

# Charges & actions sur les structures du génie civil

version du 30/09/2020

## 1 Préambule

Les règlements "neige et vent" en vigueur concernés par ce cours sont :

- règles nationales : NV 65 modifiée en 1999 et N 84 modifiées en 1995.
- règles européennes : Eurocode 1 : ENV 1991-1-1 ; ENV 1991-1-3 ; ENV 1991-1-4...
- additif nationaux : NF EN 1991-1-3/NA (mai 2007)...



The screenshot shows the Reef 4 website interface. At the top, there are navigation icons for 'En direct avec l'actualité', 'Moteur de recherche', 'Assistant graphique', 'Catalogues', 'Dossiers', 'Liens Utiles', and 'Aide'. Below this is a breadcrumb trail: 'Retour Accueil > Catalogues > Par type > Commentaire'. The main content area is titled 'EUROCODE 1 : Actions sur les structures' and contains a table with the following data:

EUROCODE 1 : Actions sur les structures		
NF EN 1991-1-1 (mars 2003) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-1 : Actions générales - Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments (P06-111-1)	NF P06-111-2 (juin 2004)	Remplace partiellement : NF P06-001 (juin 1986) et NF P06-004 (mai 1977)
NF EN 1991-1-2 (juillet 2003) : Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 1-2 : Actions générales - Actions sur les structures exposées au feu (P06-112-1)	NF EN 1991-1-2/NA (février 2007)	
NF EN 1991-1-3 (avril 2004) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige (P06-113-1)	NF EN 1991-1-3/NA (mai 2007)	Remplacera ultérieurement les Règles neige et vent : Règles NV 65 (DTU P06-002) (avril 2000) et Règles N 84 (DTU P06-006) (septembre 1996)
NF EN 1991-1-4 (novembre 2005) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-4 : Actions générales - Actions du vent (P06-114-1)	NF EN 1991-1-4/NA (mars 2008)	Remplacera ultérieurement la Règles neige et vent : Règles NV 65 (DTU P06-002) (avril 2000)
NF EN 1991-1-5 (mai 2004) : Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 1-5 : Actions générales - Actions thermiques (P06-115-1)	NF EN 1991-1-5/NA (février 2008)	
NF EN 1991-1-6 (novembre 2005) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-6 : Actions générales - Actions en cours d'exécution (P06-116-1)	NF EN 1991-1-6/NA (mars 2009)	
NF EN 1991-1-7 (février 2007) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-7 : Actions générales - Actions accidentelles (P06-117)	NF EN 1991-1-7/NA (septembre 2008)	
NF EN 1991-2 (mars 2004) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 2 : Actions sur les ponts, dues au trafic (P06-120-1)	NF EN 1991-2/NA (mars 2008)	
NF EN 1991-3 (avril 2007) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 3 : Actions induites par les appareils de levage et les machines (P06-130)	NF EN 1991-3/NA (janvier 2010)	
NF EN 1991-4 (mai 2007) : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 4 : Silos et réservoirs (P06-140-1)	NF EN 1991-4/NA (novembre 2007)	Remplacera ultérieurement : P22-630 (janvier 1992)

### Contenu de l'Eurocode 1.

Ce cours est illustré de façon incomplète par des extraits des Eurocodes et additifs nationaux. Ces textes étant en perpétuelles mutations, **il conviendra au projeteur de prendre ses informations à la source** des dernières versions de ces documents.

## 2 Charges permanentes

### 2.1 Poids propre des éléments de structure

Le poids volumique des matériaux de construction à prendre en compte pour la base des calculs sont réglementés. On prendra par exemples :

24 KN/m<sup>3</sup> pour un béton normal durci, 1 KN/m<sup>3</sup> supplémentaire s'il est non durci,

25 KN/m<sup>3</sup> pour un béton armé et précontraint,

21 KN/m<sup>3</sup> pour des éléments pleins en terre cuite,

de 21 à 27 KN/m<sup>3</sup> pour les grès,

77 KN/m<sup>3</sup> pour l'acier,

25 KN/m<sup>3</sup> pour le verre en feuilles,

de 6 à 8.5 KN/m<sup>3</sup> pour les livres et documents en papier,

8.3 KN/m<sup>3</sup> pour les pommes en vrac,

25 KN/m<sup>3</sup> pour le verre en feuilles,

etc.

## 2.2 *Éléments non structuraux fixes ou intégrés*

Les éléments non structuraux, fixes ou intégrés à inclure dans les charges permanentes sont : les toitures, les revêtements de sol et muraux, les cloisons non porteuses, les doublages, les garde-corps, les barrières, les parapets, les bordures, les bardages, les faux-plafonds, les isolations, les équipements fixes, la terre, le ballast, les ascenseurs, les escaliers roulants, les appareils de chauffage, de ventilation, de conditionnement d'air, les tuyauteries (sans leur contenu), les appareillages électriques, les réseaux de câbles et leurs gaines.

## 3 Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation concernent l'occupation des locaux : personnes, meubles, véhicules. Il convient de considérer des situations exceptionnelles telles que concentration de personnes. Elles sont modélisées par des charges réparties (personnes par exemple) ou des charges concentrées (machines par exemple) ou la combinaison des deux. Par exemple, selon l'Eurocode 1, pour des bureaux, il faudra considérer  $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$  pour les charges réparties et  $Q_k = 2 \text{ kN}$  pour une étagère. Pour des maisons d'habitation, on prendra  $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$  et  $Q_k = 2 \text{ kN}$ .

Des actions horizontales sur les garde corps et mains courantes doivent aussi être considérées, par exemple  $q_k = 0.5 \text{ kN/m}$  pour des maisons d'habitation.

Les extraits ci-après illustrent la manière dont les informations sont fournies et précisent les spécifications nationales.

### 6.3.1 Bâtiments résidentiels, sociaux, commerciaux ou administratifs

#### 6.3.1.1 Catégories

(1)P Les surfaces des bâtiments résidentiels, sociaux, commerciaux ou administratifs doivent être classés selon leur usage spécifique, comme indiqué dans le Tableau 6.1 .

(2)P Indépendamment de cette classification, les effets dynamiques doivent être pris en compte dès lors qu'on s'attend à ce que l'occupation des locaux produise des effets dynamiques significatifs (voir 2.2(3) et (5)P ).

Catégorie	Usage spécifique	Exemples
A	Habitation, résidentiel	Pièces des bâtiments et maisons d'habitation ; chambres et salles des hôpitaux ;  chambres d'hôtels et de foyers ; cuisines et sanitaires.
B	Bureaux	
C	Lieux de réunion (à l'exception des surfaces des catégories A, B et D <sup>a)</sup> )	<b>C1</b> : Espaces équipés de tables etc., par exemple : écoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salles de lecture, salles de réception  <b>C2</b> : Espaces équipés de sièges fixes, par exemple : églises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente  <b>C3</b> : Espaces ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes, par exemple : salles de musée, salles d'exposition etc. et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux, gares  <b>C4</b> : Espaces permettant des activités physiques, par exemple : dancings, salles de gymnastique, scènes  <b>C5</b> : Espaces susceptibles d'accueillir des foules importantes, par exemple : bâtiments destinés à des événements publics tels que salles de concert, salles de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare
D	Commerces	<b>D1</b> : Commerces de détail courants  <b>D2</b> : Grands magasins
<p><i>a) On attire l'attention sur l'alinéa 6.3.1.1(2), notamment pour C4 et C5. Voir EN 1990 lorsque les effets dynamiques doivent être pris en considération. Pour la catégorie E, voir Tableau 6.3.</i></p> <p>NOTE 1 Selon l'usage prévu, les surfaces devant être classées a priori C2, C3 ou C4 peuvent être classées C5 par décision du client et/ou d'une Annexe Nationale.</p> <p>NOTE 2 L'Annexe Nationale peut définir des sous-catégories pour A, B, C1 à C5, D1 et D2.</p> <p>NOTE 3 Voir 6.3.2 pour les aires de stockage et les locaux industriels.</p>		

Tableau 6.1 Catégories d'usages

**Extrait de l'Eurocode NF EN 1991-1-1(P 06-111-1)**

NOTE

Des valeurs de  $q_k$  et de  $Q_k$  sont données dans le Tableau 6.2 ci-dessous. Lorsque ce tableau indique une fourchette de valeurs, la valeur à retenir peut être fixée par l'Annexe Nationale. Les valeurs recommandées pour une application séparée de la charge uniformément répartie et de la charge concentrée, sont soulignées.  $q_k$  est destinée à la détermination des effets généraux et  $Q_k$  à celle des effets localisés. L'Annexe Nationale peut définir des conditions d'utilisation différentes pour ce tableau.

Catégorie de la surface chargée	$q_k$	$Q_k$
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]
<b>Catégorie A</b>		
— Planchers	1,5 à 2,0	2,0 à 3,0
— Escaliers	2,0 à 4,0	2,0 à 4,0
— Balcons	2,5 à 4,0	2,0 à 3,0
<b>Catégorie B</b>	2,0 à 3,0	1,5 à 4,5
<b>Catégorie C</b>		
— C1	2,0 à 3,0	3,0 à 4,0
— C2	3,0 à 4,0	2,5 à 7,0 (4,0)
— C3	3,0 à 5,0	4,0 à 7,0
— C4	4,5 à 5,0	3,5 à 7,0
— C5	5,0 à 7,5	3,5 à 4,5
<b>Catégorie D</b>		
— D1	4,0 à 5,0	3,5 à 7,0 (4,0)
— D2	4,0 à 5,0	3,5 à 7,0

**Tableau 6.2 Charges d'exploitation sur les planchers, balcons et escaliers dans les bâtiments**

- (2) Lorsque cela est nécessaire, il convient d'augmenter  $q_k$  et  $Q_k$  pour le calcul (pour les escaliers et les balcons, par exemple, selon l'occupation et les dimensions).
- (3) Pour les vérifications locales, il convient de prendre en considération une charge concentrée  $Q_k$  agissant seule.
- (4) Pour les charges concentrées dues aux rayonnages ou au matériel de levage, il convient de déterminer  $Q_k$  au cas par cas, voir 6.3.2.
- (5) La charge concentrée doit être considérée comme agissant en un point quelconque du plancher, du balcon ou des escaliers, sur une surface de forme adaptée, en fonction de l'usage et du type de plancher.

**Extrait de l'Eurocode NF EN 1991-1-1(P 06-111-1)**

Le tableau 6.2 de la norme européenne EN 1991-1-1 :2002 est remplacé par le tableau suivant :

Catégorie de la surface chargée	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
<b>Catégorie A :</b>		
— planchers	1,5	2,0
— escaliers (1)	2,5	2,0
— balcons	3,5	2,0
<b>Catégorie B</b>	2,5	4,0
<b>Catégorie C :</b>		
— C1	2,5	3,0
— C2	4,0	4,0
— C3	4,0	4,0
— C4	5,0	7,0
— C5	5,0	4,5
<b>Catégorie D :</b>		
— D1	5,0	5,0
— D2	5,0	7,0

(1) Sauf pour des marches indépendantes, qui relèvent d'une approche dynamique.

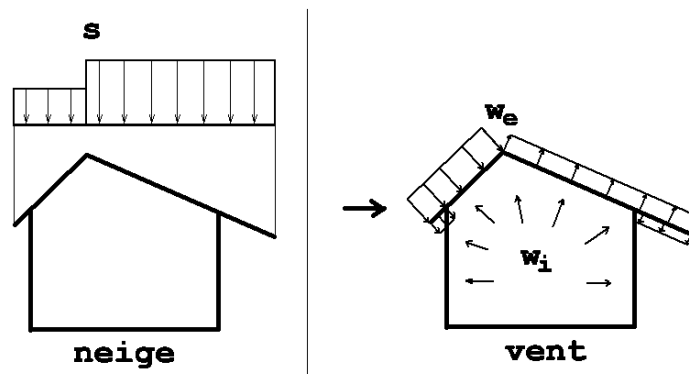
**Tableau 6.2 (NF) Charges d'exploitation sur les planchers, balcons et escaliers dans les bâtiments**

Pour le calcul des bâtiments dont la catégorie n'est pas spécifiée - en particulier lorsque l'utilisation future n'est pas connue -, les valeurs correspondant à la catégorie D1 s'appliquent. Il y a lieu de vérifier, une fois que le type d'utilisation est connu, la compatibilité de cette utilisation avec les valeurs utilisées pour le dimensionnement.

**Extrait de l'Eurocode Annexe nationale à la NF EN 1991-1-1 + Amendement A1 (mars 2009) (Indice de classement : P06-111-2)**

## 4 Charges climatiques

Les charges de référence sont issues d'une analyse statistique des données météorologiques disponibles. La probabilité annuelle de dépassement est égale à 0.02, soit période de retour égale à 50 ans. Elles concernent les actions de la neige et du vent.



**Actions schématiques de la neige et du vent.**

## 4.1 Charge de neige

### 4.1.1 Principe de quantification de la charge de neige

L'action de la neige doit être considérée appliquée dans la direction verticale sur la projection horizontale de la surface de toiture. La charge de neige  $s$  sur les toitures est donnée par la formule générale suivante dans le cas d'un projet durable :

$$s = \mu_i C_e C_t s_k + s_1 \quad \text{en kN/m}^2$$

où  $\mu_i$  est un coefficient de forme,  $C_e$  un coefficient d'exposition au vent (souvent considéré forfaitairement égal à 1),  $C_t$  un coefficient thermique dépendant du flux de chaleur en toiture, (souvent considéré forfaitairement égal à 1 pour les bâtiments thermiquement isolés),  $s_k$  la charge de neige au sol et  $s_1$  une majoration pour les pentes faibles de moins de 3 %.

$$\text{ce qui aboutit à utiliser le plus souvent : } s = \mu_i s_k + s_1 \quad \text{en kN/m}^2$$

Topographie	Valeur de $C_e$
Site balayé par les vents	0.8
Site normal	1.0
Site protégé	1.2

Une situation accidentelle est prévue dans le cas où la pluie tombe immédiatement après la neige et la formule devient  $s = \mu_i s_{Ad} + s_1$ . Cette situation est associée aux accumulations.

### 4.1.2 Charge de neige : accumulation, coefficients

Charge due à une accumulation : une charge due à une accumulation exceptionnelle de neige est une disposition résultant d'une redistribution exceptionnellement rare de la neige déposée, par exemple provoquée par le vent. Elles peuvent être traitées comme des **actions accidentelles** avec les coefficients de pondération correspondants.

Absence d'accumulation : la neige est répartie uniformément sur la toiture selon sa forme avant toute redistribution éventuelle due à d'autres actions. La charge de neige est calculée relativement à la quantité de neige sur le sol.

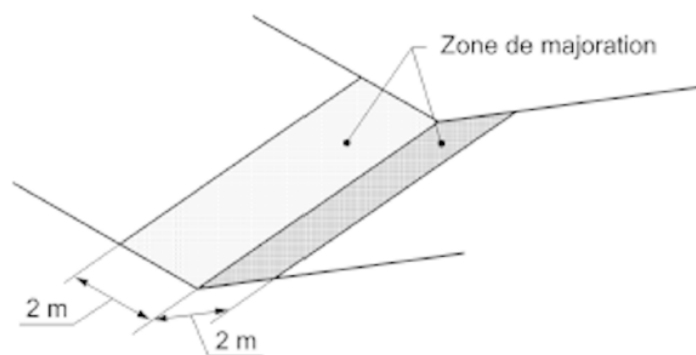
### 4.1.3 Faibles pentes :

$\alpha \leq 3 \% \Rightarrow s_1 = 0.2 \text{ kN/m}^2$	$\alpha > 3 \% \Rightarrow s_1 = 0 \text{ kN/m}^2$
---	--

Lorsque la toiture comporte des zones dont la pente vis-à-vis de l'écoulement de l'eau est inférieure à 3 %, il y a lieu, pour tenir compte de l'augmentation en cas de pluie de la densité de la neige résultant des difficultés d'évacuation de l'eau, de majorer la charge de neige sur ces zones de 0,2 kN/m<sup>2</sup>.

La majoration doit être appliquée non seulement à la zone à faible pente considérée mais également sur une distance de 2 mètres dans toutes les directions au-delà de ses limites.

La figure ci-dessous montre les surfaces où appliquer la majoration dans le cas particulier d'une noue, lorsque la pente du fil d'eau à l'intersection est faible (inférieure à 3 %) et celle de chacun des deux versants supérieure ou égale à 3 %. La zone à faible pente d'écoulement est en effet dans ce cas réduite à la ligne d'intersection, et les surfaces où appliquer la majoration sont uniquement celles correspondant à la distance des 2 mètres indiquée plus haut.



### Majoration aux faibles pentes en fonction de la pente de toiture, extrait de l'additif national<sup>6</sup>

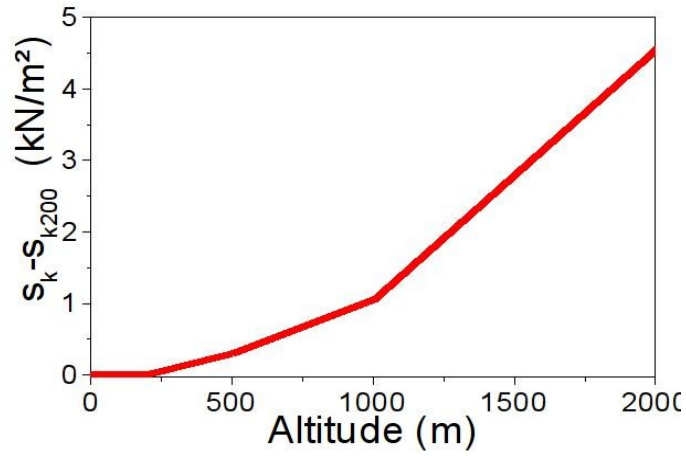
NB. Toujours vérifier s'il existe un additif national ...

L'accumulation des données météorologiques permet d'affecter par zone géographique, par exemple par département, une valeur de la charge de neige à considérer. Les valeurs indiquées dans le tableau ci-après sont valables jusqu'à une altitude de 200 m. Au-dessus de 200 m d'altitude, il faut appliquer une majoration donnée par le tableau suivant et la figure suivante :

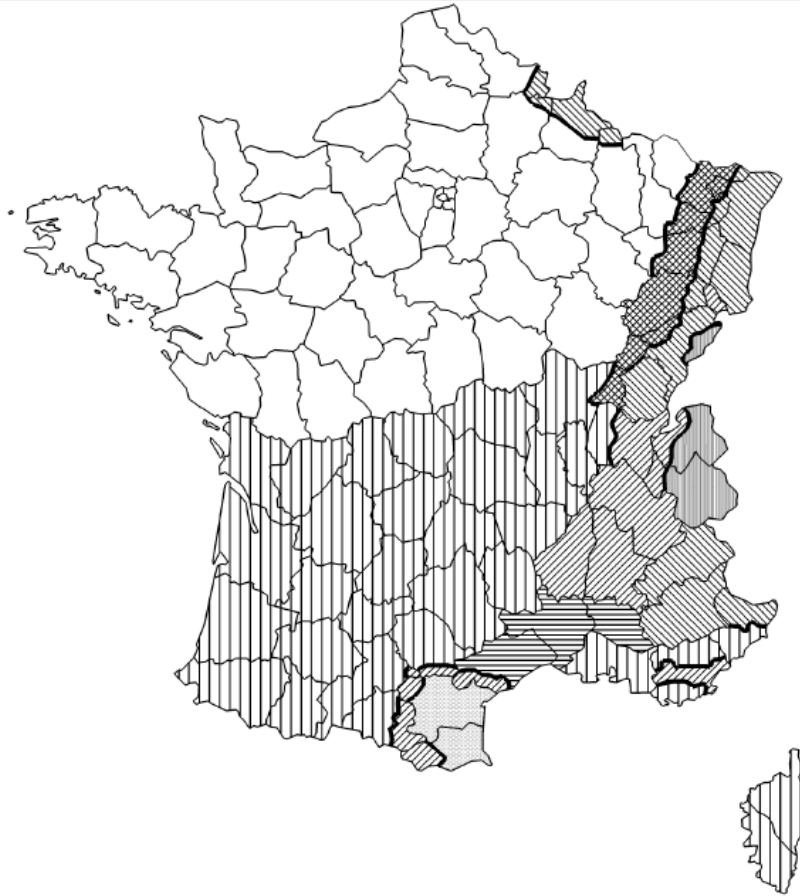
$h \leq 200$ m	$200 \text{ m} < h \leq 500 \text{ m}$	$500 \text{ m} < h \leq 1000 \text{ m}$	$1000 \text{ m} < h \leq 2000 \text{ m}$
$\Delta s_1$	$A/1000 - 0.2$	$1.5A/1000 - 0.45$	$3.5A/1000 - 2.45$

### Majoration $\Delta s$ de la charge de neige en fonction de l'altitude (sauf région E), A est l'altitude de la toiture.

Au-dessus de 2000 m on se reportera aux documents tels que DTU 43.11, Guide des couvertures en climat de montagne édité par le CSTB, etc.



**Majoration de la charge de neige en fonction de l'altitude.**



Régions :	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique ( $S_k$ ) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m :	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul ( $S_{Ad}$ ) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 :	$\Delta s_1$						$\Delta s_2$	

(charges en KN/m<sup>2</sup>)

**Zones de neige.**



Altitude A	$\Delta s_1$	$\Delta s_2$
de 200 à 500 m	$A/1000 - 0,20$	$1,5 A/1000 - 0,30$
de 500 à 1000 m	$1,5 A/1000 - 0,45$	$3,5 A/1000 - 1,30$
de 1000 à 2000 m	$3,5 A/1000 - 2,45$	$7 A/1000 - 4,80$

Tableau A.2 — Départements appartenant à plusieurs zones : découpage selon les cantons <sup>1)</sup> (fin)

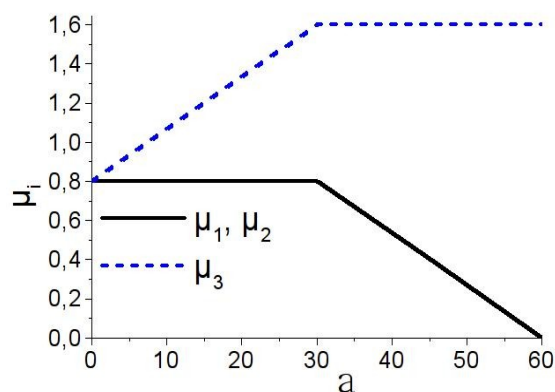
Département	Région(s)	Cantons
Nord	C1	Avesnes-sur-Helpe (tous cantons), Hautmont, Maubeuge (tous cantons), Trélon, Solre-le-Château
	A1	Tous les autres cantons
Pyrénées- Orientales	C2	Mont-Louis, Olette, Sailleouse
	D	Tous les autres cantons
Bas-Rhin	B1	Drulingen, Sarre-Union
	C1	Tous les autres cantons
Haute-Saône	C1	Champagney, Faucogney-et-la-Mer, Héricourt, Lure (tous cantons), Mélissey, Villersexel
	B1	Tous les autres cantons

etc.

#### 4.1.4 Coefficient de forme

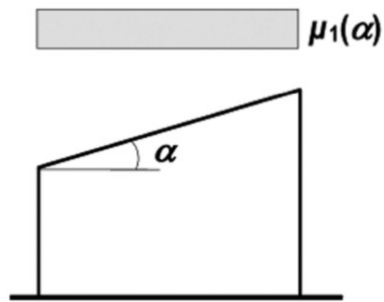
angle du versant sur l'horizontale	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
coefficient de forme $\mu_1$	$\mu_1(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_1(0^\circ) (60-\alpha)/30$	0
coefficient de forme $\mu_2$	0,8	$0,8 (60-\alpha)/30$	0
coefficient de forme $\mu_3$	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	0

Toitures faiblement dissymétriques :  $\alpha = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2$

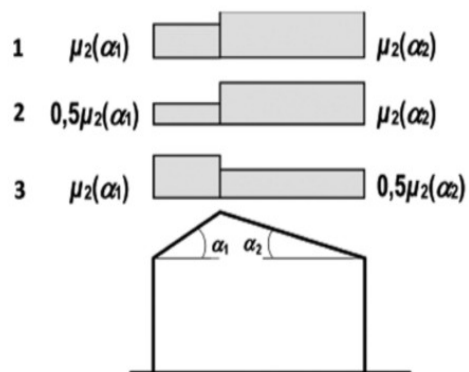


Coefficients de forme.

#### 4.1.5 Toitures à 1 versant

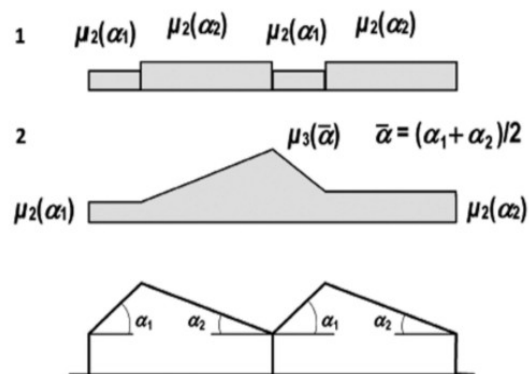


#### 4.1.6 Toitures à 2 versants



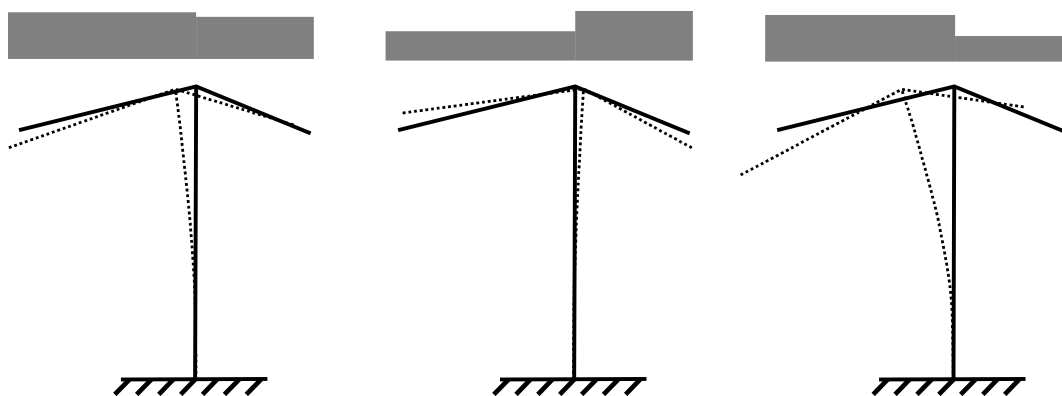
Les cas 2 et 3 correspondent aux situations avec accumulation.

#### 4.1.7 Toitures à versants multiples



Le cas 2 correspond aux situations avec accumulation.

#### 4.1.8 Exemple



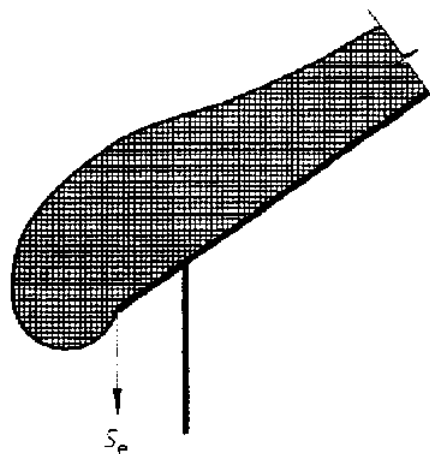
Exemples de cas à envisager montrant le fonctionnement de la structure. Le cas de charge le plus défavorable ne correspond peut-être pas pour tous les éléments de la structure à la situation de gauche où la charge totale est maximale.

#### 4.1.9 Cas particuliers

Le présent document n'est pas exhaustif et n'a pas vocation à se substituer aux normes. De nombreux points particuliers existent dans les règlements. En effet, le mot « accumulation » apparaît 80 fois dans la norme NF EN 1991-1-3 d'avril 2004 et 8 fois dans l'additif national correspondant. A titre d'exemple, au-delà de 500 m d'altitude, il faut tenir compte de l'éventualité de neige suspendue en débord de toiture et évaluer la charge correspondante à l'aide de la formule suivante :

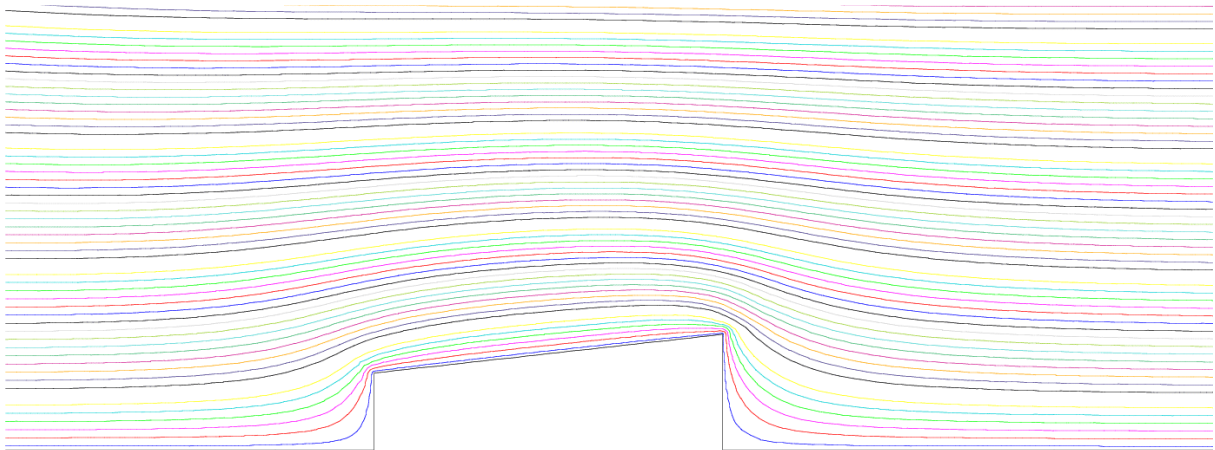
$$s_e = k s_k^2 / \gamma \quad \text{en kN/m}$$

où  $\gamma$  est le poids volumique de la neige, pris égal à  $3 \text{ kN/m}^3$ ,  $k$  un coefficient variant de 0 à 2.5 selon le climat et le matériau constitutif la toiture. On calculera  $k$  par la formule  $k = 3 / d$  ( $d$  étant l'épaisseur de la couche de neige sur la toiture, en mètres), avec une borne supérieure égale à  $d$ .

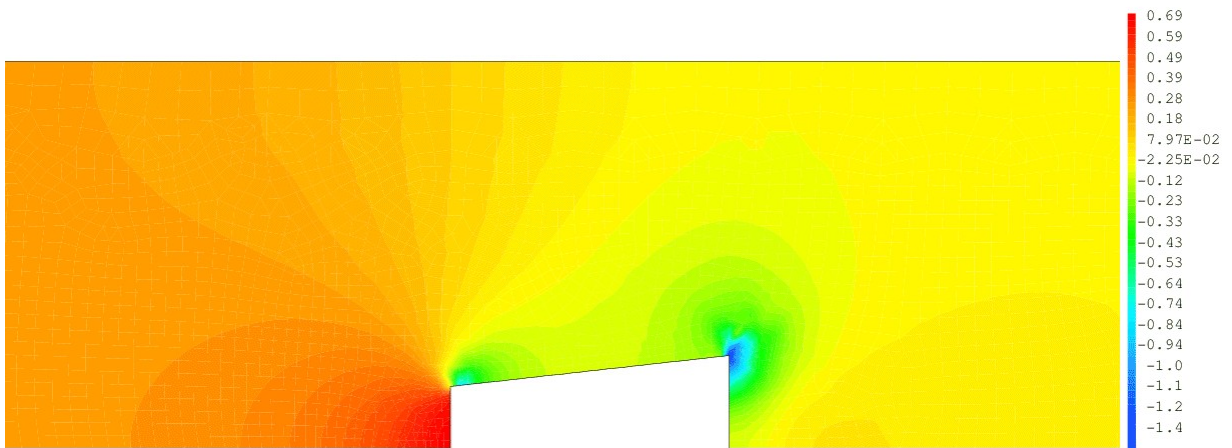


Neige suspendue en débord de toiture.

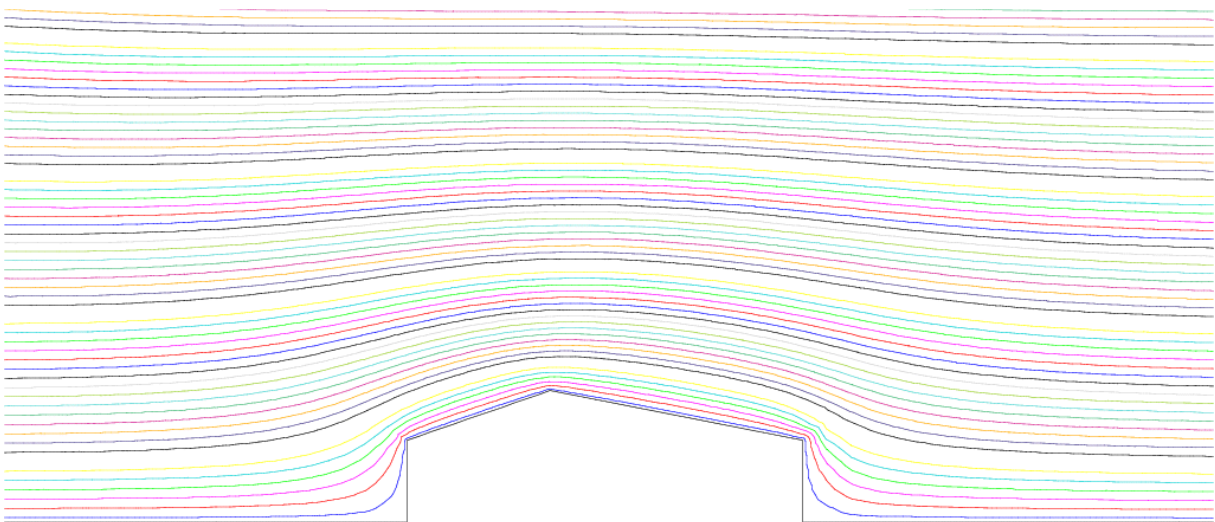
## 4.2 Action du vent



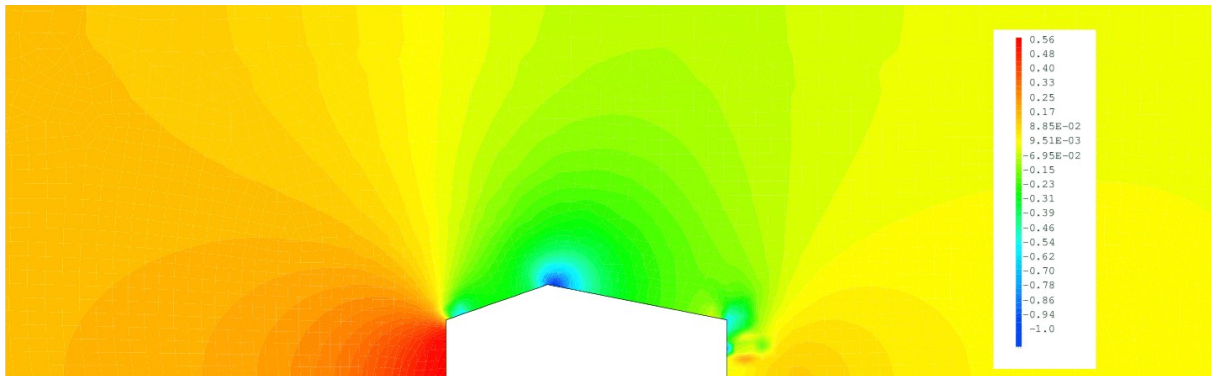
**Lignes de courant**



**Pressions**



## Lignes de courant



## Pressions

Il existe deux façons d'aborder l'action du vent, soit par calcul de la force globale exercée sur l'élément de construction, soit par le cumul des pressions exercées sur les parois de l'élément. On considère généralement la force globale dans le cas où il faut traiter les instabilités aéroélastiques (résonance, ...). Ce cas n'est pas détaillé ici.

Comme pour la neige, les règlements fournissent un zonage géographique, de la France dans notre cas, pour évaluer la vitesse de référence du vent, notée  $V_{réf}$ . Cette vitesse correspond à une moyenne pendant 10 minutes mesurée à 10 mètres de hauteur en terrain plat (terrain catégorie II selon la norme) et une période de retour de 50 ans. La mécanique des fluides permet de déduire la pression dynamique moyenne, dite "de base", de la vitesse du vent à l'aide de la relation  $q = \frac{1}{2} \rho V^2$  où  $\rho$  est la masse volumique de l'air, prise égale à  $1.25 \text{ kg/m}^3$ , et  $q$  s'exprime en  $\text{N/m}^2$ . Contrairement à l'action de la neige, l'action du vent étant une pression, elle doit être considérée perpendiculairement à la paroi considérée. Les pressions sont comptées positivement et les dépressions sont comptées négativement.

Zone	1	2	3	4
$V_{réf}$ (m/s)	22	24	26	28
$q_b$ ( $\text{N/m}^2$ ) = $\frac{1}{2} \rho (V_{réf})^2$	302.5	360	422.5	490

### Vitesses de références et pressions dynamiques des zones françaises<sup>1</sup>.

La pression dynamique se déduit de la formule suivante :

$$w = q_b * \text{coefficient d'exposition} * \text{coefficient de paroi}$$

- le coefficient d'exposition dépend essentiellement de la hauteur, de la classe de rugosité du terrain et de la topographie,
- le coefficient de paroi dépend de la forme de la construction et de sa surface au vent.

L'action sur une paroi est le résultat de la pression extérieure, notée  $w_e$ , et de la pression intérieure, notée  $w_i$ .

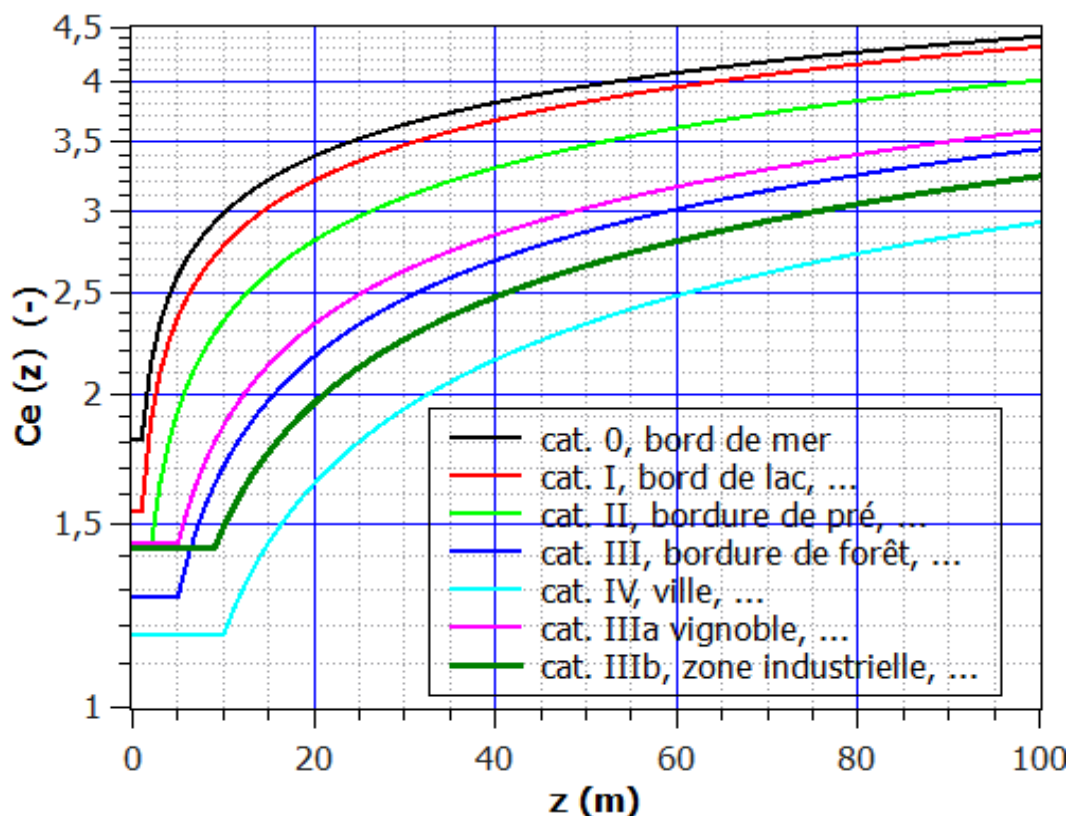
$$w_e = q_b c_e(z_e) c_{pe} \quad \text{et} \quad w_i = q_b c_e(z_i) c_{pi}$$

où  $z_e$  et  $z_i$  sont les hauteurs à considérer. Le terme  $q_b c_e(z_e)$  est aussi appelé "pression dynamique de pointe" et noté  $q_p(z_e)$  de sorte que  $w_e = q_p(z_e) c_{pe}$ .

<sup>1</sup> La région Grand Est est en zone 2.

### 4.2.1 Pression extérieure : coefficients d'exposition

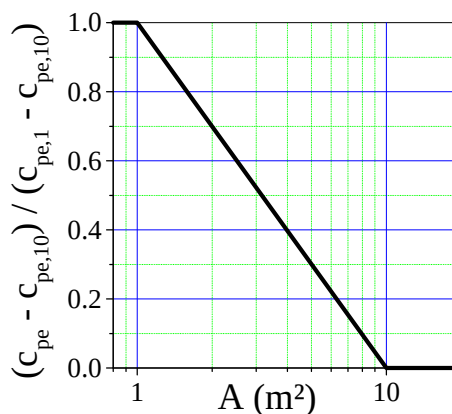
Le coefficient d'exposition tend à augmenter avec la hauteur. Pour les topographies vallonnées ou les terrains en pente, le règlement fournit les indications pour le calcul de  $c_e$ . L'abaque suivante fournit les valeurs correspondant à un terrain plat pour  $z < 200$  m. Au-delà de 200 m, le règlement préconise de consulter un spécialiste.



Coefficients d'exposition en terrain plat.

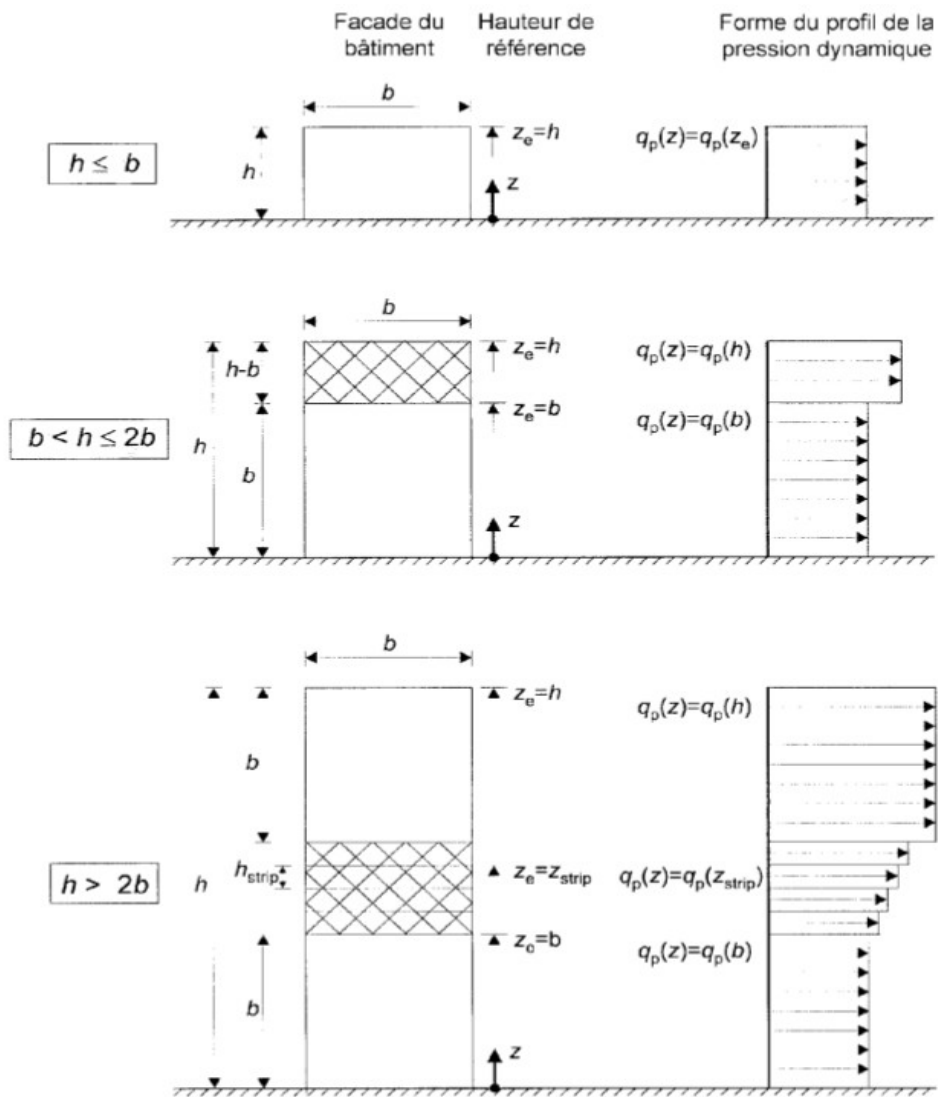
### 4.2.2 Pression extérieure : coefficients de paroi

Pour prendre en compte d'éventuelles surpressions locales liées à des turbulences, une majoration est appliquée aux petites surfaces de moins de 10 m<sup>2</sup>. Les valeurs de  $C_{pe,1}$  et  $C_{pe,10}$  sont fournies pour chaque type de géométrie. Pour le calcul des petits éléments et leur fixation on considérera  $C_{pe,1}$ . Pour la structure, on considérera généralement  $C_{pe,10}$ .



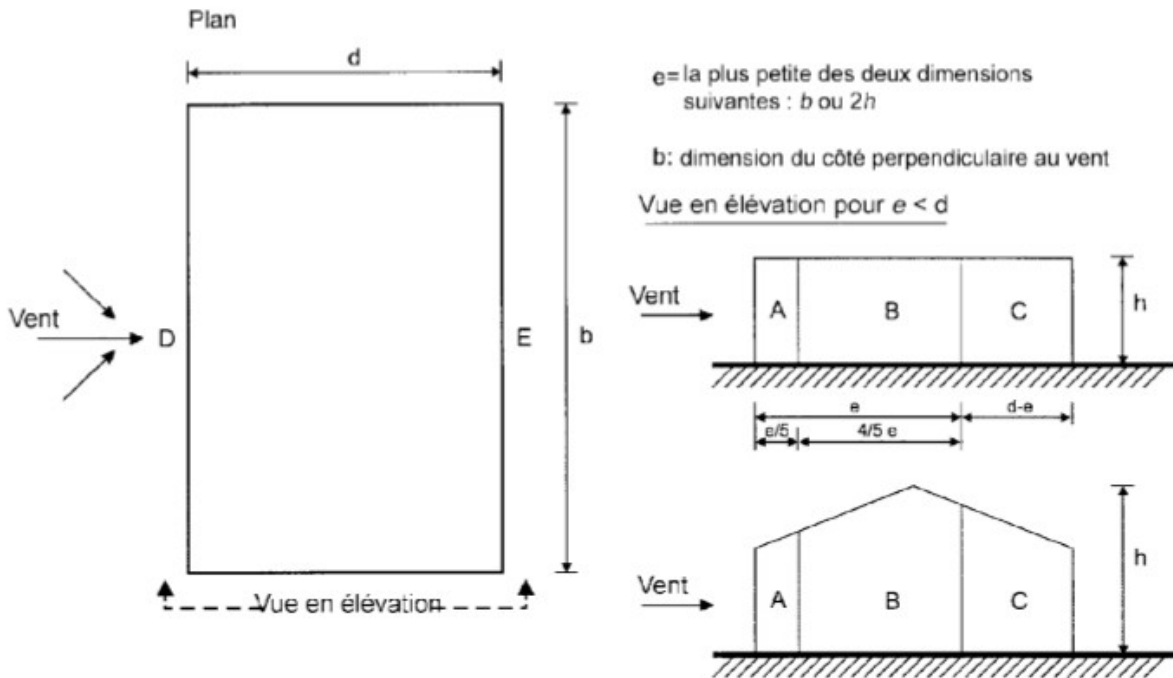
Variation du coefficient de pression externe des bâtiments en fonction de la surface chargée.

### 4.2.2.1 Parois verticales des bâtiments rectangulaires

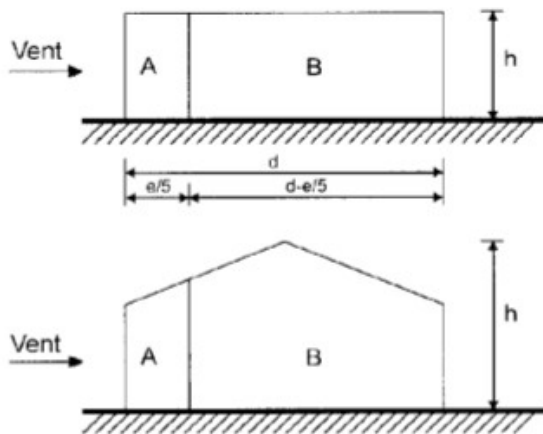


NOTE Il convient de supposer que la pression dynamique est uniforme sur chaque bande horizontale considérée.

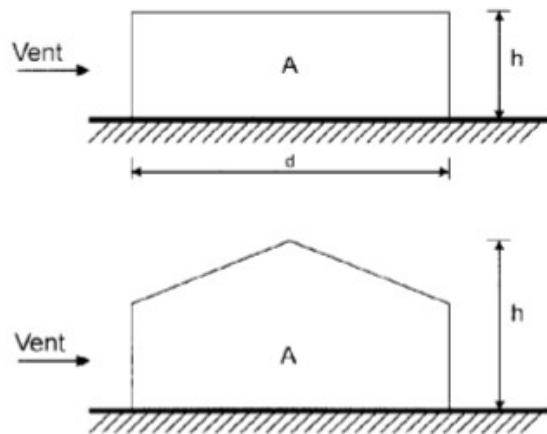
**Hauteur  $z$  à considérer en fonction des proportions du bâtiment.**



Vue en élévation pour  $e \geq d$



Vue en élévation pour  $e \geq 5d$



**Parois verticales : différentes zones pour différentes pressions de vents.**

Zones	A		B		C		D		E	
$h/d$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5	-0.5	+0.8	+1.0	-0.7	-0.7
1	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5	-0.5	+0.8	+1.0	-0.5	-0.5
$\leq 0.25$	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5	-0.5	+0.7	+1.0	-0.3	-0.3

**Coefficients de pression extérieure pour les parois verticales des bâtiments à base rectangulaire.**

#### 4.2.2.2 Toitures -terrasses, toitures plates

Les toitures-terrasses sont définies comme ayant une pente ( $\alpha$ ) telle que  $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$ .





## **Coefficients de pression extérieure pour les parois verticales des bâtiments à base rectangulaire.**

### **4.2.3 Pression intérieure : coefficients de paroi**

La pression intérieure dépend des taux de surfaces ouvertes dans les parois. Selon que la majorité des surfaces ouvertes sont au vent, sous le vent ou parallèles au vent, le pression intérieure change de signe. Le règlement propose de calculer la perméabilité  $\mu$  à partir des ratios des surfaces au vent, sous le vent ou parallèles au vent et envisage un grand nombre de cas. Dans les cas simples courants, pour les bâtiments fermés avec cloisonnement intérieur mais dont les ouvrants peuvent être manœuvrés, les valeurs extrêmes à considérer sont :

$$c_{pi} = -0.3 \quad \text{ou} \quad c_{pi} = +0.2$$

Ces valeurs sont aussi à considérer lorsque la valeur de la perméabilité n'est pas connue avec certitude.

$$\mu = \frac{\sum \text{aire des ouvertures où } c_{pe} \text{ est négatif ou égal à } 0}{\sum \text{aire de toutes les ouvertures}}$$

**Extrait de l'Eurocode.**

### **4.2.4 Résultante des pressions extérieure et intérieure**

L'action sur l'élément de structure résulte de la résultante des pressions des deux côtés de la paroi et se calcule comme suit, si l'on choisit de porter la résultante sur la paroi extérieure :

$$w = w_e - w_i$$

Il faut envisager le cas le plus défavorable, notamment en ce qui concerne la pression intérieure. Ce dernier nécessite cohérence lorsqu'on calcule la force globale horizontale sur une structure car la résultante des pressions intérieures doit en principe être nulle.

## **5 Combinaisons d'actions**

Il faut toujours envisager la situation la plus défavorable pour chaque partie de chaque élément d'une structure. Dans cet esprit, une action variable favorable ne doit pas être prise en compte. Les Eurocodes sont basés sur une démarche qualifiée de semi-probabiliste, fondée sur les probabilités ainsi que les acquis des pratiques antérieures. Les règlements définissent des coefficients de sécurité, notés  $\gamma_{A,b}$ , basés sur l'incertitude sur la connaissance des charges et actions ainsi que des coefficients de combinaison, notés  $\psi_i$ , basés sur la probabilité de simultanéité des actions variables. Plusieurs situations sont à considérer pour les états limites de service (ELS) et les états limites ultimes (ELU) :

ELS : combinaisons quasi-permanentes, combinaisons fréquentes, combinaisons rares, etc.

ELU : situations durables et transitoires (hors fatigue), situations de projet accidentelles, etc.

Par exemple, pour les situations durables et transitoires :

$$\gamma_{G,1} G_1 + \gamma_{G,2} G_2 + \dots + \gamma_{Q,1} Q_1 + \gamma_{Q,2} \psi_0 Q_2 + \gamma_{Q,3} \psi_1 Q_3 + \gamma_{Q,4} \psi_2 Q_4 + \dots$$

où  $Q_1$  l'action variable de base. A l'ELS,  $\gamma$  vaut généralement 1. A l'ELU,  $\gamma$  vaut généralement 4/3 pour le poids propre et 3/2 pour les charges d'exploitation.

Type d'action	Type de cas		Catégorie de bâtiment				
			A	B	C	D	E
Charges d'exploitation	ELU sit. durables et trans.	$\psi_0 =$	0.7	0.7	0.7	0.7	1.0
	ELS quasi-permanent	$\psi_1 =$	0.5	0.5	0.7	0.7	0.9
	ELS fréquent	$\psi_2 =$	0.3	0.3	0.6	0.6	0.8
Vent	ELU sit. durables et trans.	$\psi_0 =$	0.67	0.67	0.67	0.67	
	ELS quasi-permanent	$\psi_1 =$	0.2	0.2	0.2	0.2	
	ELS fréquent	$\psi_2 =$	0.0	0.0	0.0	0.0	
Neige ( $h \leq 500$ m)	ELU sit. durables et trans.	$\psi_0 =$	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	ELS quasi-permanent	$\psi_1 =$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ELS fréquent	$\psi_2 =$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**Exemple de coefficients de combinaison.**

A	Résidences, locaux à usage domestique (maison, hôtel...)
B	Bureaux
C	Lieux de rassemblement (cinéma, église, restaurant...)
D	Surfaces commerciales
E	Aires de stockage et d'accès (entrepôt, bibliothèque...)

**Catégories de bâtiments.**