

## **Chapitre 4:**

# **Evaluation des actions de la neige et du vent sur le bâtiment selon "R.N.V. 1999"**

**Document Technique Réglementaire**

**(D.T.R. C 2-4.7)**

# SYMBOLES

## 1 - PREMIERE PARTIE

$b, h$ et $l$ (m) :	longueurs
$l_s$ (m) :	longueur de congère
$q_1, q_2$ (kN/ml) :	surcharges de sable
$F_s$ (en kN/m) :	force due au glissement d'une masse de neige
$S$ (en kN/m <sup>2</sup> ) :	charge caractéristique de neige
$S_k$ (en kN/m <sup>2</sup> ) :	charge de neige sur le sol
$S_e$ (en kN/m) :	charge de neige suspendue
$\alpha$ (en degrés) :	angle caractérisant le versant d'une toiture
$\beta$ (en degrés) :	angle de la tangente à la courbure d'une toiture cylindrique sur l'horizontale
$\mu$ :	coefficient de forme de la charge de neige
$\mu_i$ :	coefficient de forme correspondant au versant $i$
$\mu_s$ :	coefficient de forme de la charge de neige due au glissement
$\mu_w$ :	coefficient de forme de la charge de neige due au vent
$\gamma$ (en kN/m <sup>3</sup> ) :	poids volumique de la neige
$\psi_0, \psi_1, \psi_2$ :	coefficients de combinaison
$k$ :	coefficient prenant en compte l'irrégularité de forme de la charge de neige

## 2 - SECONDE PARTIE

### 1. Majuscules latines

$A$	Aire (calcul de $\phi$ )
$C_d$	Coefficient dynamique
$C_e$	Coefficient d'exposition
$C_f$	Coefficient de force
$C_{f,0}$	Coefficient de force des constructions ou des éléments ayant un élanement infini
$C_{fr}$	Coefficient de frottement
$C_{lat}$	Coefficient d'excitation dynamique
$C_p, C_{p,net}$	Coefficient de pression nette
$C_r$	Coefficient de rugosité
$C_t$	Coefficient de topographie
$F_{fr}$	Force de frottement résultante
$F_{Yj}$	Force d'excitation par le détachement tourbillonnaire au point $j$ de la construction
$F_w$	Force aérodynamique résultante
$H$	Hauteur d'un obstacle topographique
$I_v$	Intensité de turbulence
$K$	Facteur de déformée modale
$K_T$	Facteur de terrain
$K_w$	Facteur de longueur de corrélation effective
$L$	Longueur de la construction
$L_e$	Longueur effective du versant au vent d'un obstacle topographique

$L_i$	Echelle intégrale de turbulence
$L_v$	Longueur réelle du versant au vent d'un obstacle topographique
$M_s$	Masse de la structure d'une cheminée
$M_t$	Masse totale d'une cheminée
$N_x$	Fréquence adimensionnelle
$Q_0^2$	Partie statique de la réponse
$Re$	Nombre de Reynolds
$R_x^2$	Partie résonante de la réponse
$S$	Surface (calcul des actions)
$S_c$	Nombre de Scruton
$S_t$	Nombre de Strouhal
$V_{crit}$	Vitesse critique de détachement tourbillonnaire
$V_m$	Vitesse moyenne du vent
$V_{réf}$	Vitesse de référence du vent
$W$	Pression aérodynamique

## 2. Minuscules latines

$b$	Dimension de la construction perpendiculairement au vent ; diamètre
$d$	Dimension d'une construction dans la direction du vent
$e$	Excentricité ou longueur
$f_m$	Coefficient lié à la nature de la cheminée (calcul de $C_d$ )
$g$	Facteur de pointe
$h$	Hauteur de la construction
$k$	Rugosité équivalente
$k_{red}$	Coefficient pour le calcul de $C_t$
$l$	Longueur d'une construction
$m$	Masse par unité de longueur
$m_l$	Masse équivalente par unité de longueur
$n_{1,x}$	Fréquence fondamentale de vibration dans la direction du vent
$n_{1,y}$	Fréquence fondamentale de vibration perpendiculaire à la direction du vent
$q_{réf}$	Pression dynamique moyenne de référence
$s_{max}$	Coefficient pour le calcul de $C_t$
$t$	Temps d'intégration de la vitesse de référence du vent
$x$	Distance horizontale du site au sommet d'un obstacle topographique
$\max y_F$	Amplitude maximale perpendiculairement au vent pour la vitesse critique du vent
$z$	Hauteur au-dessus du sol
$z_0$	Paramètre de rugosité
$z_{eq}$	Hauteur équivalente
$z_{min}$	Hauteur minimale

## 3. Majuscules grecques

$\Phi$	Pente du versant au vent
$\Phi_{1,x}$	Déformée du mode fondamental dans la direction du vent

#### 4. Minuscules grecques

$\alpha$	Coefficient pour le calcul de $C_t$
$\delta$	Décrément logarithmique d'amortissement
$\delta_a$	Décrément logarithmique d'amortissement aérodynamique
$\delta_s$	Décrément logarithmique d'amortissement structural
$\varepsilon$	Coefficient (calcul de $C_d$ )
$\varphi$	Coefficient d'opacité
$\lambda$	Elancement
$\nu$	Fréquence moyenne ; viscosité cinématique
$\nu_0$	Fréquence moyenne de l'effet de turbulence
$\rho$	Masse volumique de l'air
$\psi_0, \psi_1, \psi_2$	Facteurs de combinaison
$\psi_r$	Facteur de réduction du coefficient de force pour les sections rectangulaires à angles arrondis
$\psi_\lambda$	Facteur de réduction du coefficient de force (facteur d'élancement)
$\mu_p$	Indice de perméabilité
$\xi$	Exposant de la déformée modale
$\theta$	Directions orthogonales du vent

#### 5. Indices

crit	Critique
e	Externe, exposition
fr	Frottement
i	Interne
j	Repère d'un élément ou d'un point d'une construction
m	Moyen
réf	Référence
x	Direction du vent
y	Direction perpendiculaire à celle du vent

# **PREMIERE PARTIE**

## **ACTIONS DE LA NEIGE SUR LES CONSTRUCTIONS METALLIQUES**

## **1 - OBJET**

**1.1.** Le présent règlement a pour objet de définir les valeurs représentatives de la charge statique de neige sur toute surface située au-dessus du sol et soumise à l'accumulation de la neige et notamment sur les toitures.

*On entend par valeur représentative d'une action la valeur utilisée pour la vérification d'un état limite.*

**1.2.** Le présent règlement ne fournit pas de règles sur:

- les chocs dus aux charges de neige glissant ou tombant d'une toiture plus élevée ;
- les charges consécutives à un engorgement, par la neige ou la glace, des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales ;
- les charges complémentaires dues au vent du fait de la modification de la forme ou de la dimension du bâtiment résultant de la présence de neige ou la formation de glace ;
- les charges dans les zones où la neige est présente toute l'année ;
- les charges de glace ;
- les poussées latérales de la neige exercées, par exemple, par les congères (une congère est un amas de neige entassé par le vent), ainsi que les poussées induites par la transformation en glace de l'eau interstitielle contenue dans les sols ;
- l'amplification de la charge consécutive à une chute de pluie importante sur la neige.

## **2 - DOMAINE D'APPLICATION**

**2.1.** le présent règlement s'applique à l'ensemble des constructions en Algérie situées à une altitude inférieure à 2000 mètres.

**2.2.** Il ne s'applique pas aux sites d'une altitude supérieure à 2000m, pour lesquels le cahier des charges doit fixer les valeurs à prendre en compte.

## **3 - CALCUL DES CHARGES DE NEIGE**

### **3.1 Charge de neige sur les toitures ou autres surfaces :**

**3.1.1.** La charge caractéristique de neige  $S$  par unité de surface en projection horizontale de toitures ou de toute autre surface soumise à l'accumulation de la neige s'obtient par la formule suivante :

$$S = \mu \cdot S_k \quad [\text{kN/m}^2] \quad (1)$$

où :

- $S_k$  (en  $\text{kN/m}^2$ ) est la charge de neige sur le sol, donnée au paragraphe 4, fonction de l'altitude et de la zone de neige (cf. carte de neige) ;
- $\mu$  est un coefficient d'ajustement des charges, fonction de la forme de la toiture, appelé coefficient de forme et donné au paragraphe 6.

*La neige peut se déposer sur la toiture de nombreuses manières selon :*

- *la disposition géométrique du bâtiment, la nature des matériaux, l'isolation thermique, les singularités de la toiture ;*
- *l'environnement climatique: durée de la saison de neige, ensoleillement, fonte et regel de la neige , vent ;*
- *la topographie locale et, en particulier, les conditions d'abri dues aux bâtiments, aux arbres, etc ;*
- *les actions particulières telles que l'enlèvement de la neige par les usagers.*

*Parmi tous ces facteurs, le plus important est la géométrie de la toiture et le vent ; néanmoins, une réduction de la charge de neige peut être apportée en tenant compte de l'effet d'exposition et de l'isolation thermique à condition que le concepteur puisse fournir des justifications nécessaires acceptées par le maître d'ouvrage.*

### **3.2. Neige suspendue en débord de toiture :**

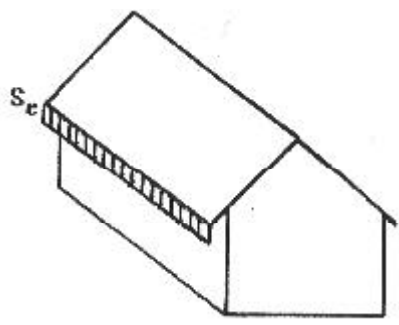
**3.2.1.** Dans les constructions situées à plus de 1000m d'altitude, le calcul des parties de toiture en débord des murs de façade doit tenir compte de la neige suspendue en rive, en plus de la charge de neige appliquée à cette partie de toiture.

**3.2.2.** Les charges suspendues sont supposées être appliquées au bord de la toiture et se déterminent comme suit :

$$S_e = \frac{k \cdot \mu_i^2 \cdot S_k^2}{\gamma} \quad [\text{kN/m}] \quad (2)$$

où :

- $S_e$  (en kN/m) est la charge de neige suspendue, par mètre linéaire ;
- $\mu_i$  est le coefficient de forme correspondant au versant de la toiture considérée ;
- $S_k$  (en kN/m<sup>2</sup>) est la charge de neige sur le sol
- $k$  est un coefficient prenant en compte l'irrégularité de forme de la neige, il doit être pris égal à 2.5 ;
- $\gamma$  (en kN/m<sup>3</sup>) est le poids volumique de la neige qui, pour ce calcul, doit être pris égal à 3 kN/m<sup>3</sup>.



*Figure 3.1 : Neige suspendue en débord de toiture*

### 3.3. Charge de neige sur les obstacles :

**3.3.1.** Les obstacles tels que cheminées, barrière à neige, garde corps acrotères, ou autres, doivent être vérifiés sous l'action d'une force  $F_s$  due au glissement d'une masse de neige sur la toiture.

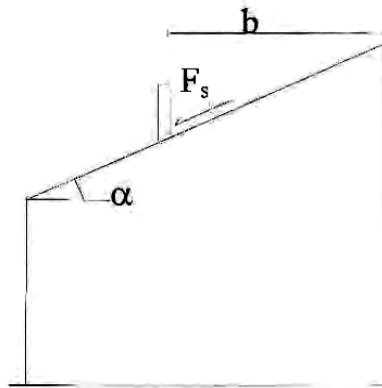


Figure 3.2. : Force exercée sur les obstacles

**3.3.2.** Cette force  $F_s$  exercée dans la direction de ce glissement par unité de largeur est donnée par la formule suivante :

$$F_s = S.b.\sin \alpha \quad [ \text{kN/m} ] \quad (3)$$

où :

- $S$  (en  $\text{kN/m}^2$ ) est la charge de neige sur la toiture calculée conformément à 3.1 ;
- $b$  (en m) est la distance en plan entre l'obstacle et le faîte de la toiture ;
- $\alpha$  (en degré ) est l'angle du versant de la toiture.

La force  $F_s$  ci-dessus est donnée en prenant un coefficient de frottement entre la neige et la toiture égal à zéro.

## 4. CHARGE DE NEIGE SUR LE SOL - VALEUR CARACTERISTIQUE

La charge de neige sur le sol  $S_k$  par unité de surface est fonction de la localisation géographique et de l'altitude du lieu considéré.

*Une exploitation statistique des hauteurs maximales annuelles de neige observées en une journée a permis de calculer les hauteurs de neige pendant une période de retour de 50 ans. La détermination des charges de neige au sol à partir des hauteurs calculées a été obtenue en prenant une masse volumique de neige égale à  $100 \text{ kg/m}^3$ .*

*Il est à noter que la masse volumique de la neige est variable. Généralement, elle augmente avec la durée d'exposition de la neige et dépend de la localisation du site, de son climat et de son altitude. D'autres valeurs ont été spécifiées dans le présent DTR.*

### 4.1. Influence de la localisation géographique :

La carte neige donne la zone à considérer pour chaque commune du pays.



#### 4.2. Influence de l'altitude :

La valeur de  $S_k$  en kN/m<sup>2</sup> est déterminée par les lois de variation suivantes en fonction de l'altitude H (par rapport au niveau de la mer) en m du site considéré :

$$\text{Zone A} \quad S_k = \frac{0.07 \times H + 15}{100}$$

$$\text{Zone B} \quad S_k = \frac{0.04 \times H + 10}{100}$$

$$\text{Zone C} \quad S_k = \frac{0.0325 \times H}{100}$$

**Zone D** pas de charge de neige. Dans cette région, une charge représentant l'enlèvement des terrasses, telle que définie au paragraphe 7, sera prise en compte.

#### 5. AUTRES VALEURS REPRESENTATIVES

Outre la valeur caractéristique 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  $\psi_0 \cdot S_k$  avec  $\psi_0 = 0.6$  ;
- la valeur fréquente égale à  $\psi_1 \cdot S_k$ , avec  $\psi_1 = 0.2$  ;
- la valeur quasi-permanente égale à  $\psi_2 \cdot S_k$  avec  $\psi_2 = 0$

*Les combinaisons fréquentes et les combinaisons quasi-permanentes concernent essentiellement des constructions en béton précontraint.*

#### 6. COEFFICIENTS DE FORME DES TOITURES

Les valeurs des coefficients  $\mu$  données ci-après concernent les toitures de formes courantes. Pour des formes particulières de toitures, le cahier des charges doit préciser la valeur à prendre en compte.

##### 6.1. Cas de charges :

Pour le calcul des coefficients de forme des toitures, il sera tenu compte des cas de charges ci-dessous :

- cas de charge répartie sur toute la surface ;
- cas de charge non uniforme: distribution initiale non uniforme, accumulation localisée au droit d'un obstacle, distribution de neige affectant la répartition de la charge sur l'ensemble de la toiture, (par exemple lorsque la neige est transportée du côté au vent vers le côté sous le vent).
- cas de charge résultant d'une redistribution de la neige depuis une partie du bâtiment plus élevée (par glissement).

- Cas de charge répartie sur une partie quelconque de la surface, et la moitié de cette valeur répartie sur le reste de cette surface, de manière à produire l'effet le plus défavorable sur l'élément considéré.

## 6.2. Toitures en pentes :

### 6.2.1. Toitures à un versant :

**6.2.1.1.** Les coefficients de forme des toitures à un versant sans obstacle de retenue de la neige (la neige est supposée pouvoir tomber librement) sont donnés par le tableau 6.1.

**6.2.1.2.** Dans le cas où une rive de la toiture se termine par un obstacle de retenue de la neige, tels que garde corps, barrières à neige, ou autres, le coefficient de forme de la toiture ne peut être réduit à une valeur inférieure à 0.8.

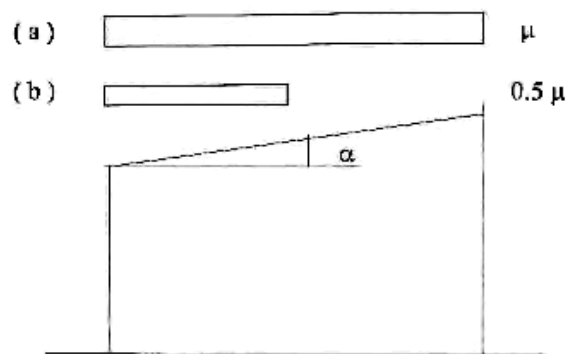


Figure 6.1 : Coefficient de forme - toitures à un versant

( $\alpha$ ) angle du versant par rapport à l'horizontale (en $^{\circ}$ )	$0 \leq \alpha \leq 30^{\circ}$	$30^{\circ} < \alpha < 60^{\circ}$	$\alpha \geq 60^{\circ}$
coefficient $\mu$	0.8	$0.8 \left( \frac{60 - \alpha}{30} \right)$	0.0

Tableau 6.1: Coefficients de forme - toitures à un versant

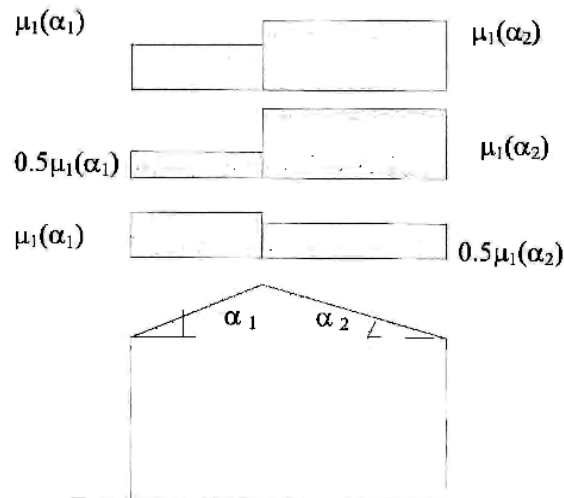
**6.2.1.3.** Il convient de considérer les dispositions de charges suivantes :

- cas de charge uniformément répartie (fig 6.1.a) ;
- cas de charge uniformément répartie, appliquée sur la moitié la plus défavorable de la toiture (fig 6.1.b).

### 6.2.2. Toitures à deux versants :

**6.2.2.1.** Les coefficients de forme des toitures à deux versants sans obstacles de retenue sont donnés par le tableau 6.2.

**6.2.2.2.** Dans le cas où une rive de la toiture se termine par un obstacle, tels que garde corps, barrière à neige, ou tout autre obstacle, le coefficient de forme de la toiture ne peut être réduit à une valeur inférieure à 0.8.



*Figure 6.2 : Coefficient de forme - Toitures à deux versants*

( $\alpha$ ) angle du versant par rapport à l'horizontale (en °)	$0 \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15 < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60$
coefficient $\mu_1$	0.8	0.8	$0.8 \left( \frac{60 - \alpha}{30} \right)$	0.0
coefficient $\mu_2$	0.8	$0.8 + 0.6 \left( \frac{\alpha - 15}{30} \right)$	$1.1 \cdot \left( \frac{60 - \alpha}{30} \right)$	0.0

*Tableau 6.2 : Coefficients de forme - Toitures à deux versants*

**6.2.2.3.** Les dispositions de charges à prendre en compte sont celles produisant les effets les plus défavorables parmi les cas de la figure 6.2.

### **6.2.3. Toitures à versants multiples :**

#### **6.2.3.1. Toitures à versants multiples symétriques (avec pente inférieure à $60^\circ$ )**

Le coefficient de forme à considérer est celui correspondant à la disposition de charges produisant les effets les plus défavorables parmi les cas suivants :

- cas de toitures à deux versants (fig 6.2) ;
- cas de la figure 6.3, avec les coefficients de forme donnés par le tableau 6.3.

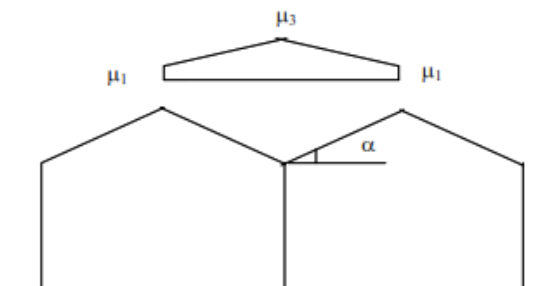


Figure 6.3 : Coefficient de forme des toitures à versants multiples

( $\alpha$ ) angle du versant par rapport à l'horizontale (en °)	$0 \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$
coefficient de forme $\mu_1$	0.8	$0.8 \cdot \left( \frac{60 - \alpha}{30} \right)$
coefficient de forme $\mu_3$	$0.8 + 0.8 \left( \frac{\alpha}{30} \right)$	1.6

Tableau 6.3: Coefficients de forme - toitures à versants multiples

#### 6.2.3.2. Toitures à versants multiples dissymétriques

Les valeurs des coefficients de forme  $\mu_1$  et  $\mu_2$  sont ceux du tableau 6.3 correspondant à

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

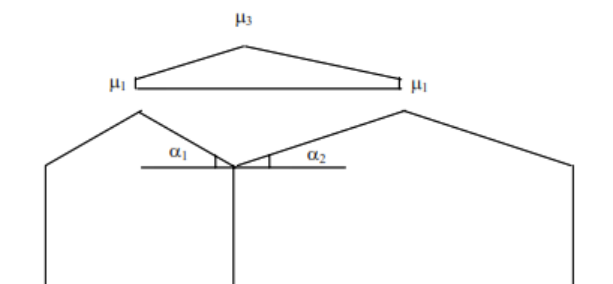


Figure 6.4 : Coefficients de forme des toitures à versants multiples dissymétriques

#### 6.2.4. Toitures à redans (en sheds) :

Les coefficients de forme appliqués aux noues des toitures multiples lorsque l'un ou les deux versants présentent une pente supérieure à  $60^\circ$  sont donnés par le tableau 6.4

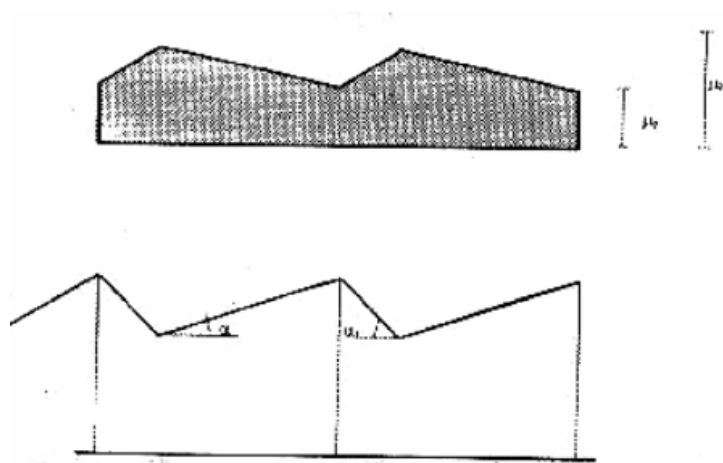


Figure 6.5 : Coefficient de forme des toitures à redans

( $\alpha$ ) angle du versant par rapport à l'horizontale (en °)	coefficient de forme $\mu_1$	coefficient de forme $\mu_2$
$0 \leq \alpha \leq 30^\circ$	0.8	$0.8 + 0.8 \cdot \left(\frac{\alpha}{30}\right)$
$30^\circ < \alpha \leq 45^\circ$	$0.8 \left(\frac{60 - \alpha}{30}\right)$	1.6
$\alpha > 45^\circ$	Une analyse particulière est à faire à partir des phénomènes de base ( glissement de la neige, redistribution par le vent) pour la détermination des valeurs de $\mu$ .	

Tableau 6.4: Coefficients de forme - Toitures à redans

## ZONES DE NEIGE PAR COMMUNE

01	ADRAR	D
02	CHLEF	B
03	LAGHOUAT	C
04	OUM EL BOUAGHI	B
05	BATNA Groupe de Commune I	C
	KIMEL-T' KOUT-GHASSIRA-TIGHANIMINE-MENAA NOUADER-TENIET EL ABED-BOUZINA-BENI FOU DALA-AIN TOUTA- LARBA A-MAAFA-HIDOUNE OULED AOUF-TILATOU-SEGGANA-SEFIANE- EL HAKANIA-BOUMAGUEUR N'GAOUS -OULED SI SLIMANE - LEMSAN- TAXLENT- DJEZZAR- OULED AMMAR-METKAOUAT-BARIKA- BITAM-AMDOUKEL	
	Groupe de Commune II Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I	B
06	BEJAIA	A
07	BISKRA	C
08	BECHAR	D
09	BLIDA Groupe de commune I	A
	CHIFFA-AIN ROUMANA-BOUARFA-CHREA-HAMMAM ELOUANE BOUGARA-SOUHANE	
	Groupe de Commune II Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I	B
10	BOUIRA Groupe de commune I	B
	DIRAH-MEZDOUR-BORDJ OUKHRISS-EL MORRA-TAGUEDIT DECHMIA - RIDANE - SOUR EL GHOZLANE - MAAMORA - HADJERA ZERGA	
	Groupe de commune II Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I.	A
11	TAMANGHASSET	D



21	SKIKDA	B
22	SIDI BEL ABBES	B
23	ANNABA	B
24	GUELMA Groupe de commune I BOUATI MAHMOUD-NECHMAYA-AIN BEIDA-FRAGHA  Groupe de commune II Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I	B   A
25	CONSTANTINE	A
26	MEDEA Groupe de commune I MEDEA-OUZERA-AISSAOUIA-OULED DEIDE-EL OMARIA- EL GUELBELKEBIR-MEZERANA-OULED BRAHIM-DAMIAT-EL HAMDANIA- BOUSKENE- DEUX BASSINS-DRAA ESSAMAR BOUCHRAHIL-BAATA- SIDI NAAMANE- BENCHICAO- EL AZIZIA-MEGHRAOUA SIDI MAHDJOUB- BENI SLIMANE- BERROUAGHIA- MIHOUB - TABLAT - SEDRAIA - KHAMS DJOUAMAA  Groupe de commune II  Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I	A       B
27	MOSTAGANEM	B
28	M'SILA Groupe de commune I OULED SLIMANE-ZARZOUR-BENI SROUR-OUTEN OUITEN EL HOUAMED BOU SAADA-TAMSA-SIDI AMEUR-OULED SIDI BRAHIM-BENZOUH-MAARIF- CHELLAL KHOUBANA- M'CIF  Groupe de commune II Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I.	C    B
29	MASCARA	B
30	OUARGLA	D
31	ORAN	B
32	EL BAYADH	C
33	ILLIZI	D
34	BORDJ BOU ARRERIDJ Groupe de commune I RAS EL OUED AIN TAGHROUT-DJAAFRA EL MAIN- OULED BRAHEM- BORDJ GHDIR- BORDJ ZEMMOURA- SIDI EMBAREK- BELIMOUR- MEDJANA-TENIET EN NASR- HASNAOUA-OULED DAHMANE- KHELIL TAFREG-COLLA-TESMART-BIR KASDALL  Groupe de commune II  Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I	A      B



35	BOUMERDES	B
36	EL TARF	B
37	TINDOUF	D
38	TISSEMSILT	B
39	EL OUED	D
40	KHENCHELA Groupe de commune I	C
	BABAR - CHERCHAR - DJELLAL-EL OULDJA - KHIRANE	
	Groupe de commune II	B
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I.	
41	SOUK AHRAS Groupe de commune I	B
	TAOURA-DREA-BIR BOUHOUCHE-M'DAOUROUCHE- OUM EL ADHAIM- SIDI FREDJ-SAFEL EL OUIDEN-OUED KEBERIT TERRAGUELT	
	Groupe de commune II	A
	Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de commune I.	
42	TIPAZA	B
43	MILA	A
44	AIN DEFLA	B
45	NAAMA	C
46	AIN TEMOUCHENT	B
47	GHARDAIA	D
48	RELIZANE	B

*Tableau A1.1 : Zones de Neige*

**SECONDE PARTIE**

**ACTIONS DU VENT SUR**

**LES CONSTRUCTIONS**

**METALLIQUES**

# NOTIONS GENERALES

## 1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

### 1.1. Objet :

**1.1.1.** Le présent document technique réglementaire (DTR) fournit les procédures et principes généraux pour la détermination des actions du vent sur l'ensemble d'une construction et sur ses différentes parties.

**1.1.2.** Ce DTR couvre aussi le calcul des actions du vent sur les structures et ouvrages pendant l'exécution, ainsi que le calcul des actions du vent sur les structures et ouvrages temporaires.

### 1.2. Domaine d'application :

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

- à l'ensemble des bâtiments (à usage d'habitation, administratif, scolaire, industriel, de santé, lieux de culte, etc.) ;
- aux cheminées et ouvrages similaires ;
- aux ouvrages de stockage (réservoirs, châteaux d'eau, silos, etc.) ;
- aux structures verticales en treillis (pylônes, grues, échafaudages, etc.).

**1.2.2.** Le présent DTR ne s'applique pas directement aux :

- ponts,
- mâts haubanés,
- ouvrages en mer (plates-formes offshore),
- ouvrages spéciaux nécessitant des conditions de sûreté inhabituelles (centrales thermiques, centrales nucléaires, etc.).

*Pour les ouvrages cités en 1.2.2., il y a lieu de se référer aux méthodes qui doivent être définies dans les pièces du marché.*

*Certaines données ou méthodes fournies par ce DTR (par exemple les valeurs de la vitesse de référence) peuvent être utilisées pour les ouvrages cités en 1.2.2.*

## **2. DEFINITIONS**

### **2.1. Termes relatifs aux actions :**

Les définitions générales suivantes sont d'application :

- agent : ce qui agit sur la construction ou sur ses diverses parties (comme par exemple le vent, la pesanteur, etc.) ;
- action : influence exercée par un agent (comme par exemple la pression, le poids, etc.) ;
- action variable : action qui a peu de chances de durer pendant toute une situation de projet donnée, ou pour laquelle la grandeur de la variation dans le temps par rapport à la valeur moyenne n'est ni négligeable, ni monotone ;
- action libre : action qui peut avoir une distribution spatiale quelconque sur la structure ;
- effet : résultat d'une action (exemples : sollicitations comme le moment fléchissant, déformations) ;
- valeur représentative d'une action : valeur utilisée pour la vérification d'un état limite ;
- valeur caractéristique d'une action : valeur extrême (minimale ou maximale) ayant une période de retour bien définie ;
- période de retour : temps qui s'écoule en moyenne entre deux obtentions consécutives de la valeur caractéristique ;
- valeur de combinaison  $\psi_0$  d'une action variable : valeur associée à l'emploi de combinaisons d'actions destinée à prendre en compte la probabilité réduite que plusieurs actions indépendantes interviennent simultanément avec les valeurs les plus défavorables ;
- valeur fréquente  $\psi_1$  d'une action variable : valeur déterminée de manière à ce que la durée totale pendant laquelle elle est dépassée, au cours d'un intervalle de temps donné, soit limitée à une valeur donnée ;
- valeur quasi-permanente  $\psi_2$  d'une action variable : valeur déterminée de manière à ce qu'au cours d'un intervalle de temps donné, le temps total pendant lequel elle est dépassée représente une partie considérable de l'intervalle de temps donné.

*La valeur caractéristique, les valeurs de combinaison, les valeurs fréquentes et quasi-permanentes sont les valeurs représentatives d'une action variable. La valeur caractéristique est la principale valeur représentative d'une action.*

### **2.2. Termes associés à la vitesse du vent :**

**2.2.1.** La vitesse de pointe est la valeur quasi-instantanée de la vitesse du vent.

**2.2.2.** La vitesse moyenne  $V_m$  du vent est la vitesse moyenne dans un intervalle de temps de 10 minutes.

**2.2.3.** La vitesse moyenne caractéristique (ou vitesse caractéristique) est la valeur caractéristique de la vitesse moyenne du vent.

**2.2.4.** 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

**2.2.5.** A 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.

**2.2.6.** La vitesse critique du vent  $V_{crit}$  est la vitesse moyenne du vent à partir de laquelle un effet dynamique complémentaire peut se produire.

### **3. PRINCIPES GENERAUX**

#### **3.1. Modélisation de l'action du vent :**

**3.1.1.** Les actions exercées par le vent sont classées comme des actions libres variables.

**3.1.2.** On admet que le vent peut souffler dans toutes les directions horizontales sous un angle vertical pouvant varier de  $\pm 10^\circ$  par rapport au plan horizontal.

**3.1.3.** On admet qu'à un instant donné, la direction du vent ne varie pas avec la hauteur.

**3.1.4.** L'action du vent est représentée soit comme une pression, soit comme une force.

**3.1.5.** L'action du vent est supposée perpendiculaire aux surfaces exposées (parois verticales, toiture). Pour les surfaces allongées, l'action du vent peut aussi être tangentielle (forces de frottement).

#### **3.2. Nature des structures :**

On distingue les constructions peu sensibles aux excitations dynamiques et les constructions sensibles aux excitations dynamiques. Les constructions :

- peu sensibles aux excitations dynamiques sont celles pour lesquelles le coefficient dynamique  $C_d$  est inférieur à 1,2 ;
- sensibles aux excitations dynamiques sont celles pour lesquelles le coefficient dynamique  $C_d$  est supérieur ou égal à 1,2.

#### **3.3 . Autres valeurs représentatives :**

Outre la valeur caractéristique, notée  $Q$ , qui est la principale valeur représentative, on appelle :

- valeur de combinaison le produit  $\psi_0 \times Q$ , avec  $\psi_0 = 0,6$
- valeur fréquente le produit  $\psi_1 \times Q$ , avec  $\psi_1 = 0,5$
- valeur quasi-permanente le produit  $\psi_2 \times Q$ , avec  $\psi_2 = 0$

où  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  et  $\psi_2$  sont des facteurs définissant les valeurs représentatives de l'action variable  $Q$ .

# BASES DE CALCUL

## 1. CALCUL DE L'ACTION DU VENT

### 1.1. Principes de calcul :

**1.1.1.** 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.

**1.1.2.** Les actions du vent sont proportionnelles à la projection de la surface considérée dans un plan perpendiculaire à la direction du vent, appelée maître-couple.

**1.1.3.** Pour la détermination de l'action du vent, on distingue deux catégories de construction :

- catégorie I : cette catégorie regroupe l'ensemble des bâtiments (à usage d'habitation, administratif, scolaire, industriel, de santé, lieux de culte, etc.), et les ouvrages de stockage (réservoirs, châteaux d'eau, silos, etc.) ;
- catégorie II : cette catégorie regroupe les constructions ajourées telles que les structures verticales en treillis (pylônes, grues, échafaudages, etc.), les cheminées et ouvrages similaires.

**1.1.4.** Pour une direction du vent donnée, le concepteur doit effectuer les opérations suivantes :

- **vérification à la stabilité d'ensemble** d'une construction (par exemple, détermination de la force qui tend à renverser la construction) :
  - ◇ détermination du coefficient dynamique  $C_d$  .
  - ◇ détermination de la pression dynamique du vent  $q_{dyn}$  ;  $C_e(z)$  est calculé soit avec la formule 2.13, soit avec la formule 2.14 selon la valeur de  $C_d$  ;
  - ◇ détermination des :
    - \* coefficients de pression extérieure  $C_{pe}$  et intérieure  $C_{pi}$  (cf. chapitre 5) si la construction est de catégorie I ;
  - ◇ calcul de la pression due au vent :
    - \* utilisation des formules 2.1 à 2.4 si la construction est de catégorie I

- ◇ calcul des forces de frottement uniquement pour les constructions allongées de catégorie I ;
- ◇ calcul de la résultante des pressions agissant à la surface de la construction
- ◇ détermination de l'excentricité de la force globale horizontale

- **dimensionnement des éléments de structure** d'une construction (du système de contreventement, de la toiture, etc.) :

- ◇ détermination du coefficient dynamique  $C_d$
- ◇ détermination de la pression dynamique du vent  $q_{dyn}$  ;  $C_e(z)$  est calculé soit avec la formule 2.13, soit avec la formule 2.14 selon la valeur de  $C_d$  ;
- ◇ détermination des :
  - \* coefficients de pression extérieure  $C_{pe}$  et intérieure  $C_{pi}$  si la construction est de catégorie I
- ◇ calcul de la pression due au vent :
  - \* utilisation des formules 2.1 à 2.4 si la construction est de catégorie I (cf. § 1.1.3),
- ◇ calcul des forces de frottement uniquement pour les constructions allongées de catégorie I,
- ◇ répartition de l'action du vent sur les éléments de structure ;
  - \* calcul des éléments secondaires :
- ◇ détermination de la pression dynamique du vent  $q_{dyn}$  ;  $C_e(z)$  est calculé avec la formule 2.13 ;
- ◇ détermination :
  - \* du coefficient de pression nette  $C_{p,net}$  si l'élément secondaire est isolé (acrotères, balcons, parapets, brise-soleil, etc.),
  - \* des coefficients de pression extérieure  $C_{pe}$  et intérieure  $C_{pi}$  si l'élément secondaire fait partie d'une paroi dont l'une des faces est intérieure, l'autre est extérieure (vitrage, panneaux de remplissage, éléments de couverture, etc.),
  - \* du coefficient de force  $C_f$  si l'élément secondaire est isolé et si sa section transversale correspond à un des cas traités dans le chapitre 4 ;
- ◇ calcul de la pression nette  $W$  due au vent (formules 2.2 à 2.4, ou formule 2.6 selon le cas) ;

## 1.2. Calcul de la pression due au vent - Constructions de catégorie I :

### 1.2.1. Hypothèses et conventions :

**1.2.1.1.** Pour les constructions de catégorie I, le calcul est fondé sur la détermination de la pression du vent sur les parois, lesquelles sont considérées rigides.

*Une paroi est considérée rigide si sa fréquence propre est supérieure à 5 Hz. Les parois courantes (en maçonnerie, voiles, panneaux sandwichs, etc.) entrent dans cette catégorie. Certaines parois réputées souples doivent être raidies selon les règles de l'art.*

**1.2.1.2.** 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 dépressions. 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 2.1).

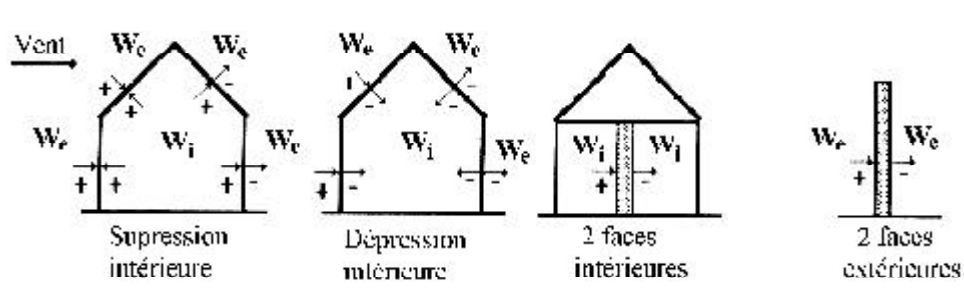


Figure 2.1 : Conventions pour la représentation des pressions sur les parois

### 1.2.2. Détermination de la pression due au vent :

**1.2.2.1.** La pression due au vent  $q_j$  qui s'exerce sur un élément de surface  $j$  est donnée par :

$$q_j = C_d \times W(z_j) \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.1)$$

où :

- $C_d$  est le coefficient dynamique de la construction défini au chapitre 3 ;
- $W$  (en  $\text{N/m}^2$ ) est la pression nette (appelée aussi pression) exercée sur l'élément de surface  $j$ , calculée à la hauteur  $z_j$  relative à l'élément de surface  $j$ .

**1.2.2.2.**  $W(z_j)$  est obtenu à l'aide des formules suivantes :

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

$$W(z_j) = q_{\text{dyn}}(z_j) \times [C_{pe} - C_{pi}] \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.2)$$

- si les deux faces de la paroi sont extérieures (cas d'éléments isolés tels que toitures isolées, balcons, etc.) :

$$W(z_j) = q_{\text{dyn}}(z_j) \times C_{p,\text{net}} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.3)$$



- si les deux faces de la paroi sont intérieures :

$$W(z_j) = q_{\text{dyn}}(z_j) \times [C_{\text{pi},1} - C_{\text{pi},2}] \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.4)$$

où :

- $q_{\text{dyn}}(z_j)$  (en  $\text{N/m}^2$ ) est la pression dynamique du vent calculée à la hauteur  $z_j$  relative à l'élément de surface  $j$  (cf. § 3) ;
- $C_{\text{p,net}}$  (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.) ;
- $C_{\text{pe}}$  est le coefficient de pression extérieure défini au chapitre 5.
- $C_{\text{pi}}$  est le coefficient de pression intérieure défini au chapitre 5.

#### 1.4. Force de frottement :

**1.4.1.** Une force complémentaire doit être introduite pour les constructions allongées de catégorie I (cf. § 1.1.3) pour tenir compte du frottement qui s'exerce sur les parois parallèles à la direction du vent.

**1.4.2.** Les constructions pour lesquelles les forces de frottement doivent être calculées sont celles pour lesquelles soit le rapport  $\frac{d}{b} \geq 3$ , soit le rapport  $\frac{d}{h} \geq 3$  où  $b$  (en m) est la dimension de la construction perpendiculaire au vent,  $h$  (en m) est la hauteur de la construction, et  $d$  (en m) est la dimension de la construction parallèle au vent.

**1.4.3.** La force de frottement  $F_{\text{fr}}$  est donnée par :

$$F_{\text{fr}} = \sum (q_{\text{dyn}}(z_j) \times C_{\text{fr},j} \times S_{\text{fr},j}) \quad [\text{N}] \quad (2.8)$$

où :

- $j$  indique un élément de surface parallèle à la direction du vent ;
- $z_j$  (en m) est la hauteur du centre de l'élément  $j$  ;
- $q_{\text{dyn}}$  (en  $\text{N/m}^2$ ) est la pression dynamique du vent (cf. § 3) ;
- $S_{\text{fr},j}$  (en  $\text{m}^2$ ) est l'aire de l'élément de surface  $j$  (cf. § 1.4.4) ;
- $C_{\text{fr},j}$  est le coefficient de frottement pour l'élément de surface  $j$  (voir tableau 2.1).

Etat de surface	Coefficient de frottement
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 2.1. : 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 d'états de surface différents.*

*La force de frottement est applicable aux surfaces totales des parois parallèles au vent.*

**1.4.4.** L'aire de frottement  $S_{fr}$  doit être déterminée comme indiqué dans le tableau 2.2.

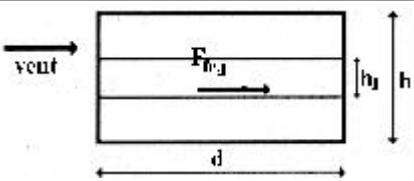
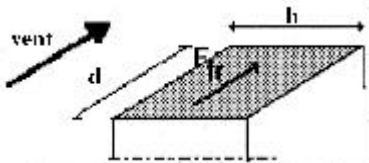
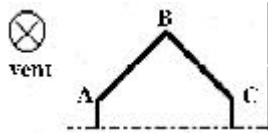

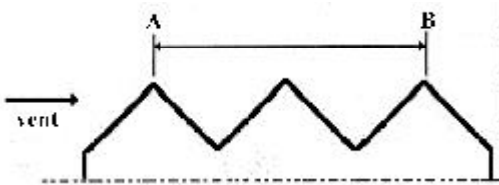
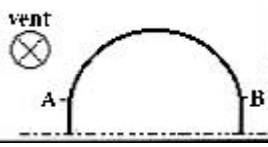
Type de paroi	Schéma	$S_{fr}$ ou $S_{fr,j}$ (en m <sup>2</sup> )
Paroi verticale		$S_{fr,j} = d \times h_j$ $S_{fr} = d \times h$
Toiture plate ou couverture		$S_{fr} = d \times b$
Toiture à deux versants Vent parallèle aux génératrices		$S_{fr} = (\text{longueur ABC du développé}) \times d$
Toiture à versants multiples-Toiture en sheds Vent parallèle aux génératrices		$S_{fr} = (\text{somme des longueurs des développés de la toiture}) \times d$
Toiture à versants multiples - Toiture en sheds Vent perpendiculaire aux génératrices		$S_{fr} = (\text{longueur AB}) \times d$ AB est la longueur projetée en plan de la toiture sans considérer le premier et le dernier versant
Toiture en forme de voûte Vent parallèle aux génératrices		$S_{fr} = (\text{longueur de l'arc AB}) \times d$

Tableau 2.2. : Aire de frottement  $S_{fr}$

**Notes pour le tableau 2.2**

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

## 2. FORCE RESULTANTE

### 2.1. Formule générale :

2.1.1. La force résultante  $R$  se décompose en deux forces (voir figure 2.2) :

- une force globale horizontale  $F_w$  qui correspond à la résultante des forces horizontales agissant sur les parois verticales de la construction et de la composante horizontale des forces appliquées à la toiture ;
- une force de soulèvement  $F_u$  qui est la composante verticale des forces appliquées à la toiture.

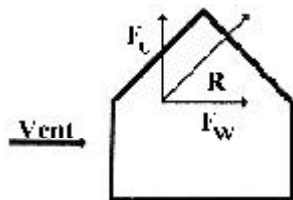


Figure 2.2. : Force résultante  $R$

2.1.2. La force résultante  $R$  est donnée par :

$$R = \sum (q_j \times S_j) + \sum F_{frj} \quad [N] \quad (2.9)$$

où :

- $\sum$  désigne la somme vectorielle (pour tenir compte du sens des forces) ;
- $q_j$  (en  $N/m^2$ ) est la pression du vent qui s'exerce sur un élément de surface  $j$  (voir formules 2.1 et 2.5 selon la catégorie de la construction, cf. § 1.1.3) ;
- $S_j$  (en  $m^2$ ) est l'aire de l'élément de surface  $j$  ; dans le cas des treillis,  $S_j$  concerne l'aire des pleins ;
- $F_{frj}$  (en  $N$ ) désigne les forces de frottement éventuelles (cf. § 1.4).

### 2.2. Excentricité de la force globale horizontale :

2.2.1. Une excentricité  $e$  de la force globale horizontale  $F_w$  doit être introduite pour les constructions autres que de révolution pour tenir compte de la torsion.

2.2.2. L'excentricité  $e$  de la force globale horizontale  $F_w$  (voir figure 2.3) doit être prise égale à :

$$e = \pm b/10 \quad [m] \quad (2.10)$$

où  $b$  (en  $m$ ) est la dimension à la base du maître-couple.

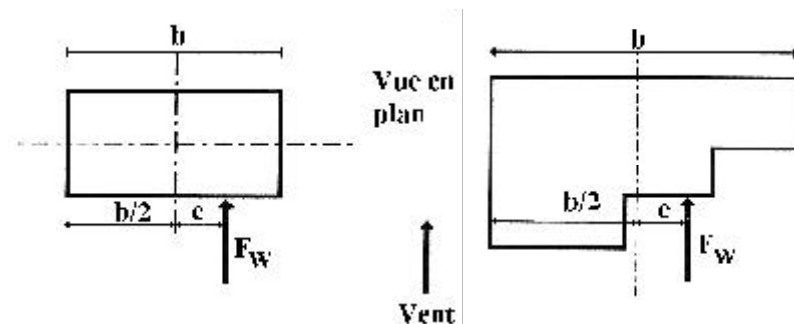


Figure 2.3 : Excentricité de la force globale

### 3. CALCUL DE LA PRESSION DYNAMIQUE

#### 3.1. Principe :

**3.1.1.** Pour la vérification à la stabilité d'ensemble, et pour le dimensionnement des éléments de structure, la pression dynamique doit être calculée en subdivisant le maître-couple en éléments de surface  $j$  horizontaux (voir figure 2.4) selon la procédure donnée ci-dessous :

- les constructions dont la hauteur totale est inférieure ou égale à 10 m doivent être considérées comme un tout (un seul élément  $j$ ) ;
- les constructions avec planchers intermédiaires (bâtiments, tours, etc.) dont la hauteur est supérieure à 10 m doivent être considérées comme étant constituées de  $n$  éléments de surface, de hauteurs égales à la hauteur d'étage ;  $n$  est le nombre de niveaux de la construction ;
- les constructions sans planchers intermédiaires (halls industriels, cheminées, etc.) dont la hauteur est supérieure à 10 m doivent être considérées comme étant constituées de  $n$  éléments de surface, de hauteurs égales  $h_i$  ;  $n$  est donnée par la formule suivante :

$$n = E [h / 3] \text{ soit } [h_i = h/n] \quad (2.11)$$

où :

- $h$  (en m) désigne la hauteur totale de la construction ;
- $E$  désigne la partie entière (par exemple,  $E [4,2] = E [4,7] = 4$ ).

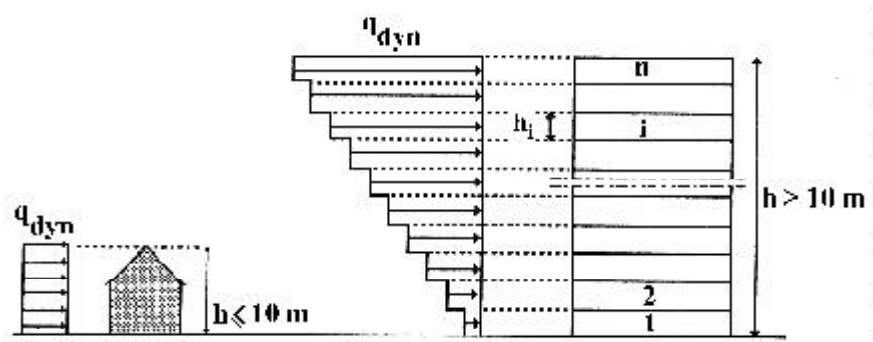


Figure 2.4 : Répartition de la pression dynamique

La subdivision adoptée vise à représenter au mieux la répartition théorique de la pression dynamique du vent.

**3.1.2.** Pour le calcul d'un élément secondaire de la construction, la pression dynamique doit être déterminée en considérant cet élément comme un tout.

#### 3.2. Formule générale :

La pression dynamique  $q_{dyn}(z_j)$  qui s'exerce sur un élément de surface  $j$  est donnée par :

$$\begin{cases} \text{structure permanentes} \\ \text{structure temporaires} \end{cases} \quad \begin{aligned} q_{dyn}(z_j) &= q_{réf} \times C_e(z_j) \\ q_{dyn}(z_j) &= q_{temp} \times C_e(z_j) \end{aligned} \quad [N/m^2] \quad (2.12)$$

où :

- $q_{réf}$  (en  $N/m^2$ ) est la pression dynamique de référence pour les constructions permanentes (dont la durée d'utilisation est supérieure à 5 ans) ;  $q_{réf}$  est donnée par le tableau 2.3 en fonction de la zone de vent (cf. annexe 1) ;

- $q_{temp}$  (en  $N/m^2$ ) est la pression de référence pour les constructions temporaires (dont la durée d'utilisation est inférieure à 5 ans) ;  $q_{temp}$  est donnée par le tableau 2.3 en fonction de la zone de vent (cf. annexe 1) ;
- $C_e$  est le coefficient d'exposition au vent (cf. § 3.3) ;
- $z_j$  (en m) est :
  - la distance verticale mesurée à partir du niveau du sol au centre de l'élément j si cet élément de surface est vertical ;
  - la hauteur totale de la construction si cet élément de surface j fait partie de la toiture.

Zone	$q_{ref}$ ( $N/m^2$ )	$q_{temp}$ ( $N/m^2$ )
I	375	270
II	470	340
III	575	415

Tableau 2.3 : Valeurs de la pression dynamique de référence

**Notes pour le tableau 2.3 :**

$q_{ref}$  (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  $\rho$  (en  $kg/m^3$ ) est la masse volumique de l'air. Dans le cadre de ce DTR,  $\rho$  a été pris égal à  $1,20 kg/m^3$ .  $q_{temp}$  a été calculé en admettant une réduction de 15 % sur la vitesse de référence (voir annexe 1).

**3.3. Coefficient d'exposition :**

**3.3.1.** 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.

**3.3.2.** Dans le cas où la structure est peu sensible aux excitations dynamiques (cf. chapitre 1, § 3.2),  $C_e(z)$  est donné par :

$$C_e(z) = C_t(z)^2 \times C_r(z)^2 \times \left[ 1 + \frac{7 \times K_T}{C_r(z) \times C_t(z)} \right] \quad (2.13)$$

où  $K_T$  est le facteur de terrain (cf. § 4.1),  $C_r$  est le coefficient de rugosité (cf. § 4.2),  $C_t$  est le coefficient de topographie (cf. § 4.3), et  $z$  (en m) est la hauteur considérée.

**3.3.3.** Dans le cas où la structure est sensible aux excitations dynamiques (cf. chapitre 1, § 3.2),  $C_e(z)$  est donné par :

$$C_e(z) = C_r(z)^2 \times C_t(z)^2 \times [1 + 2 \times g \times I_v(z)] \quad (2.14)$$

où :

- $C_r$  est le coefficient de rugosité (cf. § 4.2),
- $C_t$  est le coefficient de topographie (cf. § 4.3),
- $g$  est le facteur de pointe (cf. annexe 4, § 5),
- $I_v(z)$  est l'intensité de la turbulence (cf. annexe 4, § 2),
- $z$  (en m) est la hauteur considérée.

## 4. FACTEURS DE SITE

### 4.1. 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,
- $\epsilon$ , coefficient utilisé pour le calcul du coefficient  $C_d$  (cf. chapitre 3).

Catégories de terrain	$K_T$	$z_0$ (m)	$z_{\min}$ (m)	$\epsilon$
<b>I</b> En bord de mer, au bord d'un plan d'eau offrant au moins 5 km de longueur au vent, régions lisses et sans obstacles.	0,17	0,01	2	0,11
<b>II</b> Régions de culture avec haies et avec quelques petites fermes, maisons ou arbres.	0,19	0,05	4	0,26
<b>III</b> Zones industrielles ou suburbaines, forêt, zones urbaines ne rentrant pas dans la catégorie de terrain IV	0,22	0,3	8	0,37
<b>IV</b> Zones urbaines dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m.	0,24	1	16	0,46

Tableau 2.4 : Définition des catégories de terrain

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 I à IV).

### 4.2. 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) :

$$\left\{ \begin{array}{l} C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ pour } z_{\min} \leq z \leq 200 \text{ m} \\ C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right) \text{ pour } z < z_{\min} \end{array} \right. \quad (2.15)$$

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.

### 4.3. Coefficient de topographie :

4.3.1. 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.

4.3.2. On distingue les sites suivants :

- site plat,
- site aux alentours des vallées et oueds sans effet d'entonnoir,
- site aux alentours des vallées et oueds avec effet d'entonnoir,
- site aux alentours des plateaux,
- site aux alentours des collines,
- site montagneux.

4.3.3. Les valeurs de  $C_t(z)$  peuvent être :

- tirées du tableau 2.5 en l'absence d'informations (non précisées dans les pièces du marché, non maîtrise de la topographie du site, impossibilité de mener des études spécifiques, etc.);
- calculées pour les sites aux alentours des plateaux et collines (dont la topographie est connue) suivant les formules données au paragraphe 4.3.4.

Site	$C_t(z)$
site plat ( $\Phi < 0,05$ , voir § 4.3.4)	1
site aux alentours des vallées et oueds sans effet d'entonnoir	1
site aux alentours des vallées et oueds avec effet d'entonnoir	1,3
site aux alentours des plateaux	1,15
site aux alentours des collines	1,15
site montagneux	1,5

Tableau 2.5 : Valeurs de  $C_t(z)$

**Note pour le tableau 2.5 :** Pour les constructions aux alentours des plateaux et des collines, il est préférable d'utiliser les formules données au paragraphe 4.3.4.

# CALCUL DU COEFFICIENT DYNAMIQUE

## 1. GENERALITES

### 1.1. Définition :

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.

### 1.2. Principes de détermination de $C_d$ :

**1.2.1.** A chaque fois que cela est possible, la valeur de  $C_d$  doit être déterminée à l'aide des abaques donnés dans les figures 3.1 à 3.7. Ces abaques correspondent à des bâtiments ou cheminées de moins de 200 m de hauteur. Pour les valeurs intermédiaires, il y a lieu d'interpoler ou d'extrapoler linéairement.

**1.2.2.** Dans tous les autres cas, c'est à dire dans certaines zones des abaques pour lesquelles soit la lecture de  $C_d$  est impossible, soit la valeur de  $C_d$  dépasserait 1,2, ou pour les autres types de construction (structures en treillis par exemple), il convient d'utiliser les formules données en annexe 4.

## 2. VALEURS DE $C_d$

### 2.1. Cas des bâtiments :

**2.1.1.** Les figures 3.1, 3.2 et 3.3 fournissent des valeurs de  $C_d$  applicables aux bâtiments en fonction du mode de construction.

*On entend par mode de construction l'indication du matériau principal de la structure, par exemple construction en béton armé, en acier, en maçonnerie, construction mixte acier-béton (définition provenant de l'ISO 8930:1987).*

**2.1.2.**  $C_d$  est donné en fonction de :

- b (en m) qui désigne la dimension horizontale perpendiculaire à la direction du vent prise à la base de la construction ;
- h (en m) qui désigne la hauteur totale de la construction.



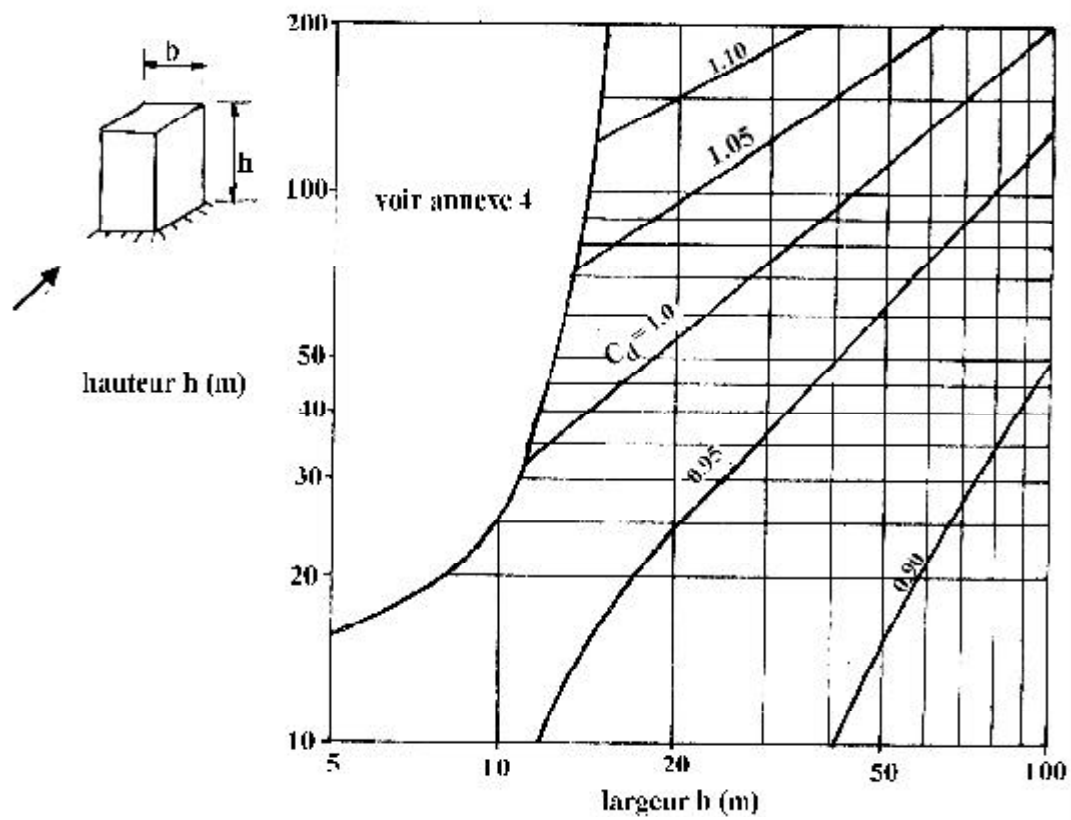


Figure 3.2 : Valeurs de  $C_d$  pour les structures métalliques

# DETERMINATION DES COEFFICIENTS DE PRESSION

## 1. COEFFICIENTS DE PRESSION EXTERIEURE

### 1.1. Constructions à base rectangulaire :

#### 1.1.1. Généralités :

1.1.1.1. Les coefficients de pression externe  $C_{pe}$  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  $1 \text{ m}^2$  et  $10 \text{ m}^2$ , auxquelles correspondent les coefficients de pression notés respectivement  $C_{pe,1}$  et  $C_{pe,10}$ .

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

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

où  $S$  (en  $\text{m}^2$ ) désigne la surface chargée de la paroi considérée.

#### 1.1.2. 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.

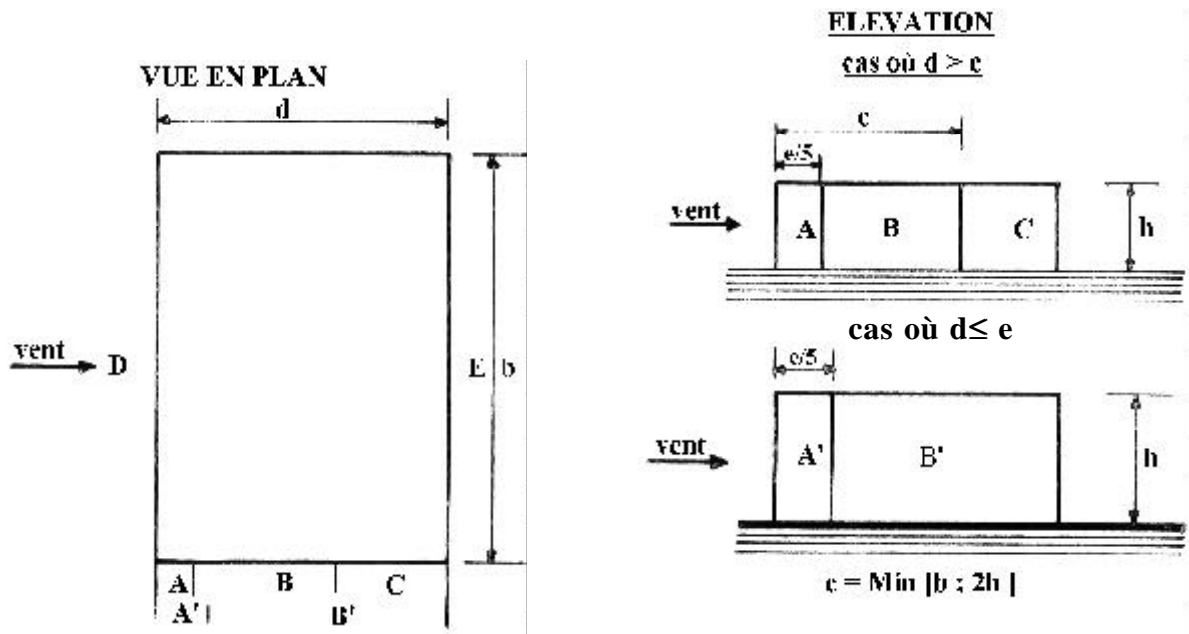


Figure 5.1. : Légende pour les parois verticales

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

### 1.1.3. Toitures plates :

Les toitures plates sont celles dont la pente est inférieure ou égale à  $4^\circ$ . 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.

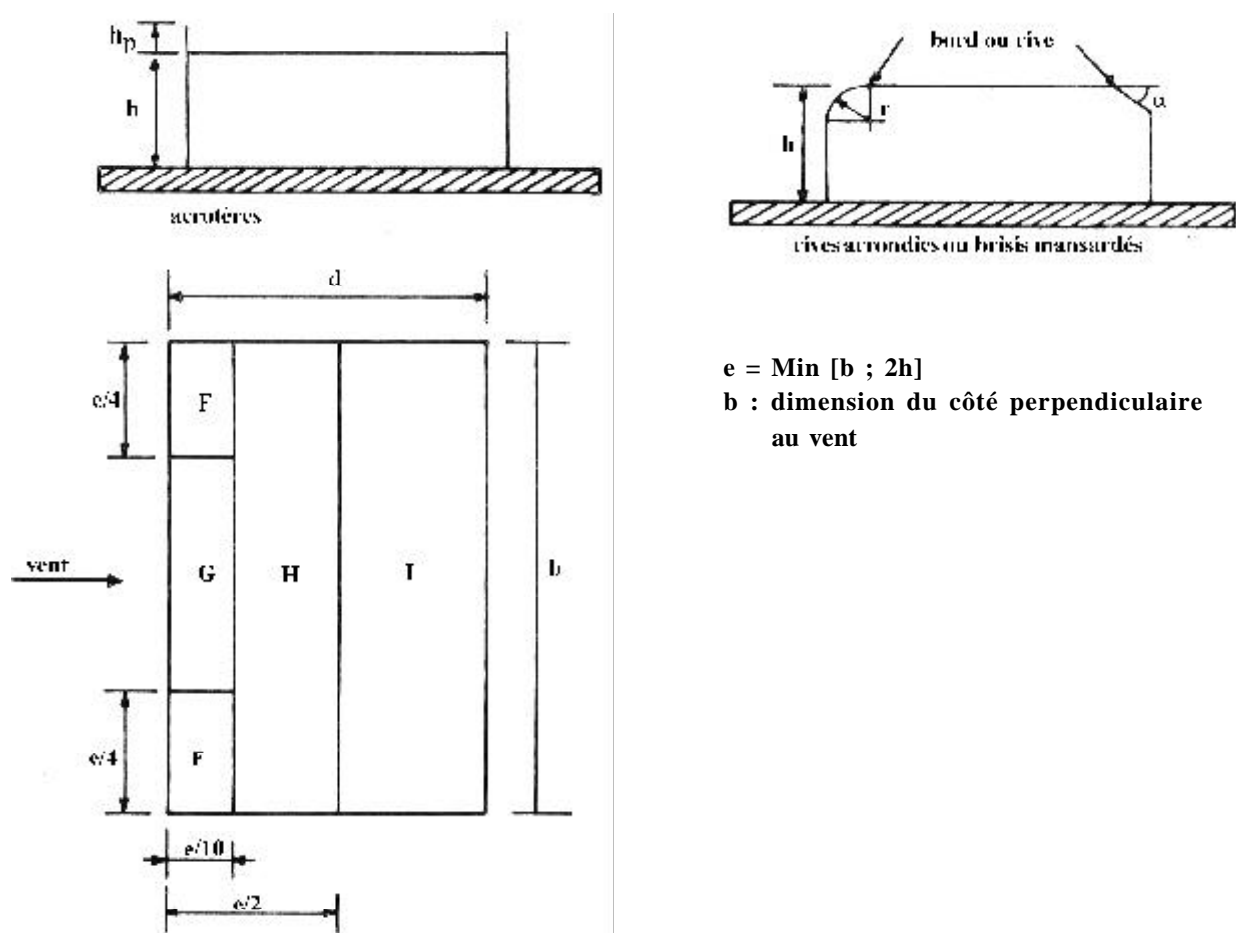


Figure 5.2 : Légende pour les toitures plates

		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		- 1,8	-2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,7	-1,2	$\pm 0,2$	
avec acrotères	$h_p/h = 0,025$	- 1,6	- 2,2	- 1,1	- 1,8	- 0,7	-1,2	$\pm 0,2$	
	$h_p/h = 0,05$	- 1,4	- 2,0	- 0,9	- 1,6	- 0,7	-1,2	$\pm 0,2$	
	$h_p/h = 0,10$	- 1,2	- 1,8	- 0,8	- 1,4	- 0,7	-1,2	$\pm 0,2$	
rives arrondies	$r/h = 0,05$	- 1,0	- 1,5	- 1,2	- 1,8	- 0,4		$\pm 0,2$	
	$r/h = 0,10$	- 0,7	- 1,2	- 0,8	- 1,4	- 0,3		$\pm 0,2$	
	$r/h = 0,20$	- 0,5	- 0,8	- 0,5	- 0,8	- 0,3		$\pm 0,2$	
brisis mansardés	$\alpha = 30^\circ$	- 1,0	- 1,5	- 1,0	- 1,5	- 0,3		$\pm 0,2$	
	$\alpha = 45^\circ$	- 1,2	- 1,8	- 1,3	- 1,9	- 0,4		$\pm 0,2$	
	$\alpha = 60^\circ$	- 1,3	- 1,9	- 1,3	- 1,9	- 0,5		$\pm 0,2$	

Tableau 5.2 : Coefficients de pression extérieure des toitures plates

#### Notes pour le tableau 5.2

- Pour les toitures avec acrotères ou rives arrondies, une interpolation linéaire peut être faite pour les valeurs intermédiaires de  $h_p/h$  et  $r/h$ .
- Pour les toitures à brisis mansardés, l'interpolation linéaire est admise entre  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$  et  $\alpha = 60^\circ$ . Pour  $\alpha > 60^\circ$ , l'interpolation linéaire est faite entre les valeurs de  $\alpha = 60^\circ$  et celles correspondant à des toitures plates à arêtes vives.
- En zone I, où les valeurs indiquées sont positives et négatives, chacune des valeurs doit être considérée.
- Pour le brisis mansardé lui-même, les coefficients de pression externe sont donnés par le tableau 5.4 pour  $\theta = 0^\circ$ , zones F et G, en fonction de l'angle du brisis.
- Pour la rive arrondie elle-même, les coefficients de pression externe sont déterminés par interpolation linéaire le long de l'arrondi, entre les valeurs de la paroi verticale et celles de la toiture.

#### 1.1.4. Toitures à un versant :

##### 1.1.4.1. La direction du vent est définie par un angle $\theta$ (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).

1.1.4.2. 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.

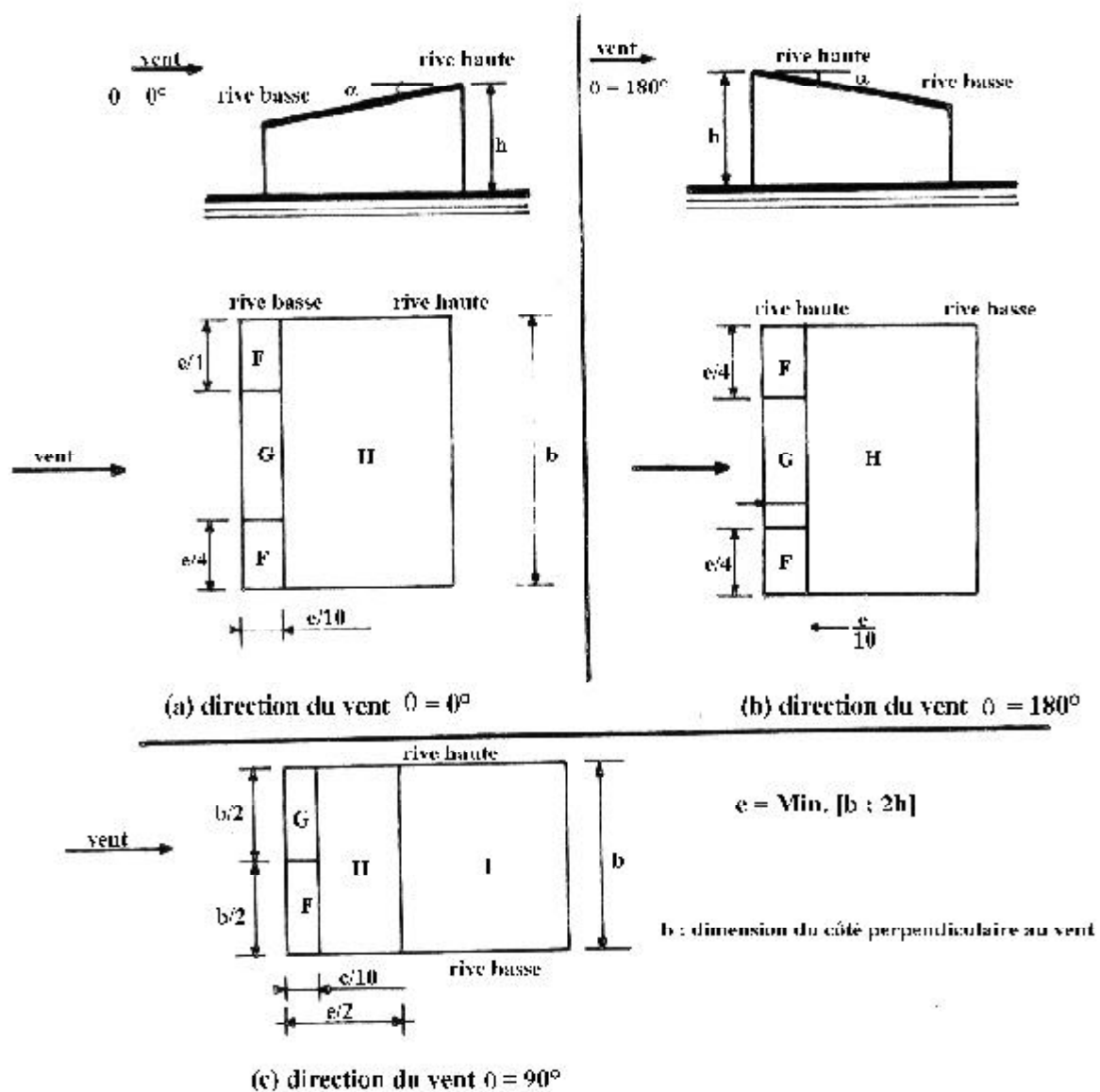


Figure 5.3. : Légende pour les toitures à un versant

Pente $\alpha$	Zones pour vents de direction $\theta = 0^\circ$						Zones pour vents de direction $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
$5^\circ$	- 1,7	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,6	- 1,2	- 2,3	- 2,5	- 1,3	- 2,0	- 0,8	- 1,2
$15^\circ$	- 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							
$30^\circ$	- 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							
$45^\circ$	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,6		- 0,6	- 1,3	- 0,5		- 0,7	
$60^\circ$	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,7		- 0,5	- 1,0	- 0,5		- 0,5	
$75^\circ$	+ 0,8		+ 0,8		+ 0,8		- 0,5	- 1,0	- 0,5		- 0,5	

Pente $\alpha$	Zones pour vent de direction $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
$5^\circ$	-1,6	-2,2	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
$15^\circ$	-1,3	-2,0	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
$30^\circ$	-1,2	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
$45^\circ$	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
$60^\circ$	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
$75^\circ$	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

*Tableau 5.3 : Coefficients de pression extérieure pour toitures  
à un versant vent de direction  $q = 0^\circ$ ,  $q = 90^\circ$  et  $q = 180^\circ$*

#### Notes pour le tableau 5.3

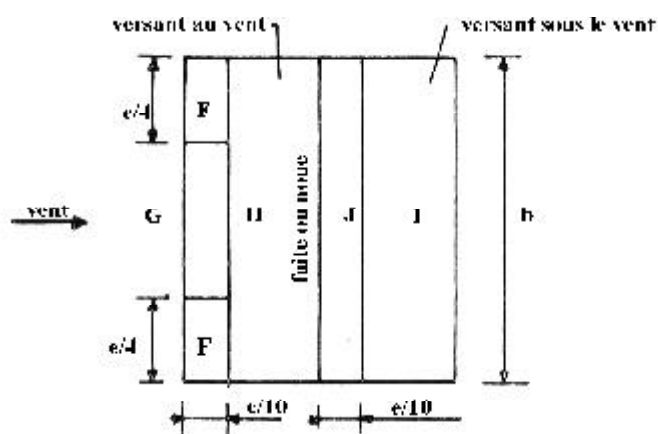
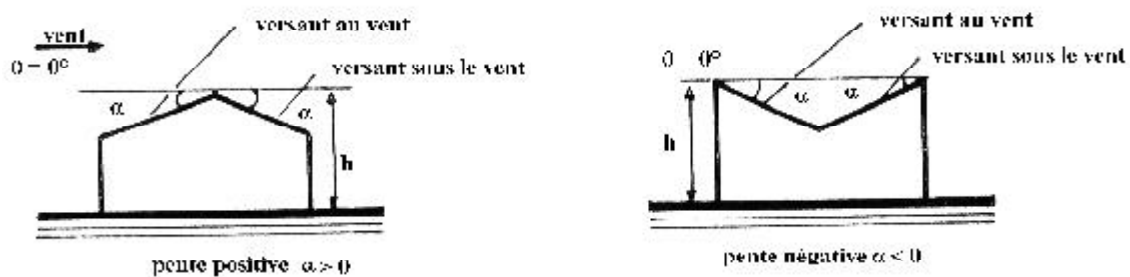
- Quand  $\theta = 0^\circ$ , la pression passe rapidement de valeurs positives à des valeurs négatives pour des pentes  $\alpha$  de l'ordre de  $15^\circ$  à  $30^\circ$ . C'est la raison pour laquelle des valeurs positives et négatives sont données pour ces pentes.
- Pour les pentes intermédiaires, l'interpolation linéaire entre valeurs de même signe est admise.

#### 1.1.5. Toitures à deux versants :

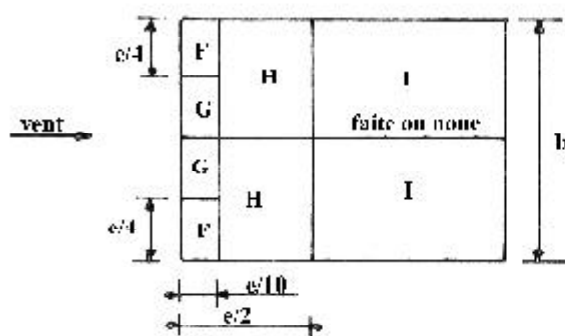
##### 1.1.5.1. La direction du vent est définie par un angle $q$ (voir figure 5.4) :

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

##### 1.1.5.2. 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  $0 - 40^\circ$



(b) direction du vent  $0 - 90^\circ$

$$e = \text{Min. } [b ; 2h]$$

$b$  : dimension du côté perpendiculaire au vent

Figure 5.4 : Légende pour les toitures à deux versants

Pente $\alpha$	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	-0,3		-0,3	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,3	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+ 0,2		+ 0,2		+ 0,2					
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	- 0,2		-0,4		-0,5	
	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,4					
45°	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,6		-0,2		-0,3	
60°	+ 0,7		+ 0,7		+ 0,7		-0,2		-0,3	
75°	+ 0,8		+ 0,8		+ 0,8		-0,2		-0,3	

Pente $\alpha$	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	-0,5	
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  $\alpha$  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. § 1.1.3).
- Pour les toitures dissymétriques, les coefficients de pression sont toujours déterminés par la pente du versant au vent.



## 2. COEFFICIENTS DE PRESSION INTERIEURE

### 2.1. Principes et définitions :

2.1.1. On définit l'indice de perméabilité  $\mu_p$  comme suit :

$$\mu_p = \frac{\sum \text{des surfaces des ouvertures sous le vent et parallèles au vent}}{\sum \text{des surfaces de toutes les ouvertures}}$$

*Les ouvertures considérées ici sont les orifices de toutes natures débouchant sur l'extérieur et au travers desquelles l'air peut circuler.*

2.1.2. Pour une combinaison quelconque d'ouvertures, les valeurs les plus défavorables doivent être prises en compte.

2.1.3. 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).

*Dans le cas d'une paroi verticale ou horizontale, présentant une couche d'air intermédiaire (faux-plafond, bardage par exemple), l'action du vent sur la partie extérieure ou intérieure de la paroi peut se calculer en considérant un coefficient de pression intérieure dans la couche d'air intermédiaire. Toute méthode connue qui prend en compte les pressions dans les lames d'air peut être utilisée.*

### 2.2. Valeurs du coefficient de pression intérieure :

2.2.1. Le coefficient de pression intérieure  $C_{pi}$  des bâtiments sans cloisons intérieures (hall industriel par exemple) est donné par la figure 5.15 en fonction de l'indice de perméabilité  $\mu_p$  (cf. § 2.1.1).

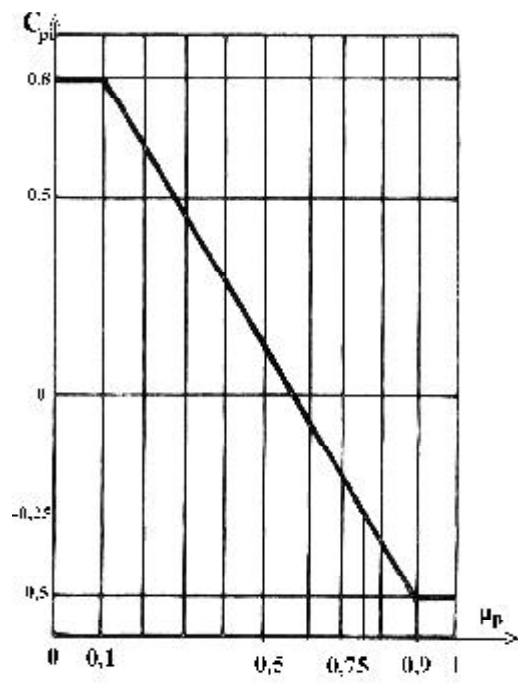


Figure 5.15. :  $C_{pi}$  pour les bâtiments sans cloisons intérieures

Dans le cas des bâtiments sans cloisons intérieures pour lesquels  $\mu_p$  ne peut être déterminé (dossier technique incomplet par exemple), les valeurs extrêmes suivantes peuvent être utilisées :  $C_{pi} = 0,8$  et  $C_{pi} = -0,5$ .

**2.2.2.** Dans le cas de bâtiments avec cloisons intérieures, les valeurs suivantes doivent être utilisées :  $C_{pi} = 0,8$  et  $C_{pi} = -0,5$ .

**2.2.3.** Dans le cas d'une construction étanche au vent (dont les parois extérieures ne comportent aucune ouverture, et sont faites de matériaux ne laissant pas passer l'air, ni du fait des joints ni du fait de la porosité, par exemple ouvrages de stockage), on prendra  $C_{pi} = 0$ .

## 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,  $V_{réf}$ , 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).

Trois zones de vent ont été définies (zones I, II et III), et les valeurs correspondantes de la vitesse de référence qui ont servi à leur détermination sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Zone	$V_{réf}$ (m/s)
I	25
II	28
III	31

*Tableau A1.1 : Valeurs de la vitesse de référence du vent*

### ZONE I

AIN DEFLA	EL OUED	SETIF
AIN TEMOUCHENT	GUELMA	SIDI BEL ABBES
ALGER	ILLIZI	SKIKDA
ANNABA	JIJEL	SOUK AHRAS
BATNA	KHENCHELA	TAMANGHASSET
BEDJAIA	MASCARA	TARF
BISKRA	MEDEA	TEBESSA
BLIDA	MILA	TISSEMSILT
BORDJ BOU ARIRIDJ	MOSTAGANEM	TIPAZA
BOUIRA	ORAN	TIZI OUZOU
BOUMERDES	OUM EL BOUAGUI	TLEMCEN
CHLEF	RELIZANE	
CONSTANTINE	SAIDA	

### ZONE II

ADRAR	GHARDAIA	OUARGLA
BECHAR	M'SILA*	TIARET
EL BAYADH	NAAMA	TINDOUF

### ZONE III

DJELFA
LAGHOUAT
M'SILA : communes de Ain El Malh, Djebel Messad et Slim.

**EXEMPLE 1**  
**BATIMENT INDUSTRIEL (Action de Neige)**

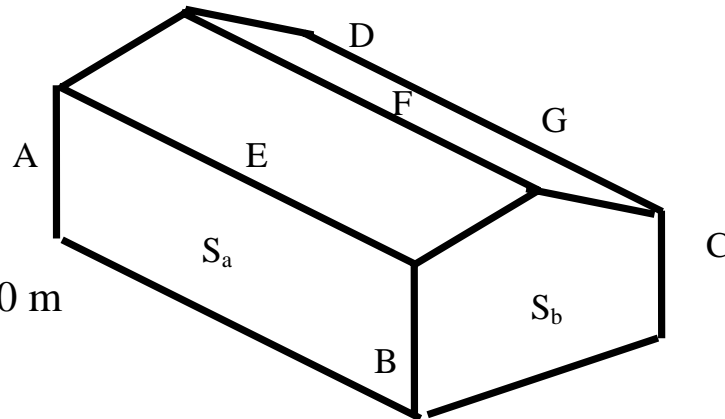
Calcul de l'action de la neige pour la construction de la figure ci-dessous.

**Données :**

$\alpha \cong 11^\circ$

Zone A

Altitude  $H = 1000 \text{ m}$



**1- Charge de neige sur le sol :**

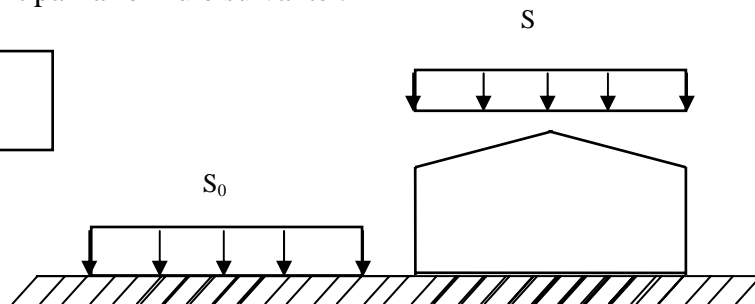
- Zone A :  $s_0 = 70H + 15$   
H en km. et  $S_0$  en  $\text{kg/m}^2$

$$S_0 = 70 \times 1.0 + 15 = 85 \text{ kg/m}^2$$

**2- Charge de neige sur la toiture :**

La charge minimale de neige **S** par unité de surface horizontale de toiture ou de toute autre surface soumise à l'accumulation de la neige s'obtient par la formule suivante :

$$S = \mu \cdot S_0$$



où :

$S_0$  : Charges de neiges sur le sol en  $\text{kg/m}^2$

$S$  : Charges de neiges sur le toit en  $\text{kg/m}^2$

$\mu$  : Coefficient de forme.(déterminé en fonction de la forme de la toiture).

**Cas de charge :**

Charge de neige répartie sans redistribution par le vent.

Versants symétriques :

$$0^\circ < \alpha_1 = \alpha_2 = 11^\circ \leq 15^\circ$$

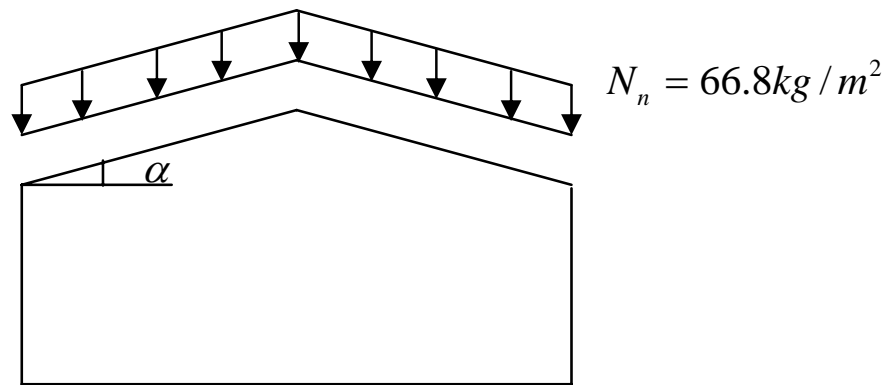
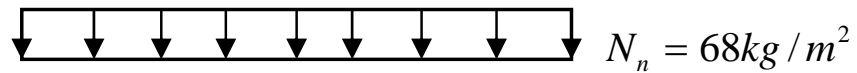
$$\mu_1 = \mu_2 = 0.8$$

$$S = \mu \cdot S_0 = 0.8 \times 85 = 68 \text{ kg/m}^2 \quad : \quad \text{par projection horizontale}$$

$$S = 68 \cos 11^\circ = 66.8 \text{ kg/m}^2 \quad : \quad \text{suivant rampant}$$

**Remarque :**

- La charge de neige  $s$  en  $[\text{kg/m}^2]$  est équivalente à la charge de neige normale  $N_n$  :  $N_n = s = 68 \text{ kg/m}^2$
- La charge de neige extrême  $N_e$  est égale à  $5/3$  la charge de neige normale  $N_n$  :  $N_e = \frac{5}{3} N_n = \frac{5}{3} \times 68 = 113.4 \text{ kg/m}^2$



## EXEMPLE 2 BATIMENT INDUSTRIEL (Action de vent)

### 1. PRESENTATION GENERALE

Il s'agit de déterminer les actions du vent s'exerçant sur le bâtiment industriel en structure métallique présenté à la figure E1.1 pour un vent perpendiculaire :

- au long-pan sans ouvertures (sens V1 du vent) ;
- au pignon (sens V2 du vent).

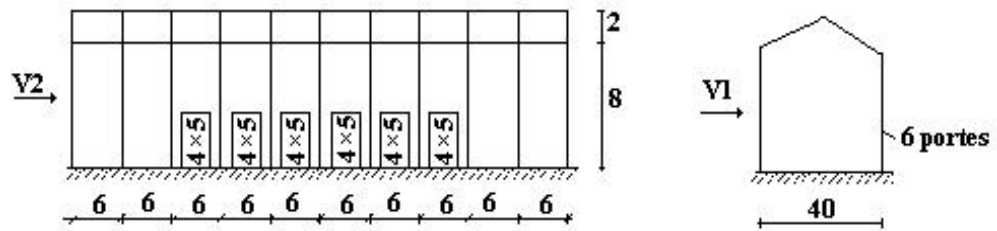


Figure E1.1 : Données géométriques

Données relatives au site :

- Site plat :  $C_t(z) = 1$  (cf. chapitre 2, § 4.3) ;
- Zone I :  $q_{\text{réf}} = 375 \text{ N/m}^2$  (cf. tableau 2.3) ;
- Terrain de catégorie III :  $K_T = 0,22$  ;  $z_0 = 0,3 \text{ m}$  ;  $z_{\text{min}} = 8 \text{ m}$  (cf. tableau 2.4).

**N.B.** : Les fenêtres seront considérées fermées. Les portes seront considérées ouvertes.

### 2. DETERMINATION DU COEFFICIENT DYNAMIQUE $C_d$

La structure du bâtiment étant métallique, on utilise la figure 3.2 donnée au chapitre 3. On doit déterminer la valeur de  $C_d$  pour chaque direction du vent :

- vent perpendiculaire au long-pan (sens V1 du vent) : la lecture pour  $h = 10 \text{ m}$  et  $b = 60 \text{ m}$  donne  $C_d \approx 0,88$  ;
- vent perpendiculaire au pignon (sens V2 du vent) : la lecture pour  $h = 10 \text{ m}$  et  $b = 40 \text{ m}$  donne  $C_d \approx 0,91$ .

La structure sera donc considérée comme peu sensible aux excitations dynamiques dans les deux directions du vent. Le coefficient d'exposition sera donc calculé à l'aide de la formule 2.13 du chapitre 2.

### 3. DETERMINATION DE LA PRESION DYNAMIQUE $q_{dyn}$

La structure est de hauteur totale  $\leq 10$  m. Il n'y a donc pas lieu de subdiviser le maître-couple (cf. chapitre 2, § 3.1.1). On calculera donc la pression dynamique :

- à  $z = 10$  m pour la toiture (cf. chapitre 2, § 3.2),
- à  $z = 4$  m pour les parois verticales (c'est à dire à mi-hauteur, cf. chapitre 2, § 3.2).

#### 3.1. Coefficient de rugosité

Le coefficient de rugosité est donné ci-dessous (cf. chapitre 2, formule 2.15) :

$$C_r(10) = 0,22 \times \ln\left(\frac{10}{0,3}\right) = 0,771 \text{ (toiture)}$$
$$C_r(4) = 0,22 \times \ln\left(\frac{8}{0,3}\right) = 0,722 \text{ (parois verticales).}$$

**Remarque :** Le coefficient de rugosité à  $z = 4$  m pour les parois verticales est calculé en introduisant dans la formule 2.15  $z = z_{min} = 8$  m.

#### 3.2. Coefficient d'exposition

Le coefficient d'exposition est donné ci-dessous (cf. chapitre 2, formule 2.13) :

$$C_e(10) = 1^2 \times 0,771^2 \times \left[ 1 + \frac{7 \times 0,22}{0,771 \times 1} \right] = 1,781 \text{ (toiture)}$$
$$C_e(4) = 1^2 \times 0,722^2 \times \left[ 1 + \frac{7 \times 0,22}{0,722 \times 1} \right] = 1,633 \text{ (parois verticales)}$$

#### 3.3. Valeur de la pression dynamique

La pression dynamique est donnée ci-dessous (cf. chapitre 2, formule 2.12) :

$$q_{dyn}(10) = 375 \times 1,781 = 670 \text{ N/m}^2 \text{ (toiture)}$$
$$q_{dyn}(4) = 375 \times 1,633 = 615 \text{ N/m}^2 \text{ (parois verticales).}$$

### 4. VENT PERPENDICULAIRE AU LONG-PAN SANS OUVERTURES (DIRECTION V1)

#### 4.1. Coefficients de pression extérieure $C_{pe}$

- **Parois verticales**

On se réfère au paragraphe 1.1.2. du chapitre 5 : à la figure 5.1 pour déterminer les différentes zones de pression, et au tableau 5.1 pour tirer les valeurs des coefficients  $C_{pe}$ .

Pour cette direction du vent (V1, voir figure E1.1),  $b = 60$  m,  $d = 40$  m,  $h = 10$  m,  $e = \text{Min. } [60 ; 2 \times 10] = 20$  m. Les zones de pression et les valeurs respectives des coefficients correspondant à ces zones sont portées sur la figure E1.2.

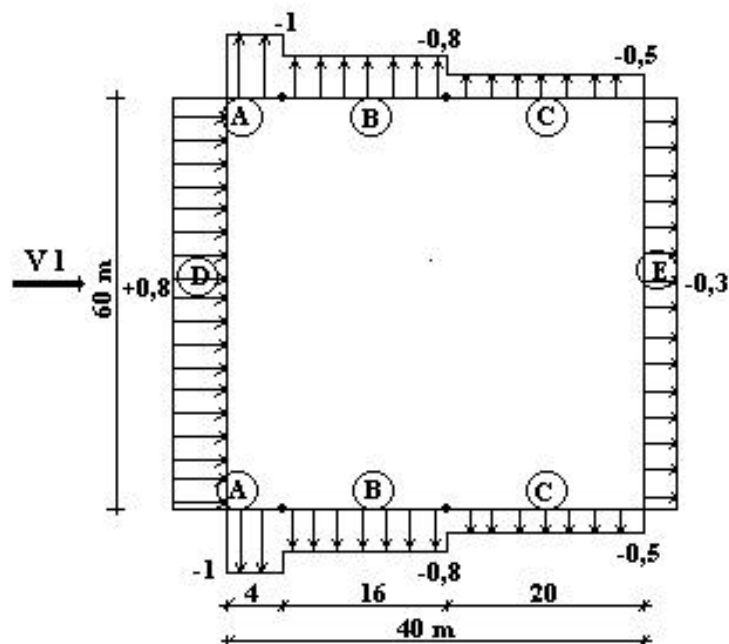


Figure E1.2 : Valeurs de  $C_{pe}$  pour les parois verticales - Direction V1 du vent

- **Toiture**

On se réfère au paragraphe 1.1.5. du chapitre 5 : la direction du vent est définie par un angle  $\theta = 0^\circ$  (cf. chapitre 5, § 1.1.5.1) ; les différentes zones de pression sont données par la figure 5.4, les valeurs des coefficients  $C_{pe}$  ( $\theta = 0^\circ$  et  $\alpha = 5^\circ$ ) sont tirées du tableau 5.4. Les zones de pression et les valeurs respectives des coefficients de pression sont portées sur la figure E1.3.

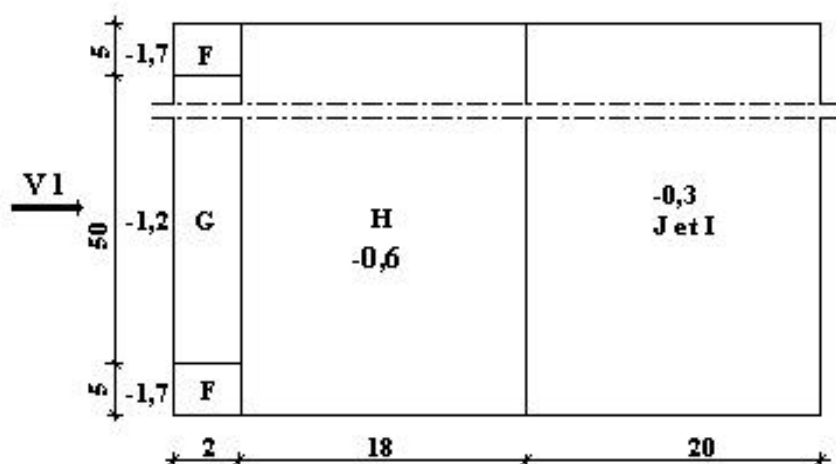


Figure E1.3 : Valeurs de  $C_{pe}$  pour la toiture - Direction V1 du vent

#### 4.2. Coefficient de pression intérieure $C_{pi}$

On détermine tout d'abord l'indice de perméabilité  $\mu_p$  (cf. chapitre 5, § 2.1.1).

$\mu_p = 120 / 120 = 1$ .  $C_{pi}$  est tiré de la figure 5.15 ;  $C_{pi} = -0,5$ .

#### 4.3. Calcul des pressions

Les pressions  $q_j$  sont calculées à l'aide des formules 2.1 et 2.2, ce qui donne :

$$q_j = C_d \times q_{dyn}(z_j) \times [C_{pe} - C_{pi}]$$

- **Parois verticales**

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après.

zone	$C_d$	$q_{dyn}$ (N/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$q_j$ (N/m <sup>2</sup> )
D	0,88	615	0,8	-0,5	+702
A	0,88	615	-1	-0,5	-270
B	0,88	615	-0,8	-0,5	-162
C	0,88	615	-0,5	-0,5	0
E	0,88	615	-0,3	-0,5	+108

Tableau E1.1 : Pressions sur les parois verticales - Direction VI du vent

- **Toiture**

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après.

zone	$C_d$	$q_{dyn}$ (N/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$q_j$ (N/m <sup>2</sup> )
F	0,88	670	-1,7	-0,5	-710
G	0,88	670	-1,2	-0,5	-415
H	0,88	670	-0,6	-0,5	-60
I	0,88	670	-0,3	-0,5	+120
J	0,88	670	-0,3	-0,5	+120

Tableau E1.2 : Pressions sur la toiture - Direction VI du vent



Les figures ci-après illustrent la répartition des pressions sur les parois dans la direction du vent V1.

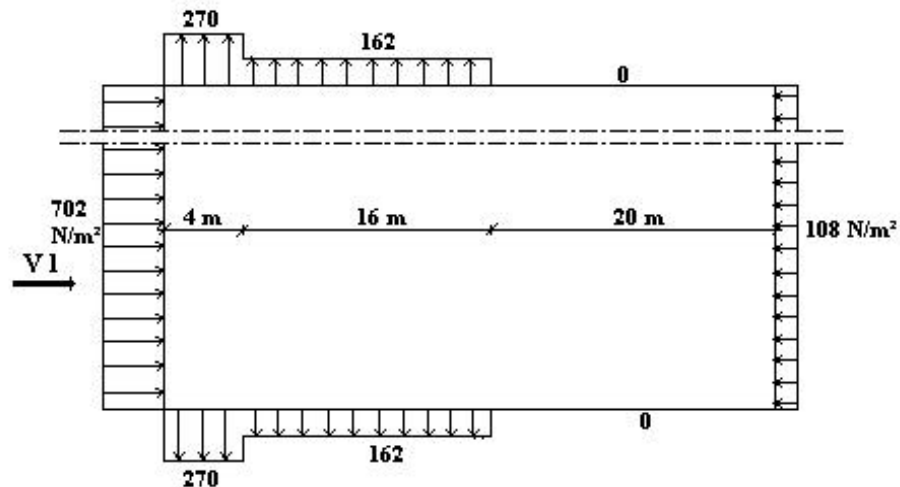


Figure E1.4 : Répartition des pressions sur les parois verticales - Direction du vent V1

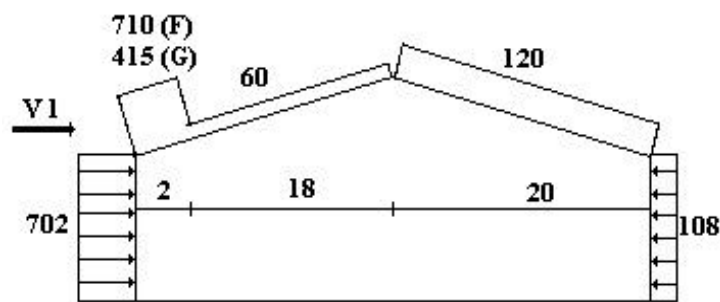


Figure E1.5 : Répartition des pressions sur la toiture - Direction du vent V1

## 5. VENT PERPENDICULAIRE AU PIGNON (DIRECTION V2)

### 5.1. Coefficients de pression extérieure $C_{pe}$

#### • Parois verticales

On se réfère au paragraphe 1.1.2. du chapitre 5 :

- à la figure 5.1 pour déterminer les différentes zones de pression,
- au tableau 5.1 pour tirer les valeurs des coefficients  $C_{pe}$ .

Pour cette direction du vent,  $b = 40$  m,  $d = 60$  m,  $h = 10$  m,  $e = \text{Min. } [40 ; 2 \times 10] = 20$  m. Les zones de pression et les valeurs respectives des coefficients correspondant à ces zones sont portées sur la figure E1.6.

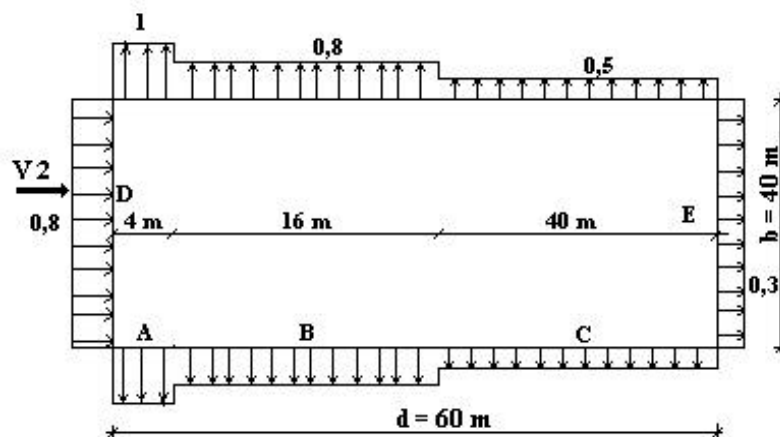


Figure E1.6 : Valeurs de  $C_{pe}$  sur les parois verticales - Direction du vent V2

- **Toiture**

On se réfère au paragraphe 1.1.5. du chapitre 5 : la direction du vent est définie pour un angle  $\theta = 90^\circ$  (cf. chapitre 5, § 1.1.5.1) ; la figure 5.4 permet de déterminer les différentes zones de pression ; les valeurs des coefficients  $C_{pe}$  sont tirées du tableau 5.4 ( $\theta = 90^\circ$  et  $\alpha = 5^\circ$ ). Les zones de pression et les valeurs respectives des coefficients correspondant à ces zones sont portées sur la figure E1.7 (dans notre cas,  $b = 40$  m,  $d = 60$  m,  $h = 10$  m,  $e = \text{Min. } [40 ; 2 \times 10] = 20$  m.).

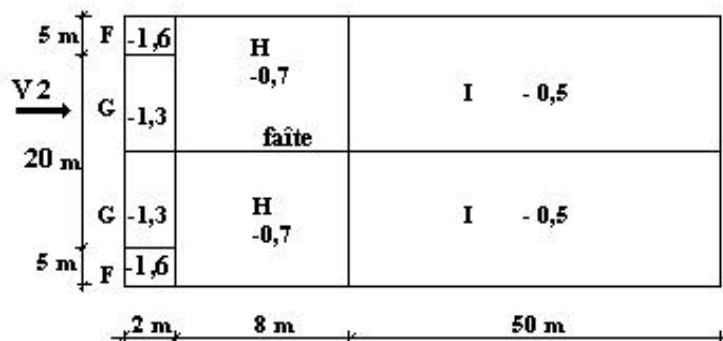


Figure E1.7 : Valeurs de  $C_{pe}$  pour la toiture - Direction du vent V2

## 5.2. Coefficient de pression intérieure $C_{pi}$

On détermine tout d'abord l'indice de perméabilité  $\mu_p$  (cf. chapitre 5, § 2.1.1).

$\mu_p = 120 / 120 = 1$ .  $C_{pi}$  est tiré de la figure 5.15 ;  $C_{pi} = - 0,5$ .

### 4.3. Calcul des pressions

- **Parois verticales**

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après.

Zone	$C_d$	$q_{dyn}$ (N/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$q_i$ (N/m <sup>2</sup> )
D	0,91	615	+0,8	-0,5	+726
A	0,91	615	-1	-0,5	-279
B	0,91	615	-0,8	-0,5	-168
C	0,91	615	-0,5	-0,5	0
E	0,91	615	-0,3	-0,5	+112

Tableau E1.3 : Pressions sur les parois verticales - Direction V2 du vent

- **Toiture**

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après.

zone	$C_d$	$q_{dyn}$ (N/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$q_i$ (N/m <sup>2</sup> )
F	0,91	670	-1,6	-0,5	-671
G	0,91	670	-1,3	-0,5	-488
H	0,91	670	-0,7	-0,5	-122
I	0,91	670	-0,5	-0,5	0

Tableau E1.4 : Pressions sur la toiture - Direction V2 du vent

### 5.3. Forces de frottement

L'une des conditions ( $d/h = 60 / 10 = 6 > 3$ ) donnée au chapitre 2, § 1.4.2 est vérifiée. Il y a lieu de considérer les forces de frottement. On prendra le cas d'un bardage en toiture et au niveau des parois verticales dont les ondulations sont perpendiculaires à la direction du vent ( $C_{fr} = 0,04$ , cf. tableau 2.1). La force de frottement est donnée par la formule 2.8 :

$$\text{Toiture : } F_{fr, \text{toiture}} = 670 \times 0,04 \times (60 \times 2 \times 20,10) = 64,64 \text{ KN}$$

$$\text{Parois verticales : } F_{fr, p. \text{ verticales}} = 615 \times 0,04 \times (60 \times 2 \times 8) = 23,61 \text{ KN}$$

$$F_{fr} = 64,64 + 23,61 = 88,25 \text{ KN}$$

**N.B.** : L'aire de frottement pour la toiture est déterminée en introduisant la longueur du développé de la toiture, soit  $20/\cos(5,71^\circ) = 20,10 \text{ m}$ .

#### 5.4. Actions d'ensemble

Les valeurs des forces parallèles à la direction du vent et les forces verticales qui s'exercent sur la construction sont données dans le tableau ci-après.

Zone	Composante Horizontale (KN)	Composante Verticale (KN)
D	$726 \times 40 \times 8 = 232,32$ $670 \times 0,91 \times 1,3 \times [(40 \times 2)/2] = 31,70$	= 0
E	$112 \times 40 \times 8 = -35,84$ $670 \times 0,91 \times 0,2 \times [(40 \times 2)/2] = -4,88$	= 0
F	= 0	$671 \times 2 \times 5 \times 2 \times \cos(5,71)$ = 13,35
G	= 0	$488 \times 20 \times 2 \times 2 \times \cos(5,71)$ = 38,84
H	= 0	$122 \times 8 \times 40 \times \cos(5,71)$ = 38,85
I	= 0	= 0
$F_{fr}$	88,25	0
	$R_x = 311,55$	$R_z = 91,04$

Tableau E1.5 : Valeurs des résultantes - Vent de direction V2

**Note pour le tableau E1.5 :** Les zones D et E intègrent la partie rectangulaire et la partie triangulaire du pignon.

**Remarque :** L'excentricité de la force globale horizontale  $R_x$  doit être prise égale  $e = \pm 4$  m (cf. chapitre 2, § 2.2.2).

#### 5- Exemple d'application :

Calcul de l'action de la neige pour la construction de la figure ci-dessous.

**Données :**

