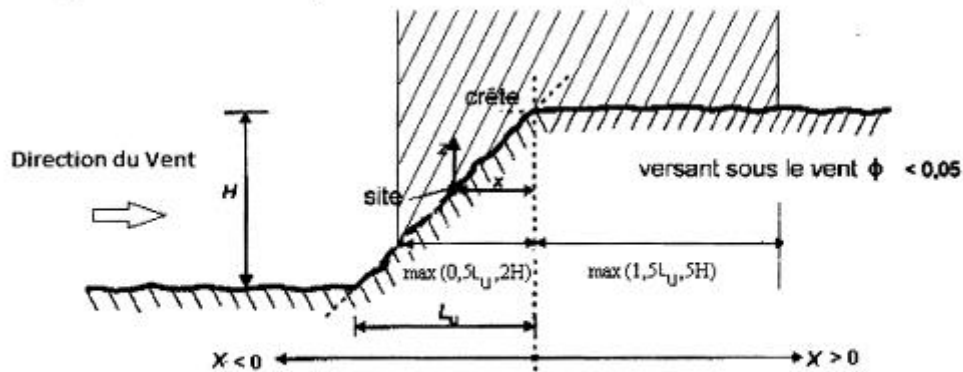


Figure 2.3: Paramètres pour la détermination de $C_i(z)$ aux alentours des falaises et escarpements

Les valeurs des fonctions S_{max} , $\left(1 - \frac{|x|}{k_{red} \times L}\right)$ et $e^{-\alpha \cdot z/L}$ sont données dans le tableau 2.7 respectivement en fonction de H/L, x/L et z/L.

S_{max}			$\left(1 - \frac{ x }{k_{red} \times L}\right)$				$e^{-a.z/L}$		
H/L	Collines	Falaises et Escarpements	x/L	Collines	Falaises et Escarpements		z/L	Collines	Falaises et Escarpements
					$x < 0$	$x > 0$			
0,05	0,11	0,065	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,000	1,000
0,1	0,22	0,13	0,25	0,83	0,83	0,94	0,1	0,741	0,779
0,15	0,33	0,195	0,5	0,67	0,67	0,88	0,2	0,549	0,607
0,2	0,44	0,26	0,75	0,50	0,50	0,81	0,3	0,407	0,472
0,25	0,55	0,325	1,0	0,33	0,33	0,75	0,4	0,301	0,368
0,3	0,66	0,39	1,25	0,17	0,17	0,69	0,5	0,223	0,287
0,35	0,77	0,455	1,5	0,00	0,00	0,63	0,6	0,165	0,223
0,45	0,99	0,585	1,75	0,00	0,00	0,56	0,7	0,122	0,174
0,50	1,10	0,65	2,0	0,00	0,00	0,50	0,8	0,091	0,135
			2,25	0,00	0,00	0,44	0,9	0,067	0,105
			2,5	0,00	0,00	0,38	1,0	0,050	0,082
			2,75	0,00	0,00	0,31	1,25	0,024	0,044
			3,0	0,00	0,00	0,25	1,5	0,011	0,024
			3,25	0,00	0,00	0,19	1,75	0,005	0,013
			3,5	0,00	0,00	0,13	2,0	0,002	0,007
			3,75	0,00	0,00	0,06	2,5	0,001	0,002
			4,0	0,00	0,00	0,00	3,0	0,000	0,001

Tableau 2.7 : Valeurs des fonctions définissant $C_t(z)$

2.4.6. Intensité de turbulence

L'intensité de la turbulence est définie comme étant l'écart type de la turbulence divisé par la vitesse moyenne du vent et est donnée par l'équation 2.5 a et b.

$$\begin{cases} I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} & \text{pour } z > z_{\min} & \text{(a)} \\ I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right)} & \text{pour } z \leq z_{\min} & \text{(b)} \end{cases} \quad (2.5)$$

Où :

- $C_t(z)$ est le coefficient de topographie (Cf. § 2.4.5),
- z_0 (en m) est le paramètre de rugosité (Cf. tableau 2.4) ;
- z_{\min} est la hauteur minimale (Cf. tableau 2.4).

2.5. Calcul de la pression due au vent

2.5.1. Hypothèses et conventions

Les pressions W_e , pression sur la face extérieure d'une paroi, et W_i , pression sur la face intérieure d'une paroi, sont comptées positivement s'il s'agit de surpression, et négativement s'il s'agit de dépression. On représente les pressions par des vecteurs perpendiculaires aux parois. Si le vecteur est orienté vers la paroi, il s'agit d'une surpression, sinon il s'agit d'une dépression (voir figure 2.4).

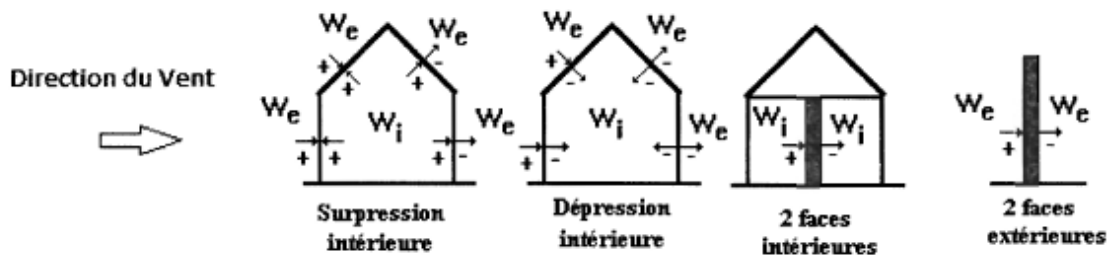


Figure 2.4 : Conventions pour la représentation des pressions sur les parois

2.5.2. Détermination de la pression aérodynamique

la pression aérodynamique $W(z_j)$ agissant sur une paroi est obtenue à l'aide des formules suivantes :

- si une face de la paroi est intérieure à la construction, l'autre extérieure :

$$W(z_j) = q_p(z_e) \times [C_{pe} - C_{pi}] \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.6)$$

- si les deux faces de la paroi sont extérieures (cas d'éléments isolés tels que toitures

isolées, balcons, etc.) :

$$W(z_j) = q_p(z_e) \times C_{p,net} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.7)$$

- si les deux faces de la paroi sont intérieures :

$$W(z_j) = q_p(z_e) \times [C_{pi,1} - C_{pi,2}] \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.8)$$

Où :

- $q_p(z_e)$ (en N/m^2) est la pression dynamique de pointe calculée à la hauteur z_e relative à l'élément de surface j (Cf. § 2.3) ;
- $C_{p,net}$ (noté aussi C_p coefficient de pression) est le coefficient de pression nette donné au chapitre 5 pour certains éléments de construction (toitures isolées, balcons, etc.) ;
- C_{pe} est le coefficient de pression extérieure défini au chapitre 5.
- C_{pi} est le coefficient de pression intérieure défini au chapitre 5.

2.6. Actions d'ensemble

2.6.1. Calcul des forces à l'aide des coefficients de forces

La force exercée par le vent F_w agissant sur une construction ou un élément de construction peut être déterminée directement en utilisant l'expression (2.9) ou (2.10)

$$F_w = C_d \times C_f \times q_p(z_j) \times A_{ref} \quad [N] \quad (2.9)$$

Ou par sommation vectorielle sur les éléments de construction individuels à l'aide de l'expression.

$$F_w = C_d \times \sum C_f \times q_p(z_j) \times A_{ref} \quad [N] \quad (2.10)$$

Où :

- C_d est le coefficient dynamique défini au chapitre 3 ;
- C_f est le coefficient de force défini au chapitre 4.

2.6.2. Calcul des forces à l'aide des pressions de surfaces

La force exercée par le vent F_w agissant sur une construction ou un élément de construction peut être déterminée par sommation vectorielle des forces $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ et F_{fr} respectivement données par :

- Forces extérieures : $F_{w,e} = C_d \times \sum W_e \times A_{ref}$
- Forces intérieures : $F_{w,i} = \sum W_i \times A_{ref}$
- Forces de frottement : $F_{fr} = C_{fr} \times q_p(z_e) \times A_{fr}$

Où :

- W_e est la pression extérieure exercée sur la surface élémentaire à la hauteur z_e , donnée par l'expression;

$$W_e = q_p(z_e) \times C_{pe}$$

- W_i est la pression intérieure exercée sur la surface élémentaire à la hauteur z_i , donnée par l'expression :

$$W_i = q_p(z_i) \times C_{pi}$$

- A_{ref} est l'aire de référence de la surface élémentaire ;
- C_{fr} est le coefficient de frottement (Cf. tableau 2.8);
- A_{fr} est l'aire de la surface extérieure parallèle au vent, (Cf. tableau 2.9);
- z_e ; z_i respectivement les hauteurs de référence des pressions extérieures. et intérieures.

2.6.3. Effets du frottement

Les effets de frottement du vent sur la surface peuvent être négligés lorsque l'aire totale de toutes les surfaces parallèles au vent (ou faiblement inclinées par rapport à la direction du vent) est inférieure ou égale à 4 fois l'aire totale de toutes les surfaces extérieures perpendiculaires au vent (au vent et sous le vent).

État de surface	Coefficient de frottement C_{fr}
Lisse (acier, béton lisse, ondulations parallèles au vent, paroi enduite, etc.)	0,01
Rugueux (béton rugueux, paroi non enduite, etc.)	0,02
Très rugueux (ondulations perpendiculaires au vent, nervures, plissements, etc.)	0,04

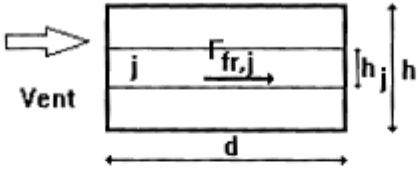
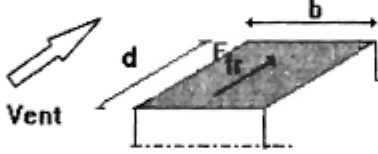
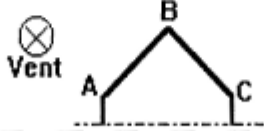

Tableau 2.8 : Valeurs des coefficients de frottement

Pour déterminer la force de frottement, la subdivision des parois parallèles au vent (dont la somme des aires est appelée aussi aire de frottement) doit tenir compte des états de surfaces différents.

Il convient d'appliquer les forces de frottement sur la partie des surfaces extérieures parallèles au vent situées à une distance des bords au vent ou des angles au vent égale à la plus petite valeur de $2b$ ou $4d$.

2.6.4. Aire de frottement

L'aire de frottement A_{fr} doit être déterminée comme indiqué dans le tableau 2.9.

Type de paroi	Schéma	A_{fr} ou $A_{fr,j}$ (en m ²)
Paroi verticale		$A_{fr,j} = d \times h_j$ $A_{fr} = d \times h$
Toiture plate ou couverture		$A_{fr} = d \times b$
Toiture à deux versants Vent parallèle aux génératrices		$A_{fr} = (\text{longueur ABC du développé}) \times d$
Toiture à versants multiples - Toiture en sheds Vent parallèle aux génératrices		$A_{fr} = (\text{somme des longueurs des développés de la toiture}) \times d$

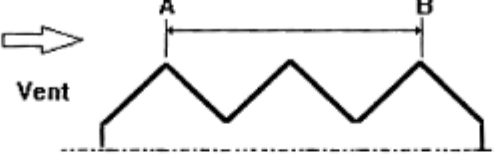

<p>Toiture à versants multiples - Toiture en sheds</p> <p>Vent perpendiculaire aux génératrices</p>		<p>$A_{fr} = (\text{longueur AB}) \times d$</p> <p>AB est la longueur projetée en plan de la toiture sans considérer le premier et le dernier versant</p>
<p>Toiture en forme de voûte</p> <p>Vent parallèle aux génératrices</p>		<p>$A_{fr} = (\text{longueur de l'arc AB}) \times d$</p>

Tableau 2.9 : Aire de frottement A_{fr}

Notes pour le tableau 2.9

- d (en m) désigne la dimension de la construction parallèle au vent ;
- b (en m) désigne la dimension de la construction perpendiculaire au vent.

3- Détermination du coefficient dynamique

3.1. Définition et principes de détermination de C_d

Le coefficient dynamique C_d tient compte des effets de réduction dus à l'imparfaite corrélation des pressions exercées sur les parois ainsi que des effets d'amplification dus à la partie de turbulence ayant une fréquence proche de la fréquence fondamentale d'oscillation de la structure.

D'une manière générale, le coefficient C_d peut être déterminé selon la procédure du paragraphe 3.3. Cependant, la valeur simplifiée du §3.2 peut être admise sous réserve de satisfaire les conditions qui y sont énoncées.

3.2 Valeur simplifiée

Une valeur conservative de $C_d=1$ peut être considérée dans les cas suivants:

- Bâtiments, dont la hauteur est inférieure à 15m ;
- Eléments de façade et de toiture dont la fréquence propre est inférieure à 5 Hz ;
- Bâtiment à ossature comportant des murs, dont la hauteur est à la fois inférieure à 100m et à 4 fois la dimension du bâtiment mesurée dans la direction perpendiculaire à la direction du vent;
- Cheminée à section transversale circulaire dont la hauteur est inférieure à 60m et à 6.5 fois le diamètre

3.3. Formule générale

Dans les cas où le type de construction correspond à l'une des dispositions de la fig. 3.1, le coefficient C_d peut être déterminé en utilisant la procédure détaillée suivante basée sur l'expression :

$$C_d = \frac{1+2 \times g \times I_v(z_{eq}) \times \sqrt{Q^2 + R^2}}{1+7 \times I_v(z_{eq})} \quad (3.1)$$

Où :

- z_{eq} (en m) est la hauteur équivalente de la construction (Cf. fig. 3.1),
- $I_v(z_{eq})$ est l'intensité de la turbulence pour $z = z_{eq}$, (Cf. § 2.4.6.)
- Q^2 est la partie quasi-statique donnée en 3.3.1 ;
- R^2 est la partie résonante donnée en 3.3.2 ;
- g est le facteur de pointe donné en 3.3.3.

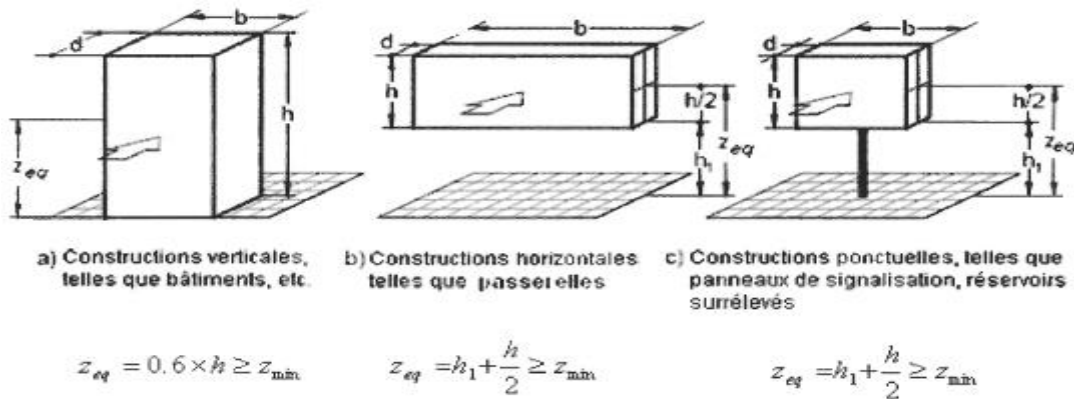


Figure 3.1 : Cas de disposition des constructions

3.3.1. Partie quasi-statique

La partie quasi-statique (Q^2) est donnée par l'équation 3.2 et représentée graphiquement par la figure 3.2.

$$Q^2 = \frac{1}{1+0.9 \times \left(\frac{(b+h)}{L_i(z_{eq})} \right)^{0.63}} \quad (3.2)$$

Avec:

- b et h (en m) sont la largeur et la hauteur de la construction telles que représentées sur la figure 3.1,
- $L_i(z_{eq})$ est l'échelle de turbulence pour $z = z_{eq}$ donnée par :

$$L_i(z) = 300 \times \left(\frac{z}{200} \right)^\varepsilon \quad \text{pour } z_{min} \leq z \leq 200 \text{ m} \quad (3.3.a)$$

$$L_i(z) = L_i(z_{min}) \quad \text{pour } z \leq z_{min} \quad (3.3.b)$$

- où ε et z_{min} sont définis au chapitre 2 dans le tableau 2.4.

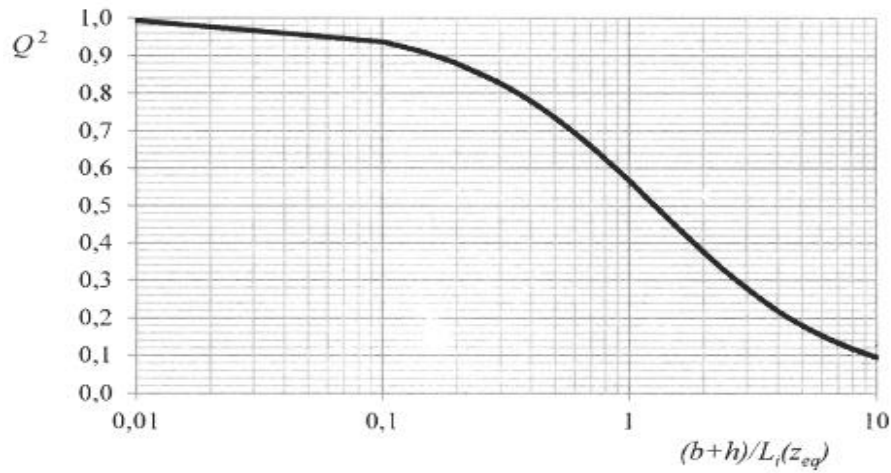


Figure 3.2 : Valeurs de la partie quasi statique (Q^2)

3.3.2. Partie résonnante

La partie résonnante (R^2) est définie comme suit :

$$R^2 = \frac{\Pi^2}{2 \times \delta} \times R_N \times R_h \times R_b \quad (3.4)$$

Où :

- R_N est la fonction adimensionnelle de la densité spectrale de puissance donnée par la figure 3.3 ou l'équation 3.5.

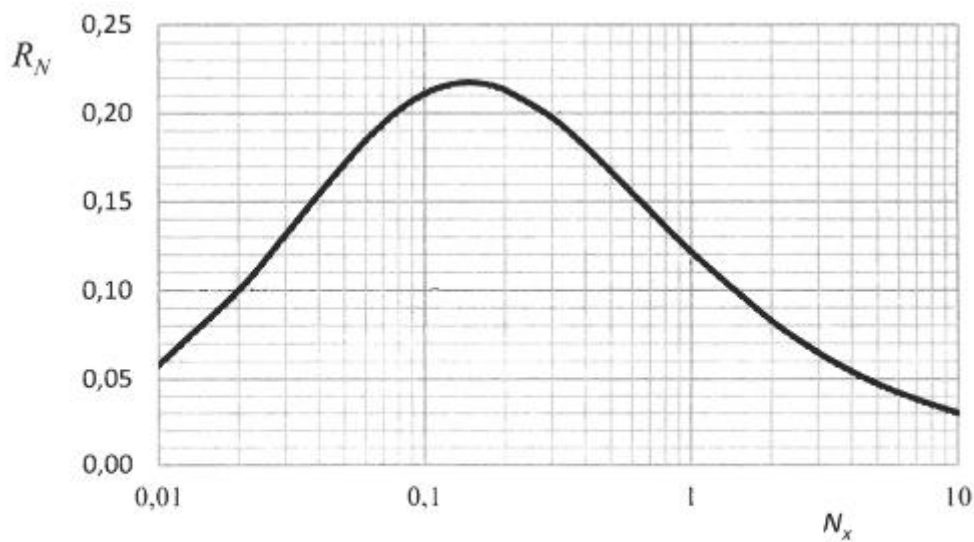


Figure 3.3 : Fonction adimensionnelle de la densité spectrale de puissance (R_N)

$$R_N = \frac{6,8 \times N_x}{(1 + 10,2 \times N_x)^{5/3}} \quad (3.5)$$

Où N_x est la fréquence adimensionnelle dans la direction x du vent donnée par :

$$N_x = \frac{n_{1,x} \times L_i(z_{eq})}{V_m(z_{eq})} \quad (3.6)$$

- R_h et R_b sont des fonctions d'admittance aérodynamique données par :

$$R_h = \left(\frac{1}{\eta_h} \right) - \left(\frac{1}{2 \times \eta_h^2} \right) \times (1 - e^{-2 \times \eta_h}) \text{ pour } \eta_h > 0 \quad R_h = 1 \text{ pour } \eta_h = 0 \quad (3.7.a)$$

$$R_b = \left(\frac{1}{\eta_b} \right) - \left(\frac{1}{2 \times \eta_b^2} \right) \times (1 - e^{-2 \times \eta_b}) \text{ pour } \eta_b > 0 \quad R_b = 1 \text{ pour } \eta_b = 0 \quad (3.7.b)$$

Avec :

$$\eta_h = \frac{4,6 \times N_x \times h}{L_i(z_{eq})} \quad (3.8.a)$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \times N_x \times b}{L_i(z_{eq})} \quad (3.8.b)$$

- $n_{1,x}$ est la fréquence fondamentale donnée en §3.3.4
- $L_i(z_{eq})$ est l'échelle intégrale de turbulence donnée par l'expression 3.3
- $V_m(z_{eq})$: est la vitesse moyenne en annexe 2 pour $z = z_{eq}$

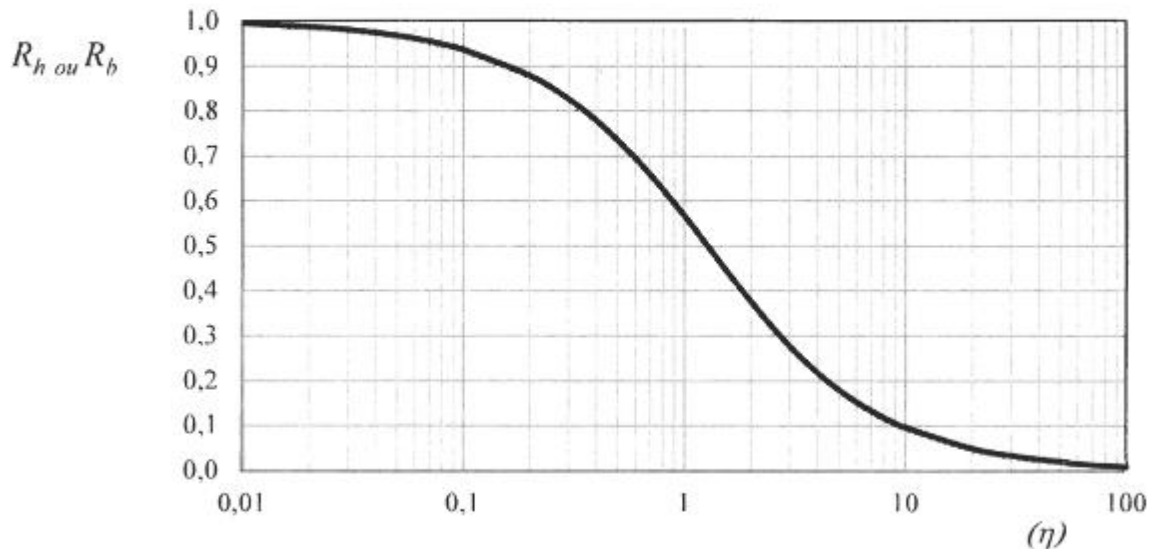


Figure 3.4 : Fonction d'admittance aérodynamique en fonction de η_h ou η_b

- δ est le décrement logarithmique d'amortissement des vibrations pour le mode fondamental dans la direction du vent donné par :

$$\delta = \delta_s + \delta_a \quad (3.9)$$

Où :

- δ_s est le décrétement logarithmique d'amortissement structural (tableau 3.1),

Type de construction	δ_s
Bâtiments en béton armé	0,10
Bâtiments en acier	0,05
Structures mixtes béton + acier	0,08
Tours en béton armé	0,03
Cheminées en béton armé	0,03
Cheminées en acier soudé non revêtues sans isolation thermique	0,012
Cheminées en acier soudé non revêtus avec isolation thermique externe	0,020
Cheminées avec deux revêtements ou plus	0,020
Cheminées en acier avec revêtement en briques	0,070

Tableau 3.1 : décrétement logarithmique d'amortissement structural

- δ_a est le décrétement logarithmique d'amortissement aérodynamique pris égal à 0, excepté le cas des structures en treillis pour lesquelles δ_a est donné par

$$\delta_a = \frac{\rho \times b \times C_f}{2 \times n_{1,x} \times m_{1,x}} \times V_m(z_{eq}) \quad (3.10)$$

Où :

- ρ (en kg/m^3) est la masse volumique de l'air ($\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$),
- b (en m) est la dimension de la construction perpendiculaire au vent.
- C_f est le coefficient de force (Cf. chapitre 4),
- $n_{1,x}$ (en Hz) est la fréquence propre du mode fondamental dans la direction x du vent (Cf. § 3.3.4),
- $m_{1,x}$ (en kg/m) est la masse équivalente pour le mode fondamental et dans la direction x du vent (Cf. annexe 3, § 6.3.2),
- $V_m(z_{eq})$ (en m/s) est la vitesse moyenne du vent (Cf. annexe 2) pour $z = z_{eq}$ (Cf. fig. 3.1).

3.3.3. Facteur de pointe

Le facteur de pointe (g) est donné par l'équation 3.11 et illustrée par la figure 3.5:

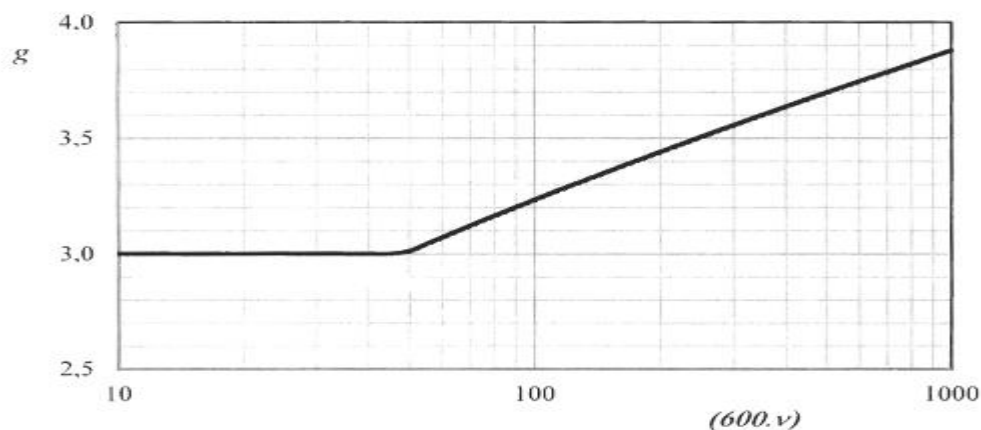


Figure 3.5 : Facteur de pointe

$$g = \sqrt{2 \times \ln(600 \times v)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \ln(600 \times v)}} \geq 3 \quad (3.11)$$

Où :

v (en Hz) est la fréquence moyenne donnée par :

$$v = n_{1,x} \times \sqrt{\frac{R^2}{Q^2 + R^2}} \geq 0.08 \quad [\text{Hz}] \quad (3.12)$$

3.3.4. Fréquence fondamentale

La fréquence fondamentale de flexion $n_{1,x}$ dans la direction x du vent peut être évaluée au moyen de toute méthode d'analyse structurale pourvu qu'elle soit convenablement justifiée. Certaines de ces méthodes sont données ci-après.

3.3.4.1. Structures en console comportant des masses concentrées

Une expression permettant le calcul de la fréquence fondamentale est donnée par :

$$n_{1,x} = \frac{0.5}{\sqrt{f}} \quad [\text{Hz}] \quad (3.13)$$

Avec f [en m] est la flèche de la structure dû au poids propre appliqué dans la direction de vibration.

3.3.4.2. Bâtiments de grande hauteur

La fréquence fondamentale des bâtiments de grande hauteur ($h > 50\text{m}$) peut être déterminée par l'expression

$$n_{1,x} = \frac{46}{h} \quad [\text{Hz}] \quad (3.14)$$

Où h [en m] est la hauteur du bâtiment.

La même expression peut donner des indications sur la fréquence de tous les bâtiments.

4- Coefficient de force

4.1. Formule générale

Le coefficient de force C_f des constructions soumises à un vent perpendiculaire à l'une de leurs faces est donné par :

$$C_f = C_{f,0} \times \psi_\lambda \quad (4.1)$$

- $C_{f,0}$ est le coefficient de force des constructions en considérant un élancement effectif infini; les valeurs de $C_{f,0}$ sont données dans les paragraphes suivants pour différents types de construction ;
- ψ_λ est le facteur d'élancement défini en 4.1.1.

4.1.1. Facteur d'élancement

Le facteur d'élancement ψ_λ est donné par la figure 4.1 en fonction de l'élancement effectif λ_e (Cf. § 4.1.2) et pour différents coefficients de remplissage φ .

On prendra :

- $\varphi = 1$ pour les constructions fermées ;
- $\varphi = A/A_c$ pour les constructions en treillis où A (en m^2) est la somme des aires individuelles des éléments de la structure, c'est à dire la surface totale des pleins, et A_c (en m^2) est l'aire de la surface circonscrite à la construction dans un plan perpendiculaire à la direction du vent.

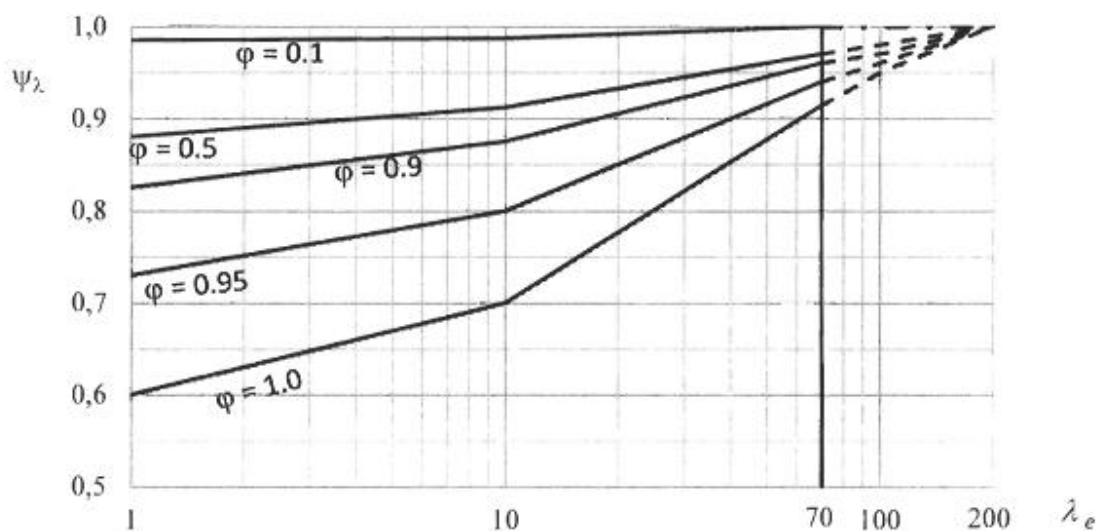


Figure 4.1 : Facteur d'élancement ψ_λ

Notes pour la figure 4.1

- Pour les valeurs intermédiaires de ψ_λ l'interpolation linéaire est admise.

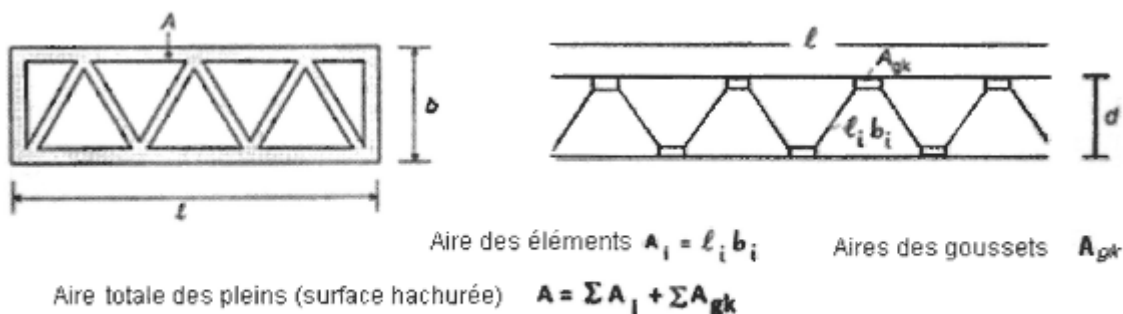


Figure 4.2 : paramètres pour le calcul de φ .

4.1.2. Élançement effectif λ_e

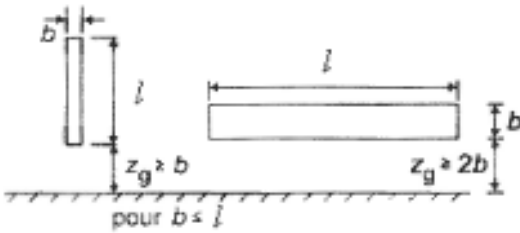
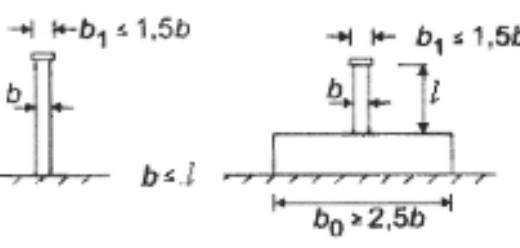
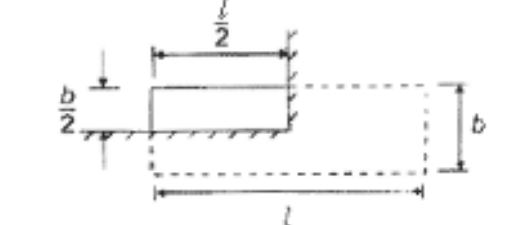
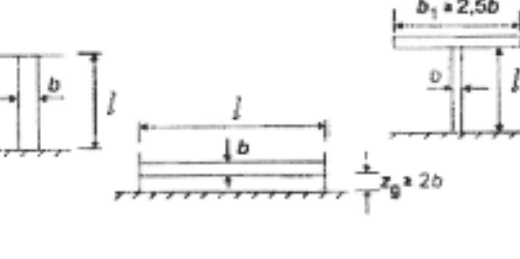
Position dans l'espace de la construction, vent normal au plan de l'élément	λ_e
	<ul style="list-style-type: none"> Pour les sections polygonales, rectangulaires et arêtes vives et pour les structures en treillis : <p>Pour $l \geq 50$ m,</p> $\lambda_e = \text{Min} (1.4 \frac{l}{b}; 70)$ <p>Pour $l < 15$ m,</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Pour les cylindres à base circulaires <p>Pour $l \geq 50$ m,</p> $\lambda_e = \text{Min} (0.7 \frac{l}{b}; 70)$ <p>Pour $l < 15$ m,</p>
	<p>$\lambda_e = \text{Min} (\frac{l}{b}; 70)$</p> <p><i>Nota : pour les valeurs intermédiaires de (l) il convient d'utiliser les valeurs intermédiaires.</i></p>
	<p>Pour $l \geq 50$ m,</p> $\lambda_e = \text{Max} (0.7 \frac{l}{b}; 70)$ <p>Pour $l < 15$ m,</p> $\lambda_e = \text{Max} (\frac{l}{b}; 70)$ <p><i>Nota : pour les valeurs intermédiaires de (l) il convient d'utiliser les valeurs intermédiaires.</i></p>

Tableau 4.1 : Élançement effectif λ_e

4.1.2.2. Afin de déterminer l'élançement effectif λ_e (voir tableau 4.1) on prendra pour b :

- le diamètre du cylindre pour les constructions à base circulaire;
- le diamètre de la circonférence circonscrite pour les constructions à base polygonale (voir figure 4.4).

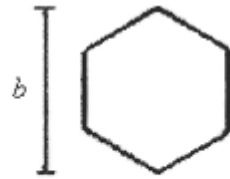


Figure 4.3 : Section polygonale régulière

4.2. Construction et éléments structuraux à section rectangulaire

4.2.1. Le coefficient C_{f0} des constructions à base rectangulaire à angles vifs est donné par la figure 4.4.

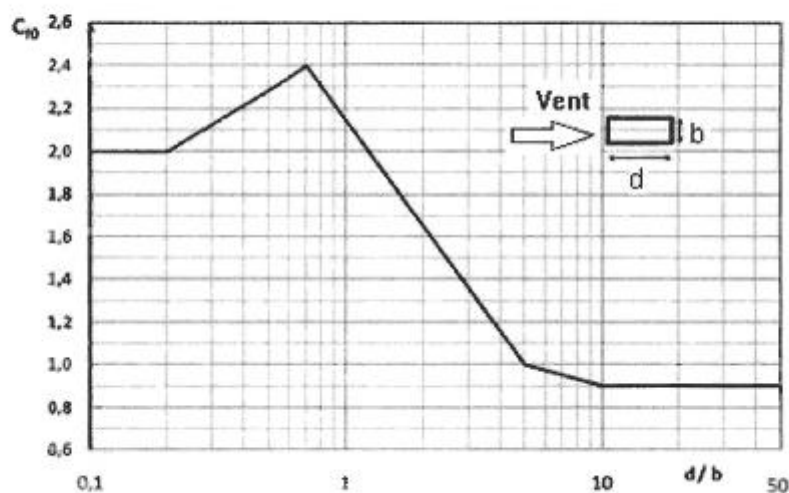


Figure 4.4 : Coefficient C_{f0} des constructions à base rectangulaire à angles vifs

4.2.2. Un facteur de correction ψ_r du coefficient de force est appliqué dans le cas des constructions à base rectangulaire à angles arrondis. Il est donné par la figure 4.5 en fonction du rapport r/b .

Avec :

- r (en m) étant le rayon de courbure de l'angle arrondi ;
- b (en m) étant la dimension perpendiculaire à la direction du vent.

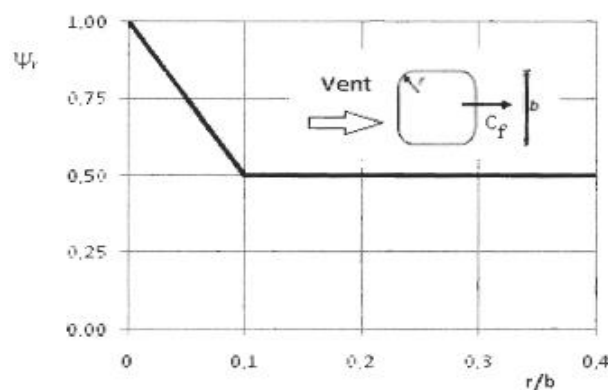


Figure 4.5 : Facteur de réduction ψ_r .

5- Coefficients de pression

5.1. Coefficients de pression extérieure

5.1.1. Constructions à base rectangulaire

5.1.1.1. Les coefficients de pression extérieure C_{pe} des constructions à base rectangulaire et de leurs éléments constitutifs individuels dépendent de la dimension de la surface chargée. Ils sont définis pour des surfaces chargées de $1m^2$ et $10m^2$, auxquelles correspondent les coefficients de pression notés respectivement $C_{pe,1}$ et $C_{pe,10}$.

5.1.1.2. C_{pe} s'obtient à partir des formules suivantes :

$$\begin{aligned} C_{pe} &= C_{pe,1} && \text{si : } S \leq 1 m^2 \\ C_{pe} &= C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \times \log_{10}(S) && \text{si : } 1 m^2 < S < 10 m^2 \\ C_{pe} &= C_{pe,10} && \text{si : } S \geq 10 m^2 \end{aligned} \quad (5.1)$$

où S (en m^2) désigne la surface chargée de la paroi considérée.

5.1.2. Parois verticales

Il convient de diviser les parois comme l'indique la figure 5.1. Les valeurs de $C_{pe,10}$ et $C_{pe,1}$ sont données dans le tableau 5.1.

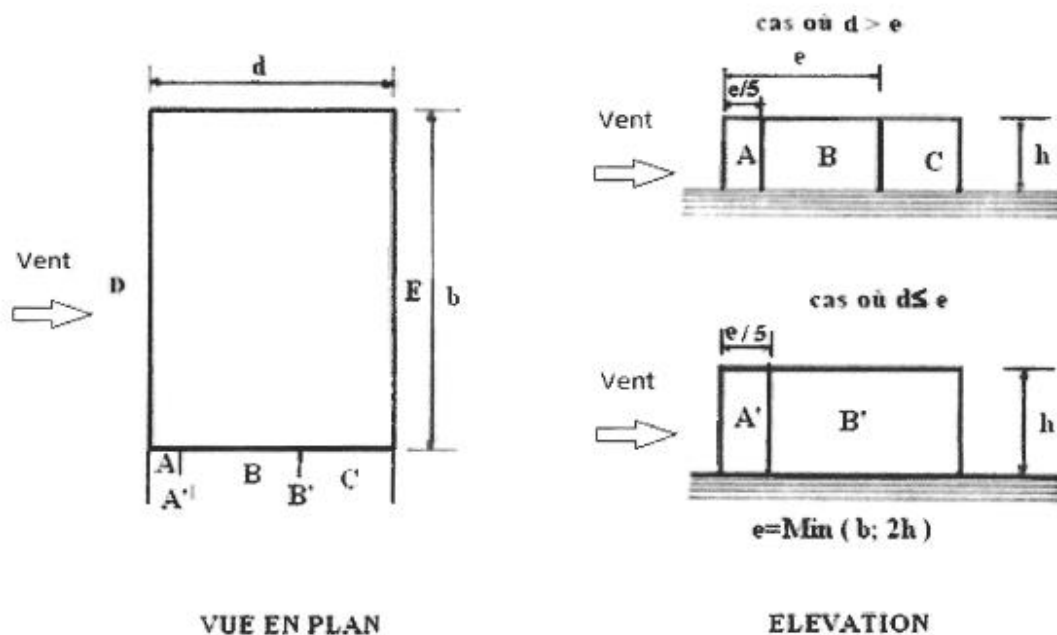


Figure 5.1 : Légende pour les parois verticales

Paroi latérale				Paroi au vent		paroi sous le vent			
A, A'		B, B'		C		D		E	
$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
- 1.0	- 1.3	- 0.8	- 1.0	- 0.5	+ 0.8	1.0		- 0.3	

Tableau 5.1 : C_{pe} pour les parois verticales de bâtiments à base rectangulaire

5.1.3. Toitures plates

Les toitures plates sont celles dont l'angle de la pente est inférieur ou égal à 5°.

Il convient de diviser la toiture comme l'indique la figure 5.2. Les coefficients $C_{pe,10}$ et $C_{pe,1}$ sont donnés dans le tableau 5.2.

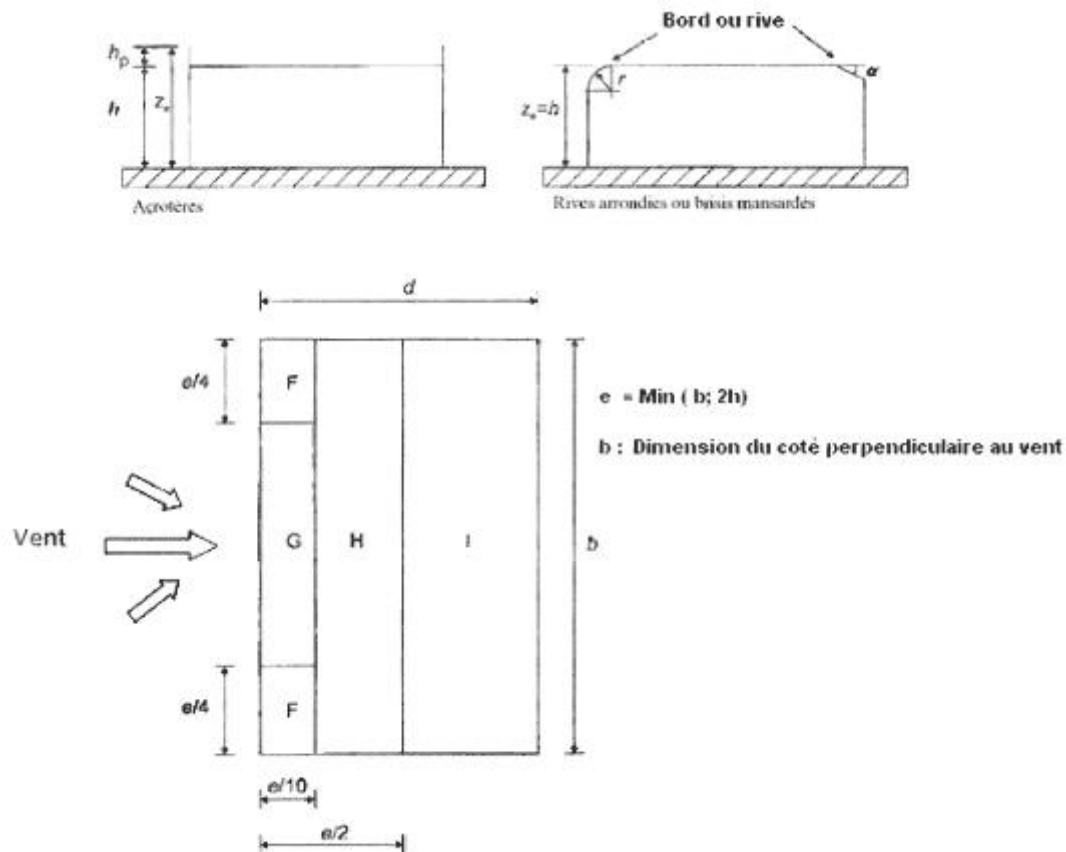


Figure 5.2 : Légende pour les toitures plates

		Zones							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
arêtes vives (sans acrotères)		- 1,8	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,7	- 1,2	± 0,2	
avec acrotères	$h_p/h = 0,025$	- 1,6	- 2,2	- 1,1	- 1,8	- 0,7	- 1,2	± 0,2	
	$h_p/h = 0,05$	- 1,4	- 2,0	- 0,9	- 1,6	- 0,7	- 1,2	± 0,2	
	$h_p/h = 0,10$	- 1,2	- 1,8	- 0,8	- 1,4	- 0,7	- 1,2	± 0,2	
rives arrondies	$r/h = 0,05$	- 1,0	- 1,5	- 1,2	- 1,8	- 0,4	± 0,2		
	$r/h = 0,10$	- 0,7	- 1,2	- 0,8	- 1,4	- 0,3	± 0,2		
	$r/h = 0,20$	- 0,5	- 0,8	- 0,5	- 0,8	- 0,3	± 0,2		
brisis mansardés	$\alpha = 30^\circ$	- 1,0	- 1,5	- 1,0	- 1,5	- 0,3	± 0,2		
	$\alpha = 45^\circ$	- 1,2	- 1,8	- 1,3	- 1,9	- 0,4	± 0,2		
	$\alpha = 60^\circ$	- 1,3	- 1,9	- 1,3	- 1,9	- 0,5	± 0,2		

Tableau 5.2 : Coefficients de pression extérieure des toitures plates

5.1.4. Toitures inclinées à un versant

5.1.4.1. La direction du vent est définie par un angle θ (voir figure 5.3) :

- $\theta = 0^\circ$ correspond à un vent dont la direction est perpendiculaire aux génératrices et frappant la rive basse de la toiture (fig. 5.3.a) ;
- $\theta = 180^\circ$ correspond à un vent dont la direction est perpendiculaire aux génératrices et frappant la rive haute de la toiture (fig. 5.3.b) ;
- $\theta = 90^\circ$ correspond à un vent dont la direction est parallèle aux génératrices (fig. 5.3.c).

5.1.4.2. Il convient de diviser la toiture comme l'indique la figure 5.3. Les coefficients $C_{pe,10}$ et $C_{pe,1}$ sont donnés dans le tableau 5.3.

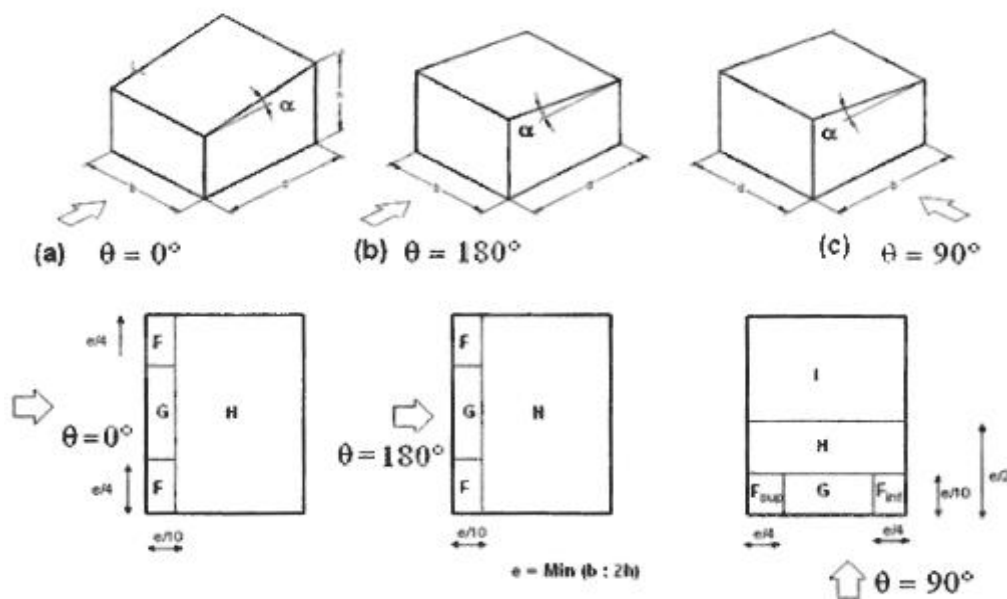


Figure 5.3 : Légende pour les toitures à un versant

Angle de Pente α	Zones pour vents de direction $\theta = 0^\circ$						Zones pour vents de direction $\theta = 180^\circ$					
	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							
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		+0,7							
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	

Tableau 5.3.a : Coefficients de pression extérieure pour toitures à un versant
Vent de direction $\theta = 0^\circ$ et 180°

Angle de Pente α	Zones pour vent de direction $\theta = 90^\circ$									
	F_{sup}		F_{inf}		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
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	

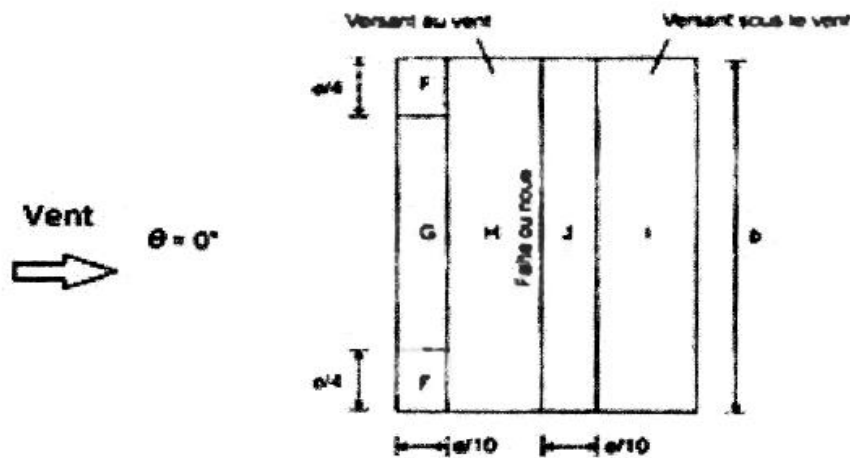
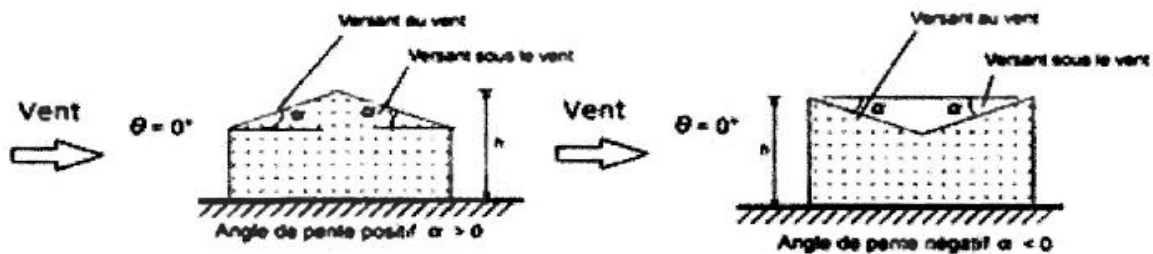
Tableau 5.3.b : Coefficients de pression extérieure pour toitures à un versant
 Vent de direction $\theta = 90^\circ$

5.1.5. Toitures à deux versants

5.1.5.1. La direction du vent est définie par un angle θ (voir figure 5.4) :

- $\theta = 0^\circ$ pour un vent dont la direction est perpendiculaire aux génératrices;
- $\theta = 90^\circ$ pour un vent dont la direction est parallèle aux génératrices.

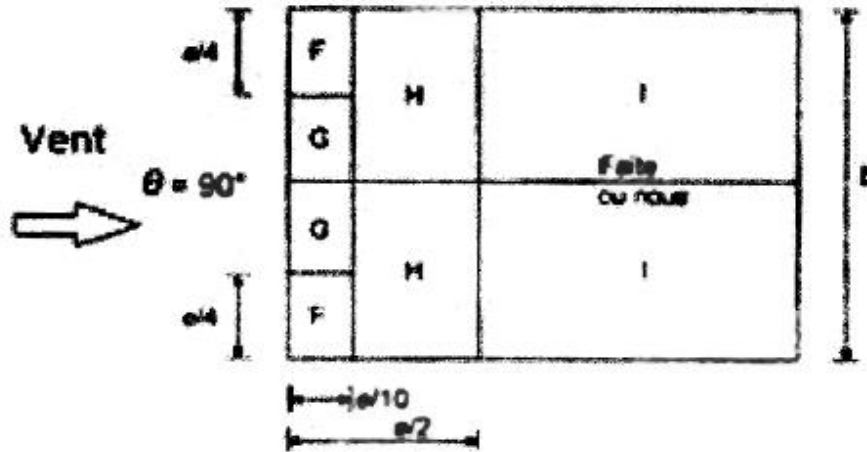
5.1.5.2. Il convient de diviser la toiture comme indiqué sur la figure 5.4. Les coefficients de pression $C_{pe,10}$ et $C_{pe,1}$ sont donnés dans le tableau 5.4.



(a) Direction du vent $\theta = 0^\circ$

$$e = \text{Min}(b \cdot 2h)$$

b : dimension du côté perpendiculaire au vent



(b) Direction du vent $\theta = 90^\circ$

Figure 5.4 : Légende pour les toitures à deux versants

Angle de pente α	Zones pour vent de direction $\theta = 0^\circ$									
	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		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
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	
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	

Angle de pente α	Zones pour vent de direction $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-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 5.4 : Coefficients de pression extérieure pour toitures à deux versants

Notes pour le tableau 5.4

- Quand $\theta = 0^\circ$, la pression passe rapidement de valeurs positives à des valeurs négatives pour des pentes α de l'ordre de 15° à 30° . C'est la raison pour laquelle des valeurs positives et négatives sont données ;
- Pour les pentes intermédiaires de même signe, l'interpolation linéaire entre valeurs de même signe est admise (ne pas interpoler entre $\alpha = + 5^\circ$ et $\alpha = - 5^\circ$ mais exploiter les données concernant les toitures plates, cf. § 5.1.3) ;
- Pour les toitures dissymétriques, les coefficients de pression sont toujours déterminés par la pente du versant au vent.

5.1.6. Toitures à quatre versants

5.1.6.1. La direction du vent est définie par un angle θ (voir figure 5.5) :

- $\theta = 0^\circ$ pour un vent dont la direction est perpendiculaire au faîtage ;
- $\theta = 90^\circ$ pour un vent dont la direction est parallèle au faîtage.

5.1.6.2. Il convient de diviser la toiture comme indiqué sur la figure 5.5. Les valeurs de $C_{pe,10}$ et $C_{pe,1}$ sont donnés dans le tableau 5.5.

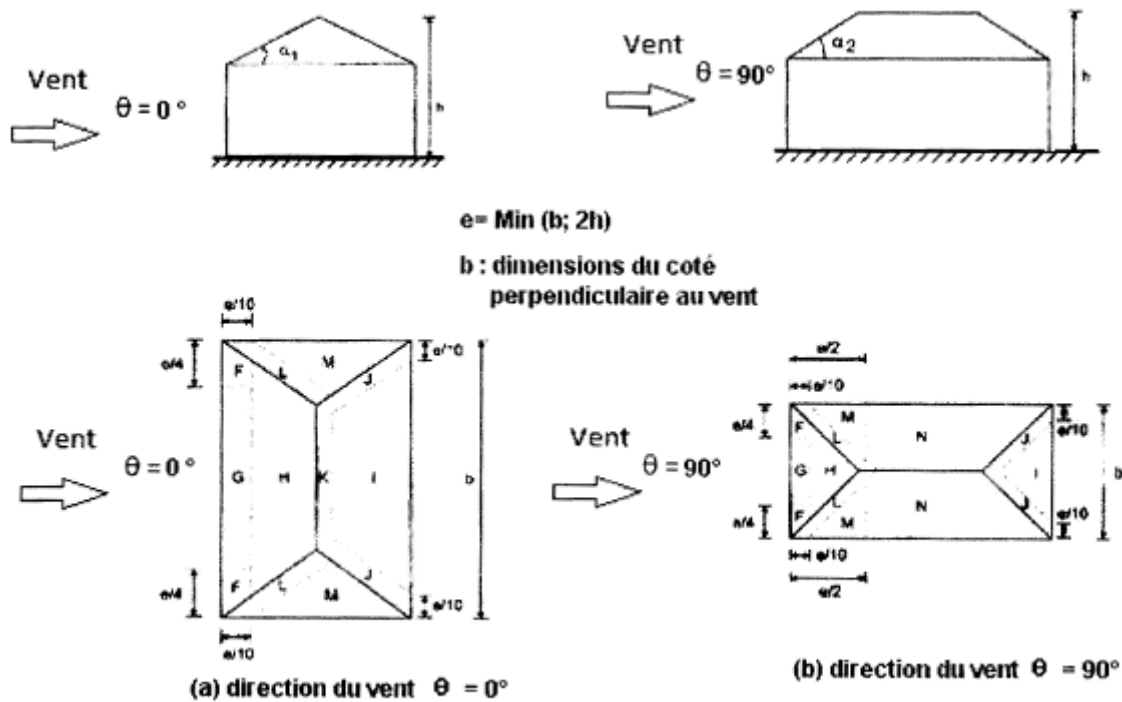


Figure 5.5 : Légende pour les toitures à quatre versants

Angle de pente α	Zones pour vent de direction $\theta = 0^\circ$ 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														
	+0,7		+0,7		+0,6														
60°	0,7	0,7	0,7	0,7		0,7			-0,3	-0,6	-0,3		-0,3	-1,2	-2,0	-0,4			-0,2
75°	0,8	0,8	0,8	0,8		0,8			-0,3	-0,6	-0,3		-0,3	-1,2	-2,0	-0,4			-0,2

Tableau 5.5 : Coefficients de pression extérieure des toitures à quatre versants

5.1.8. Toitures à versants multiples

5.1.8.1. Pour un vent dont la direction est parallèle aux génératrices, les coefficients de pression de chaque versant s'obtiennent en utilisant les valeurs des toitures à un versant pour $\theta = 90^\circ$ (Cf. § 5.1.4).

5.1.8.2. Pour un vent dont la direction est perpendiculaire aux génératrices, on prendra les valeurs de C_{pe} des toitures à deux versants pour $\alpha < 0^\circ$ (Cf. 5.1.5) modifiées pour leur position selon la figure 5.7.a et 5.7b :

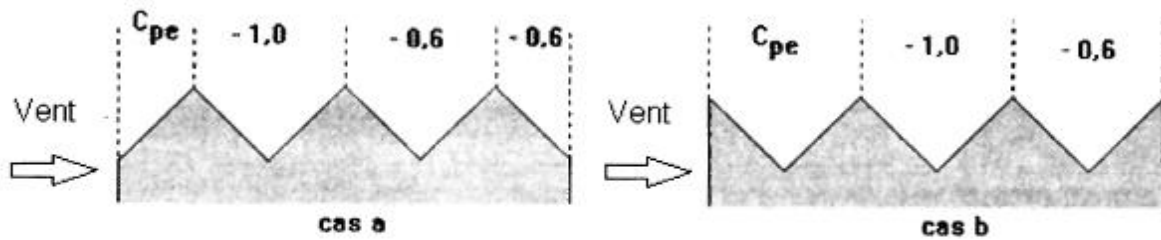


Figure 5.7 : Légende pour les toitures à versants multiples

5.1.10. Avancées de toits et débords

5.1.10.1. Pour les avancées de toits (fig.5.10.a), la pression exercée sur la partie supérieure est égale à la pression de la zone définie pour la toiture elle-même. La pression exercée sur la face inférieure est égale à la pression de la zone du mur directement rattachée à l'avancée de toits.

5.1.10.2. Dans le cas de débord ne faisant pas continuité avec la toiture (fig.5.10.b), on prendra $C_p = 2,5$ pour l'auvent ou débord.



Figure 5.10 : C_p pour (a) avancée de toit (b) auvent ne faisant pas continuité avec la toiture

5.2. Coefficients de pression intérieure

5.2.1. Principes et définitions

5.2.1.1. La combinaison la plus défavorable des pressions extérieure et intérieure, considérées comme agissant simultanément, doit être envisagée simultanément pour chaque combinaison potentielle d'ouvertures et autres sources de fuite d'air.

5.2.1.2. Les valeurs des coefficients de pression intérieure C_{pi} données ci-après sont valables pour tous les types de paroi (simple ou double avec lame d'air).

5.2.1.3. Lorsque, sur au moins deux faces du bâtiment (façades ou toiture), l'aire totale des ouvertures existant sur chacune des faces représente 30 % de l'aire de cette face, il convient de calculer les actions exercées sur la construction à partir des règles définies pour les toitures isolées.

5.2.1.4. Une face d'un bâtiment est considérée comme dominante lorsque l'aire des ouvertures dans la dite face est au moins égale à deux fois l'aire des ouvertures et des fuites d'air dans les autres faces du bâtiment.

5.2.2. Valeurs de C_{pi}

5.2.2.1. Dans le cas d'un bâtiment ayant une face dominante (Cf. 5.2.1.4), le coefficient de pression intérieure est donné par:

- $C_{pi}=0.75 C_{pe}$; lorsque l'aire des ouvertures dans la face dominante est égale à deux fois l'aire des ouvertures dans les autres faces, et;
- $C_{pi}=0.90 C_{pe}$; Lorsque l'aire des ouvertures dans la face dominante est au moins égale à trois fois l'aire des ouvertures dans les autres faces.

Où :

C_{pe} est la valeur du coefficient de pression extérieure au niveau des ouvertures de la face dominante. Lorsque ces ouvertures sont situées dans des zones avec des valeurs différentes de pressions extérieures, il est recommandé d'utiliser une valeur moyenne pondérée en surface de C_{pe} .

5.2.2.2. Pour les bâtiments sans face dominante, le coefficient de pression intérieure C_{pi} est déterminé à partir de la figure 5.14 avec (h) la hauteur du bâtiment, (d) sa profondeur et μ_p l'indice de perméabilité donné par :

$$\mu_p = \frac{\sum \text{des surfaces des ouvertures où } C_{pe} \leq 0}{\sum \text{des surfaces de toutes les ouvertures}}$$

Les ouvertures considérées ici sont les orifices de toute nature débouchant sur l'extérieur et au travers desquels l'air peut circuler.

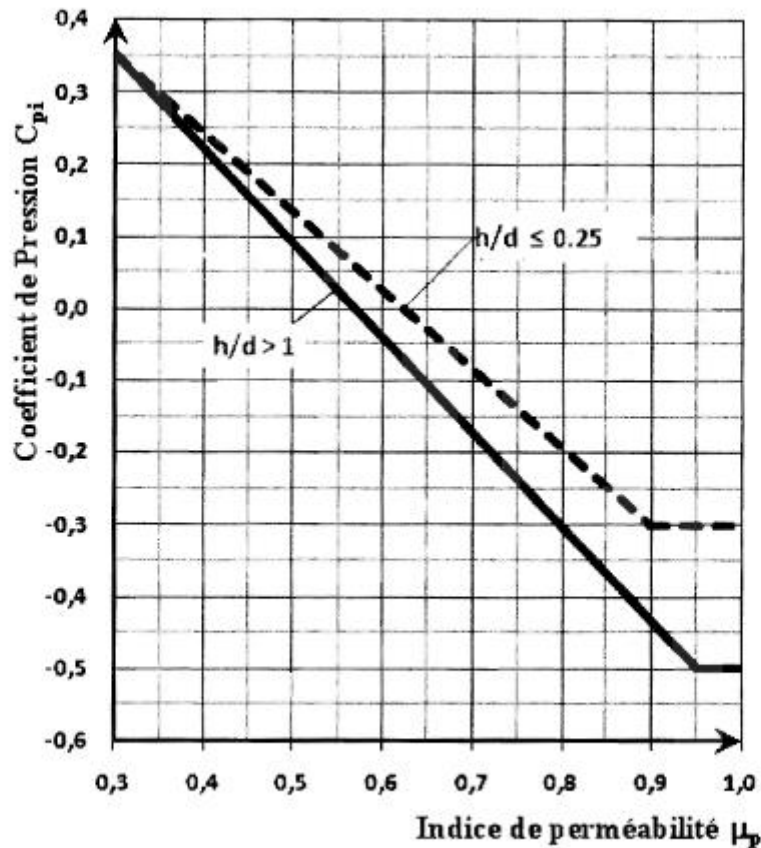


Figure 5.14 : Coefficients de pression intérieure C_{pi} des bâtiments sans face dominante

5.2.2.3 la hauteur de référence pour les pressions intérieures est égale à la hauteur de référence z_e pour les pressions extérieures exercées sur les faces qui contribuent par leurs ouvertures à la création des pressions intérieures. Lorsqu'il existe plusieurs ouvertures la plus grande valeur de z_e est utilisée.

5.2.2.4 Le coefficient de pression intérieure des silos ouverts et des cheminées est égal à $C_{pi}=0.60$.

5.2.2.5. Le coefficient de pression intérieure des réservoirs ventilés par ouvertures de petites dimensions est égal à $C_{pi}=0.40$.

ANNEXE 1 :

ZONES DE VENT

Pour l'obtention des zones de vent, on a recours à la notion de vitesse de référence du vent. Celle-ci est définie de la manière suivante :

La vitesse de référence du vent, V_{ref} , est la vitesse moyenne sur dix minutes mesurée dans les conditions conventionnelles avec une probabilité annuelle de dépassement égale à 0,02 (ce qui correspond à une période de retour de 50 ans).

Quatre (04) zones de vent ont été définies (zones I, II III et IV). Les valeurs de la vitesse de référence correspondantes à chaque zone sont présentées dans le tableau A1.

Zone	V_{ref} (m/s)
I	25
II	27
III	29
IV	31

Tableau A1 : Valeurs de la vitesse de référence du vent

CODE	WILAYA	Zone de vent
01	ADRAR Commune de TIMIAOUINE	I
	Commune de BORDJ BADJI MOKHTAR	II
	Toutes les autres communes	III
02	CHLEF	II
03	LAGHOUAT	III
04	OUM EL BOUAGHI	II
05	BATNA	II
06	BEJAIA	I
07	BISKRA	III
08	BECHAR Toutes les communes à l'exception de la commune de TEBALBALA	III
	Commune de TABELBALA	II
09	BLIDA	I
10	BOUIRA	II
11	TAMANGHASET Commune de : FOUGGARAT EZ ZOUAIA	IV
	Commune de: IN SALAH, IN GHAR,	III
	Commune de : IDLES, IN AMGAL	II

	Toutes les autres communes	I
12	TEBESSA	II
13	TLEMCEN	II
14	TIARET	III
15	TIZI OUZOU	I
16	ALGER	I
17	DJELFA	III
18	JIJEL	I
19	SETIF	II
20	SAIDA	III
21	SKIKDA	II
22	SIDI BEL ABBES	II
23	ANNABA	III
24	GUELMA	II

25	CONSTANTINE	I
26	MEDEA	II
27	MOSTAGANEM	II
28	M'SILA	III
29	MASCARA	III
30	OUARGLA : Commune de : HASSI MESSAOUD	IV
	Toutes les autres communes	III
31	ORAN	II
32	EL BAYADH	III
33	ILLIZI Commune de Djanet	I
	Commune de : Illizi	III
	Commune de Bordj EL Houadj	II
	Toutes les autres communes	IV
34	BORDJ BOU ARRERIDJ	II
35	BOUMERDES	I
36	EL TARF	III
37	TINDOUF Communes de :TINDOUF, ELASSEL	II
	Toutes les autres communes	III

38	TISSEMSILT	II
39	EL OUED	III
40	KHENCHELA	II
41	SOUK AHRAS	III
42	TIPAZA	I
43	MILA	I
44	AIN DEFLA	I
45	NAAMA	III
46	AIN TEMOUCHENT	II
47	GHARDAIA Communes de : HASSIEL GARAA, GOLEA, HASSI LEFHAL	IV
	Toutes les autres communes	III
48	RELIZANE	III

Tableau A.2 : Zones climatiques du vent

ANNEXE 2 : Vitesse moyenne du vent

La vitesse moyenne du vent est la vitesse moyenne sur dix minutes pour des conditions non conventionnelles. La vitesse moyenne du vent $V_m(z)$ est donnée par :

$$V_m(z) = C_r(z) \times C_t(z) \times V_{réf} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{A2.1})$$

Où :

- $C_r(z)$ est le coefficient de rugosité (Cf. chapitre 2, § 2.4.4) ;
- $C_t(z)$ est le coefficient de topographie (Cf. chapitre 2, § 2.4.5) ;
- $V_{réf}$ (en m/s) est la vitesse de référence (Cf. annexe 1).

