

RECOMMANDATIONS DE LA CNC2M

RECOMMANDATIONS POUR L'APPLICATION DE LA NF EN 1991-1-4 AUX CHARPENTES ET OSSATURES EN ACIER DE BATIMENT

JUILLET 2017

BNCM – CNC2M Commission de normalisation de la construction métallique et mixte

BNCM/CNC2M N0380 / REC EC1-CM : Juillet 2017

MEMBRES DE LA COMMISSION DE NORMALISATION

Président : M HOSTALERY

Secrétariat : MME LEMAIRE – BNCM

M	ADAMAKOS	ASQPE
Mme	ALGRANTI	CTICM
M	BALGIU	QUALICONSULT
M	BARRAULT	FIMEC TECHNOLOGIES
M	BITAR	CTICM
Mme	BOEHM	CTICM
M	BONAUD	CTICM
Mme	BONIFACE	EIFFAGE CM
M	BONNET	TECHNIP
M	BOURGOIS	GROUPE INSTITUT DE SOUDURE
M	BUREAU	CTICM
M	CAUSSE	VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS
M	CHARTON	ARCELORMITTAL EUROPE CONSRUCTION
M	COUCHAUX	INSA de RENNES
M	COUGNAUD	ACIM
Mme	DAVAINE	INGEROP EXPERTISE ET STRUCTURES
M	DEFURNE	YVES COUGNAUD
M	DELONGUEVILLE	CTICM
M	DENYS	CIAN ENTREPRISE
M	DERVIN	AFNOR
Mme	DUSSAUGEY	CISMA
Mme	DUSSEQUE	BN ACIER
M	ETIENNE	SADEF
M	FOUCHE BAYLION	SOCOTEC
M	FOURMENT	VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS
M	GENEREUX	BNTRA
M	GOURMELON	EXPERT SFN
M	HENRIQUES	CSTB
M	HOSTALERY	BUREAU VERITAS
M	IZABEL	ENVELOPPE METALLIQUE DU BATIMENT
M	LAMADON	BUREAU VERITAS
M	LAMY	UNION DES METALLIERS
M	LARUE	BET RBS

CNC2M/REC EC1-CM : Juillet 2017

M	LE CHAFFOTEC	CTICM
M	LEBLOND	CSTB
Mme	LEMAIRE	BNCM
M	LEQUIEN	APAVE
M	LERAY	TRAMAF
Mme	LUCAS	UNM
M	LUKIC	CTICM
M	MAITRE	EXPERT SFN
M	MARTIN	CTICM
M	MOHEISSEN	EXPERT SFN
M	MONTEL	CAPEB
Mme	PALISSON	ENVELOPPE METALLIQUE DU BATIMENT
Mme	PECHENARD	ARTEMA
M	PERNIER	EXPERT SFN
M	POTRON	CAPEB
Mme	RAVONINAHIDRAIBE	CTICM
M	RENAUX	PROFINORD
M	ROBERT	CEREMA
M	RODIER	CTICM
M	SEMIN	CTICM
M	SIFFERLIN	EDF
M	SOKOL	SOKOL CONSULTANTS
M	SOMJA	INSA de RENNES
M	TAFFARD	SAS ANTENNES LECLERC
M	THOLLARD	EDEIS GROUP
M	THONIER	EGF BTP
M	TRIQUET	SNCF
M	TROUART	UNION DES METALLIERS
M	VERBEURGT	ARCELORMITTAL EUROPE CONSTRUCTION
M	VILLETTE	BAUDIN CHATEAUNEUF
M	ZHAO	CTICM

Ces Recommandations ont été établies par un groupe de travail composé de :

M	BIETRY	EXPERT SFN
M	BOIZIAU	IDES
M	BUREAU	CTICM
M	ETIENNE	SADEF France
M	FLORENT	ALPES CONTROLES
M	FORTIER	SAPA/HYDRO BUILDING SYSTEM FRANCE
M	FOUCHE BAYLION	SOCOTEC
M	HOSTALERY	BUREAU VERITAS
MME	LEMAIRE	BNCM/CTICM
M	MAITRE	EXPERT SFN
M	MARION	AIA INGENIERIE
MME	MOLINA	CTICM
MME	PALISSON	ENVELOPPE METALLIQUE DU BATIMENT
M	RODIER	CTICM
M	SEMIN	CTICM
M	VIGNERON	ARMORIQUE ETUDES
M	VILLETTE	BAUDIN CHATEAUNEUF

AVANT-PROPOS

Les présentes recommandations fournissent des informations complémentaires non contradictoires, destinées à faciliter l'application des règles de l'Eurocode 1 partie 1-4 « Actions du vent » dans le cas particulier des ossatures en acier destinées aux ouvrages de bâtiment et assimilés.

Le présent document a été entériné par la CNC2M (Commission de normalisation de la construction métallique et mixte), le 31 Juillet 2017.

Les utilisateurs de ces Recommandations sont invités à faire connaître leurs éventuelles observations au Bureau de Normalisation de la Construction Métallique, chargé de la gestion de la commission CNC2M.

BNCM

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique

Espace Technologique, Immeuble Apollo

L'orme des merisiers

91193 SAINT-AUBIN

courriel : bncm@cticm.com

Sommaire

	Page
1	Généralités6
1.1	Objet et domaine d'application6
1.2	Terminologie et symboles6
2	Toitures à deux versants des bâtiments - Utilisation du tableau 7.4a(NA)6
3	Bâtiments comportant des décrochements en plan ou en élévation.....6
3.1	Généralités6
3.2	Décrochements en plan8
3.2.1	Dimensions du bâtiment équivalent8
3.2.2	Coefficients de pression extérieure – Décrochement en L8
3.2.3	Coefficients de pression extérieure – Bâtiments en « U » 11
3.3	Décrochement en élévation 15
3.3.1	Dimensions du bâtiment équivalent 15
3.3.2	Coefficients de pression extérieure 16
4	Auvents..... 18
4.1	Domaine d'application..... 18
4.2	Forces sur les auvents..... 20
5	Toitures isolées 20
5.1	Généralités 20
5.2	Aire de référence 21
5.3	Action du vent sur les toitures isolées à un versant 21
6	Coefficient structural $c_s c_d$ applicable aux éléments secondaires (complément à la clause 6.2)..... 24
7	Coefficients c_{pe1}/c_{pe10} (complément à la Clause 7.2.1) 24
8	Application du coefficient de réduction dû au défaut de corrélation (complément aux clauses 5.3(5) et 7.2.2(3)) 24
9	Cas des acrotères 25
9.1	Généralités 25
9.2	Coefficient de force pour les acrotères implantés en partie courante de toiture (cas des murs coupe-feu) 25
9.3	Coefficient de force en l'absence d'un des deux acrotères perpendiculaires à la direction du vent..... 25
9.4	Répartition du coefficient de pression entre les deux faces de l'acrotère..... 26
10	Les parois verticales intérieures à ossature métallique 27
11	Réduction de l'action globale du vent sur des éléments répétitifs..... 27
	Bibliographie..... 29

1 Généralités

1.1 Objet et domaine d'application

Les présentes recommandations donnent des informations complémentaires afin d'explicitier certaines conditions particulières d'application de la NF EN 1991-1-4 [1] (Eurocode 1 - Partie 1-4 : Actions du vent) et de son Annexe Nationale aux structures en acier destinées aux ouvrages de bâtiment et assimilés.

Les clauses citées dans les compléments ci-après sont celles des normes :

- NF EN 1991-1-4 :2005 (2ème tirage 2010) et son amendement A1 :2010 [1] ;
- NF EN 1991-1-4/NA : 2008 et ses amendements A1 :2011 et A2 :2012 [2].

Ces recommandations peuvent être utilisées pour le dimensionnement des éléments structuraux en acier de l'ossature du bâtiment. Elles ne s'appliquent pas aux éléments d'enveloppe (couverture, bardage, etc.) et de partition (cloisons intérieures, etc.).

1.2 Terminologie et symboles

Les termes et symboles utilisés dans les présentes recommandations sont ceux définis par la norme NF EN 1991-1-4 [1].

2 Toitures à deux versants des bâtiments - Utilisation du tableau 7.4a(NA)

Pour l'interpolation des valeurs de pression positive dans les zones I et J pour des angles compris entre -5° et -15° , il est possible de considérer la valeur $+0,0$ pour un angle -15° .

3 Bâtiments comportant des décrochements en plan ou en élévation

3.1 Généralités

Pour le traitement des bâtiments avec décrochement en plan ou en élévation, l'Annexe Nationale de la NF EN 1991-1-4 [1] propose au chapitre 7.2.2 (2) de se reporter aux recommandations de la CECM [3].

Les présentes recommandations développent cette démarche pour la détermination des coefficients de pression extérieure à prévoir en présence de décrochements, en tenant compte de l'expérience acquise par l'application d'autres normes ou recommandations et en tenant compte de résultats d'essais en soufflerie.

Le présent chapitre s'applique à un bâtiment à toiture-terrasse. Pour les autres types de toiture, une démarche similaire prenant en compte les différentes zones de toiture peut être adoptée.

NOTE Ces recommandations permettent de traiter les cas les plus courants avec un niveau de sécurité adéquat. Face à une situation non couverte, les principes présentés ici peuvent fournir des indications utiles au concepteur. Il convient néanmoins de rappeler que certaines configurations trop atypiques nécessitent des investigations plus approfondies pour obtenir un degré de précision et de sécurité acceptable.

Le présent document précise :

- les dimensions à considérer pour définir le rapport h/d et la dimension $e = \min \{2 h ; b\}$, nécessaires à l'application du chapitre 7.2 de la norme NF EN 1991-1-4 [1] ;
- la répartition des zones de pression uniforme A à E pour les parois verticales, et des zones F et suivantes pour les toitures.

Les coefficients de pression extérieure $c_{pe,10}$ et $c_{pe,1}$ à utiliser pour chacune de ces zones sont déterminés à partir du chapitre 7.2 de la norme NF EN 1991-1-4 [1].

Lorsque la pression extérieure change de signe sur une même face (voir **Figure 5(b)** et **Figure 6(a)**), il est loisible de considérer une variation linéaire de cette pression sur une distance $a/2$, tel que montré sur la **Figure 1**.

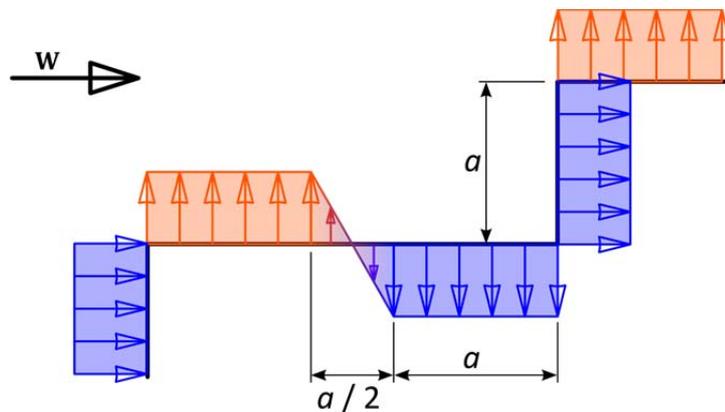
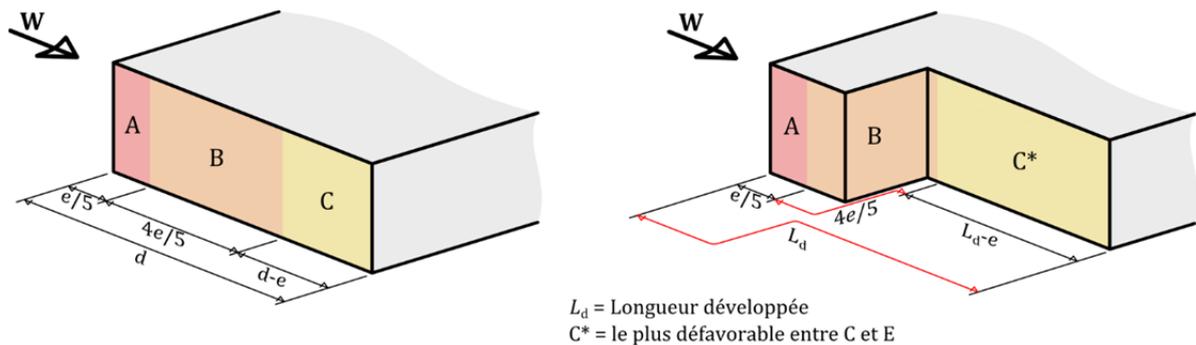


Figure 1 — Variation linéaire entre pression positive et négative sur une même face

La répartition des zones de pression de la norme NF EN 1991-1-4 [1] doit être adaptée en présence de décrochement. Lorsque nécessaire, les présentes recommandations proposent de suivre une répartition suivant la longueur développée de la face présentant un décrochement, comme le montre l'exemple de la **Figure 2**.



(a) Distribution des pressions sur une face latérale suivant la NF EN 1991-1-4

(b) Distribution des pressions suivant la longueur développée sur une face latérale avec décrochement

Figure 2 — Exemple de distribution selon la longueur développée

3.2 Décrochements en plan

3.2.1 Dimensions du bâtiment équivalent

Pour l'application du chapitre 7.2 de la NF EN 1991-1-4 [1], les dimensions définies ci-dessous peuvent être retenues (voir la **Figure 3**) :

- a) La largeur b du maître couple à considérer correspond à la largeur maximale du bâtiment ;
- b) La profondeur d dans le sens du vent à considérer doit être calculée de façon à obtenir un bâtiment rectangulaire équivalent présentant la même surface au sol.

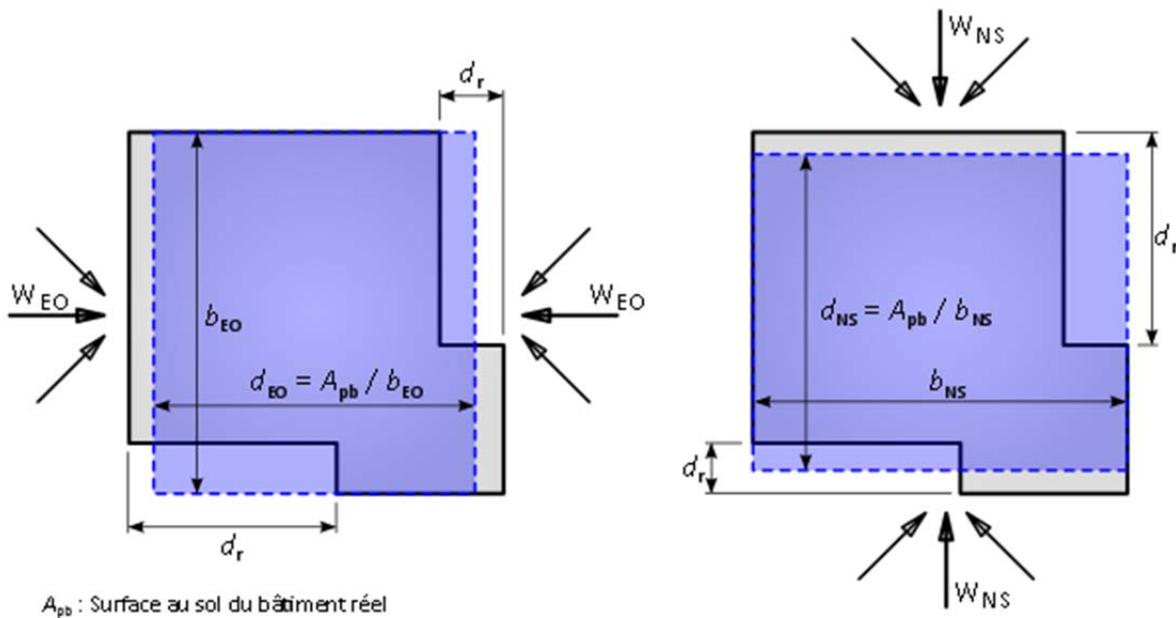


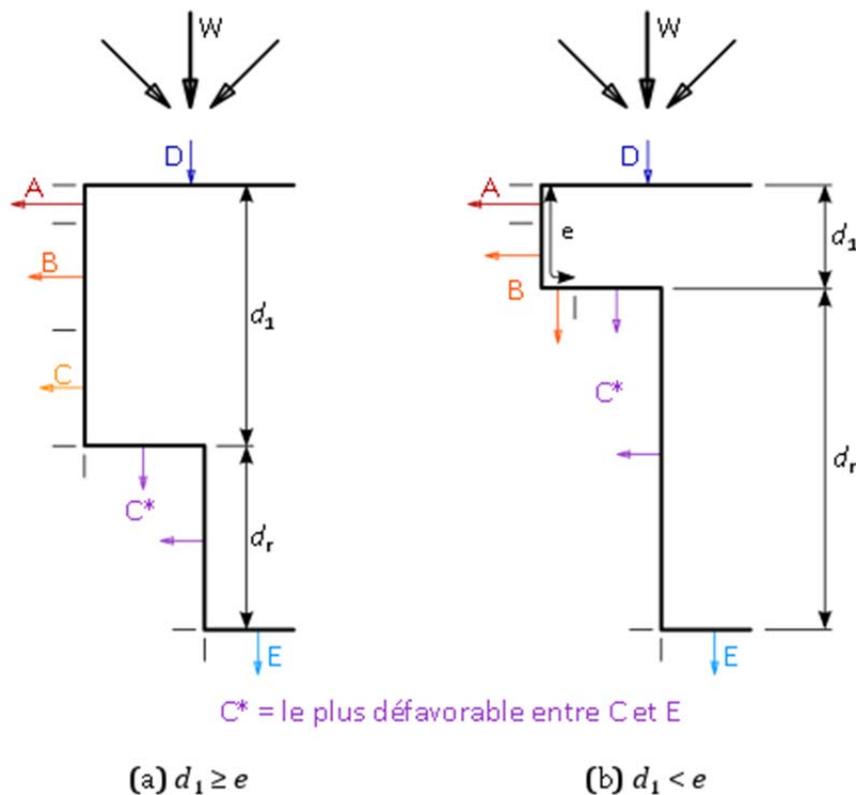
Figure 3 — Dimensions à considérer pour un bâtiment à décrochement en plan

3.2.2 Coefficients de pression extérieure - Décrochement en L

3.2.2.1 Décrochement sous le vent

Un décrochement est dit « sous le vent » si aucune des faces adjacentes à l'angle rentrant n'est directement frappée par le vent. Dans ce cas, il est possible de considérer la répartition de pression extérieure proposée sur la **Figure 4**.

La répartition des pressions en toiture est identique à celle applicable à un bâtiment sans décrochement.



$$e = \min(b ; 2h)$$

$$d_r > e/20$$

Figure 4 — Décrochement en plan sous le vent

Les effets de déviation de l'écoulement affectant les façades en décrochement peuvent être négligés lorsque le retrait d_r dans la direction du vent est inférieur à $e/20$. La pression extérieure correspond dans ce cas à la zone E pour les deux faces du retrait sous le vent.

3.2.2.2 Décrochement au vent

Un décrochement est dit « au vent » si une des faces adjacentes à l'angle rentrant est directement frappée par le vent.

Dans ce cas, la distribution des pressions extérieures est très sensible à l'angle d'incidence du vent. Pour prendre en compte cette particularité, la démarche proposée consiste à doubler les directions principales de vent.

NOTE Dans la norme NF EN 1991-1-4 [1] – clause 7.2.1(2), les coefficients de pression extérieure correspondent aux valeurs les plus défavorables pour une gamme d'incidences de vent variant de -45° à $+45^\circ$ autour des quatre directions normales aux façades ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$) à considérer dans le calcul.

Les zones de pression sont définies sur les **Figures 5** et **6**. Les zones de pression en toiture sont représentées pour le cas d'une toiture-terrasse (angle inférieur à 5°) ; leurs dimensions dépendent de la distance g déterminée pour le bâtiment rectangulaire équivalent. Pour les autres formes de toiture, les zones H et suivantes doivent être adaptées.

Pour la détermination des effets globaux et la vérification des systèmes de stabilité, la situation de dimensionnement correspond généralement aux cas de chargement présentés sur la **Figure 5**, la résultante horizontale dans le sens du vent étant alors maximale.

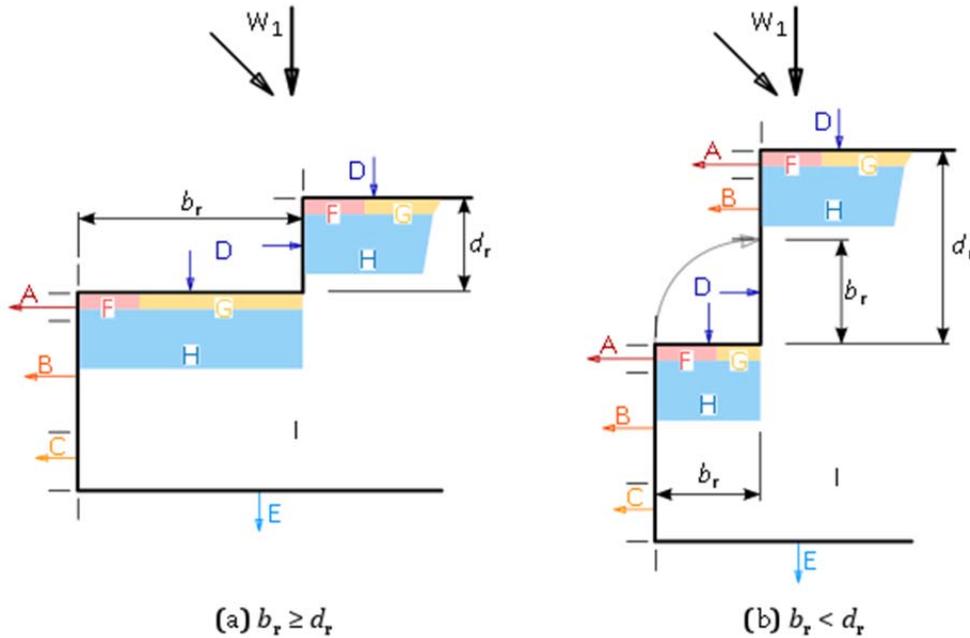


Figure 5 — Décrochement en plan au vent - Configuration n°1

Le cas de charge présenté à la **Figure 6** est nécessaire pour la vérification des éléments d'ossature secondaire (potelets, lisses, ...). Il peut être négligé dans l'analyse globale de la plupart des bâtiments courants.

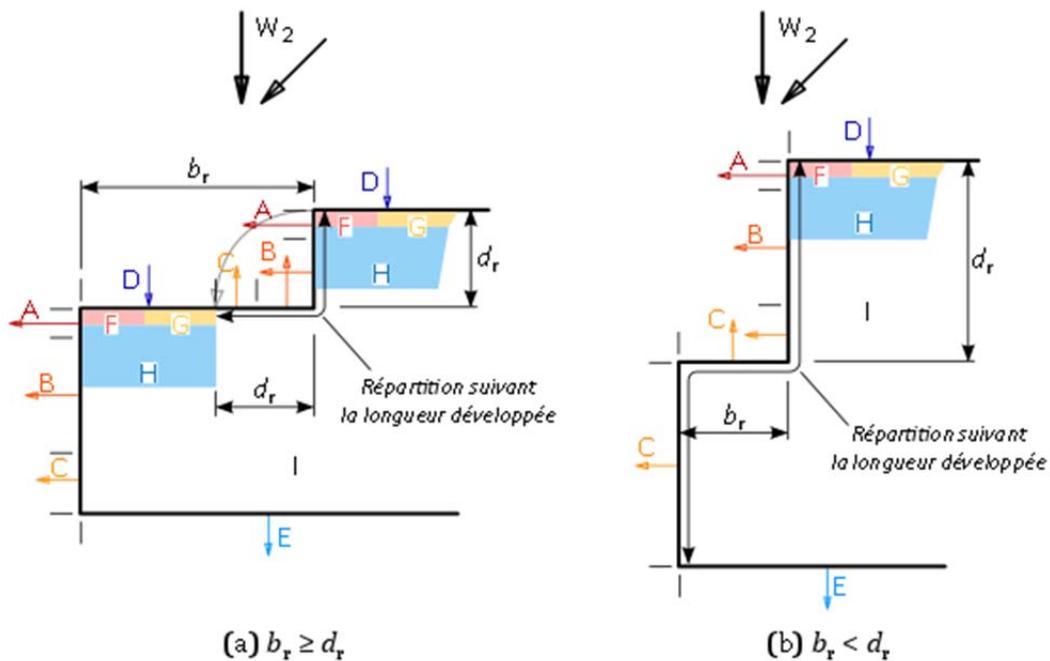


Figure 6 — Décrochement en plan au vent - Configuration n°2

Les effets de déviation de l'écoulement affectant les façades en décrochement peuvent être négligés lorsque le retrait d_r dans la direction du vent est inférieur à $e/20$. La pression extérieure correspond dans ce cas à la zone D pour les deux faces du décrochement au vent.

3.2.3 Coefficients de pression extérieure – Bâtiments en « U »

Pour les bâtiments ayant une forme en « U » dans le plan horizontal, il convient de considérer les 3 directions principales du vent représentées à la Figure 7.

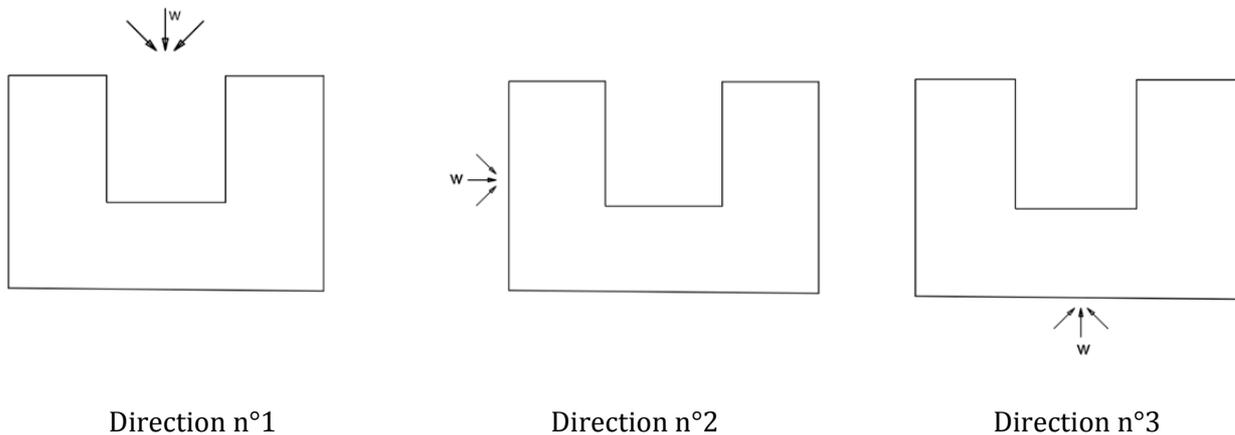


Figure 7 — Directions du vent à considérer pour un bâtiment en « U »

Pour déterminer les dimensions des zones de pression dans le cas des bâtiments en U, il convient d'appliquer la notion de bâtiment rectangulaire équivalent (voir 3.2.1).

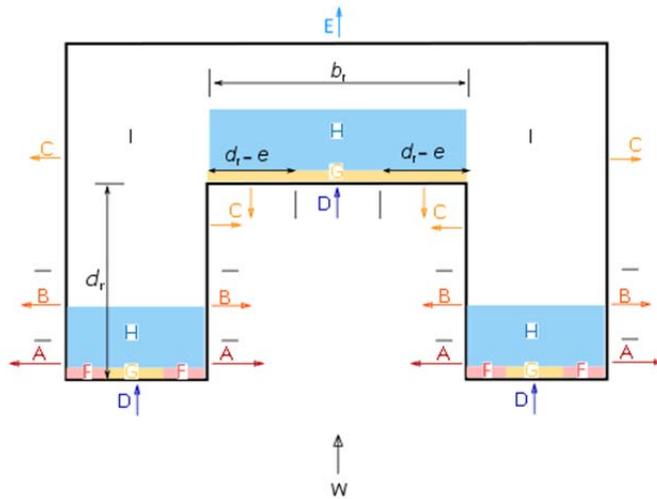
Seuls les bâtiments en « U » avec des branches de dimensions pratiquement identiques et sans décrochement en élévation sont traités dans ce qui suit. Les bâtiments en « U » avec des branches de longueur différente ou des décrochements en élévation doivent faire l'objet d'études plus approfondies.

Dans la suite, les schémas donnés pour cette typologie de bâtiment font apparaître des zones de pression qui correspondent à celles définies aux chapitres 7.2.2 et 7.2.3 de la NF EN 1991-1-4 [1].

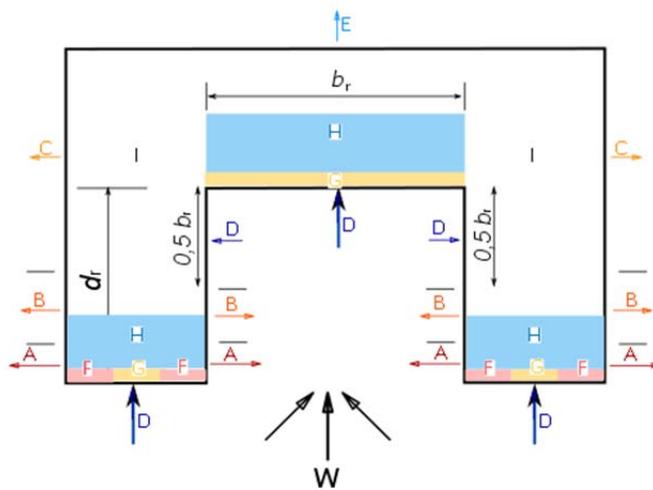
Les effets de déviation de l'écoulement affectant les façades en décrochement peuvent être négligés lorsque le décrochement d_r dans la direction du vent est inférieur à $e/20$. La pression extérieure correspond dans ce cas à la zone E pour les trois faces du retrait sous le vent.

3.2.3.1 Direction du vent n°1

Il convient de considérer les deux cas (a) et (b) représentés à la Figure 8.



Cas (a)



Cas (b)

Figure 8 — Zones de pression pour la direction du vent n°1

NOTE 1 Suivant l'importance de la distance d_r , les façades du renforcement parallèles à la direction du vent, comportent des zones A et B ou A, B et C.

NOTE 2 Dans le cas (b), lorsque $0,5 b_r > d_r$, la zone D est appliquée sur toutes les façades du renforcement, parallèles et perpendiculaires à la direction du vent.

3.2.3.2 Direction du vent n°2

Il convient de distinguer les deux configurations suivantes en fonction des dimensions du bâtiment :

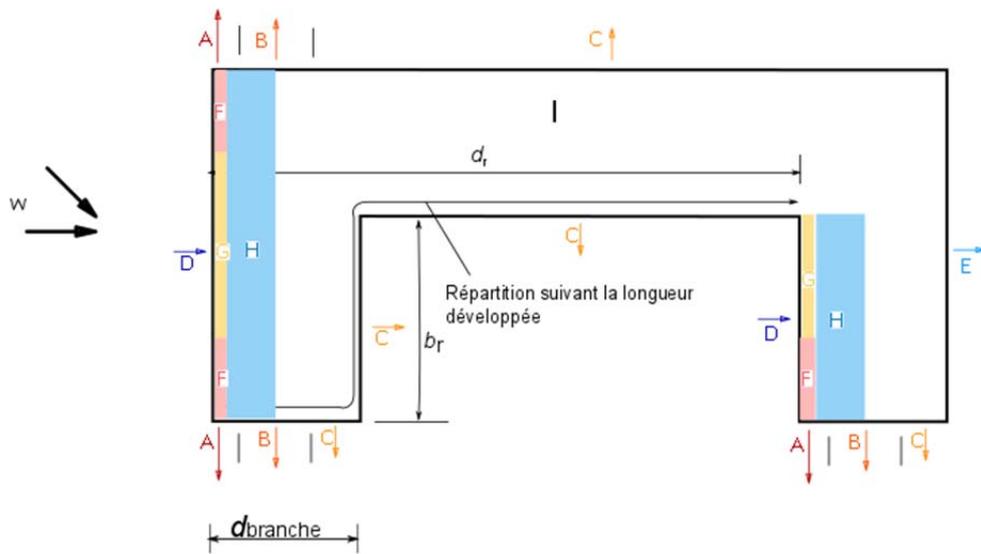
— Configuration n°1 caractérisée par $d_r \geq 2e$:

Il convient de considérer les cas (a) et (b) représentés sur la Figure 9.

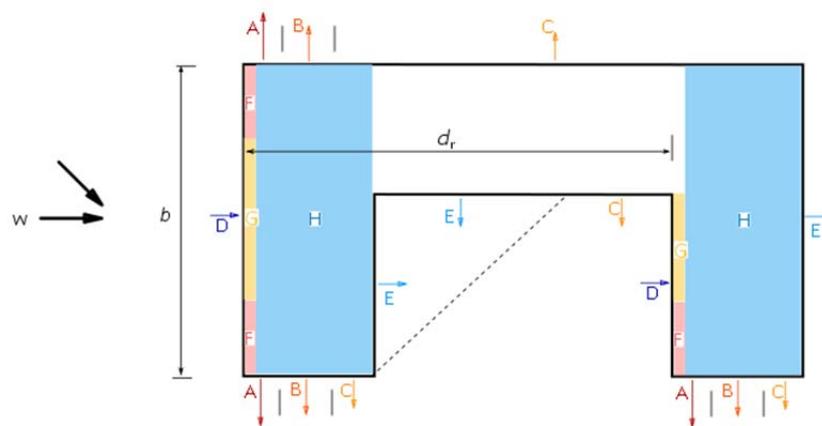
— Configuration n°2 caractérisée par $d_r < 2e$:

Il convient de considérer le cas défini à la Figure n°10.

Configuration n°1 :



Cas (a)



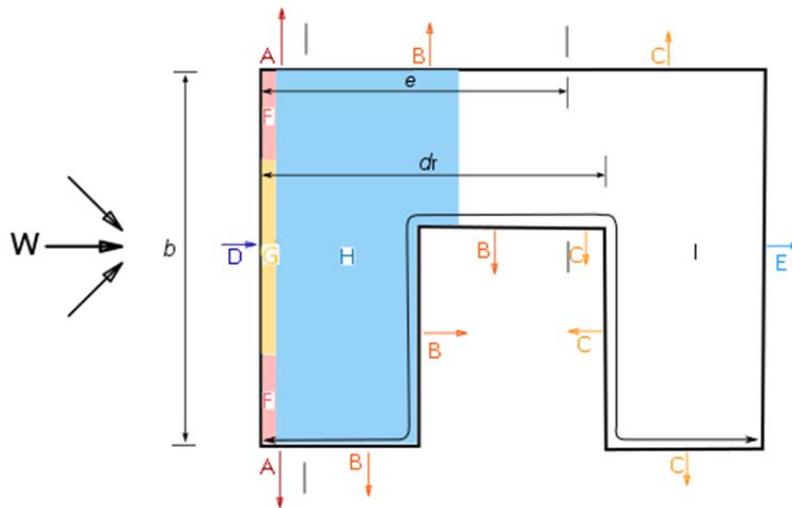
Cas (b)

Figure 9 — Zones de pression pour la direction du vent n°2 - Configuration n°1

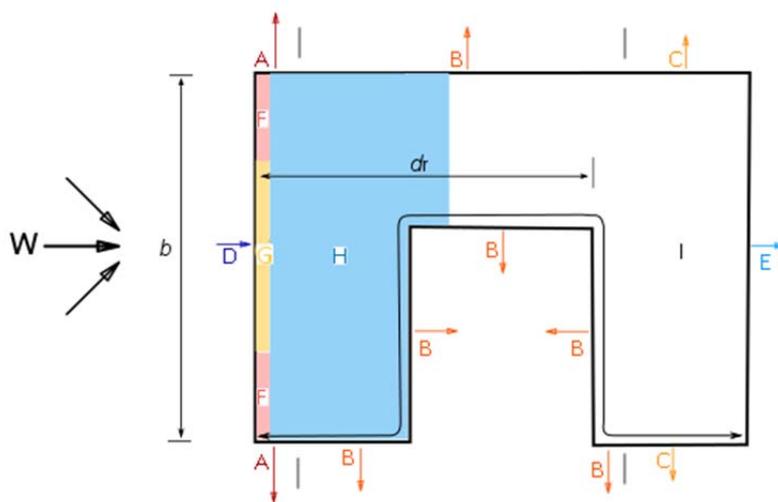
NOTE 1 Dans le cas (a) de la Figure 9, si $d_{branche} < e$, étant donné que la répartition est établie suivant une longueur développée, il est possible d’avoir une partie intérieure du renforcement en zone B. Par ailleurs, les zones de succion A, B et C situées aux extrémités de chaque branche sont identiques.

NOTE 2 Dans le cas (b) de la Figure 9, si $d_{branche} < e$, les zones de succion sont uniquement représentées par A et B.

Configuration n°2 :



Cas a : $e \leq d_r \leq 2e$



Cas b : $d_r < e$

Figure 10 — Zones de pression pour la direction du vent n°2 - Configuration n°2

3.2.3.3 Direction du vent n°3

Il convient de considérer le cas représenté à la Figure 11.

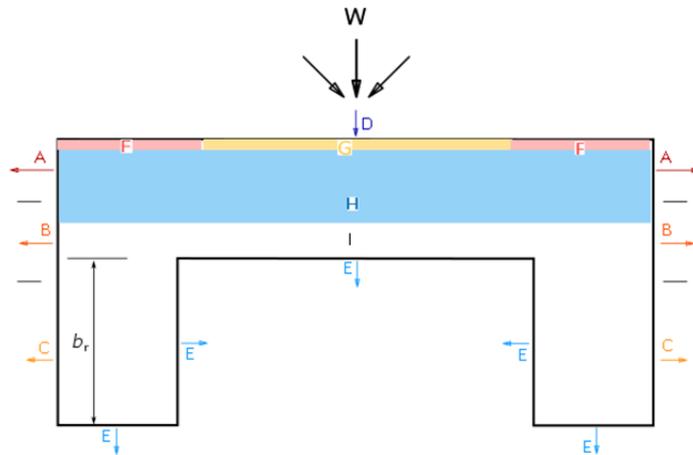


Figure 11 — Zones de pression pour la direction du vent n°3

3.3 Décrochement en élévation

3.3.1 Dimensions du bâtiment équivalent

Pour l'application du chapitre 7.2 de la NF EN 1991-1-4 [1], les dimensions définies ci-dessous peuvent être retenues (voir la **Figure 12**) :

- La hauteur h du maître couple à considérer correspond à la hauteur maximale du bâtiment ;
- La largeur b du maître couple à considérer correspond à la largeur maximale du bâtiment ;
- La profondeur d dans le sens du vent à considérer est calculée de façon à obtenir un bâtiment équivalent présentant la même surface verticale projetée, tel que montré à la **Figure 12**.

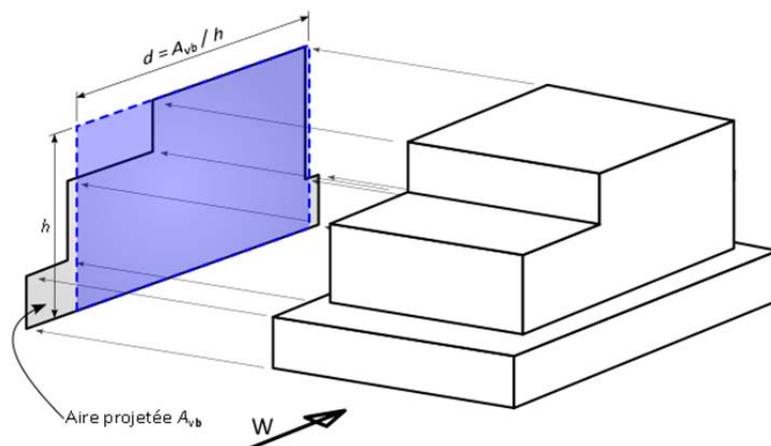


Figure 12 — Dimensions à considérer pour un bâtiment à décrochement en élévation

Certaines constructions peuvent être considérées comme constituées de plusieurs obstacles aérauliques indépendants. Ce cas se présente si au moins une des conditions ci-dessous est observée pour la direction de vent considérée :

- a) La différence de largeur de maître couple à l'interface des deux obstacles est plus grande que le double de la hauteur de l'obstacle inférieur (voir la **Figure 13(a)**) ;
- b) Le retrait dans la direction du vent de l'obstacle supérieur par rapport à l'obstacle inférieur est plus important que le minimum entre le double de sa hauteur et la distance e calculée pour l'obstacle inférieur isolé (voir la **Figure 13(b)**).

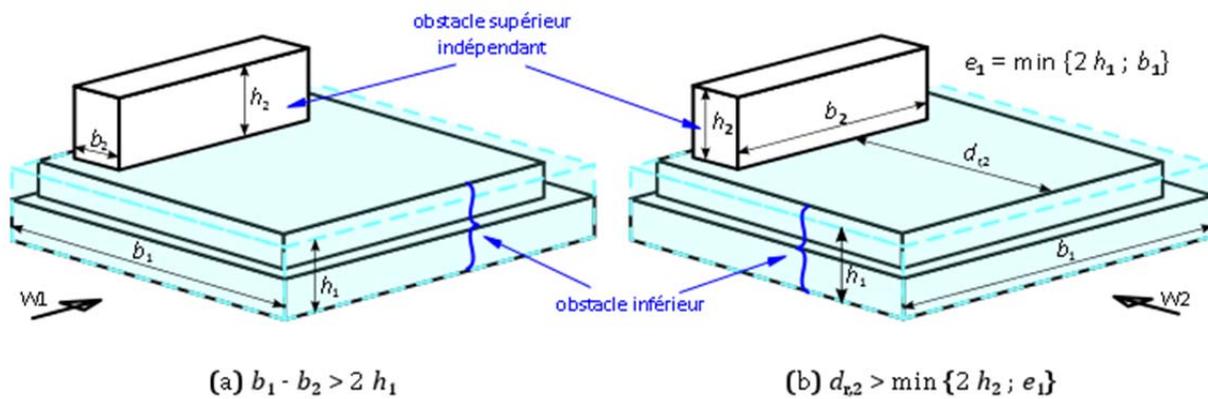


Figure 13 — Construction comportant plusieurs obstacles aérodynamiques pouvant être considérés comme indépendants

NOTE La première condition permet de s'assurer que la distance offerte à l'air pour contourner l'obstacle inférieur par le haut est au moins équivalente à la distance qui lui est offerte pour le contourner par les côtés. La seconde condition correspond à la distance à partir de laquelle l'écoulement de l'air retrouve un état comparable à celui qui règne en amont de l'obstacle.

Dans ce cas, les dimensions h , b et d sont à définir séparément pour chaque obstacle indépendant, au besoin en définissant la dimension d comme indiqué à la Figure 12.

La pression dynamique de pointe peut être calculée pour chacun des obstacles en fonction de sa hauteur maximale z au-dessus du sol. La règle de distribution de la pression sur la face au vent donnée à la clause 7.2.2(1) de la NF EN 1991-1-4 [1] est également appliquée pour chaque obstacle considéré séparément.

3.3.2 Coefficients de pression extérieure

3.3.2.1 Décrochement au vent

La répartition des zones de pression uniforme dans le cas où le décrochement est au vent est donnée sur les **Figures 14** et **15**.

Une variation linéaire similaire à celle présentée à la **Figure 1** peut être considérée lorsque les pressions changent de signe sur une même face.

La répartition sur la toiture inférieure dépend du rapport entre la dimension horizontale de la toiture inférieure d_r et la hauteur du décrochement h_r :

- Figure 14 lorsque $d_r \geq h_r$
- Figure 15 lorsque $d_r < h_r$

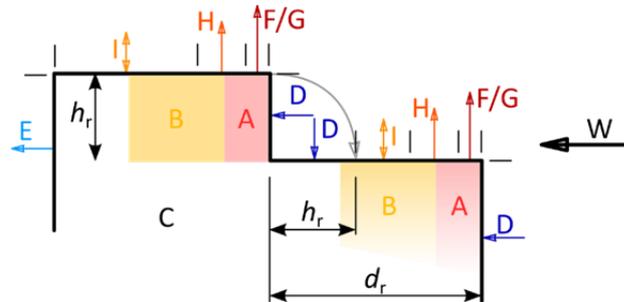


Figure 14 — Décrochement en élévation au vent avec $d_r \geq h_r$

Des dépressions peuvent également apparaître sur le niveau de toiture intermédiaire. L'intensité de ces dépressions dépend du rapport entre la hauteur du niveau de toiture intermédiaire h_1 et la hauteur totale du bâtiment h (voir Figure 15). Il convient de considérer un cas de pression et un cas de suction (a) ou (b).

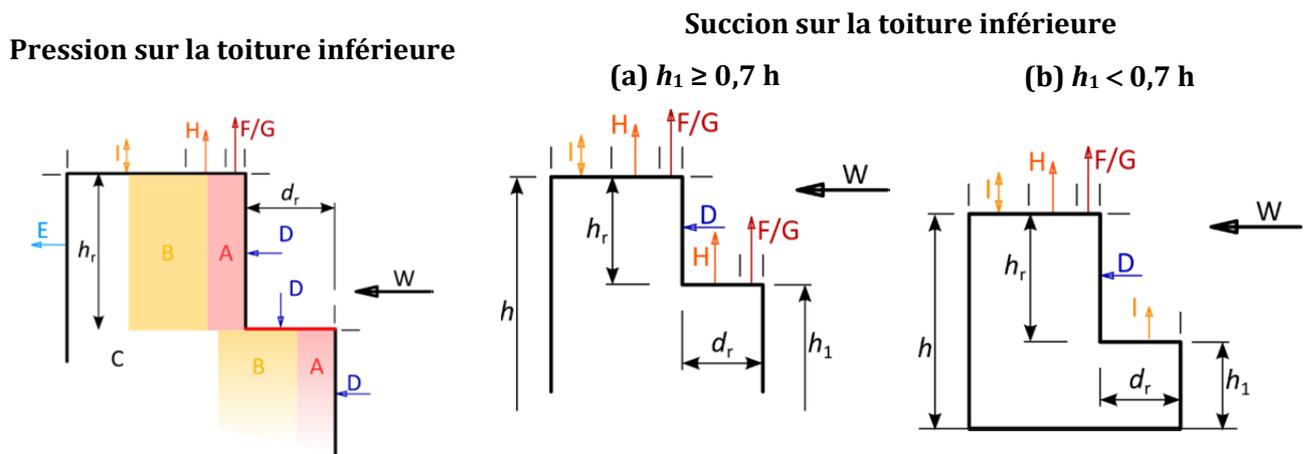
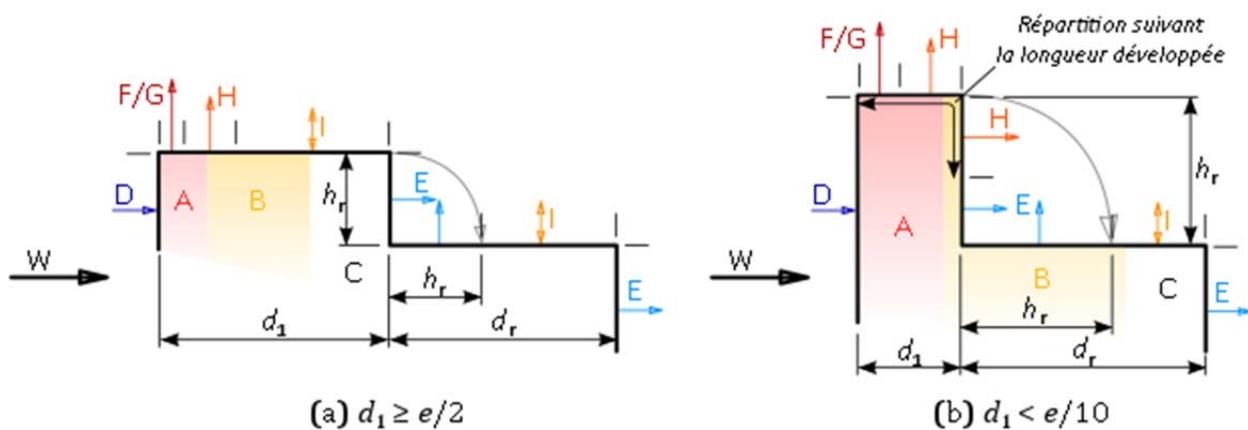


Figure 15 — Décrochement en élévation au vent avec $d_r < h_r$

3.3.2.2 Décrochement sous le vent ou parallèle au vent

La répartition des zones de pression uniforme, lorsque le décrochement est sous le vent ou parallèle au vent, est donnée sur les Figures 16 et 17 respectivement. Une variation linéaire similaire à celle présentée à la Figure 1 peut être considérée lorsque les pressions changent de signe sur une même face.



Cas (a) $d_1 \geq e/2$

Cas (b) $e/10 \leq d_1 < e/2$

NOTE Pour $d_1 < e/10$, il convient de traiter l'élément comme un acrotère épais (voir chapitre 9.4).

Figure 16 — Décrochement en élévation sous le vent

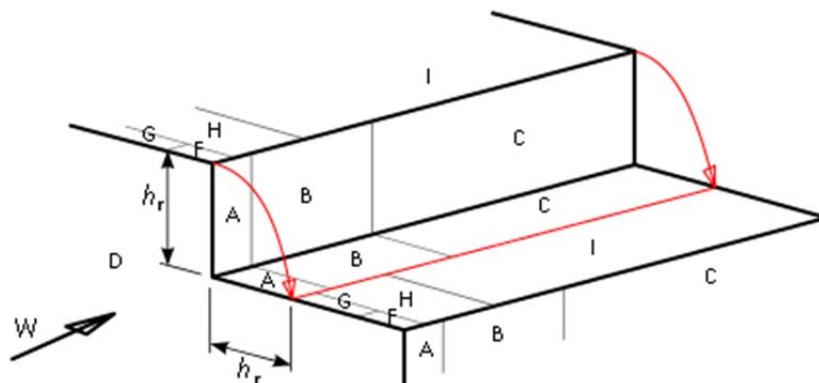


Figure 17 — Décrochement en élévation parallèle au vent

4 Auvents

4.1 Domaine d'application

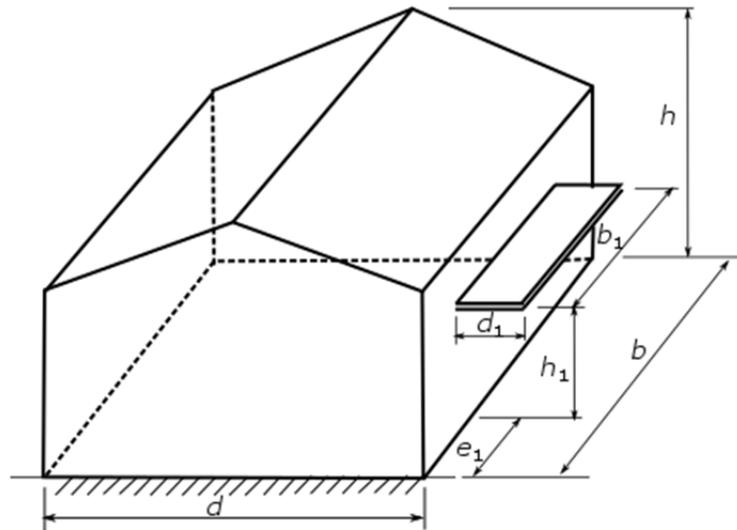
Les bâtiments à ossature en acier comportent couramment en façade des auvents dont le dimensionnement est fortement conditionné par les actions du vent.

A défaut de prescription propre à ces éléments dans la NF EN 1991-1-4 [1] et dans l'Annexe Nationale associée, il est recommandé d'utiliser les coefficients de pression nette donnés par le Tableau 1 ci-après.

Ces coefficients couvrent les auvents accolés à une paroi verticale, présentant une portée d_1 inférieure à 10 m et un angle d'inclinaison sur l'horizontale, positif ou négatif, inférieur à 10° . Les valeurs fournies sont applicables quelle que soit la position de l'auvent par rapport à un angle du bâtiment.

Pour l'utilisation du tableau 1, la configuration traitée et les cotes géométriques associées sont définies à la Figure 18.

Lorsque l'auvent prolonge simplement la toiture au-delà de la façade ($h_1 = h$), il convient d'appliquer la clause 7.2.1(3) de la NF EN 1991-1-4 [1] traitant des avancées de toit.



Légende

h = hauteur au faîtage au-dessus du sol

h_1 = hauteur entre le sol et la liaison de l'auvent avec la façade

Figure 18 - Géométrie et dimensions respectives du bâtiment et de l'auvent

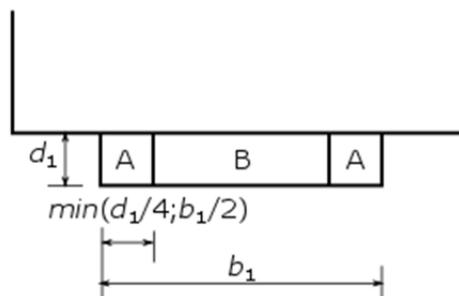


Figure 19 - Dimensions et répartition des zones sur les auvents

NOTE Les zones A et B indiquées sur la Figure 19 sont définies pour toutes les directions de vent.

4.2 Forces sur les auvents

La force exercée par le vent agissant sur un auvent peut être déterminée par l'expression :

$$F_w = c_{p,net} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

avec :

$c_{p,net}$ = coefficients de pression nette sur l'auvent données au Tableau 1

$q_p(z_e)$ = pression dynamique de pointe à la hauteur de référence au faîtage du bâtiment

A_{ref} = aire de référence

Deux cas de charge sont à considérer, quelle que soit la direction du vent :

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

Les valeurs de même signe doivent être utilisées simultanément sur les zones A et B.

Tableau 1 - Valeurs de $c_{p,net}$ sur les différentes zones des auvents

Rapport des hauteurs h_1/h	Zone A			Zone B		
	Charge descendante	Charge ascendante		Charge descendante	Charge ascendante	
		$h_1/d_1 \leq 1,0$	$h_1/d_1 \geq 3,5$		$h_1/d_1 \leq 1,0$	$h_1/d_1 \geq 3,5$
$\leq 0,1$	1,1	- 0,9	- 1,4	0,9	- 0,2	- 0,5
0,2	0,8	- 0,9	- 1,4	0,5	- 0,2	- 0,5
0,3	0,7	- 0,9	- 1,4	0,4	- 0,2	- 0,5
0,4	0,7	- 1,0	- 1,5	0,3	- 0,2	- 0,5
0,5	0,7	- 1,0	- 1,5	0,3	- 0,2	- 0,5
0,6	0,7	- 1,1	- 1,6	0,3	- 0,4	- 0,7
0,7	0,7	- 1,2	- 1,7	0,3	- 0,7	- 1,0
0,8	0,7	- 1,4	- 1,9	0,3	- 1,0	- 1,3
0,9	0,7	- 1,7	- 2,2	0,3	- 1,3	- 1,6

Une interpolation linéaire peut être utilisée pour les valeurs intermédiaires de h_1/h .
 Une interpolation linéaire est nécessaire pour les valeurs intermédiaires de : $1,0 < h_1/d_1 < 3,5$

5 Toitures isolées

5.1 Généralités

La NF EN 1991-1-4 [1] prévoit l'utilisation de coefficients de pression $c_{p,net}$ et de coefficients de force globale c_f .

Les coefficients $c_{p,net}$ concernent la couverture et ses fixations (enveloppe).

Les coefficients c_f concernent les éléments de structure, objets du présent chapitre. Leur traduction en coefficients de pression pour les toitures isolées à un versant est donnée au Tableau 2 (voir 5.3).

Pour les toitures isolées à deux versants, les coefficients de force c_f spécifiés dans le Tableau 7.7 de la NF EN 1991-1-4 [1] s'appliquent comme des coefficients de pression selon les dispositions de la Figure 7.17.

5.2 Aire de référence

L'aire de référence d'une toiture isolée est $A_{ref} = b \cdot d$. Les longueurs b et d sont à considérer suivant la Figure 20.

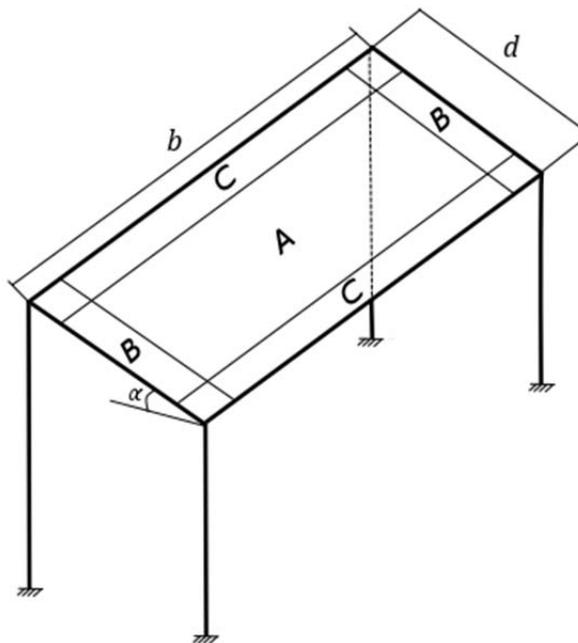


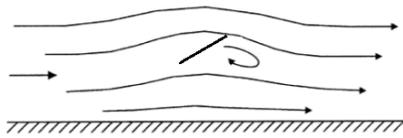
Figure 20 — Dimensions et zonage pour une toiture isolée à un versant

NOTE Dans les angles, le signe * signifie qu'il convient de retenir selon les cas la valeur la plus défavorable des $c_{p,net}$ des zones B ou C.

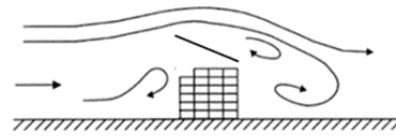
5.3 Action du vent sur les toitures isolées à un versant

Le présent paragraphe propose une traduction des coefficients de force c_f sous la forme d'une distribution de coefficients de pression le long du versant de la toiture, dont la résultante est conforme, en grandeur et position, à celle définie par la norme NF EN 1991-1-4 [1] et son Annexe Nationale (voir chapitre 7.3 et Tableau 7.6).

Lorsque le vent frappe la rive haute ou basse de la toiture, il convient d'appliquer les valeurs données dans le Tableau n°2. Cette méthode est représentée sur les Figures 21 et 22.

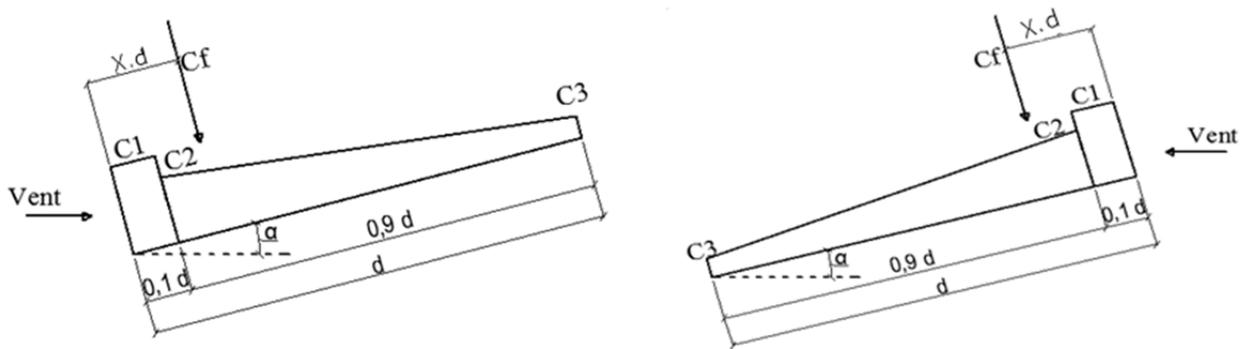


Toiture isolée vide
 $\varphi = 0$



Toiture isolée avec des obstructions du côté sous le vent, par des marchandises entreposées
 $\varphi = 1$

Figure 21 — Exemples d'écoulement de l'air autour d'une toiture isolée à un versant



$X.d$ = position de la résultante c_f par rapport à la rive attaquée par le vent

Figure 22 — Coefficients de pression et de force à appliquer sur une toiture isolée à un versant

Lorsque le vent frappe une rive inclinée, il convient d'appliquer sur l'intégralité de la toiture la valeur du coefficient de force c_f correspondant à un angle $\alpha = 0$, donné par le Tableau 3 et comme représenté sur la Figure 23.

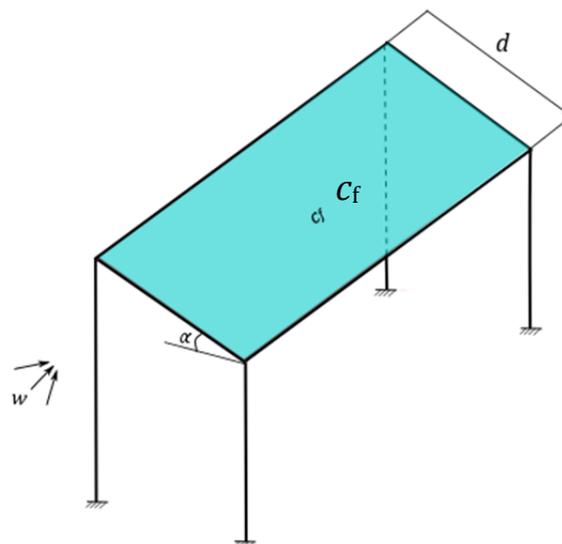


Figure 23 : Toiture isolée à un versant (vent perpendiculaire au pignon)

Tableau 2 — Coefficients de pression et de force à appliquer pour une toiture isolée à un versant

Angle de toiture	Obstruction φ	Coefficients de force globaux c_f		Coefficients de pression c_p		
				c_1	c_2	c_3
0°	maxi, quel que soit φ	$X = 0,25$	0,20	1,10	0,13	0,06
	minimum, $\varphi = 0$		- 0,50	- 1,40	- 1,00	0,19
	minimum, $\varphi = 1$		- 1,30	- 2,95	- 2,92	0,67
5°	maxi, quel que soit φ	$X = 0,25$	0,40	1,30	0,70	-0,11
	minimum, $\varphi = 0$		- 0,70	- 1,80	- 1,47	0,31
	minimum, $\varphi = 1$		- 1,40	- 3,15	- 3,14	0,73
10°	maxi, quel que soit φ	$X = 0,25$	0,50	1,60	0,89	-0,15
	minimum, $\varphi = 0$		- 0,90	- 2,10	- 1,99	0,45
	minimum, $\varphi = 1$		- 1,40	- 3,15	- 3,14	0,73
15°	maxi, quel que soit φ	$X = 0,325$	0,70	1,80	1,08	0,08
	minimum, $\varphi = 0$		- 1,10	- 2,50	- 1,85	- 0,04
	minimum, $\varphi = 1$		- 1,40	- 3,00	- 2,44	0,00
20°	maxi, quel que soit φ	$X = 0,40$	0,80	2,10	0,76	0,54
	minimum, $\varphi = 0$		- 1,30	- 2,90	- 1,50	- 0,76
	minimum, $\varphi = 1$		- 1,40	- 3,00	- 1,67	- 0,78
25°	maxi, quel que soit φ	$X = 0,40$	1,00	2,30	1,11	0,59
	minimum, $\varphi = 0$		- 1,60	- 3,20	- 2,02	- 0,83
	minimum, $\varphi = 1$		- 1,40	- 2,80	- 1,77	- 0,73
30°	maxi, quel que soit φ	$X = 0,40$	1,20	2,40	1,51	0,62
	minimum, $\varphi = 0$		- 1,80	- 3,60	- 2,27	- 0,94
	minimum, $\varphi = 1$		- 1,40	- 2,70	- 1,82	- 0,70

NOTE Pour les valeurs intermédiaires d'angle de toiture ou d'obstruction φ , les valeurs des coefficients de pression c_1, c_2, c_3 peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

Tableau 3 — Valeurs des coefficients de force globaux c_f pour un angle de toiture $\alpha = 0$

Angle de toiture α	Obstruction φ	Coefficients de force globaux c_f
0°	Maximum, quel que soit φ	+ 0,2
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3

6 Coefficient structural $c_s c_d$ applicable aux éléments secondaires (complément à la clause 6.2)

Le coefficient $c_s c_d$ déterminé par application de l'Annexe B de la NF EN 1991-1-4 [1] ou à l'aide des abaques de l'Annexe D de la NF EN 1991-1-4 [1] qui en sont déduits, est destiné au calcul de la structure primaire du bâtiment, soumise à des effets d'ensemble dus au vent, tels qu'ils résultent du cumul des pressions exercées sur les différentes parois constituant l'enveloppe du bâtiment. Pour rappel, le coefficient $c_s c_d$ s'applique aux composantes de pression extérieure de l'action du vent.

Pour le calcul des éléments secondaires constituant l'ossature propre à chaque paroi considérée individuellement, il est recommandé d'adopter pour $c_s c_d$ la valeur 1,0 ou celle déterminée pour le calcul de l'ossature primaire si elle est supérieure à 1,0.

7 Coefficients c_{pe1}/c_{pe10} (complément à la Clause 7.2.1)

Généralement en construction métallique, les éléments individuels de structure sont affectés par des surfaces de paroi supérieures à 10 m², et seuls les coefficients $c_{pe,10}$ sont donc à considérer dans les calculs de dimensionnement.

Dans les cas particuliers où cette condition n'est pas satisfaite, les précisions suivantes sont apportées pour la détermination de la surface de paroi à considérer :

- 1) La surface à considérer S est celle affectée à l'élément de structure examiné, sans considération de la subdivision éventuelle de cette surface par les zonages prévus pour les murs verticaux (figure 7.5 de la NF EN 1991-1-4 [1]) ou pour les toitures (figures 7.6 à 7.9 de la NF EN 1991-1-4 [1]) ;
- 2) Lorsque la surface S est subdivisée en plusieurs zones, les coefficients de pression associés à ces zones sont tous calculés à partir de l'aire totale de cette surface S ;
- 3) Lorsque l'élément de structure considéré est établi en continuité sur plusieurs travées, la surface S est comptabilisée par travée individuelle ; par simplification, il est loisible d'adopter uniformément pour toutes les travées, la surface associée à celle des travées qui présente la plus petite portée.

8 Application du coefficient de réduction dû au défaut de corrélation (complément aux clauses 5.3(5) et 7.2.2(3))

Il est rappelé que, conformément aux notes des clauses 5.3(5) et 7.2.2(3) de la norme NF EN 1991-1-4 [1], un coefficient de réduction que l'on note ici k_{dc} , dû au défaut de corrélation entre les pressions aérodynamiques au vent et sous le vent, peut être appliqué à la force résultante horizontale de l'action du vent (action d'ensemble).

Par simplification, il est loisible pour définir les cas de charges de vent de la structure principale, d'appliquer ce coefficient aux coefficients de pression extérieure des parois verticales (voir Figure 24).

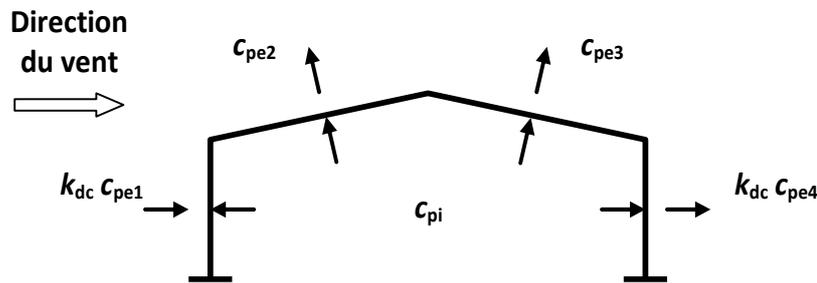


Figure 24 — Exemple de prise en compte du coefficient de réduction k_{dc}

NOTE Dans le cas d'un calcul d'ensemble, il est possible d'appliquer simultanément le coefficient de défaut de corrélation k_{dc} et le coefficient structural c_{s,c_d} (sous réserve de limiter le coefficient c_{s,c_d} à une valeur minimale de 0,75).

9 Cas des acrotères

9.1 Généralités

L'Annexe Nationale NF EN 1991-1-4/NA [2] fournit des coefficients de pression nette spécifiques pour les acrotères, en tant que paramètres déterminés au plan national (NDP) dans le cadre de la clause 7.4.1(1) de la norme européenne NF EN 1991-1-4 [1].

En premier lieu, il est recommandé de cumuler les efforts résultant de ces coefficients, sans appliquer la réduction pour défaut de corrélation entre les pressions au vent et sous le vent, prévue à la clause 7.2.2(3) de la NF EN 1991-1-4 [1].

Par ailleurs, des précisions pour l'utilisation de ces mêmes coefficients sont apportées dans les paragraphes suivants, pour des configurations particulières différentes du cas courant prévu par l'Annexe Nationale, caractérisé par la présence simultanée de deux acrotères (au vent et sous le vent), en prolongement des façades normales à la direction nominale du vent.

Conformément à la terminologie adoptée par la norme européenne, dans ce qui suit, on désigne comme « sous le vent » la façade perpendiculaire à la direction nominale du vent située en aval de celle directement frappée par le vent (respectivement zones repérées E et D suivant la Figure 7.5 de la NF EN 1991-1-4 [1]). Les parois orientées parallèlement à la direction nominale du vent sont identifiées comme « murs latéraux » (zones repérées A, B et C suivant la Figure 7.5 de la NF EN 1991-1-4 [1]).

9.2 Coefficient de force pour les acrotères implantés en partie courante de toiture (cas des murs coupe-feu)

Si l'acrotère est implanté en partie courante de toiture, il convient de lui appliquer le coefficient $c_{p,net} = 1,0$ prévu pour les acrotères sous le vent par la NF EN 1991-1-4/NA [2].

9.3 Coefficient de force en l'absence d'un des deux acrotères perpendiculaires à la direction du vent

Lorsque l'acrotère unique est sous le vent, c'est-à-dire en prolongement de la façade sous le vent, le coefficient $c_{p,net}$ peut être pris égal à 1 sous réserve que le faitage ou la longueur et la pente de la toiture réalise un effet de protection suffisant.

Pour une toiture-terrasse (angle compris entre 5° et -5°), la protection est jugée suffisante si la profondeur dans la direction du vent d n'excède pas le double de la dimension e définie à la Figure 7.5 de la NF EN 1991-1-4 [1]. Dans le cas contraire, il est recommandé d'adopter la valeur 1,5 pour le coefficient $c_{p,net}$.

La **Figure 25** précise les coefficients de pression nette $c_{p,net}$ recommandés pour les toitures à pente plus prononcées.

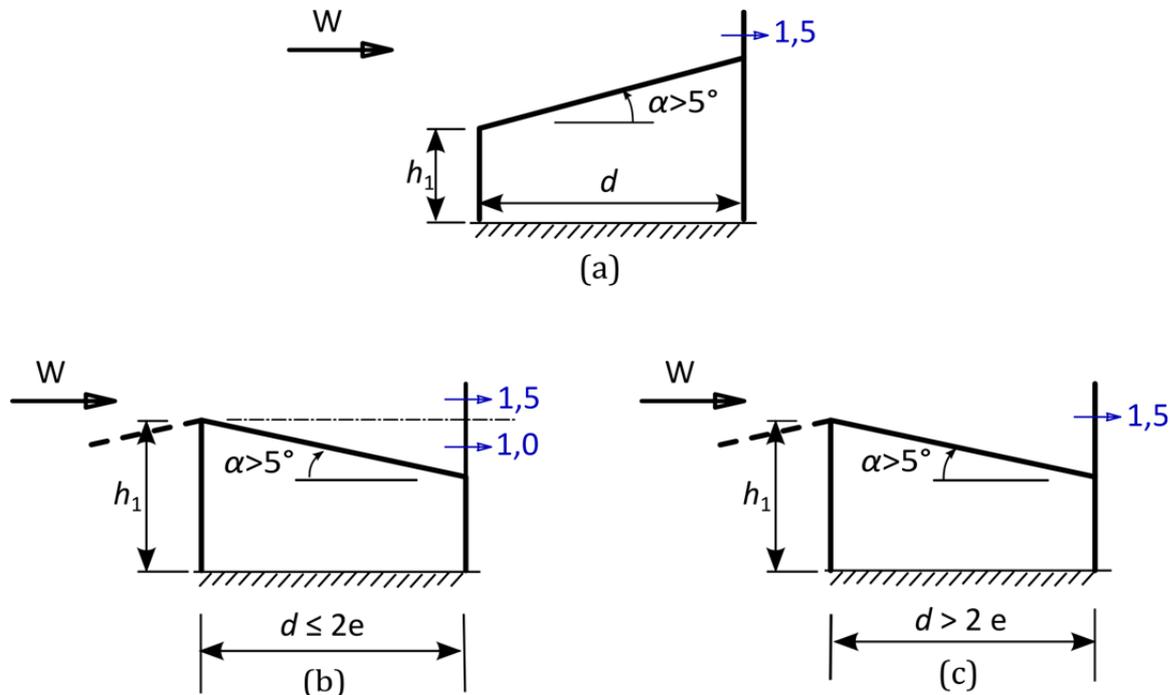


Figure 25 — Toitures avec acrotère d'un seul côté

9.4 Répartition du coefficient de pression entre les deux faces de l'acrotère

Lorsque l'on souhaite distinguer les pressions sur chaque face d'un acrotère épais, il est recommandé de prendre en compte :

- 1) Sur la face extérieure, le c_{pe} de la zone de façade en continuité avec l'acrotère considéré (coefficient correspondant aux zones A à E prévues pour les murs verticaux selon la Figure 7.5 de la NF EN 1991-1-4 [1]) ;
- 2) Sur la face intérieure d'un acrotère au vent ou sous le vent, le coefficient de pression « intérieure » (coté toiture) correspond au complément entre le $c_{p,net}$ déterminé suivant 7.4.1(1) de la NF EN 1991-1-4/NA [2] et le coefficient de pression « extérieure » (coté façade) (voir sur la **Figure 26**) ;

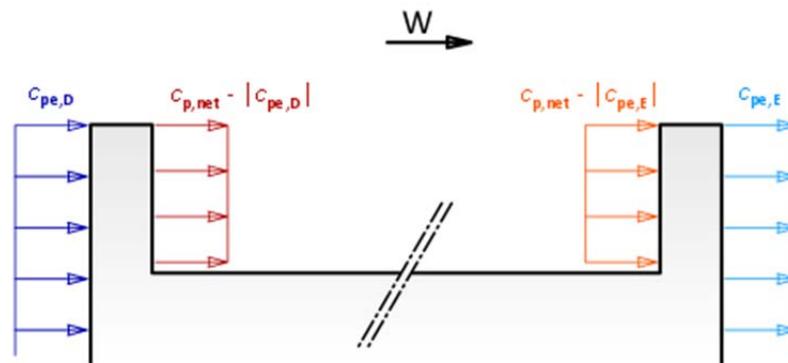


Figure 26 — Pression sur les deux faces d'un acrotère perpendiculaire au vent

- 3) Sur la face intérieure d'un acrotère parallèle au vent, la pression peut être considérée comme nulle.

10 Les parois verticales intérieures à ossature métallique

Pour les ossatures métalliques supportant des parois intérieures non autoportées, compartimentant le bâtiment en volumes fermés, il est recommandé d'envisager un couple surpression/dépression de part et d'autre de la cloison avec les valeurs des c_{pi} calculées selon la clause 7.2.9 de la NF EN 1991-1-4 [1] ou forfaitaires suivant la NOTE (2) de la clause 7.2.9(6).

Afin de ne pas créer d'efforts résultants sans signification physique, il convient d'adopter une même pression intérieure pour toutes les parois d'un même volume intérieur.

NOTE Les cloisons autoportées telles que cloisons en plaques de plâtre relèvent d'autres documents, tels NF DTU ou avis technique.

11 Réduction de l'action globale du vent sur des éléments répétitifs

Pour le calcul de l'action globale du vent sur un ensemble d'éléments identiques disposés les uns derrière les autres dans la direction du vent et appartenant à une même structure, il est possible d'appliquer un coefficient de réduction η tel que défini sur la **Figure 27**.

Pour des éléments non identiques, il est permis d'appliquer la même formule que pour les éléments non équidistants, en y introduisant les coefficients de réduction associés aux taux de remplissage des éléments successifs.

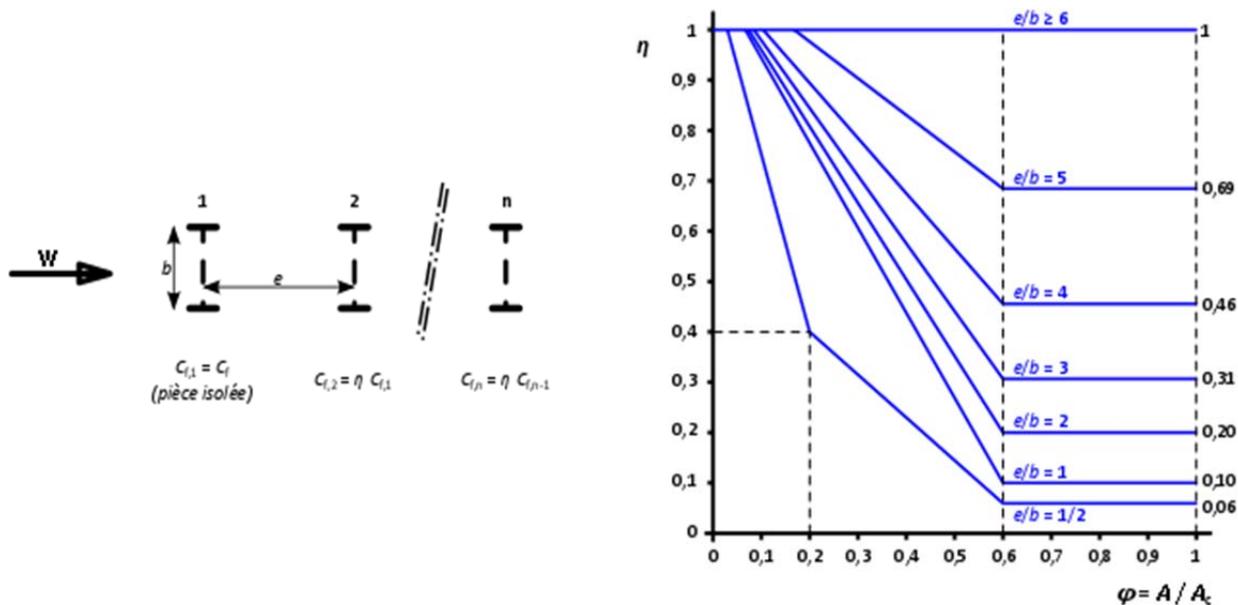


Figure 27 — Coefficient de réduction

Le taux de remplissage φ est donné par l'expression :

$$\varphi = \frac{A}{A_c}$$

où :

A est la somme des aires projetées des éléments de la structure

A_c est l'aire de la surface circonscrite à la structure $A_c = \ell b$ (voir Figure 28)

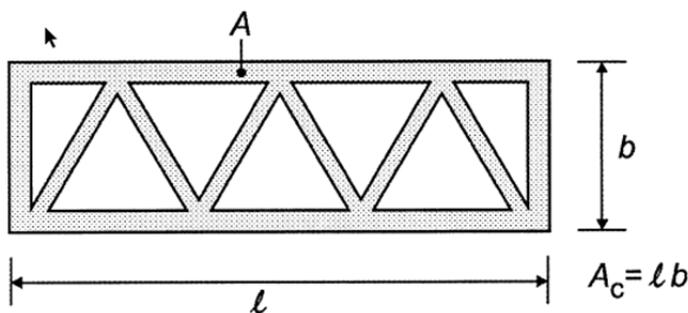


Figure 28 — Définition du taux de remplissage

n pièces équidistantes :

$$C_f = (1 + \eta + \eta^2 + \dots + \eta^{n-1})C_{f,1}$$

n pièces non équidistantes :

$$C_f = \{1 + \eta_{12}(1 + \eta_{23}(1 + \dots))\}C_{f,1}$$

Bibliographie

- [1] **NF EN 1991-1-4** : Eurocode 1 : Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent, AFNOR, 2005 (2ème tirage 2010) + A1 : 2010
- [2] **NF EN 1991-1-4/NA** : Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4, AFNOR, 2008 + A1 :2011 + A2 :2012
- [3] **Recommandations pour le calcul des effets du vent sur les constructions**, CECM n°52 (2nd édition 1987), Revue Construction Métallique n°1-1989