

Client : Philippe-Auguste – Référence du projet : Musée du Louvre
 Réalisé par Vincent Juhel Ouaip, le vendredi 22 mars 2019.
 Généré avec le logiciel Lisa.blue version 18.11.04.

Données globales

Adresse de construction : Musée du Louvre, 75001 Paris, France

Altitude : 34 m Pesanteur : 9,81 N/kg

Normes Eurocodes :

- bases : EN 1990 (03/2003) + FR NA (12/2011)
 (Classe de conséquences CC3 = Conséquence élevée en termes de perte de vie humaine, et conséquences économiques, sociales ou environnementales très importantes.)
- charges de neige : EN 1991-1-3 (07/2003) + FR NA (05/2007)
- actions du vent : EN 1991-1-4 (2005) + FR NA (03/2008)
- actions sismiques : EN 1998-1 (12/2004) + FR NA (12/2013)
- actions dues au feu : EN 1991-1-2 (11/2002) + FR NA (02/2007)

Neige

Le bâtiment est situé en zone de neige A1 à une altitude de 34 m .

Normes de neige

La norme applicable pour le calcul des charges de neige sur le bâtiment est EN 1991-1-3 (07/2003) et son annexe nationale FR NA (05/2007).

Charge de neige caractéristique sur le sol

Les valeurs des charges surfaciques de neige sur le sol $s_{k,0}$, correspondant à de basses altitudes, sont spécifiées par l'annexe nationale. Celle-ci fournit une carte du territoire national découpée en zones climatiques.

Pour la zone A1, la valeur de la charge indiquée est : $s_{k,0} = 0.450 \text{ kN/m}^2$.

Charge de neige caractéristique sur le sol du site

La charge $s_{k,34 \text{ m}}$ intègre l'influence de l'altitude ici égale à 0.000 kN/m^2 :

$$s_{k,A} = s_{k,0} + 0 \text{ (NF EN 1991-1-3 /NA)}$$

$$s_{k,34 \text{ m}} = 0.45 + 0$$

$$s_{k,34 \text{ m}} = 0.450 \text{ kN/m}^2$$

Charge de neige normale sur le sol du site

L'annexe nationale ne fournit pas les éléments permettant d'ajuster la charge de neige sur le sol en fonction de la période de retour.

Nous aurons donc simplement : $s_n = s_{k,34 \text{ m}} = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Charge de neige accidentelle sur le sol du site

Les valeurs de s_{Ad} sont données directement par la carte annexée à la présente norme. Il est rappelé que ces valeurs sont indépendantes de l'altitude.

$$s_{Ad} = 0 \text{ kN/m}^2 \text{ (NF EN 1991-1-3 /NA Clause 4.3)}$$

Épaisseur de neige équivalente sur le sol du site

Pour les vérifications aux états limites de service :

- épaisseur de neige fraîche = 45 cm,
- épaisseur de neige établie = 22 cm,
- épaisseur de neige ancienne = 12 cm,
- épaisseur de neige mouillée = 11 cm.
- avec: épaisseur de neige = $\frac{s_n}{\rho}$

Pour les vérifications aux états limites ultimes :

- épaisseur de neige fraîche = 67 cm,
- épaisseur de neige établie = 33 cm,
- épaisseur de neige ancienne = 19 cm,
- épaisseur de neige mouillée = 16 cm.
- avec: épaisseur de neige = $\frac{\max(s_n, s_{Ad})}{\rho}$

avec: (Annexe E)

- poids volumique de la neige fraîche = 1 kN/m^3 ,
- poids volumique de la neige établie = 2 kN/m^3 ,
- poids volumique de la neige ancienne = 3.5 kN/m^3 ,
- poids volumique de la neige mouillée = 4 kN/m^3

Vent



Le bâtiment est situé en zone de vent 2.

Normes de vent

La norme applicable pour le calcul des charges de vent sur le bâtiment est EN 1991-1-4 (2005) et son annexe nationale FR NA (03/2008).

Valeur de base de la vitesse de référence du vent

La valeur de base de la vitesse de référence du vent, v_{b0} , est représentative de la vitesse moyenne mesurée pendant 10 min, indépendamment de la direction du vent et de la période de l'année, à une hauteur de 10m au-dessus d'un sol de type 'rase campagne'.

Les valeurs de base de la vitesse de référence du vent sont spécifiées par l'annexe nationale.

Celle-ci fournit une carte du territoire national découpée en zones climatiques.

Pour la zone choisie, la valeur de la vitesse indiquée est $v_{b0} = 24$ m/s .

Vitesse de référence du vent v_b au droit du site de construction sur une période de retour de 100 ans

Coefficient de probabilité de dépassement

La probabilité p de dépassement est considérée sur la durée d'utilisation du projet, elle même fonction de l'usage du projet.

Les durées d'utilisation de projet sont indiquées dans la NF EN 1990 /NA Tableau 2.1(NF) en fonction de l'usage.

Pour notre projet de construction utilisé comme " ERP ", la durée d'utilisation à prendre en compte pour déterminer la période de retour est de 100 années.

La vitesse moyenne du vent sur 10 minutes présentant la probabilité p de dépassement, sur une période d'un an, est déterminée en multipliant la vitesse de référence du vent v_b par le coefficient de probabilité de vents forts c_{prob} :

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0.98))} \right)^n \quad (NF EN 1991-1-4 Equation 4.2)$$

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - 0.15 \cdot \ln(-\ln(1 - \frac{1}{100.0}))}{1 - 0.15 \cdot \ln(-\ln(0.98))} \right)^{0.5}$$

$$c_{prob} = 1.0325$$

Coefficient de direction du vent

Par 'direction de vent', on entend la direction d'où vient le vent.

Par convention, cette direction est repérée par l'angle qu'elle forme avec le Nord, croissant de 0° à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre.

Les grandes vitesses de vent sont observées plus fréquemment dans certains secteurs de directions ; le coefficient de direction en rend compte en autorisant une réduction lorsque le vent vient d'une direction où la probabilité d'occurrence de vents forts est moindre.

La réduction envisagée doit être permise dans tout le secteur du vent nominal considéré pour être valablement retenue.

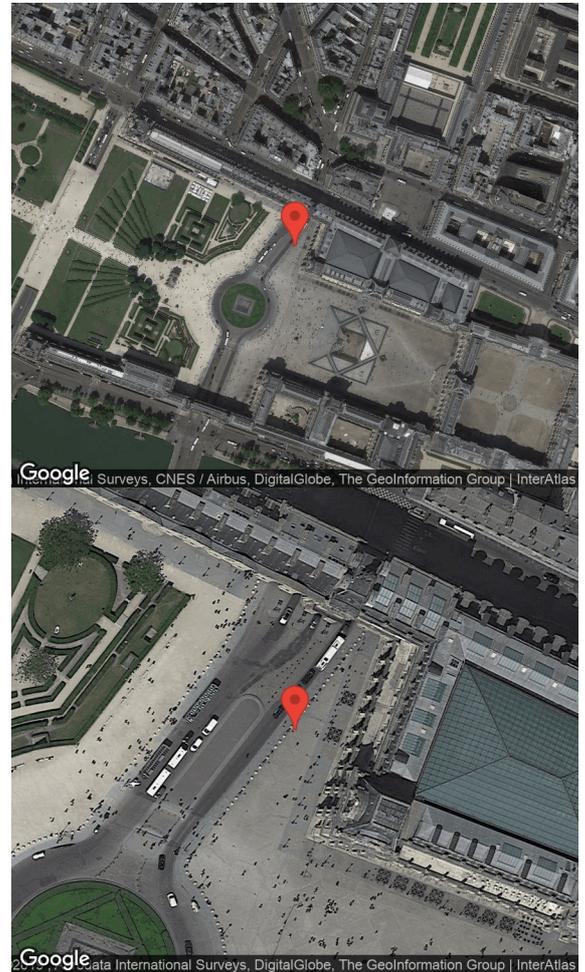
L'impact de cette réduction est important car le coefficient c_{dir} est pris en compte lors du calcul de la vitesse et que la pression de vent est évaluée à partir du carré de cette vitesse.

Les valeurs du coefficient de direction du vent $c_{dir, zone 1}$ pour différentes directions du vent, sont indiquées dans la NF EN 1991-1-4 Figure 4.4(NA).

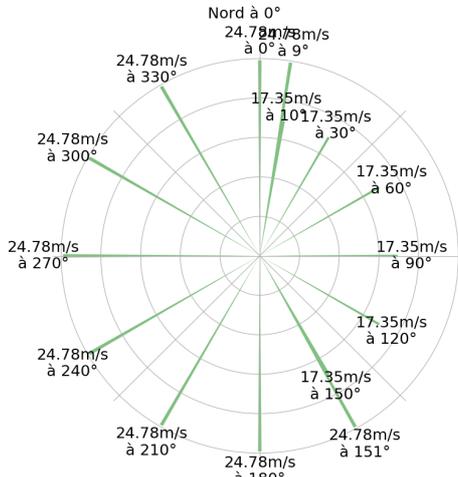
Coefficient de saison

La valeur du coefficient de saison c_{season} est donnée dans NF EN 1991-1-4 Figure 4.5(NA).

On considère ici que la durée de projet est supérieure à 1 an et ne permet pas de diminution saisonnière du risque de vents forts, on retient donc $c_{season} = 1$.



La vitesse de référence du vent v_b au droit du site de construction, définie pour chaque direction de vent à une hauteur de 10m au-dessus d'un sol de type 'rase campagne' relevant de la catégorie de terrain II, est représentée sur le graphique ci-dessous :



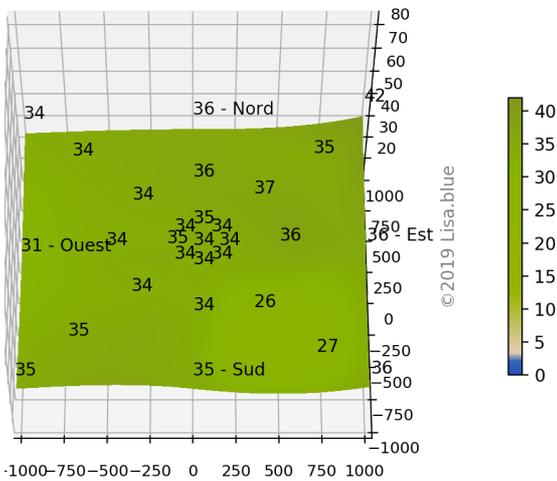
©2019 Lisa.blue

avec : $v_b = (C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b0}) \cdot C_{prob}$ (EN 1991-1-4 Equation 4.1)

Orographie

Les altitudes sont relevées arbitrairement à 150m, 500m et 1000m autour de la construction.

Une interpolation en 3D de ces points permet d'évaluer la forme du terrain au voisinage de la construction représentée sur le graphique ci-dessous :



Pression dynamique de pointe q_p

Pour chacune des surfaces de la construction, les effets du vent sont observés selon 4 secteurs angulaires nominaux de 90° :

- la plus forte vitesse de référence v_b contenue dans chacun de ses secteurs est retenue
- cette vitesse est amplifiée par le coefficient d'orographie c_o tenant compte du relief du terrain.
- elle est ensuite corrigée en fonction de la catégorie de rugosité du terrain impactant sur la variabilité de la vitesse moyenne du vent.
- la pression dynamique de pointe q_p est enfin calculée en considérant la masse volumique de l'air et les fluctuations rapides de vitesse.

Niveau 1

- Vent à 25° :
 - Effet de l'orographie
 Profil orographique = Terrain plat
 Les effets de l'orographie peuvent être négligés lorsque la pente moyenne du terrain au vent est inférieure à 5%. (EN 1991-1-4 §4.3.3(2))
 Ici, la pente du terrain au vent est 0 % : $c_o = 1$
 - Effet de la rugosité du terrain:
 Catégorie du terrain IV (Annexe nationale à la EN 1991-1-4 §4.3.2(1))
 Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m ; forêts
 - facteur de terrain :

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07}$$
 (EN 1991-1-4 equation 4.5)

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{1.0}{0.05}\right)^{0.07}$$

$$k_r = 0.2343$$

- hauteur au-dessus du niveau du sol ou hauteur minimale fonction de la catégorie de terrain :

$$z = 20.000 \text{ m}$$

- facteur de rugosité :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.4})$$

$$c_r(z) = 0.2343 \cdot \ln\left(\frac{20.0}{1.0}\right)$$

$$c_r(z) = 0.702$$

- Pression dynamique de pointe:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.8})$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0.285] \cdot 0.5 \cdot 1.225 \cdot 17.395^2$$

$$q_p(z) = 0.555 \text{ kN/m}^2$$

avec :

- vitesse moyenne du vent :

$$v_m(z) = v_b \cdot c_r(z) \cdot c_o(z) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.3})$$

$$v_m(z) = 24.78 \cdot 0.702 \cdot 1$$

$$v_m(z) = 17.395 \text{ m/s}$$

- masse volumique de l'air :

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{NF EN 1991-1-4 clause 4.5(1) NOTE 2})$$

- coefficient de turbulence :

$$k_l = c_o(z) \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot (\log_{10}(z_0) + 3)^6] \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.20-NA})$$

$$k_l = 1 \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot (\log_{10}(1.0) + 3)^6]$$

$$k_l = 0.854$$

- intensité de la turbulence :

$$i_v = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.7})$$

$$i_v = \frac{0.854}{1 \cdot \ln\left(\frac{20.0}{1.0}\right)}$$

$$i_v = 0.285$$

- Vent à 115° :

- Effet de l'orographie

Profilé orographique = Terrain plat

Les effets de l'orographie peuvent être négligés lorsque la pente moyenne du terrain au vent est inférieure à 5%. (EN 1991-1-4 §4.3.3(2))

Ici, la pente du terrain au vent est 0 % : $c_o = 1$

- Effet de la rugosité du terrain:

Catégorie du terrain II (Annexe nationale à la EN 1991-1-4 §4.3.2(1))

Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur

- facteur de terrain :

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \quad (\text{EN 1991-1-4 equation 4.5})$$

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{0.07}$$

$$k_r = 0.1900$$

- hauteur au-dessus du niveau du sol ou hauteur minimale fonction de la catégorie de terrain :

$$z = 20.000 \text{ m}$$

- facteur de rugosité :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.4})$$

$$c_r(z) = 0.19 \cdot \ln\left(\frac{20.0}{0.05}\right)$$

$$c_r(z) = 1.138$$

- Pression dynamique de pointe:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.8})$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0.166] \cdot 0.5 \cdot 1.225 \cdot 28.209^2$$

$$q_p(z) = 1.054 \text{ kN/m}^2$$

avec :

- vitesse moyenne du vent :

$$v_m(z) = v_b \cdot c_r(z) \cdot c_o(z) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.3})$$

$$v_m(z) = 24.78 \cdot 1.138 \cdot 1$$

$$v_m(z) = 28.209 \text{ m/s}$$
- masse volumique de l'air :

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{NF EN 1991-1-4 clause 4.5(1) NOTE 2})$$
- coefficient de turbulence :

$$k_l = c_o(z) \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot (\log_{10}(z_0) + 3)^6] \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.20-NA})$$

$$k_l = 1 \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot (\log_{10}(0.05) + 3)^6]$$

$$k_l = 0.995$$
- intensité de la turbulence :

$$i_v = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.7})$$

$$i_v = \frac{0.995}{1 \cdot \ln\left(\frac{20.0}{0.05}\right)}$$

$$i_v = 0.166$$

- Vent à 205° :

- Effet de l'orographie

Profilé orographique = Terrain plat

Les effets de l'orographie peuvent être négligés lorsque la pente moyenne du terrain au vent est inférieure à 5%. (EN 1991-1-4 §4.3.3(2))

Ici, la pente du terrain au vent est 0 % : $c_o = 1$

- Effet de la rugosité du terrain:

Catégorie du terrain II (Annexe nationale à la EN 1991-1-4 §4.3.2(1))

Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur

- facteur de terrain :

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \quad (\text{EN 1991-1-4 equation 4.5})$$

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{0.07}$$

$$k_r = 0.1900$$

- hauteur au-dessus du niveau du sol ou hauteur minimale fonction de la catégorie de terrain :

$$z = 20.000 \text{ m}$$

- facteur de rugosité :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (\text{EN 1991-1-4 equation 4.4})$$

$$c_r(z) = 0.19 \cdot \ln\left(\frac{20.0}{0.05}\right)$$

$$c_r(z) = 1.138$$

- Pression dynamique de pointe:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.8})$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0.166] \cdot 0.5 \cdot 1.225 \cdot 28.209^2$$

$$q_p(z) = 1.054 \text{ kN/m}^2$$

avec :

- vitesse moyenne du vent :

$$v_m(z) = v_b \cdot c_r(z) \cdot c_o(z) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.3})$$

$$v_m(z) = 24.78 \cdot 1.138 \cdot 1$$

$$v_m(z) = 28.209 \text{ m/s}$$
- masse volumique de l'air :

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{NF EN 1991-1-4 clause 4.5(1) NOTE 2})$$
- coefficient de turbulence :

$$k_l = c_o(z) \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot (\log_{10}(z_0) + 3)^6] \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.20-NA})$$

$$k_l = 1 \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot (\log_{10}(0.05) + 3)^6]$$

$$k_l = 0.995$$
- intensité de la turbulence :

$$i_v = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.7})$$

$$i_v = \frac{0.995}{1 \cdot \ln\left(\frac{20.0}{0.05}\right)}$$

$$i_v = 0.166$$

- Vent à 295° :

- Effet de l'orographie

Profilé orographique = Terrain plat

Les effets de l'orographie peuvent être négligés lorsque la pente moyenne du terrain au vent est inférieure à 5%. (EN 1991-1-4 §4.3.3(2))

Ici, la pente du terrain au vent est 0 % : $c_o = 1$

- Effet de la rugosité du terrain:

Catégorie du terrain II (Annexe nationale à la EN 1991-1-4 §4.3.2(1))

Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur

- facteur de terrain :

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \quad (\text{EN 1991-1-4 equation 4.5})$$

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{0.05}{0.05} \right)^{0.07}$$

$$k_r = 0.1900$$

- hauteur au-dessus du niveau du sol ou hauteur minimale fonction de la catégorie de terrain :

$$z = 20.000 \text{ m}$$

- facteur de rugosité :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (\text{EN 1991-1-4 equation 4.4})$$

$$c_r(z) = 0.19 \cdot \ln \left(\frac{20.0}{0.05} \right)$$

$$c_r(z) = 1.138$$

- Pression dynamique de pointe:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.8})$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0.166] \cdot 0.5 \cdot 1.225 \cdot 28.209^2$$

$$q_p(z) = 1.054 \text{ kN/m}^2$$

avec :

- vitesse moyenne du vent :

$$v_m(z) = v_b \cdot c_r(z) \cdot c_o(z) \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.3})$$

$$v_m(z) = 24.78 \cdot 1.138 \cdot 1$$

$$v_m(z) = 28.209 \text{ m/s}$$

- masse volumique de l'air :

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{NF EN 1991-1-4 clause 4.5(1) NOTE 2})$$

- coefficient de turbulence :

$$k_t = c_o(z) \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot (\log_{10}(z_0) + 3)^6] \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.20-NA})$$

$$k_t = 1 \cdot [1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot (\log_{10}(0.05) + 3)^6]$$

$$k_t = 0.995$$

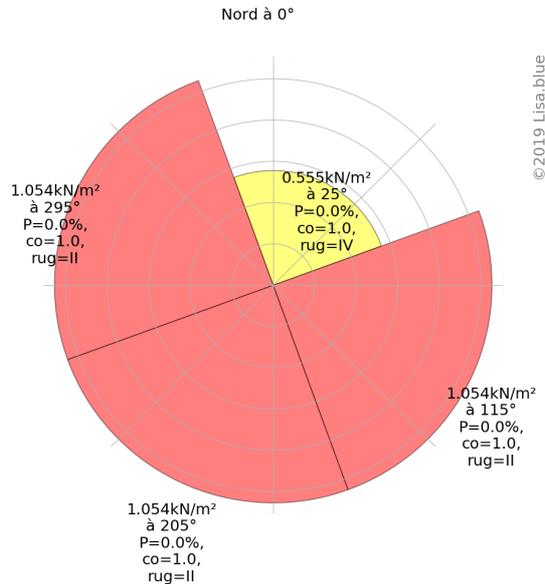
- intensité de la turbulence :

$$i_v = \frac{k_t}{c_o(z) \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} \quad (\text{NF EN 1991-1-4 equation 4.7})$$

$$i_v = \frac{0.995}{1 \cdot \ln \left(\frac{20.0}{0.05} \right)}$$

$$i_v = 0.166$$

- Les pressions dynamiques de pointe q_p , appliquées sur la surface Niveau 1 à un niveau de 20m, sont dessinés sur ce graphe pour chaque secteur de vent :



Vitesses de pointe équivalentes maximales (au faitage Niv +20.0m).

- 149 km/h pour le contrôle des vibrations et des déformations de la structure aux états limites de service (ELS).

$$v = \sqrt{\frac{q_p}{0.5 * \rho}} \cdot 3.6 = \sqrt{\frac{1054.0}{0.5 * 1.225}} \cdot 3.6 = 149 \text{ km/h}$$

- 183 km/h pour le contrôle de la résistance de la structure aux états limites ultimes (ELU).

$$v = \sqrt{\frac{1.5 \cdot q_p}{0.5 * \rho}} \cdot 3.6 = \sqrt{\frac{1.5 \cdot 1054.0}{0.5 * 1.225}} \cdot 3.6 = 183 \text{ km/h}$$

Séisme

Norme séisme

La norme *EN 1998-1 (12/2004)* et son annexe nationale *FR NA (12/2013)* définissent les règles et méthodes de calcul des actions du séisme sur les bâtiments.

Textes législatifs portant sur le séisme

- Zonage : *Art. D563-8-1, Décret N°2010-1255 (22/10/2010)*
 - Le bâtiment est situé à Paris dans une zone de sismicité très faible (zone 1).
- Classification : *Art. 2, Arrêté du 22/10/2010 modifié par Art.1, Arrêté du 15/09/2014*

Accélération maximale de référence du sol

L'intensité de l'accélération a_{gr} est fonction de la zone de sismicité. Sa valeur de 0.4 m/s² est indiquée dans *Art. 4, Arrêté du 22/10/2010 modifié par Art.1, Arrêté du 15/09/2014*.

Usage pour le classement d'importance :

L'usage du bâtiment est de type "établissement recevant du public de 1ère catégorie" (Classement de l'établissement public selon *Article R*123-19 du code de la construction et de l'habitation*)

Selon *Art. 2, Arrêté du 22/10/2010 modifié par Art.1, Arrêté du 15/09/2014*, la catégorie d'importance associée au séisme est III.

Coefficient d'importance du bâtiment

Le coefficient γ_I est fonction de la catégorie d'importance du bâtiment. Sa valeur de 1.2 est indiquée dans *Art. 2 §III, Arrêté du 22/10/2010 modifié par Art.1, Arrêté du 15/09/2014*.

Vérification parasismique

Un bâtiment situé en zone de sismicité 1 ne nécessite pas l'application de l'Eurocode 8.

Feu

Textes législatifs portant sur l'incendie

Le document de référence, *Arrêté du 25 juin 1980* indique les mesures de sécurité contre les incendies, y compris les durées de résistance au feu des structures.

Norme incendie

La norme *EN 1991-1-2 (11/2002)* et son annexe nationale *FR NA (02/2007)* définissent les règles et méthodes de calcul des actions du feu sur les bâtiments.

Usage pour le classement vis à vis du feu

établissement recevant du public de 1ère catégorie dont le plancher bas du dernier niveau accessible au public est à moins de 8 mètres du sol

(Classement de l'établissement public selon *Article R*123-19 du code de la construction et de l'habitation*)

Résistance au feu des structures

Résistance au feu requise

- Porteurs verticaux : 60 minutes
- Planchers : 60 minutes

- Toiture : 60 minutes

© Copyright 2015-2019 — Lisa.blue version 18.11.04 — contact@lisa.blue