

LES ACTIONS

Ce chapitre présente un certain nombre d'informations sur les principales natures d'action auxquelles sont soumis les ouvrages. On distingue les charges permanentes des surcharges d'exploitation et des surcharges climatiques (neige et vent). Le séisme constitue une action accidentelle qui n'est pas abordée ici.

Les charges permanentes

Les charges permanentes sont précisées dans la norme européenne NF EN 1991-1-1 (mars 2003). Elles sont présentées sous la forme de tableaux de valeurs nominales des poids volumiques des matériaux de construction et des matériaux stockés. Pour les principaux matériaux de construction, en voici les valeurs :

Tableau 3

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION - BÉTON/MORTIER

Matériaux	Poids volumique γ [kN/m ³]
Béton (voir EN 206)	
Béton léger	
classe de masse volumique LC 1,0	9,0 à 10,0 ^{ab}
classe de masse volumique LC 1,2	10,0 à 12,0 ^{ab}
classe de masse volumique LC 1,4	12,0 à 14,0 ^{ab}
classe de masse volumique LC 1,6	14,0 à 16,0 ^{ab}
classe de masse volumique LC 1,8	16,0 à 18,0 ^{ab}
classe de masse volumique LC 2,0	18,0 à 20,0 ^{ab}
béton de poids normal	24,0 ^{ab}
béton lourd	ab
Mortier	
mortier de ciment	19,0 à 23,0
mortier de plâtre	12,0 à 18,0
mortier de chaux et de ciment	18,0 à 20,0
mortier de chaux	12,0 à 18,0
^a Augmenter de 1 kN/m ³ dans le cas d'un taux d'armatures de béton armé ou de béton précontraint normal	
^b Augmenter de 1 kN/m ³ dans le cas de béton non durci	

Tableau 4

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION - MAÇONNERIE

Matériaux	Poids volumique γ [kN/m ³]
Éléments de maçonnerie	
éléments en terre crue	voir prEN 771-1
éléments en silicate de calcium	voir prEN 771-2
éléments en béton de granulats	voir prEN 771-3
éléments en béton cellulaire autoclavé	voir prEN 771-4
éléments en pierre reconstituée	voir prEN 771-5
pavés de verre creux	voir prEN 1051
éléments en terre cuite	21,0
pierres naturelles	voir prEN 771-6
granite, syénite, porphyre	27,0 à 30,0
basalte, diorite, gabbro	27,0 à 31,0
tachylite	26,0
lave basaltique	24,0
grauwacke, grès	21,0 à 27,0
calcaire dense	20,0 à 29,0
tuff volcanique	20,0
gneiss	30,0
ardoise	28,0

Tableau 5

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION – BOIS

Matériaux	Poids volumique γ [kN/m ³]
Bois (voir EN 338 pour les classes de résistance du bois)	
classe de résistance C 14	3,5
classe de résistance C 16	3,7
classe de résistance C 18	3,8
classe de résistance C 22	4,1
classe de résistance C 24	4,2
classe de résistance C 27	4,5
classe de résistance C 30	4,6
classe de résistance C 35	4,8
classe de résistance C 40	5,0
classe de résistance D 30	6,4
classe de résistance D 35	6,7
classe de résistance D 40	7,0
classe de résistance D 50	7,8
classe de résistance D 60	8,4
classe de résistance D 70	10,8
Lamellé collé (voir EN 1194 pour les classes de résistance du bois)	
lamellé homogène GL24h	3,7
lamellé homogène GL28h	4,0
lamellé homogène GL32h	4,2
lamellé homogène GL36h	4,4
lamellé panaché GL24c	3,5
lamellé panaché GL28c	3,7
lamellé panaché GL32c	4,0
lamellé panaché GL36c	4,2
Contreplaqué	
résineux	5,0
bouleau	7,0
panneaux lamellés et panneaux lattés	4,5
Panneaux agglomérés	
panneaux de particules	7,0 à 8,0
panneaux de fibragglo	12,0
Parallam, panneaux de lamelles minces orientées (OSB), wafer board	7,0
Panneaux de fibres	
panneaux durs et extra durs	10,0
panneaux de fibres de moyenne densité (MDF)	8,0
panneaux tendres	4,0

Tableau 6

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION – MÉTAUX

Matériaux	Poids volumique γ [kN/m ³]
Métaux	
aluminium	27,0
laiton	83,0 à 85,0
bronze	83,0 à 85,0
cuivre	87,0 à 89,0
fonte	71,0 à 72,5
fer forgé	76,0
plomb	112,0 à 114,0
acier	77,0 à 78,5
zinc	71,0 à 72,0

Tableau 7

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION – AUTRES MATÉRIAUX

Matériaux	Poids volumique γ [kN/m ³]
Autres matériaux	
verre brisé	22,0
verre en feuilles	25,0
Matières plastiques	
plaques acryliques	12,0
billes de polystyrène expansé	0,3
mousse de verre	1,4
ardoise	28,0

Tableau 8

MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LES PONTS

Matériaux	Poids volumique γ [kN/m ³]
Revêtements des ponts routiers	
asphalte coulé et béton bitumineux	24,0 à 25,0
mastic d'asphalte	18,0 à 22,0
asphalte roulé à chaud	23,0
Remplissages pour ponts	
sable (sec)	15,0 à 16,0
ballast, graviers (non compacté)	15,0 à 16,0
pierres	18,5 à 19,5
laitier concassé	13,5 à 14,5
gabions	20,5 à 21,5
argile corroyée	18,5 à 19,5
Revêtements des ponts-rails	
couche de protection en béton	25,0
ballast normal (granite, gneiss, etc.)	20,0
ballast basaltique	26

Les charges d'exploitation

Les charges d'exploitation sont précisées dans la norme NF EN 1991-1-1 (mars 2003) et son annexe nationale. Elles dépendent de la catégorie d'usage considérée.

Tableau 9

EXEMPLES DE CATÉGORIE D'USAGE POUR LES BÂTIMENTS (NF EN 1991-1-1)

Catégorie	Usage spécifique	Exemples
A	Habitation, résidentiel	Pièces des bâtiments et maisons d'habitation : chambres et salles des hôpitaux ; chambres d'hôtel et de foyer ; cuisines et sanitaires
B	Bureaux	
C	Lieux de réunion (à l'exception des surfaces de catégorie A, B et D1)	C1 : Espaces équipés de tables, etc. Par exemple : écoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salles de lecture, salles de réception
		C2 : Espaces équipés de sièges fixes. Par exemple : églises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente
		C3 : Espaces ne présentant pas d'obstacle à la circulation des personnes. Par exemple : salles de musée, salles d'exposition, etc. et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux, gares
		C4 : Espaces permettant des activités physiques. Par exemple : dancings, salles de gymnastique, scènes
		C5 : 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	D1 : Commerces de détail courants
		D2 : Grands magasins
Voir notes dans la NF EN 1991-1-1		

Tableau 10

VALEURS DE QUELQUES CHARGES D'EXPLOITATION EXTRAITES DE LA NORME NF EN 1991-1-1 ET NF EN 1991-1-1/NA (JUIN 2004)

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

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

La neige

L'EN 1991-1-3 (avril 2004) : « Charges de neige », avec son annexe nationale, définit les actions de la neige sur les constructions par rapport à une valeur caractéristique de la neige sur le sol (s_k). Cette valeur dépend de la localisation géographique (carte de zonage) et de l'altitude A du lieu considéré (supplément de charge en fonction de l'altitude et de la localisation géographique).

Par ailleurs, les chutes exceptionnelles de neige observées sur une partie du territoire, à une altitude inférieure à 200 m, sont considérées comme des actions accidentelles. Leur valeur s_{Ad} est attachée à la carte de zonage et indépendante de l'altitude.

Sachant que la neige peut glisser le long de la toiture, être redistribuée par le vent, absorber l'eau de pluie concomitante à la présence de neige, la charge à prendre en compte doit aussi être corrigée d'un coefficient de forme μ de la toiture et, éventuellement de l'augmentation de la masse volumique de la neige.

La charge de neige « s » s'exerce verticalement et doit être rapportée à une projection horizontale de la surface de la toiture. Elle est déterminée par :

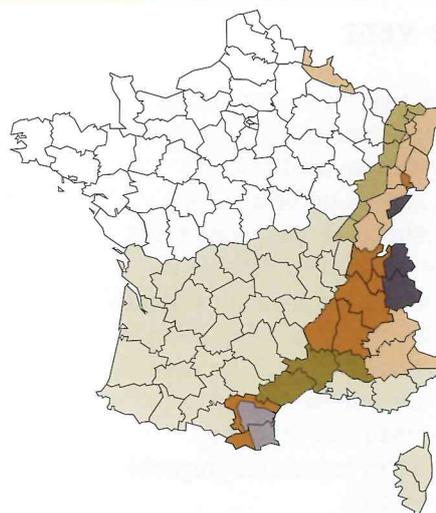
$$S = \mu \cdot s_k + S_{maj}$$

et, pour la charge accidentelle :

$$S = \mu \cdot s_{Ad} + S_{maj}$$

La charge s_{maj} est appliquée forfaitairement sur les toitures ou parties de toiture présentant de faibles pentes pour tenir compte de

CARTE DES VALEURS DES CHARGES DE NEIGE À PRENDRE EN COMPTE SUR LE TERRITOIRE NATIONAL MÉTROPOLITAIN (charges en kN/m²)



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 m	Δs_1						Δs_2	

l'augmentation de la densité de la neige résultant des difficultés d'évacuation de l'eau : 0,2 kN/m² lorsque la pente nominale du fil de l'eau est inférieure ou égale à 3 % et 0,1 kN/m² si elle est comprise entre 3 % et 5 %. La majoration s'étend dans toutes les directions sur une distance de 2 m au-delà de la partie de la toiture visée.

Les formules suivantes donnent le supplément de charge caractéristique du sol à considérer pour

tenir compte des effets de l'altitude, Δs_2 pour la région E (le nord des Alpes et le Jura), et Δs_1 pour toutes les autres régions :

Le coefficient de forme μ prend en compte la forme de la toiture, le glissement de la neige pour les pentes de toiture, en général, supérieures à 57,5 % (angle avec l'horizontale = 30°), la redistribution par le vent (enlèvement partiel, accumulation...). Ce coefficient est défini, pour chaque cas, dans la norme.

Altitude A [en mètres]	Δs_1 (A) [en kN/m ²]	Δs_2 (A) [en kN/m ²]
entre 0 et 200	0	0
entre 200 et 500	$0,10 \frac{A-200}{100}$	$0,15 \frac{A-200}{100}$
entre 500 et 1000	$0,30 + 0,15 \frac{A-500}{100}$	$0,45 + 0,35 \frac{A-500}{100}$
entre 1000 et 2000	$1,05 + 0,35 \frac{A-1000}{100}$	$2,20 + 0,70 \frac{A-1000}{100}$

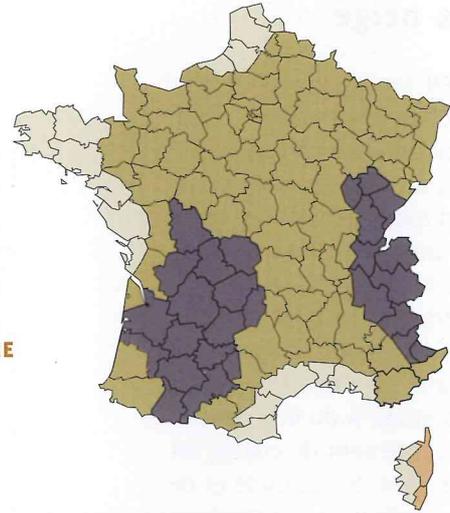
Le vent

L'EN 1991-1-4: « Actions du vent » (nov. 2005), avec son annexe nationale, définit les actions du vent sur les constructions par rapport à une vitesse de référence du vent (v_b). Cette valeur dépend de la localisation géographique (carte de zonage). Elle varie en fonction de la hauteur au-dessus du sol et des obstacles rencontrés (rugosité du terrain).

Les actions du vent se manifestent par des pressions exercées normalement aux surfaces. Elles s'appliquent directement sur les surfaces extérieures des constructions et agissent indirectement sur les surfaces intérieures du fait de la porosité des parois. Elles dépendent de la vitesse locale du vent (transcrite sous forme de pression dite « dynamique » par la relation $q_b = V_b^2 / 16,3$ avec V_b en m/s et q_b en daN/m², de sa direction et de la construction (géométrie, dimensions, souplesse, importance et position des ouvertures,...).

Cette pression dynamique de référence q_b est proportionnelle au carré de la vitesse de référence (vitesse moyenne sur 10 min, mesurée à 10 m de hauteur, sur un terrain de type rase campagne). Elle est corrigée de la hauteur à laquelle les calculs sont effectués, de la catégorie de terrain sur lequel est située la construction et est ramenée à une vitesse dite « de pointe » (rafales), à laquelle la construction devra résister, par un coefficient d'exposition c_e .

**CARTE DES VALEURS
DES PRESSIONS DYNAMIQUES
DE RÉFÉRENCE À PRENDRE
EN COMPTE SUR LE TERRITOIRE
NATIONAL MÉTROPOLITAIN**



Régions:

Pression dynamique de référence
 q_b (daN/m²)

	1	2	3	4
Pression dynamique de référence q_b (daN/m ²)	30	35	41,5	48

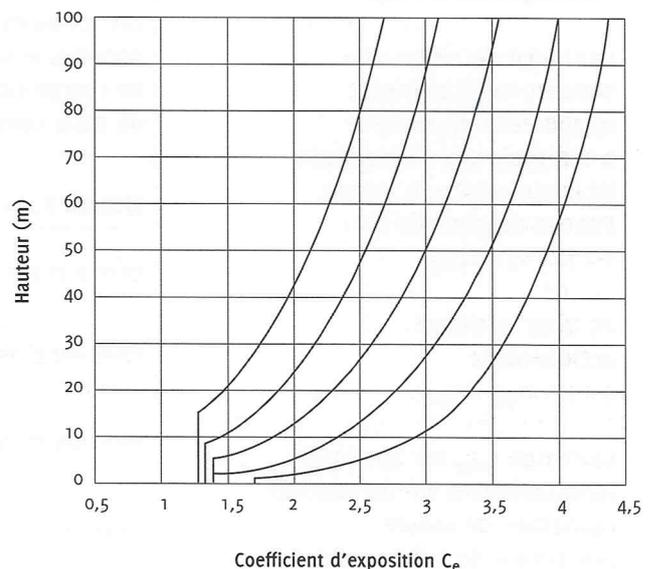
PRESSION DYNAMIQUE DE POINTE

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

Catégories de terrain

- 0 Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer ; lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km
- II Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur
- IIIa Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé
- IIIb Zones urbanisées ou industrielles ; bocage dense ; vergers
- IV Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m ; forêts

Catégories de terrain: IV IIIb IIIa II 0



Une paroi est dite soumise à une pression lorsque la force normale à cette paroi est dirigée vers elle ; dans ce cas, par convention, w est positif. Une face est dite soumise à une succion (ou dépression) lorsque la force est dirigée en sens contraire. Dans ce cas, par convention, w est négatif. (fig. ci-contre) :

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

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

Les pressions extérieures (w_e) agissent sur les faces extérieures de la construction. Si les faces sont « au vent », il s'exerce une pression sur celles-ci comptée positivement (le coefficient de pression extérieure est positif (+ c_{pe})) ; si elles sont « sous le vent », les faces sont soumises à des suctions comptées négativement (le coefficient de pression extérieure est négatif (- c_{pe})).

Les pressions intérieures (w_i) engendrées indirectement par le vent varient selon la perméabilité à l'air du bâtiment, la position et les dimensions des ouvertures par rapport à la direction du vent. Elles sont caractérisées par un coefficient de pression intérieure c_{pi} . Les parois intérieures peuvent être soumises à des pressions (le coefficient de pression intérieure est positif (+ c_{pi})) ou à des dépressions (le coefficient de pression intérieure est négatif (- c_{pi})). Lorsque les ouvertures sont faibles et/ou réparties de façon aléatoire tout autour du bâtiment, c_{pi} est pris successivement égale à + 0,2 puis à - 0,3.

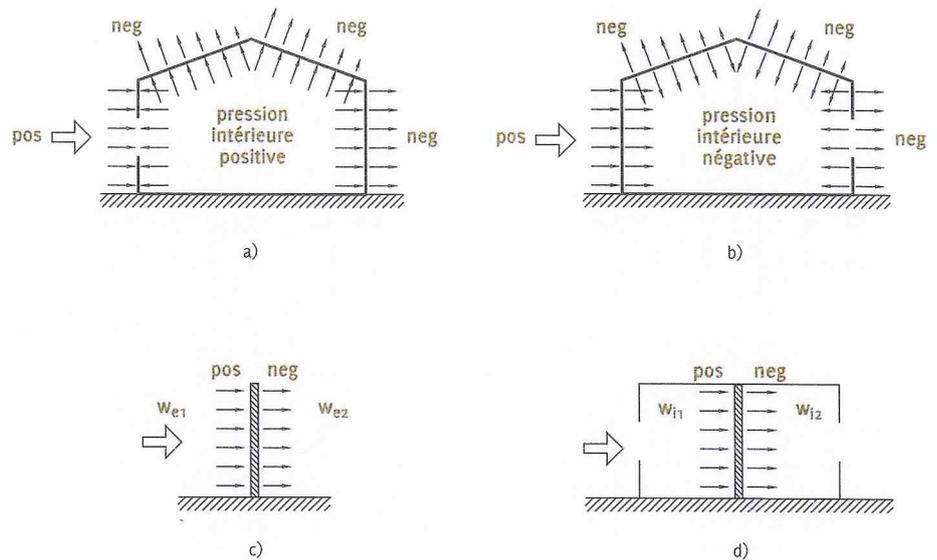


Fig. 6 : Schémas des pressions dues au vent

On admet que la direction du vent peut être quelconque. Les actions sont calculées pour des directions de vent successivement perpendiculaires à chaque paroi verticale (les valeurs des pressions les plus défavorables sont obtenues dans cette configuration).

La force F (en daN) exercée par le vent sur une des faces d'une paroi est donnée par la différence des pressions qui s'exercent de part et d'autre de la paroi :

$$F = c_s c_d \cdot (w_e - w_i) \cdot A_{ref}$$

$$= c_s c_d \cdot [q_p(z_e) \cdot c_{pe} - q_p(z_i) \cdot c_{pi}] \cdot A_{ref}$$

avec

$c_s c_d$: coefficient structural, traduit l'effet dynamique du vent et peut être pris égal à 1 pour les bâtiments dont la hauteur est inférieure à 15 m.

$q_p(z_e)$ et $q_p(z_i)$:
pression dynamique de pointe à la hauteur z_e et z_i (en daN/m²)

c_{pe} et c_{pi} : coefficient de pression (extérieure et intérieure)

A_{ref} : aire de référence (en m²).

Les éléments nécessaires pour déterminer l'action du vent sur les constructions sont donnés dans la norme.