

MINISTERE DE L'HABITAT, DE L'URBANISME ET DE LA VILLE

DTR

document
technique
réglementaire

Document d'accompagnement **C 2.4.7**
du DTR RNV (version 2013)

EXEMPLES D'APPLICATION

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'HABITAT, DE L'URBANISME ET DE LA VILLE

Document Technique Réglementaire

(D.T.R. C 2.4.7)

Règlement Neige & Vent
(version 2013)

EXEMPLES D'APPLICATION

Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment

2013

ISBN : 978-9961-845-48-6
Dépôt légal : 1937-2014

SOMMAIRE

INTRODUCTION..... 5

ETAPES D'EVALUATION DES ACTIONS DU VENT SUR LES OUVRAGES 7

CAS D'UN BATIMENT TOUR 11

CAS D'UN HANGAR INDUSTRIEL AVEC TOITURE SYMETRIQUE A QUATRE VERSANTS..... 18

CAS D'UN PANNEAU DE SIGNALISATION..... 25

CAS D'UN CHATEAU D'EAU 28

CAS D'UNE STRUCTURE DE PYLONE 37

INTRODUCTION

Le présent document a pour objet de fournir un support d'accompagnement pour les utilisateurs du DTR C2.47 « Règlement neige et vent » pour la partie vent. Il traite la détermination des actions du vent sur différents types d'ouvrages choisis de manière à couvrir un maximum de cas rencontrés en pratique.

Les exemples traités concernent les cas suivants :

- Cas d'un bâtiment tour ;
- Cas d'un hangar industriel ;
- Cas d'un panneau de signalisation ;
- Cas d'un château d'eau et ;
- Cas d'une structure de pylône.

Dans la rédaction de ce document l'accent a été mis sur la définition d'une méthodologie progressive en partant des données initiales du projet pour aboutir aux objectifs fixés.

Afin de faciliter l'utilisation de ce document les renvois au document de référence (DTR) ont été rappelés chaque fois que cela est nécessaire.

Les exemples traités n'ont pas pour objectifs de constituer une étude exhaustive de l'action du vent du projet considéré. En effet, on considère que l'objectif est atteint dès que les différents paramètres et les actions correspondantes à une action du vent dans une direction donnée auront été définis. Diverses localisations géographiques et conditions topographiques du site ont été envisagées.

Il est important de signaler que l'action du vent doit être considérée dans les justifications des actions globales ainsi que dans les justifications des actions locales tels que dans les cas des éléments de bardages, des fixations et autres ouvrages considérés comme secondaires.

ETAPES D'EVALUATION DES ACTIONS DU VENT SUR LES OUVRAGES

INTRODUCTION

Une procédure de détermination de l'action statique du vent sur un ouvrage ou partie d'ouvrage est expliquée dans les paragraphes suivants. Cette procédure est définie sur la base des principes généraux contenus dans le DTR Règlement Neige et Vent, Partie vent.

Dans la définition de cette procédure, des commentaires peuvent être rencontrés dans le but d'apporter plus de détails et d'attirer l'attention des utilisateurs sur certains aspects liés au calcul de l'action du vent ou l'un de ses paramètres.

ÉTAPE I : PRESSION DYNAMIQUE DE RÉFÉRENCE (cf. § 2.3.1)

- Définition de la zone climatique du vent : le territoire algérien est divisé en 04 zones de vent (cf. *Annexe 1*). Cette classification est le résultat d'une analyse statistique des vitesses du vent enregistrées par les services de l'ONM.
- La vitesse de référence est définie comme étant la vitesse moyenne du vent sur 10 minutes, mesurée dans un site plat à une hauteur de 10 m, avec une probabilité de dépassement égale à 0,02 ;
- La pression dynamique de chaque zone est définie sur la base d'une vitesse de référence (cf. *tableau A1*) ;
- Lorsque dans les documents de marché, une vitesse de vent autre que celle du DTR est prescrite il y a lieu de déterminer la vitesse équivalente dans les mêmes conditions de définition ;
- Une distinction entre les ouvrages permanents et les ouvrages temporaires est nécessaire pour la fixation de la pression de référence (cf. § 2.3.1).

ÉTAPE II : ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT DU SITE

- Détermination de la catégorie du terrain pour chaque direction de vent (cf. § 2.4.3) ;
- Détermination du coefficient de rugosité du terrain qui traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent (cf. § 2.4.4) ;

Dans le cas où un bâtiment est situé dans la transition entre les catégories de rugosité différentes, il est recommandé de prendre la catégorie du terrain le moins rugueux dans les conditions suivantes :

L'ouvrage est situé à proximité d'un changement de rugosité du terrain à une distance :

- *De moins de 2 km d'un terrain de catégorie 0 ;*
- *De moins de 1 km d'un terrain moins rugueux appartenant aux catégories I à III.*
- Détermination du coefficient de topographie qui permet de prendre en compte les effets du relief sur l'accroissement de la vitesse moyenne du vent (cf. § 2.4.5) ;

- Détermination du coefficient d'intensité de turbulence qui quantifié la variabilité de la vitesse du vent (*cf. § 2.4.6*) ;

Il est défini comme étant l'écart type de la turbulence du vent divisé par la valeur moyenne de la vitesse du vent.

- Coefficient d'exposition : le coefficient d'exposition $C_e(z)$ dépend de la rugosité du terrain et de la topographie au voisinage de la construction (*cf. § 2.4.2*) ;

- Le coefficient d'exposition dépend de la hauteur équivalente z_e (*cf. § 2.3.2*) à laquelle est calculé $C_e(z)$.

ÉTAPE III : DÉTERMINATION DE LA PRESSION DYNAMIQUE DE POINTE

La pression dynamique de pointe est donnée par (*cf. § 2.3*) :

$$q_p(z_e) = C_e(z) q_{\text{réf}}$$

$C_e(z)$ est le coefficient d'exposition déterminée dans l'étape II ;

$q_{\text{réf}}$: pression dynamique de référence déterminée dans l'étape I.

ÉTAPE IV : DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS AÉRODYNAMIQUES (*cf. chapitres 4 et 5*)

- Deux (02) types de coefficients aérodynamiques sont donnés :

- Coefficients de pression (extérieure, intérieure et nette) (*cf. § 5.1, § 5.2 et § 5.3*),
- Coefficients de force (*cf. chapitre 4*)

- Les coefficients de pression extérieure C_{pe} dépendent :

- De la dimension de la surface chargée ;
- Du type de parois :
 - ✓ parois verticales des constructions à base rectangulaire ;
 - ✓ parois verticales des constructions à base circulaire ;
 - ✓ toiture à un versant, deux versants, etc. ;
 - ✓ autres.
- De la position sur la paroi qui est divisée en zones (*cf. § 5.1*).
 - Coefficients de frottement pour la prise en compte de l'action du vent parallèlement à la direction du vent ;

- Coefficients de pression intérieure C_{pi} :

- Dépendent de la distribution des ouvertures sur les différentes parties du bâtiment ;
- Pour les bâtiments sans faces dominantes C_{pi} est fonction de l'indice de perméabilité μ_p ;
- Pour un bâtiment avec faces dominantes C_{pi} est fonction de la valeur de C_{pe} .

- Coefficient de pression nette pour les toitures isolées et les ouvrages en porte-à-faux ;

- Coefficient de force (ou de trainée) :

- Il peut être utilisé lorsque l'on veut calculer la force globale due au vent ;
- Le coefficient de force dépend de l'élancement effectif (λ_e) et du coefficient de remplissage ϕ regroupés en un seul coefficient appelé facteur d'élancement ψ_λ ,
- Le coefficient de force est donné par : $C_f = \psi_\lambda \cdot C_{f,0}$
- C_f est donné pour différents types de formes de construction :
 - ✓ A base rectangulaire ;
 - ✓ A base polygonale régulière ;
 - ✓ A base cylindrique ;
 - ✓ Structure en treillis ;
 - ✓ Drapeau et panneaux de signalisation.

ÉTAPE V : Coefficient dynamique *(cf. chapitre 3)*

Le coefficient dynamique est destiné à prendre en compte :

- D'une part l'absence de simultanéité entre les pointes de pression sur les surfaces de construction (effet de dimension réducteur) et ;
- D'autre part les vibrations de la structure engendrées par la turbulence (effet dynamique amplificateur) ;
- une valeur simplifiée et conservative pour certains bâtiments *(cf. § 3.2)* peut être prise égale à 1 ;
- Dans les autres cas la procédure détaillée doit être utilisée *(cf. § 3.3)*

ÉTAPE VI : Vérification de l'excitation par le détachement tourbillonnaire *(cf. annexe 3)*

- Pour certains types d'ouvrages élancés (élancement > 6), la vérification du phénomène du détachement tourbillonnaire (réponse dans la direction perpendiculaire à la direction du vent) doit être effectuée ;
- Le critère de sensibilité est une vitesse critique du vent à ne pas dépasser. (Cette vitesse est fonction de la largeur de la section transversale, de la fréquence du mode fondamental, et d'un nombre aérodynamique appelé nombre de Strouhal) *(cf. annexe 3 § 4)*.

CAS D’UN BATIMENT TOUR

OBJECTIFS

Cet exemple a pour objectifs la détermination des actions du vent sur un bâtiment étagé.

GÉOMÉTRIE

- Longueur : $l = 30\text{ m}$;
- Largeur : $b = 25\text{ m}$;
- Hauteur : $h = 50\text{ m}$.

DONNÉES

- Zone de vent : zone II ($V_{\text{réf}} = 27\text{ m/s}$, (cf. tableau 1.1)
- $V_{\text{réf}} = 435\text{ N/m}^2$ (cf. chapitre 2 § 2.3.1)

CATÉGORIE DE TERRAIN (cf. chapitre 2 § 2.4.3)

Catégorie de terrain	K_T	z_0	z_{min}	ϵ
(IV) Zone dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15m.	0.234	1	10	0.67

Tableau 1 : Paramètres de calcul

PARAMÈTRES DE CALCUL

Hauteur de référence z_e (cf. chapitre 2 § 2.3.2)

La hauteur de référence est :

- Pour les murs au vent : On définit deux bandes (voir figure 1) :
 - bande 1 : $z_e = b = 25\text{ m}$;
 - bande 2 : $z_e = 2b = 50\text{ m}$.
- Pour les murs sous le vent et parallèles au vent : $z_e = h = 50\text{ m}$ (hauteur totale du mur)

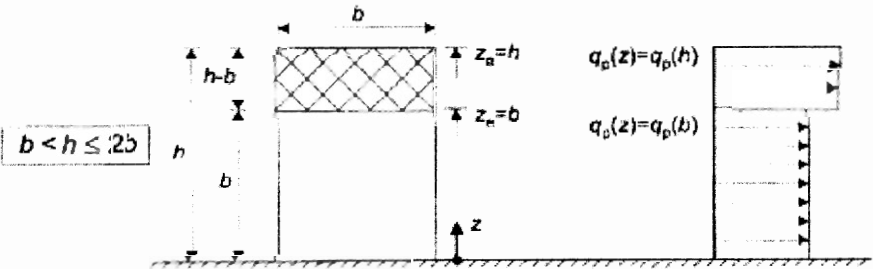


Figure 1 : Subdivision du bâtiment pour la définition de la hauteur de référence

Coefficient de rugosité (cf. chapitre 2 § 2.4.4)

$$\begin{cases} C_r(z)=K_T \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{pour } z_{\min} \leq z \leq 200\text{m} \\ C_r(z)=K_T \times \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right) & \text{pour } z < z_{\min} \end{cases}$$

On obtient les valeurs du tableau 2 :

Tronçon	z = z _e [m]	C _r
de 0 à 25 m	25	0.753
de 25 à 50 m	50	0.915

Tableau 2 : Coefficient de rugosité

Coefficient de topographie (cf. § 2.4.5)

L’ouvrage est situé sur le versant d’un escarpement sous le vent (voir figure 2). On a :

$$C_t(z) = 1 + s_{\max} \times \left(1 - \frac{|x|}{k_{red} \times L}\right) \times e^{-\alpha z / L} \quad \text{pour } \phi \geq 0,05$$

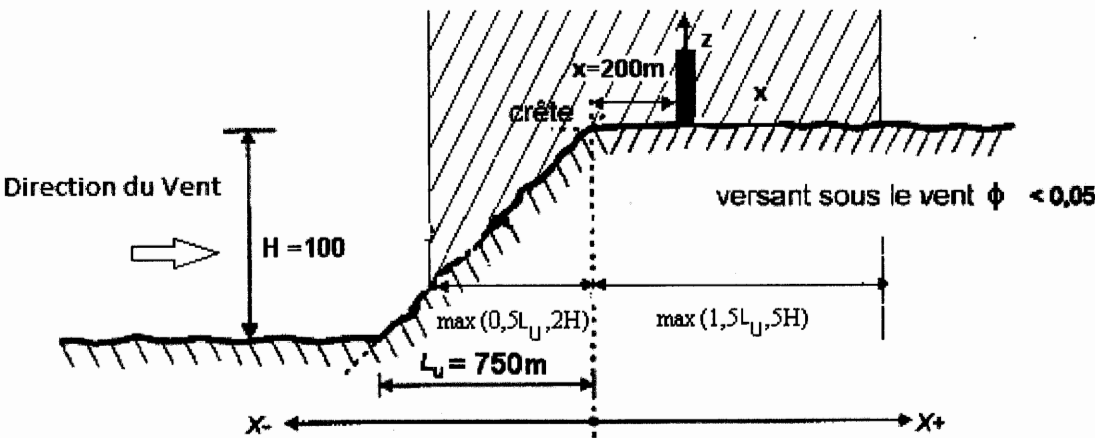


Figure 2 : Topographie du site de l’ouvrage

Où :

- ϕ est la pente du versant au vent ;
- H (en m) est la hauteur du versant ; H = 100 m ;
- Lu (en m) est la longueur du versant au vent : Lu = 750m ;
- L (en m) Longueur caractérisant le versant au vent, donné par :
 $L = \max (0,5Lu, 2H) = \max (0.5 \times 750 ; 2 \times 100) = 375 \text{ m}.$

On vérifie bien que $\phi = \frac{H}{L_u} = 100/750 = 0.134 > 0.05.$

- x (en m) est la distance horizontale entre le lieu d’implantation de l’ouvrage et le sommet du versant : x = 200 m

- z (en m) est la distance verticale mesurée à partir du niveau du sol au lieu considéré. Le coefficient de topographie varie en sens inverse de z . d'où une valeur moyenne de z peut être prise égale à la hauteur du centre de gravité de la paroi de chaque tronçon ;
- S_{max} , α et k_{red} sont des coefficients donnés dans le tableau 3 en fonction de la forme de l'obstacle et du rapport H/L (cf. tableau 2.6).

Forme de l'obstacle	S_{max}	α	k_{red}	
			$x < 0$	$x > 0$
Falaise	$1,3 \times H/L =$ $1,3 \times 100/375 = 0.347$	2.5	1,5	4

Tableau 3 : Paramètres relatifs à la détermination de $C_t(z)$

- $H = 100$ m ;
- $L_u = 750$ m ;
- $\text{Max}(1,5L_u, 5H) = \text{max}(1,5 \times 750, 5 \times 100) = 1125$ m ;
- $x/L = 200/375 = 0,533 \Rightarrow 1-x/(k_{red} \times L) = 1-200/(4 \times 375) = 0,867$;

Les valeurs du coefficient de topographie sont données au tableau 4.

Tronçon	z_e [m]	z/L	$C_t(z_e)$
de 0 à 25 m	25	0,067	1.263
de 25 à 50 m	50	0,133	1.230

Tableau 4 : Valeurs de $C_t(z)$

Coefficient d'exposition (cf. § 2.4)

$$C_e(z) = C_t^2(z) \times C_r^2(z) \times [1 + 7I_v(z)]$$

On obtient les valeurs du tableau 5.

Tronçon	z_e [m]	$C_e(z_e)$
de 0 à 25 m	25	2.462
de 25 à 50 m	50	3.11

Tableau 5 : Valeurs de $C_e(z)$

Intensité de turbulence (cf. chapitre 2 § 2.4.6)

$$\begin{cases} I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \ln(\frac{z}{z_0})} & \text{pour } z > z_{min} \\ I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \ln(\frac{z_{min}}{z_0})} & \text{pour } z \leq z_{min} \end{cases}$$

On obtient les valeurs du tableau 6.

Tronçon	z_e [m]	$I_v(z)$
de 0 à 25 m	25	0,246
de 25 à 50 m	50	0,208

Tableau 6 : Valeurs de $I_v(z)$

Pression dynamique de pointe

La pression dynamique de pointe est déterminée par (cf. §2.3) :

$$q_p(z_e) = q_{ref} \times C_e(z) ;$$

Avec $q_{ref} = 435 \text{ N/m}^2$

Les valeurs de $q_p(z_e)$ sont données dans le tableau 7 pour chaque tronçon du bâtiment.

Tronçon	ze [m]	qp(ze) [N/m²]
de 0 à 25 m	25	1088
de 25 à 50 m	50	1353

Tableau 7 : Valeurs de $q_p(z_e)$

Récapitulatif

Tronçon	ze [m]	Cr	z/L	Ct(ze)	Iv(z)	Ce(ze)	qp(ze) [N/m²]
de 0 à 25 m	25	0.753	0,067	1.263	0,246	2.462	1088
de 25 à 50 m	50	0.915	0,133	1.230	0,208	3.11	1353

Tableau 8 : Récapitulatif

COEFFICIENT DYNAMIQUE C_d (cf. chapitre 3)

Du fait qu’il s’agit d’un bâtiment à ossature et comportant des murs, et dont la hauteur h est inférieure à 100m et à 4 fois la dimension du bâtiment mesurée dans la direction perpendiculaire à la direction du vent, la valeur simplifiée et conservative $C_d = 1$ peut être considérée. (cf. chapitre 3 § 3.2).

Cependant pour montrer l’applicabilité de la procédure détaillée, le tableau 9 illustre les différentes étapes de calcul du coefficient C_d .

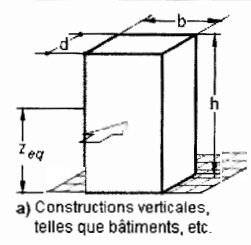
Paramètre	Forme analytique	Référence	Résultat
$L_i(z_{eq})$	$L_i(z) = 300 \times \left(\frac{z}{200}\right)^{\epsilon}$	cf. § 3.3.1 formule 3.3a	118.50
Q^2	$Q^2 = \frac{1}{1+0,9 \times \left(\frac{(b+h)}{L_i(z_{eq})}\right)^{0,63}}$	cf. § 3.3.1 formule 3.2	0.597
$n_{1,x} \text{ (Hz)}$	$n_{1,x} = 46/h$	cf. § 3.3.4.2 formule 3.14	0.92
δ	$\delta = \delta_s + \delta_a$ avec $\delta_a = 0$	cf. § 3.3.2 formule 3.9 tableau 3.1	0,1
$V_m(z_{eq})$	$V_m(z) = C_r(z) \times C_l(z) \times V_{réf}$	cf. annexe 2	31.51
N_x	$N_x = \frac{n_{1,x} \times L_i(z_{eq})}{V_m(z_{eq})}$	cf. § 3.3.2 formule 3.6	3.46
R_N	$R_N = \frac{6,8 \times N_x}{(1+10,2 \times N_x)^{\frac{5}{3}}}$	cf. § 3.3.2 formule 3.5	0.06
η	$\eta_h = \frac{4,6 \times N_x \times h}{L_i(z_{eq})}$	cf. §3.3.2 formule 3.8a Pour $h = 50 \text{ m}$	6.72
	$\eta_b = \frac{4,6 \times N_x \times h}{L_i(z_{eq})}$	cf. § 3.3.2 formule 3.8b Pour $b = 25 \text{ m}$	4.03
R_h	$R_h = \left(\frac{1}{\eta_h}\right) - \left(\frac{1}{2 \times \eta_h^2}\right) \times (1 - e^{-2 \times \eta_h})$	cf. § 3.3.2 formule 3.7a	0.1378
R_b	$R_b = \left(\frac{1}{\eta_b}\right) - \left(\frac{1}{2 \times \eta_b^2}\right) \times (1 - e^{-2 \times \eta_b})$	cf. § 3.3.2 formule 3.7b	0.2173
R^2	$R^2 = \frac{\Pi^2}{2 \times \delta} \times R_N \times R_h \times R_b$	cf. § 3.3.2 formule 3.4	0,0885
ν	$\nu = n_{1,x} \times \sqrt{\frac{R^2}{Q^2 + R^2}} \geq 0.08$	cf. § 3.3.3 formule 3.12	0.330
G	$\sqrt{2 \times Ln(600 \times \nu)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times Ln(600 \times \nu)}} \geq 3$	cf. § 3.3.3 formule 3.11	3.43
$I_v(z_{eq})$	$I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times Ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$ pour $z > z_{min}$	 a) Constructions verticales, telles que bâtiments, etc. $z_{eq} = 0.6h = 30\text{m}$ (Cf. 3.3 fig. 3.1) Pour I_v (Cf. § 2.4.6 formule 2.5a)	0,208
C_d	$\frac{1+2 \times g \times I_v(z_{eq}) \times \sqrt{Q^2 + R^2}}{1+7 \times I_v(z_{eq})}$	cf. §.3.3 formule 3.1	0,888

Tableau 9 : Coefficient C_d

COEFFICIENTS DE PRESSION (cf. chapitre 5)

Coefficient de pression extérieur

$C_{pe} = C_{pe,1}$ si $S \leq 1 \text{ m}^2$;
 $C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \times \log_{10}(S)$ si $1 \text{ m}^2 < S < 10 \text{ m}^2$ (cf. eq. 5.1).

Cas de vent perpendiculaire à la largeur du bâtiment

$C_{pe} = C_{pe,10}$ pour $S \geq 10 \text{ m}^2$

Parois verticales : $C_{pe,10}$

- $e = \min(b, 2h) = \min(25, 100) = 25 \text{ m}$;
 - Aire de la zone A : $A_A = \frac{e}{5} \times 50 = 250 \text{ m}^2$;
 - Aire de la zone B : $A_B = (e - \frac{e}{5}) \times 50 = 1000 \text{ m}^2$;
 - Aire de la zone C : $A_C = (d - e) \times 50 = 250 \text{ m}^2$;
 - Aire de la zone D : $25 \times 50 = 1250 \text{ m}^2$;
 - Aire de la zone E : $25 \times 50 = 1250 \text{ m}^2$;
- $S \geq 10 \text{ m}^2$, on prend $C_{pe} = C_{pe,10}$.

Zone	Aire [m²]	C_{pe}
A	250	-1.0
B	1000	-0.8
C	250	-0.5
D	1250	+0.8
E	1250	-0.3

Tableau 10 : Valeurs des coefficients C_{pe}

Coefficient de pression intérieur

$$\mu_p = \frac{\sum \text{des surfaces des ouvertures où } C_{pe} \leq 0}{\sum \text{des surfaces de toutes les ouvertures}}$$

Les ouvertures où C_{pe} est négatif ou nul sont situées au niveau des zones A, B, C et E. En considérant sur chaque face 4 fenêtres de dimensions 1.20 x 1.40 m

Il ne s'agit donc pas de cas de bâtiment avec face dominante. On se reporte donc au §5.2.2.2 pour la détermination de C_{pi} .

Surface de toutes les ouvertures : $(1.2 \times 1.4) \times (16) \times (16) = 430.08 \text{ m}^2$

Surface des ouvertures où $C_{pe} \leq 0$: $1.2 \times 1.4 \times 12 \times 16 = 322.56 \text{ m}^2$

$\mu_p = 322.56 / 430.08 \Rightarrow \mu_p = 0.75$

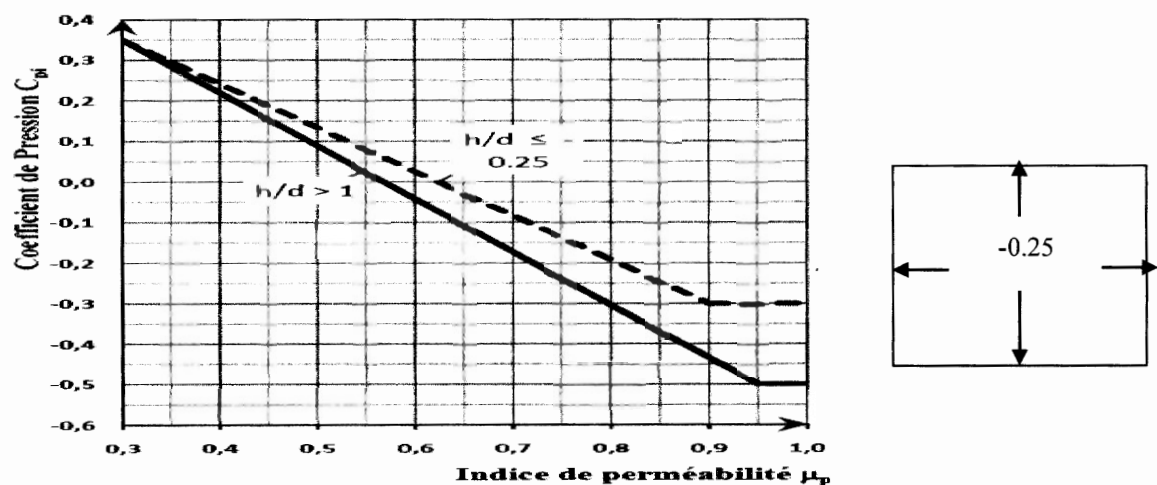


Figure 3 : Coefficient de pression C_{pi} en fonction de l'indice de perméabilité μ_p

Pour $\mu_p = 0.75$ et $h/d = 50/30 = 1.67 > 1$ $C_{pi} = -0.25$

La hauteur de référence (cf. § 5.2.2.3) est prise égale à la hauteur de référence considérée pour la détermination des pressions extérieures soit :

- $z_e = h = 50$ m pour les murs parallèles au vent et sous le vent ;
- $z_e = b = 25$ m et $z_e = h = 50$ m pour les parois au vent.

PRESSION SUR LES PAROIS AU VENT : (ZONE D)

		Forces extérieures en kN				
z [m]	$q_p(z_e)$ [N/m ²]	Aire A_{ref} [m ²]	C_{pe}	C_{pi}	W (ze) [N/m ²]	Force totale [kN]
$z_{eq} = 25$	1088	625	+0.8	-0.25	1124.38	702.73
$z_{eq} = 50$	1353	625	+0.8	-0.25	1420.78	887.98

Tableau 11 : Forces extérieures sur les parois au vent

PRESSION SUR LES PAROIS PARALLÈLES AU VENT ET SOUS LE VENT : (ZONE A, B, C ET E)

Z [m]	$q_p(z_e)$ [N/m ²]	Zone	Forces extérieures en kN			
			Aire A_{ref} [m ²]	C_{pe}	C_{pi}	W (ze) [N/m ²]
$z_{eq} = 50$	1353	A	250	-1.0	-0.25	-1014.84
		B	1000	-0.8	-0.25	-744.22
		C	250	-0.5	-0.25	-338.28
		E	1250	-0.3	-0.25	-67.65

Tableau 12 : Forces extérieures sur les parois parallèles au vent et sous le vent

Nota : de la même manière, on peut déterminer les actions du vent dans les autres directions.

CAS D'UN HANGAR INDUSTRIEL AVEC TOITURE
SYMETRIQUE A QUATRE VERSANTS

OBJECTIFS

Cet exemple a pour objectif de montrer la procédure de détermination des actions du vent sur un ouvrage de type hangar avec toiture symétrique à quatre pans. Les angles de pente des versants du long pan et du pignon ne sont pas identiques.

GÉOMÉTRIE DE L'OUVRAGE TOITURE À 4 PANS

- Hauteur du bâtiment $h \text{ (m)} = 6.30 \text{ m}$
- Dimension perpendiculaire au vent $b = 20.00 \text{ m}$
- Hauteur des parois verticales $hp \text{ (m)} = 5.00 \text{ m}$
- Dimension parallèle au vent $d \text{ (m)} = 10.00 \text{ m}$
- Pente de la couverture du long pan $(\alpha_0) \text{ (}^\circ\text{)} = 15.00^\circ$
- Angle de toiture du versant sous le vent $(\alpha_{90}) \text{ (}^\circ\text{)} = 45.00^\circ$
- Angle de pente = 15°
- Entre axe entre portique = 5 m
- Entre axe entre montant = 5 m
- Entre axe entre pannes = 1.4 m

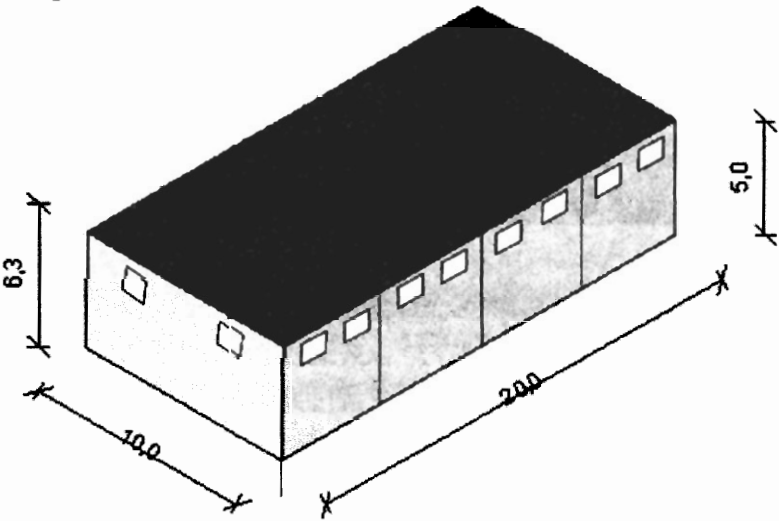


Figure 4 : Géométrie de l'ouvrage

PERMÉABILITÉ DE L'OUVRAGE

L'ouvrage comprend 20 ouvertures de 1.5x1.5m répartie comme indiqué sur la figure 4.

Il n'y a pas de face dominante : (cf. 5.2.2.1)

L'indice de perméabilité est donnée par : (cf. 5.2.2.2)

$$\mu_p = \frac{\sum \text{des surfaces des ouvertures ou } C_{pe} \text{ est négatif ou égal à } 0}{\sum \text{des surfaces de toutes les ouvertures}} = \frac{12}{20}$$

$\mu_p = 0.60$

Localisation de l'ouvrage

Catégorie de terrain :	Cat = I
Zone de vent :	Zone = I
Vitesse de référence du vent :	$V_{ref} = 25 \text{ m/s}$
Pression de référence :	$q_{ref} = 375 \text{ N/m}^2$

Topographie du site

Type d'obstacle : falaise

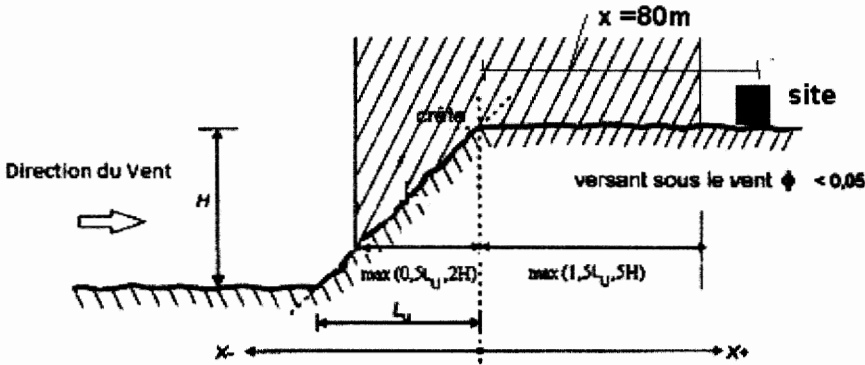


Figure 5 : Topographie du site de l'ouvrage

- Hauteur de l'obstacle : $H = 10$;
- Position de la structure : $x = 80$,
- Longueur du versant : $L_u = 20$.

L'ouvrage est implanté à une distance $x = 80 \text{ m}$ par rapport à la crête de l'obstacle. Cette distance est supérieure au $\max(1.5 L_u, 5H)$. Par conséquent le coefficient de topographie est pris égal à : $C_t(z) = 1.00$

Intensité de turbulence (cf. chapitre 2 § 2.4.6)

$$\begin{cases} I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \ln(\frac{z}{z_0})} & \text{pour } z > z_{min} \\ I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \ln(\frac{z_{min}}{z_0})} & \text{pour } z \leq z_{min} \end{cases}$$

Le tableau 13 donne les valeurs de $I_v(z)$

Vent sur :	$z_e \text{ [m]}$	$I_v(z)$
Mur	5	0.16
Toiture	6.3	0.15

Tableau 13 : Valeurs de $I_v(z)$

Coefficient de Rugosité

Vent sur :	z _e [m]	C _r (z _e)
Mur	5	1.05
Toiture	6.3	1.10

Tableau 14 : Valeurs de C_r(z)

Coefficient d'exposition (cf. § 2.4)

C_e(z) = C_i²(z)×C_r²(z) ×[1+7I_v(z)]

Vent sur :	z _e [m]	C _e (z _e)
Mur	5	2.37
Toiture	6.3	2.50

Tableau 15 : Valeurs de C_e(z)

Récapitulatif

Vent sur :	z _e [m]	C _r (z _e)	I _v (z)	C _e (z _e)	q _p (z _e) [N/m ²]
Mur	5	1.05	0.16	2.37	889
Toiture	6.3	1.10	0.15	2.50	938

Tableau 16 : Récapitulatif

PAROIS VERTICALES (VENT PERPENDICULAIRE AU LONG PAN) (cf. §5.1.2)

Découpage du bâtiment en plusieurs parties

Distance (e) = min (b, 2h) = min (20, 2×6.35) = 12,7 m ;

La distance (e) dépasse la profondeur du bâtiment. On prend donc pour le découpage deux zones A et B respectivement de largeur e/5 et b-e/5. (cf. fig.6)

Avec : e/5 = 12.7/5

La hauteur de la paroi latérale est de 5m, on obtient donc les aires suivantes pour les zones A, B, D et E.

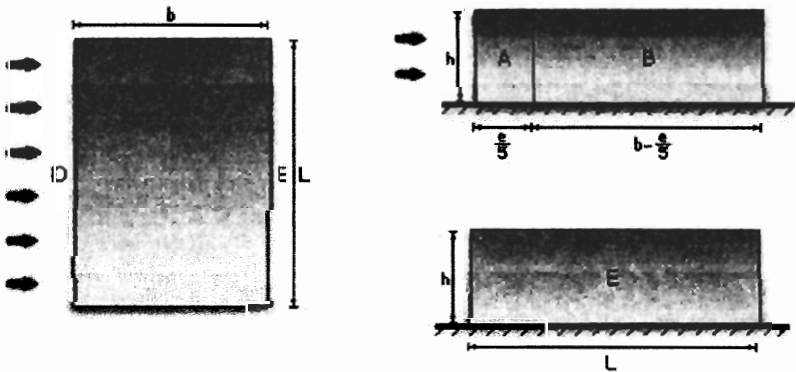


Figure 6 : Découpage du bâtiment

Hauteur de référence z_e	Aires des zones			
	$A_{A'} [m^2]$	$A_{B'} [m^2]$	$A_D [m^2]$	$A_E [m^2]$
5.00	12.7	37.3	100.00	100.00

Tableau 17 : Aires des zones

Coefficients de pression extérieure (cf. tableau 5.1)

Les aires des différentes zones étant supérieures à 10 m², on obtient les coefficients de pression $C_{pe,10}$ suivants :

Zone	Zone A'	Zone B'	Zone D	Zone E
C_{pe}	-1.00	-0.80	+0.80	-0.30

Tableau 18 : Valeurs de coefficients $C_{pe,10}$

Coefficient de pression intérieure

Le coefficient de pression intérieure est fonction de μ_p et du rapport h/d. (cf. fig. 5.15)

Avec : $h/d = 6.3/10 = 0.63$.

La valeur de C_{pi} est la valeur correspondant à une interpolation linéaire entre les valeurs correspondants à $h/d = 0.25$ et $h/d = 1$

Pour $\mu_p = 0.6$ et $h/d = 0.25$ $C_{pi} = 0.025$;

Pour $\mu_p = 0.6$ et $h/d = 1$ $C_{pi} = - 0.0422$;

D'où $C_{pi} = 0.006$, on prend dans la suite de l'exemple $C_{pi} = \mathbf{0.01}$

Hauteur de référence

La hauteur de référence pour les pressions intérieures est égale à la hauteur de référence z_e pour les pressions extérieures exercées sur les faces qui contribuent par leurs ouvertures à la création des pressions intérieures. Lorsqu'il existe plusieurs ouvertures la plus grande valeur de z_e est utilisée. (cf. § 5.2.2.3).

Dans le cas présent la hauteur de référence est égale à la hauteur de la paroi. $z_e = \mathbf{5m}$

Pressions aérodynamiques sur les parois (cf. § 2.5.2)

$$W(z_j) = q_p(z_e) \times [C_{pe} - C_{pi}]$$

Zone	$q_p(z)$	C_{pe}	C_{pi}	$C_{pe}-C_{pi}$	$W(z_j) [N/m^2]$
A	889	-1.00	0.01	-0.99	-880
B	889	-0.80	0.01	-0.79	-702
D	889	+0.80	0.01	0.81	721
E	889	-0.30	0.01	-0.29	258

Tableau 19 : Pressions aérodynamiques sur les parois

TOITURES

Hauteur de référence : $z_e = h = 6.3\text{ m}$

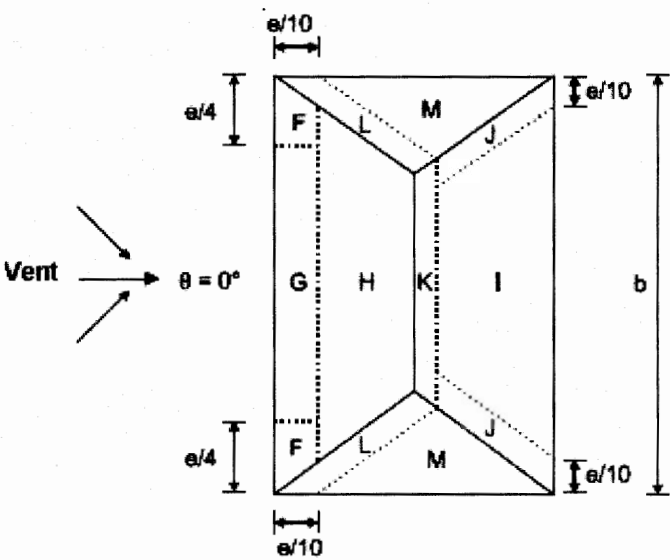


Figure 6 : Zones de toiture du bâtiment

Hauteur de référence z_e	Aires des zones							
	$A_{F'}\text{ [m}^2\text{]}$	$A_{G'}\text{ [m}^2\text{]}$	$A_H\text{ [m}^2\text{]}$	$A_I\text{ [m}^2\text{]}$	$A_J\text{ [m}^2\text{]}$	$A_K\text{ [m}^2\text{]}$	$A_L\text{ [m}^2\text{]}$	$A_M\text{ [m}^2\text{]}$
6.3	3.9	17.9	70.8	73.7	5.7	11.5	2.3	7.2

Tableau 20 : Aires des zones de toiture.

Pression dynamique de pointe $q_p(z_e) = 938\text{ (N/m}^2\text{)}$

Coefficients de pression extérieure (cf. § 5.1.6)

Les valeurs de C_{pe} (cf. tableau 5.5) sont données par le tableau 21.

Il est à noter que les valeurs de ces coefficients sont celles correspondantes à $C_{pe,10}$ pour les aires supérieures à 10 m^2 et les valeurs obtenues par interpolation linéaire entre $C_{pe,10}$ et C_{pe1} pour les aires entre 1 m^2 et 10 m^2 (cf. 5.1.1.2)

	Coefficients de pression extérieure							
	Zone F	Zone G	Zone H	Zone I	Zone J	Zone K	Zone L	Zone M
Dépression	-1.35	-0.8	-0.3	-0.5	-1.12	-1.2	-1.78	-0.69
Surpression	+0.2	+0.2	+0.2					

Tableau 21 : Coefficients de pression extérieure

Coefficient de pression intérieure

Le coefficient de pression intérieure est $C_{pi} = 0.01$

Pressions aérodynamiques sur la toiture [N/m²] (cf. § 2.5.2)

$W(z_j) = q_p(z_e) \times [C_{pe} - C_{pi}]$

	Zone F	Zone G	Zone H	Zone I	Zone J	Zone K	Zone L	Zone M
Dépression	-1276	-760	-291	-478	-1060	-1135	-1679	-657
Surpression	178	178	178					

Tableau 22 : Pressions sur la toiture

Notes :

- Les valeurs de pressions dynamiques sur les parois et sur la toiture peuvent être utilisées pour la justification des différents éléments constitutifs de l’ouvrage (pannes, assemblage, bardage, etc.).
- Pour les justifications des actions globales il y a lieu de multiplier les valeurs obtenues par le coefficient dynamique C_d (lequel, pour ce cas particulier peut être pris égal à 1.)

CAS D'UN PANNEAU DE SIGNALISATION

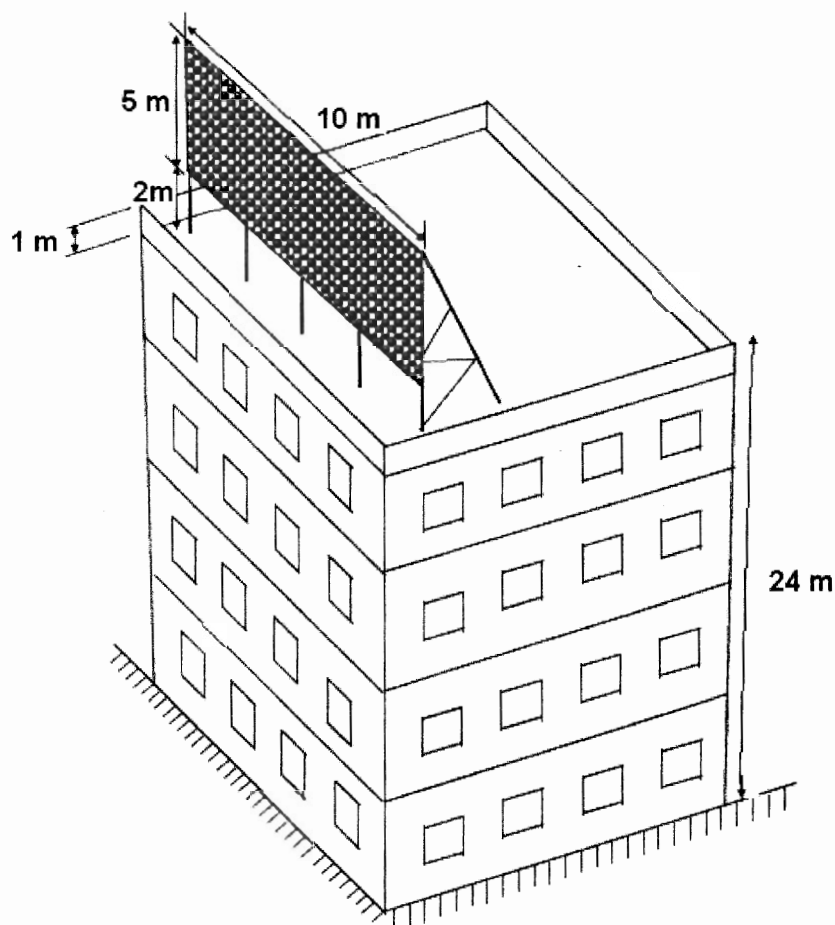


Figure 6 : Panneau de signalisation

GÉOMÉTRIE

- Longueur : $L=10\text{ m}$
- Hauteur : $h=5\text{ m}$
- Surélévation par rapport à la base : $z_g=1\text{ m}$

DONNÉES

Zone de vent : zone III ($V_{\text{réf}} = 31\text{ m/s}$, (cf. tableau 1.1)

Pression de référence $q_{\text{réf}} = 475\text{ N/m}^2$ (cf. chapitre 2 § 2.3.1)

Puisque il s'agit d'un ouvrage d'une durée de vie inférieure à 5 ans, une réduction de 28 % est appliquée sur la pression de référence (cf. §2.3.1).

D'où : $q_{\text{réf}} = 414\text{ N/m}^2$

Catégorie de terrain : (cf. chapitre 2 § 2.4.3)

Catégorie de terrain	K_T	z_0	z_{min}	ϵ
(III) Zone à végétation basse telle que l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur.	0.215	0.3	5	0.61

Tableau 23 : Paramètres du terrain

PARAMÈTRES DE CALCUL

Hauteur de référence z_e : (cf. chapitre 2 § 2.3.2)

Il s'agit d'un ouvrage autre que ceux cités en 2.3.2, par conséquent la hauteur de référence est prise égale à la hauteur max : $(z_e = 24+2+5) = 31\text{ m}$.

$z_e = 31\text{ m}$

Coefficient de rugosité (cf. chapitre 2 § 2.4.4)

$$\begin{cases} C_r(z)=K_T \times \text{Ln}\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{pour } z_{min} \leq z \leq 200\text{m} \\ C_r(z)=K_T \times \text{Ln}\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) & \text{pour } z < z_{min} \end{cases} \tag{2.3}$$

On obtient les valeurs suivantes : $C_r(z = 31\text{m}) = 0.99$

Coefficient de topographie (cf. § 2.4.5)

Pour un site plat le coefficient de topographie à prendre en compte est : $C_t(z) = 1$

Intensité de turbulence (cf. chapitre 2 § 2.4.6)

$$\begin{cases} I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \text{Ln}\left(\frac{z}{z_0}\right)} & \text{pour } z > z_{min} \\ I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \text{Ln}\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right)} & \text{pour } z \leq z_{min} \end{cases}$$

$$I_v(z=31\text{m}) = 0.215$$

Coefficient d'exposition (cf. § 2.4)

$$C_e(z) = 2.47 \quad (\text{cf. tableau 2.3})$$

Pression dynamique de pointe

La pression dynamique de pointe est déterminée par (cf. §2.3) :

$$q_p(z_e) = q_{ref} \times C_e(z)$$

$$\text{Avec } q_{ref} = 414\text{ N/m}^2$$

Les valeurs de $q_p(z_e)$ sont données dans le tableau 24.

Tableau récapitulatif

z_e [m]	C_r	z/L	$C_t(z_e)$	$I_v(z)$	$C_e(z_e)$	$q_p(z_e)$ [N/m ²]
31	0.99	0,067	1.0	0,215	2.47	1023

Tableau 24 : Récapitulatif

CAS DE CHARGES À CONSIDÉRÉS (cf. 5.5.2)

Les deux cas de charges suivants (pour $z_g > 0$) sont considérés :

- **Cas A** : la résultante des forces agit perpendiculairement au mur en passant par son centre de gravité ;
- **Cas B** : la résultante des forces agit perpendiculairement au mur avec une excentricité horizontale du coté au vent $e = 0.2.L = 0.2 \times 10 = 2m$.

Note

Le cas de charge (**Cas C**, pour $L/h > 2$) n'est pas considéré ($L/h = 10/5 = 2$)

COEFFICIENT DE PRESSION

Le coefficient de pression C_{pnet} est déterminé en fonction des paramètres L/h et

$$\frac{z_g}{z_g + h} \quad (cf. \text{tableau 5.1})$$
$$\left. \begin{aligned} \frac{L}{h} &= \frac{10}{5} = 2 \\ \frac{z_g}{z_g + h} &= \frac{2}{2 + 5} = 0.286 \approx 3 \end{aligned} \right\} \quad D'où : C_{pnet}=1.60$$

COEFFICIENT DYNAMIQUE

Le coefficient C_d est calculé de la manière décrite dans le DTR (cf. chapitre 3), en tenant compte de la géométrie du panneau supposé fixée sur la toiture.

En particulier la hauteur de référence est prise égale à :

$$z_e = z_g + \frac{h}{2} \quad (cf. \text{fig. 3.1 cas c})$$

La fréquence propre de vibration dans la direction du vent est calculée par une méthode appropriée. (Analytique en pendule inverse ou numérique)

Dans le présent cas on suppose que $C_d=1$.

CALCUL DE LA PRESSION AÉRODYNAMIQUE (cf. § 2.5.2)

La pression aérodynamique est donnée par :

$$W(z_j) = q_p(z_e) \times C_{p,net} \quad [N/m^2] \quad (cf. \text{eq 2.7})$$
$$W(z_j) = 1023 \times 1.6 \quad \mathbf{W(z_j) = 1637 [N/m^2]}$$

CAS D’UN CHATEAU D’EAU

OBJECTIFS

On se propose de déterminer dans cet exemple les actions du vent sur un château d’eau dont la géométrie est donnée par la figure 7.

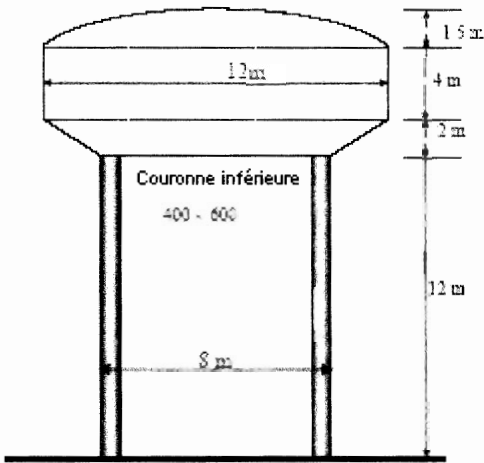


Figure 7 : Géométrie du château d’eau

GÉOMÉTRIE

Épaisseur des parois : 20 cm ;

Épaisseur de la dalle de couverture : 12 cm.

DONNÉES

Zone de vent : zone III ($V_{\text{réf}} = 31 \text{ m/s}$, (cf. tableau 1.1) ;

$q_{\text{réf}} = 575 \text{ N/m}^2$ (cf. chapitre 2 § 2.3.1) ;

Catégorie de terrain (cf. chapitre 2 § 2.4.3).

Catégorie de terrain	K_T	z_0	z_{min}	ϵ
(III) Zone à couverture végétale régulière ou des bâtiments, ou avec des obstacles isolés séparés d’au plus 20 fois leur hauteur (par exemple des villages, des zones suburbaines, des forêts permanentes).	0.215	0.3	5	0.61

Tableau 25 : Paramètres du terrain

PARAMÈTRES DE CALCUL

Hauteur de référence z_e (cf. chapitre 2 § 2.3.2)

La hauteur totale de l’ouvrage est découpée en plusieurs tronçons dont la hauteur de référence (z_e) de chaque tronçon correspond à sa hauteur max.

Le découpage des éléments a été fait en considérant les 04 tronçons suivants :

- Tronçon 1 : de 0 à 5m (pour délimiter la zone où $z < z_{min}$) ;
- Tronçon 2 : de 5 à 10m (jusqu’à 10m on peut supposer que la pression du vent est uniforme) ;
- Tronçon 3 : de 10 à 12m correspondant à la fin de la section cylindrique ;
- Tronçon 4 : de 12 à 14m correspondant à la fin de la section tronconique ;
- Tronçon 5 : de 14 à 18 m correspondant à la fin de la section cylindrique de la cuve.

Coefficient de rugosité (cf. chapitre 2 § 2.4.4)

$$\begin{cases} C_r(z)=K_r \times Ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{pour } z_{min} \leq z \leq 200m \\ C_r(z)=K_r \times Ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) & \text{pour } z < z_{min} \end{cases}$$

On obtient les valeurs suivantes :

Tronçon	z_e (m)	$C_r(z)$
de 0 à 5 m	5	0.605
de 5 à 10 m	10	0.754
de 10 à 12m	12	0.793
de 12 à 14 m	14	0.826
de 14 à 18m	18	0.880

Tableau 26 : Valeurs de $C_r(z)$

Coefficient de topographie (cf. § 2.4.5)

L’ouvrage est situé sur un terrain de pente inférieur à 0.05, par conséquent $C_t(z) = 1$.

Intensité de turbulence (cf. chapitre 2 § 2.4.6)

$$\begin{cases} I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times Ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} & \text{pour } z > z_{min} \\ I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times Ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right)} & \text{pour } z \leq z_{min} \end{cases}$$

Tronçon	z _e (m)	I _v (z)
de 0 à 5 m	5	0.355
de 5 à 10 m	10	0.285
de 10 à 12m	12	0.271
de 12 à 14 m	14	0.260
de 14 à 18m	18	0.244

Tableau 27 : Valeurs de I_v(z)

Coefficient d'exposition : (cf. § 2.4)

$C_e(z) = C_t^2(z) \times C_r^2(z) \times [1 + 7I_v(z)]$

Tronçon	z _e (m)	C _e (z _e)
de 0 à 5 m	5	1.276
de 5 à 10 m	10	1.703
de 10 à 12m	12	1.823
de 12 à 14 m	14	1.926
de 14 à 18m	18	2.100

Tableau 28 : Valeurs de C_e(z)

PRESSION DYNAMIQUE DE POINTE

La pression dynamique de pointe est déterminée par (cf. §2.3) :

$q_p(z_e) = q_{ref} \times C_e(z)$

Avec $q_{ref} = 575 \text{ N/m}^2$

Les valeurs de $q_p(z_e)$ sont données dans le tableau 29 pour chaque tronçon du bâtiment.

Tronçon	z _e [m]	C _r	z/L	C _t (z _e)	I _v (z)	C _e (z _e)	q _p (z _e) [N/m ²]
de 0 à 5 m	5	0.605	0,605	1.00	0.355	1.276	734
de 5 à 10 m	10	0.754	0,754		0.285	1.703	979
de 10 à 12m	12	0.793	0.793		0.271	1.823	1048
de 12 à 14 m	14	0.826			0.260	1.926	1107
de 14 à 18m	18	0.880			0.244	2.100	1208

Tableau 29 : Valeurs de q_p(z)

COEFFICIENT DYNAMIQUE C_D (cf. chapitre 3)

Hauteur équivalente

Pour le calcul de C_d, la hauteur équivalente est prise égale à : z_{eq} = 0.6h (cf. § 3.3 fig. 3.1).

$z_{eq} = 0.6 \times 19.5 = 11.7\text{m}$

Fréquence fondamentale

On détermine les propriétés d'un système mécanique masse-ressort équivalent :

Masse de la cuve+ 1/3 de la masse du fût : (57.64+60.29/3)x2500 =193442 kg

Rigidité latérale du support : $k = \frac{3EI}{l^3}$

Avec :

• E : module de Young $E = 11000 \text{ MPa}$

• I : Inertie de la section $I = \frac{\pi \times (D_e^4 - D_i^4)}{64} = 37.30 \text{ m}^4$

• l est la hauteur du support $l = 12 \text{ m}$;

$$\text{Par conséquent : } k = \frac{3 \times 11000 \times 10^6 \times 37.30}{12^3} = 712 \times 10^6 \text{ N/m}$$

La fréquence fondamentale est donc :

$$n_{1,x} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{712 \times 10^6}{193442}} = 9.65 \text{ Hz}$$

Échelle de turbulence (cf. §3.3.1 formule 3.3)

$$L_i(z_{eq}) = 300 \times \left(\frac{z}{200} \right)^{\varepsilon} = 300 \times \left(\frac{11.7}{200} \right)^{0.61} = 53.1$$

Partie quasi-statique (cf. § 3.3.1 formule 3.2)

$$Q^2 = \frac{1}{1+0,9 \times \left(\frac{(b+h)}{Li(z_{eq})} \right)^{0,63}} = \frac{1}{1+0,9 \times \left(\frac{(8+19.5)}{53.1} \right)^{0,63}} = 0.627$$

Vitesse moyenne (cf. Annexe 2)

$$V_m(z) = C_r(z) \times C_t(z) \times V_{\text{réf}} = 0.88 \times 1.00 \times 31 = 27.28$$

Fréquence adimensionnelle (cf. § 3.3.2 formule 3.6)

$$N_x = \frac{n_{1,x} \times Li(z_{eq})}{V_m(z_{eq})} = \frac{9.65 \times 53.1}{27.28} = 18.78$$

Densité spectrale de puissance (cf. § 3.3.2 formule 3.5)

$$R_N = \frac{6,8 \times N_x}{(1+10,2 \times N_x)^{5/3}} = \frac{6,8 \times 18.78}{(1+10,2 \times 18.78)^{5/3}} = 0.02$$

Admittances aérodynamiques (cf. §3.3.2 formule 3.7)

$$\eta_h = \frac{4,6 \times N_x \times h}{Li(z_{eq})} = \frac{4,6 \times 18.78 \times 19.5}{53.1} = 31.72 \quad \text{d'où : } R_h = 0.031$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \times N_x \times b}{Li(z_{eq})} = \frac{4,6 \times 18.78 \times 8}{53.1} = 13.01 \quad \text{d'où : } R_b = 0.073$$

Décrément logarithmique d'amortissement (cf. eq. 3.9)

$$\delta = \delta_s + \delta_a$$

avec :

$$\delta_s = 0.03 \quad \text{(cf. tableau 3.1)}$$

$$\delta_a = 0$$

D'où : $\delta = 0.03$

Partie résonante (cf. § 3.3.2 formule 3.4)

$$R^2 = \frac{\Pi^2}{2 \times \delta} \times R_N \times R_h \times R_b = \frac{\Pi^2}{2 \times 0.03} \times 0.02 \times R_h \times R_b = 0.007$$

Fréquence moyenne (cf. § 3.3.3 formule 3.11)

$$\nu = n_{1,x} \times \sqrt{\frac{R^2}{Q^2 + R^2}} \geq 0.08 \quad \nu = 9.65 \times \sqrt{\frac{0.007}{0.627 + 0.007}} = 1.01 \text{ Hz}$$

Facteur de pointe (cf. § 3.3.3 formule 3.10)

$$g = \sqrt{2 \times Ln(600 \times \nu)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times Ln(600 \times \nu)}} \geq 3 \quad g = 3.767$$

Intensité de turbulence (cf. § 2.4.6 eq. 2.5)

$$I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times Ln(\frac{z}{z_0})} \quad \text{pour } z > z_{\min} \quad I_v(z) = 0.273$$

Coefficient dynamique (cf. §.3.3 formule 3.1)

$$C_d = \frac{1 + 2 \times g \times I_v(z_{eq}) \times \sqrt{Q^2 + R^2}}{1 + 7 \times I_v(z_{eq})} \quad C_d = 0.91$$

ACTIONS SUR LA COUVERTURE (cf. § 5.1.12)

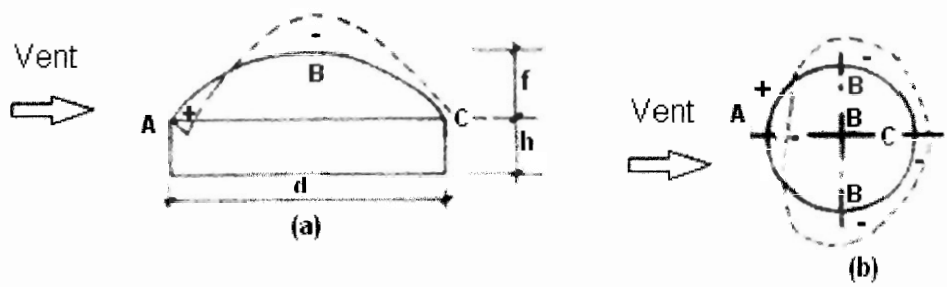


Figure 8 : Action du vent sur la couverture

On a :

- $d = 12\text{ m}; \quad h = 18\text{ m}; \quad f = 1.5\text{ m}$
- $h/d = 18/12 = 1.5$;
- $f/d = 1.5/12 = 0.125$.

On obtient les coefficients de force suivants pour les points A, B et C:

	Courbe utilisée	C _{pe}
Point A	A ($h/d \geq 1$)	-1.65
Point B	B ($h/d \geq 0.5$)	-0.85
Point C	C ($h/d \geq 0.5$)	-0.5

Tableau 30 : Récapitulatif

ACTIONS LATÉRALES (cf. § 4.4)

Coefficient de force pour élancement infinie C_{f0}

	$b \times \sqrt{q_p}$	C _{f0}
Fût	$= 8 \times \sqrt{575} = 192$	0.85
Partie tronconique	$= (\frac{8+12}{2}) \times \sqrt{575} = 240$	0.85
Partie cylindrique	$= 12 \times \sqrt{575} = 288$	0.85

Tableau 31 : Récapitulatif

Correction pour élancement finie

Correction obstruction : $\varphi = 1$ (Cf. 4.1.1)

Élancement effectif : $= \text{Min}(70; \frac{L}{l}) = \text{Min}(70; \frac{12}{8}) = 1.5$

D'où : $\psi_\lambda = 0.98$

Le coefficient de force est donc :

$C_f = 0.98 \times 0.85 \qquad C_f = \mathbf{0.833}$

ACTIONS D’ENSEMBLE *(cf. § 2.6.1)*

L’aire cde référence de chaque tronçon est donnée par :

$A_{ref} = b \times l$

Avec : *l* la hauteur de chaque élément et *b* le diamètre.

Les forces par ml de chaque tronçon sont données par :

Tronçon	<i>B</i> [m]	<i>C_f</i>	<i>q_p(z_e)</i> [N/m²]	<i>F_w = C_d x C_f x q_p(z_e)</i> [N/ml]
de 0 à 5 m	8	0.833	734	4451
de 5 à 10 m	8	0.833	979	5937
de 10 à 12m	8	0.833	1048	6355
de 12 à 14 m	10	0.833	1107	8391
de 14 à 18m	12	0.833	1208	10988

Tableau 32 : Actions d'ensemble

NOTE : DÉTERMINATION DES ACTIONS À PARTIR DES COEFFICIENTS DE PRESSION

Les pressions sur les parois du réservoir peuvent également être déterminées en utilisant la méthode des coefficients de pression *(cf. § 5.1.11)*.

Les coefficients *C_{pe}* sont donnés par :

$$\begin{cases} C_{p,e} = C_{p,o} & \text{pour } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min} \\ C_{p,e} = C_{p,o} \times \left[\psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) \right] & \text{pour } \alpha_{\min} \leq \alpha < \alpha_A \\ C_{p,e} = C_{p,o} \times \psi_\lambda & \text{pour } \alpha_A \leq \alpha \leq 180 \end{cases}$$

où :

- *C_{p,0}* est le coefficient de pression extérieure pour un élanement infini *(cf. figure 5.12 ;)*
- $\alpha_A = 130^\circ$ *(cf. figure 5.12) ;*
- $\alpha_{\min} = 75^\circ$ *(cf. figure 5.12) ;*
- ψ_λ est le facteur d’élanement $\psi_\lambda = 0.98$ (calculé plus haut).

On obtient les valeurs suivantes de *C_{p0}*.

Angle α [°]	C_{p0}	C_p	Angle α	C_{p0}	C_p	Angle α [°]	C_{p0}	C_p
0	1	1	75	-1.5	-1.5	130	-0.8	-0.78
10	0.8	0.8	80	-1.5	-1.77	135	-0.8	-0.78
20	0.5	0.5	85	-1.45	-1.70	140	-0.8	-0.78
30	0.1	0.1	90	-1.35	-1.57	150	-0.8	-0.78
40	-0.4	-0.4	100	-1	-1.13	160	-0.8	-0.78
50	-0.8	-0.8	105	-0.8	-0.89	170	-0.8	-0.78
60	-1.2	-1.2	110	-0.8	-0.87	180	-0.8	-0.78
70	-1.45	-1.45	120	-0.8	-0.83			

Tableau 33 : Récapitulatif

CAS D'UNE STRUCTURE DE PYLONE

OBJECTIFS

Cet exemple a pour objectif la détermination des actions du vent sur une structure en treillis de type pylône, de section carrée et ayant les caractéristiques suivantes :

- Largeur à la base : 3.4 m ;
- Largeur au sommet : 1.5 m ;
- Hauteur hors sol : 30 m ;
- Parabole : diamètre 1.8 m avec radome positionnée à 29 m à partir du sol ;
- La structure est composée principalement de cornières ;
- Une échelle à câble de 40 cm de largeur installée à l'intérieur du pylône de manière symétrique perpendiculaire à une face ;
- Un chemin de câble de largeur 10 cm considéré opaque.

GÉOMÉTRIE DE L’OUVRAGE

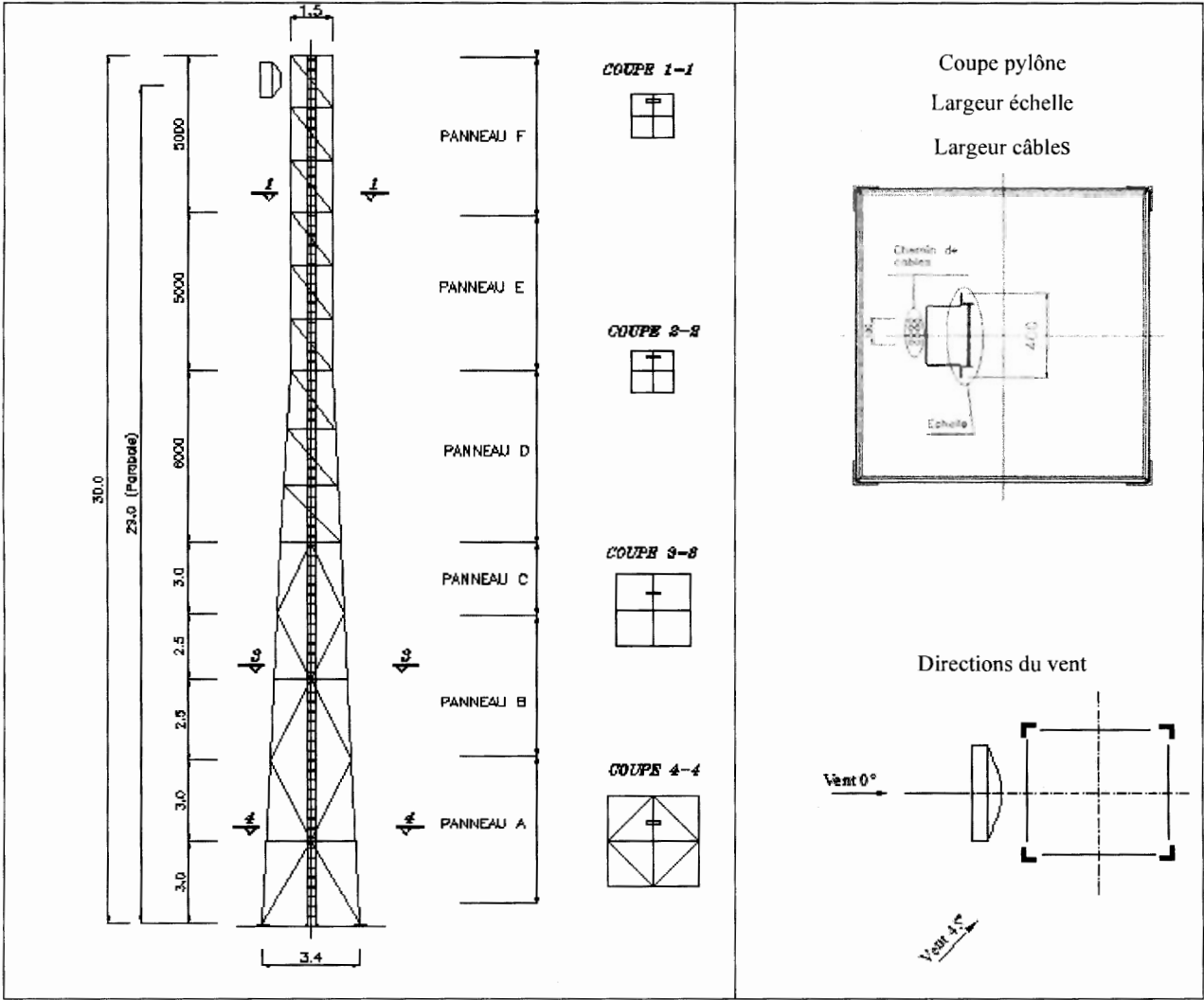


Figure 8 : Structure en treillis de type pylône

LOCALISATION DE L’OUVRAGE

L’ouvrage est situé au sommet d’une colline.

- Zone de vent : zone I
- Vitesse de référence du vent : zone I ($V_{réf}=25\text{m/s}$) (cf. tableau A.1.1)
- Pression de référence : ($q_{réf}=375\text{ N/m}^2$) (cf. tableau 2.2)

Catégorie de terrain : II, d'où :

Catégories de terrain	K_T	z_0 [m]	z_{min} [m]	ϵ
II Zone à végétation basse telle que l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur.	0,190	0,05	2	0,52

Tableau 34 : Récapitulatif

PARAMÈTRES DE CALCUL

DÉCOUPAGE EN TRONÇONS DU PYLÔNE

Pour les besoins d'optimisation de calcul des pressions sur l'ouvrage, celui-ci est décomposé en plusieurs tronçons (éléments) où la pression sera calculée à la hauteur max de chaque tronçon.

DÉFINITION DU TYPE DE CONSTRUCTION (cf. figure 3.1)

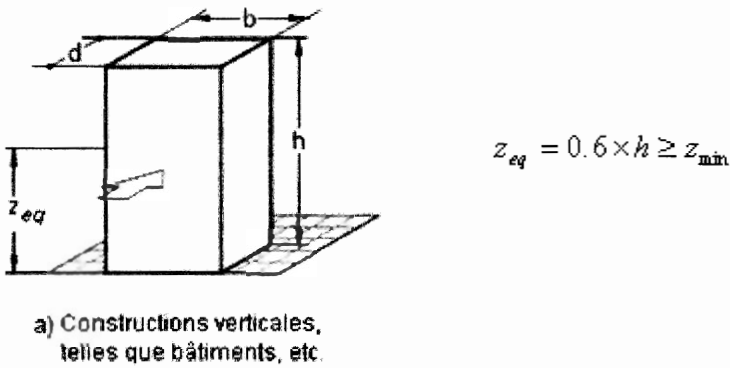


Figure 9 : Type de construction

Hauteur équivalente z_{eq}

$z_{eq} = 0.6 \times 30 = 18m$

VITESSE MOYENNE (ANNEXE 2)

$V_m(z) = C_r(z) \times C_t(z) \times V_{réf}$ [m/s] (A2.1)

COEFFICIENT D'EXPOSITION (cf. chapitre 2.4)

$C_e(z) = C_t^2(z) \times C_r^2(z) \times [1 + 7I_v(z)]$ (cf. eq. 2.2)

Où :

$I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times \ln(\frac{z}{z_0})}$ pour $z > z_{min}$

COEFFICIENT DE RUGOSITÉ (cf. § 2.4.4)

$$C_r(z)=K_T\times Ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pour} \quad z_{\min} \leq z \leq 200\text{m}$$

$K_T, z_0, z_{\min}, \epsilon$, sont donnés par le tableau 34.

COEFFICIENT DE TOPOGRAPHIE (cf. § 2.4.5)

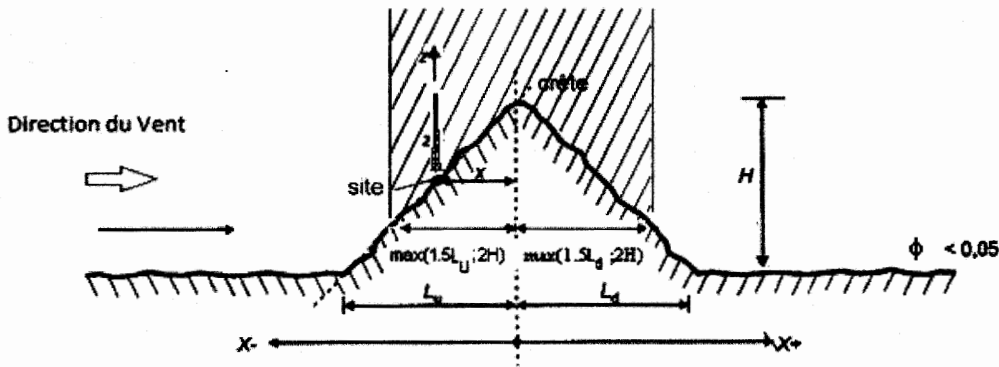


Figure 10 : Topographie du site de l'ouvrage

On a :

$$C_t(z)=1+s_{\max} \times \left(1-\frac{|x|}{k_{red} \times L}\right) \times e^{-\alpha z/L} \quad \text{pour} \quad \phi \geq 0,05$$

Avec :

- ϕ est la pente du versant au vent
- $H = 300 \text{ m}$;
- $L_u = 1000\text{m}$;
- $L = \max (0.5L_u ; 2H) = \max (0.5 \times 1000 ; 2 \times 300)$ D'où : $L = 600\text{m}$

On vérifie bien que $\phi = \frac{H}{L_u} = 300/600 = 0.5 > 0.05$

- $X = 0 \text{ m}$;
- z (en m) est la distance verticale mesurée à partir du niveau du sol au lieu considéré. Une valeur conservatrice de z est prise égale à la hauteur du c.d.g de chaque tronçon ;
- $S_{\max}, \alpha$ et k_{red} sont des coefficients donnés dans le tableau 35 en fonction de la forme de l'obstacle et du rapport H/L .

Forme de l'obstacle	S_{max}	α	k_{red}	
			$x < 0$	$x > 0$
Collines	$2,2 \times H/L = 2,2 \times 300/600 = 1.1$	3	1,5	1,5

Tableau 35 : Paramètres relatifs à la détermination de $C_t(z)$

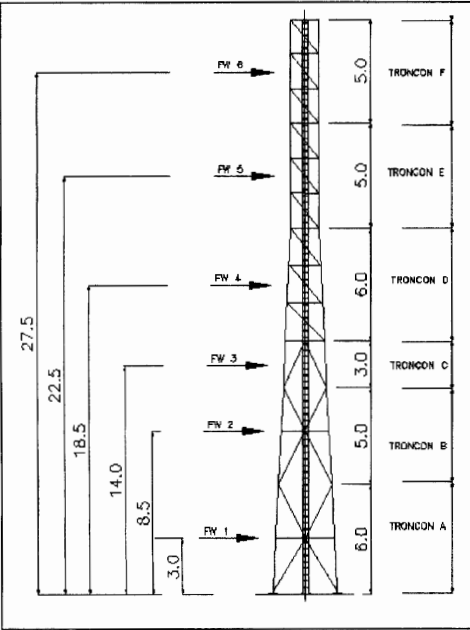
	H (m)	z_{cl} (m)	z (m)	$C_r(z)$	$C_t(z)$	$C_e(z)$	$V_m(z)$ m/s	$q_p(z_{cl})$ N/m²
	6,00	6,00	3,00	0,78	2,08	4,56	40,52	1709
	5,00	11,00	8,50	0,98	2,05	6,40	50,11	2401
	6,00	17,00	14,00	1,07	2,03	7,28	54,22	2731
	3,00	20,00	18,50	1,12	2,00	7,74	56,26	2903
	5,00	25,00	22,50	1,16	1,98	8,04	57,54	3014
	5,00	30,00	27,50	1,20	1,96	8,31	58,71	3116
	Pour z_{eq}		18,00	1,12	2,01	7,70	56,07	

Tableau 36 : Récapitulatif

Avec :

- H : hauteur du panneau ;
- z_{cl} : Hauteur du niveau supérieur du panneau ;
- z : hauteur au cdg du panneau ;
- $V_m(z_{eq}) = C_r(z_{eq}) \times C_t(z_{eq}) \times V_{réf}$: Vitesse moyenne
- $q_p(z_{zcl}) = q_{ref} \times C_e(z)$: Pression dynamique de pointe

COEFFICIENT DE FORCE C_f

Le coefficient de force C_f des constructions soumises à un vent perpendiculaire à l’une de leurs faces est donné par : $C_f = C_{f0} \times \psi_\lambda$ (4.1)

Où :

- C_{f0} est le coefficient de force des constructions en considérant un élancement effectif infini;
- C_{f0} est donné par en fonction du taux de remplissage ϕ ,
- ψ_λ est le facteur d’élancement défini en § 4.1.1.

CALCUL DU COEFFICIENT DE REMPLISSAGE (cf. § 4.1.1)

Le coefficient de remplissage est défini par : $\varphi = \frac{A}{A_c}$

Avec :

A : Est la somme des éléments et des goussets d'assemblage de la face projetée dans le plan de cette face, perpendiculaire à ce plan : $A = \sum_i b_i.l_i + \sum_k A_{gk}$

A_c : Est la surface totale circonscrite par les limites périphériques de la face, en projection normale à cette dernière.

Dans ce qui suit, les étapes de calcul du coefficient de remplissage du tronçon 1 sont données par le tableau 37. Pour les autres tronçons, seules les valeurs sont données par le tableau 40.

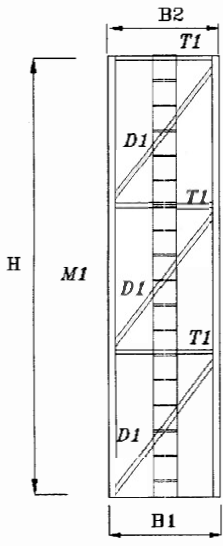
1		Hauteur tronçon : $H=500\text{ cm}$
		Largeur base : $B1 = 150\text{ cm}$
		Largeur au sommet : $B2 = 150\text{ cm}$
		Diagonales : $D1 : L60 \times 6 = 3 \times 222 \times 6 = 3996\text{ cm}^2$
		Traverses : $T1 : L60 \times 6 = 3 \times 150 \times 6 = 2700\text{ cm}^2$
		Membrures : $M1 : L70 \times 7 = 2 \times 500 \times 7 = 7000\text{ cm}^2$
		Echelles + Câbles $A1 = 500 \times 2520 = 1260\text{ cm}^2$
		Aires des pleins des profilés : $A2 = 13696\text{ cm}^2$
		Aires totale des pleins : $A = A1 + A2\text{ (cm}^2\text{)} = 1260 + 13696 = 14956\text{ cm}^2$
		Aire totale du panneau $A_c\text{ (cm}^2\text{)} = 90000\text{ cm}^2$
		$\varphi = \frac{A}{A_c} = 0.166$

Tableau 37 : Détail de calcul du coefficient de remplissage du tronçon 1

COEFFICIENT DE FORCE $C_{f,0}$ (cf. §4.5.2)

Coefficient C_{f0} en fonction de la direction du vent

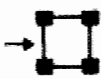
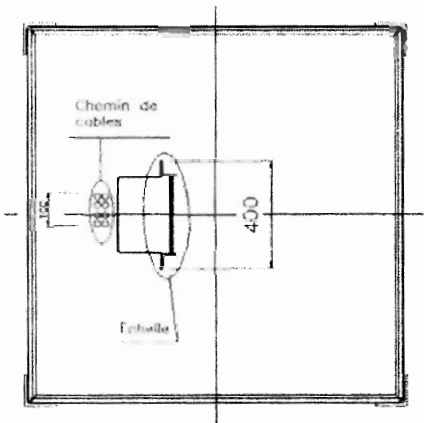
Direction vent	C_{f_o}	
Vent normal à une face 	$4.0\varphi^2 - 5.9\varphi + 4$	Cf. tableau 4.5
Vent bissectrice 	$(4.0\varphi^2 - 5.9\varphi + 4) \times (1 + 0.75\varphi)$ Avec : $(1 + 0.75\varphi) \leq 1.2$	Cf. note tableau 4.5

Tableau 38 : Coefficients de forces d'une structure en treillis spatial



Section du pylône

Figure 11 : Surface de l’échelle et du chemin de câble pour 01 mètre linéaire

L’échelle est composée de 02 montants en cornières à ailes égales de 60x60x6, et de rond de diamètre 20mm espacés de 25cm

D’où la surface pour un tronçon de 1m d’échelle ???????

Cette surface sera additionnée aux surfaces des éléments plein des tronçons composant le pylône.

	Longueur	largeur	Surface
Montants	100	6	=2x (100x6)=1200cm²
Marches	40	2	=4x (40x2)=320mm²
Chemin de câbles	100	10	=100x10 = 1000cm²
Surface totale pour un tronçon de mètre			= 1200 + 320 + 1000 = 2520cm²

Tableau 39 : Surface des membrures

Les valeurs des coefficients de force, des différents tronçons sont donnés par le tableau 40.

$\lambda_e = \frac{L}{b}$

N° du Tronçon	$\varphi = \frac{A}{A_c}$	C_{f0} 	C_{f45}
1	0,166	3,13	3,52
2	0,166	3,13	3,52
3	0,179	3,07	3,48
4	0,188	3,03	3,46
5	0,199	2,98	3,43
6	0,159	3,16	3,54

Tableau 40 : Surfaces des membrures

ÉLANCEMENT EFFECTIF λ_e ET FACTEUR D’EFFET D’EXTRÉMITÉS ψ_λ (cf. chapitre 4.1.2.1)

L : Hauteur de la structure L= 30m ;

b : Largeur moyenne de la structure $b = \frac{b1 + b2}{2} = \frac{1.5 + 3.4}{2} = 2.45m$;

$$\lambda_e = \frac{30}{2.45} = 12.24 ;$$

FACTEUR D’EFFET D’EXTRÉMITÉ ψ_λ (Cf. fig. 4.1)

Le taux de remplissage φ de toute la structure du pylône

$$\varphi = \frac{117472}{670003} = 0.18 \qquad \text{D'où } \psi_\lambda = 0.97$$

COEFFICIENT DE FORCE SUR LA STRUCTURE DU PYLÔNE

Le coefficient de force $C_f = C_{f_0} \times \psi_\lambda$

Tronçon	C_{f_0}		$C_f = C_{f_0} \times \psi_\lambda$	
	vent normal à une face	vent suivant la diagonale	vent normal à une face	vent suivant la diagonale
1	3,13	3,52	3,04	3,41
2	3,13	3,52	3,04	3,41
3	3,07	3,48	2,98	3,38
4	3,03	3,46	2,94	3,36
5	2,98	3,43	2,89	3,33
6	3,16	3,54	3.06	3.43
Coefficient global	3.07	3.48		

Tableau 41 : Coefficients de force

DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DYNAMIQUE C_d

Formule générale

$$C_d = \frac{1+2 \times g \times I_v(z_{eq}) \times \sqrt{Q^2 + R^2}}{1+7 \times I_v(z_{eq})} \tag{3.1}$$

Où :

- z_{eq} (en m) est la hauteur équivalente de la construction (cf. fig. 3.1) ;
- $I_v(z_{eq})$ est l’intensité de la turbulence pour $z = z_{eq}$ (cf. § 2.4.6).

Les différents paramètres de calcul sont :

Échelle de turbulence

$$L_i(z_{eq}) = 300 \times \left(\frac{z}{200} \right)^\epsilon ; \qquad L_i(z_{eq}) = 85.8$$

Intensité de de turbulence

$$I_v(z_{eq}) = \frac{1}{C_t(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{pour } z > z_{\min}$$

Pour $z_{\min} \leq z \leq 200\text{m}$ (cf. 2.5.a et 2.5.b)

$$C_t(z_{eq}) = 2.01 \quad (\text{cf. tableau 36}) ; \qquad \text{D'où : } I_v(z_{eq}) = 0.085$$

Fréquence fondamentale (cf. § 3.3.4.)

La fréquence fondamentale de flexion ***n_{l,x}*** dans la direction x du vent peut être évaluée au moyen de toute méthode d'analyse structurale pourvue qu'elle soit convenablement justifiée.

La fréquence fondamentale pour le cas présent a été déterminée par un calcul de valeurs propres et elle est égale à : *n_{l,x}* = 3.8 Hz

Vitesse moyenne (cf. § Annexe II)

$$V_m(z_{eq}) = C_r(z_{eq}) \times C_r(z_{eq}) \times V_{\text{réf}} = 1.12 \times 2.01 \times 25 = 56.07 \text{ m/s}$$

Fréquence adimensionnelle

$$N_x = \frac{n_{l,x} \times L_i(z_{eq})}{V_m(z_{eq})} = \frac{3.8 \times 85.8}{56.28} = 5.81 \text{ Hz}$$

Partie quasi-statique Q²

- Q² est la partie quasi-statique donnée par : $Q^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \times \left(\frac{(b+h)}{L_i(z_{eq})} \right)^{0.63}}$

$$Q^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \times \left(\frac{(2.45 + 30)}{85.8} \right)^{0.63}} = 0.67$$

Fonction adimensionnelle R_N

$$R_N = \frac{6.8 \times N_x}{(1 + 10.2 \times N_x)^{\frac{5}{3}}} = \frac{6.8 \times 5.81}{(1 + 10.2 \times 5.81)^{\frac{5}{3}}} = 0.044$$

Fonctions d'admittance aérodynamique R_h et R_b

$$\eta_h = \frac{4,6 \times N_x \times h}{L_i(z_{eq})} = \frac{4,6 \times 5,81 \times 30}{85,8} = 9,35 ;$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \times N_x \times b}{L_i(z_{eq})} = \frac{4,6 \times 5,81 \times 2,45}{85,8} = 0,76$$

$$R_h = \left(\frac{1}{\eta_h} \right) - \left(\frac{1}{2x\eta_h^2} \right) x (1 - e^{-2x\eta_h}) = 0,10$$

$$R_b = \left(\frac{1}{\eta_b} \right) - \left(\frac{1}{2x\eta_b^2} \right) x (1 - e^{-2x\eta_b}) = 0,64$$

Décrément logarithmique δ

$$\delta = \delta_s + \delta_a$$

Avec :

- δ_s est le décrément logarithmique d'amortissement structural (tableau 3.1) :

$$\delta_s = 0,05 \text{ (cf. tableau 3.1)}$$

- δ_a est le décrément logarithmique d'amortissement aérodynamique pris égal à 0, excepté le cas des structures en treillis pour lesquelles δ_a est donné par

$$\delta_a = \frac{\rho \times b \times C_f}{2 \times n_{1,x} \times m_{1,x}} \times V_m(z_{eq}) \quad (\S 3.10)$$

A défaut de calcul plus précis utilisant la formule (A3.6), La valeur de m_1 , calculée comme étant la masse moyenne par unité de longueur du tiers supérieur du pylône. (Voir commentaire § 6.3.2) :

Avec :

- ρ (en kg/m^3) est la masse volumique de l'air ($\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$) ;
- b (en m) est la dimension de la construction perpendiculaire au vent ;
- C_f est le coefficient de force (cf. chapitre 4) ;
- $n_{1,x}$ (en Hz) est la fréquence propre du mode fondamental dans la direction x du vent (Cf. § 3.3.4) ;
- m_1 : (en kg/m) est la masse équivalente pour le mode fondamental et dans la direction x du vent (cf. annexe 3, § 6.3.2) ;
- $V_m(z_{eq})$ (en m/s) est la vitesse moyenne du vent (cf. annexe 2) pour $z = z_{eq}$ (cf. § 1.2).

$$m_1 = \frac{\int_0^h m(z) \cdot \phi_1^2(z) \cdot dz}{\int_0^h \phi_1^2(z) \cdot dz} \quad (\text{A3.6})$$

$$\text{Avec : } \phi_1(z) = \left(\frac{z}{h} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{A3.7})$$

Où :

- h (en m) est la hauteur totale de la structure par rapport au sol ;
- z (en m) est la hauteur par rapport au sol du point considéré ;
- $\xi = 2,5$ pour les structures en treillis.

Calcul de m_1 par la formule suivante

$$m_1 = \frac{\sum_0^h m(z) \cdot \Phi^2(z)}{\sum_0^h \Phi^2(z)}$$

Tronçon	Niveau Z	ξ	$\Phi(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\xi$	$m(z)$ Kg/m	$m(z) \cdot \Phi^2(z)$
6	27,5	2.5	0,002	133,0	1,1
5	22,5	2.5	0,031	114,0	20,8
4	18,5	2.5	0,124	126,0	61,8
3	14	2.5	0,260	209,0	195,0
2	8,5	2.5	0,435	260,0	438,0
1	3	2.5	0,768	274,0	916,0
			$\sum_0^h \Phi^2(z) = 1.62$		$\sum_0^h m(z) \cdot \Phi^2(z) = 397$

Tableau 42 : Calcul de m_1

$$m_1 = \frac{\sum_0^h m(z) \cdot \Phi^2(z)}{\sum_0^h \Phi^2(z)} = \frac{397}{1.62} = 245 \text{ kg / m}$$

Par conséquent la valeur de δ_a est de :

Vent à 0° (Cf=3.07); $\delta_a = \frac{1.2 \times 2.45 \times 3.07}{2 \times 3.8 \times 245} \times 56.07 = 0.27$;

Vent à 45° (Cf=3.07); $\delta_a = \frac{1.2 \times 1.95 \times 3.48}{2 \times 3.8 \times 245} \times 56.07 = 0.31$

Le décrément logarithmique δ est donc:

- Vent à 0° $\delta_0 = \delta_{a0} + \delta_s = 0.27 + 0.05 = 0.32$

- Vent à 45° $\delta_{45} = \delta_{a45} + \delta_s = 0.31 + 0.05 = 0.36$

Partie résonante R^2 (cf. § 3.3.2)

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \times \delta} x R_N x R_h x R_b = \frac{\pi^2}{2 \times \delta} x R_N x R_h x R_b \tag{3.4}$$

Vent à 0° $R^2 = \frac{\pi^2}{2 \times \delta_0} \times R_N \times R_h \times R_b = \frac{\pi^2}{2 \times 0.32} \times 0.044 \times 0.10 \times 0.64 = 0.04$

Vent à 45° $R^2 = \frac{\pi^2}{2 \times \delta_{45}} \times R_N \times R_h \times R_b = \frac{\pi^2}{2 \times 0.36} \times 0.044 \times 0.10 \times 0.64 = 0.04$

Facteur de pointe *g* (cf. § 3.3.3)

$$g = \sqrt{2 \times \text{Ln}(600 \times \nu)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \times \text{Ln}(600 \times \nu)}} \geq 3 \tag{3.11}$$

Où :

ν (en Hz) est la fréquence moyenne donnée par :

$$\nu = n_{1,x} \times \sqrt{\frac{R^2}{Q^2 + R^2}} \geq 0.08 \quad [\text{Hz}] \tag{cf. eq. 3.12}$$

Où :

ν (en Hz) est la fréquence moyenne donnée par :
$$\nu = n_{1,x} \times \sqrt{\frac{R^2}{Q^2 + R^2}} \geq 0.08$$

	R²	Q²	n _{1,x}	ν	g
Vent à 0°	0.44	0.67	3.8	0.94	3.73
Vent à 45°	0.44	0.67	3.8	0.89	3.71

Tableau 43 : Facteur de pointe.

Finalement *C_d*

Vent à 0°	Vent à 45°
<i>g</i> =3.71	<i>g</i> =3.73
<i>I_v</i> (<i>z_{eq}</i>) = 0.085	<i>I_v</i> (<i>z_{eq}</i>) = 0.085
<i>Q</i> ² = 0.67	<i>Q</i> ² = 0.67
<i>R</i> ² = 0.44	<i>R</i> ² = 0.44
$Cd = \frac{1+2 \times g \times I_v(z_{eq}) \times \sqrt{Q^2 + R^2}}{1+7 \times I_v(z_{eq})} = 0.96$	$Cd = \frac{1+2 \times g \times I_v(z_{eq}) \times \sqrt{Q^2 + R^2}}{1+7 \times I_v(z_{eq})} = 0.96$

Tableau 44 : Coefficient *C_d*

ACTIONS D’ENSEMBLE (cf. § 2.6)

La force exercée par le vent *F_w* agissant sur une construction ou un élément de construction peut être déterminée directement en utilisant l'expression (2.9) ou (2.10).

$$F_w = C_d \times C_f \times q_p(z_j) \times A_{ref} \quad [\text{N}] \tag{cf. eq. 2.9}$$

Ou par sommation vectorielle sur les éléments de construction individuels à l'aide de l'expression.

$$F_w = C_d \times \sum C_f \times q_p(z_j) \times A_{ref} \quad [N] \qquad (cf. eq. 2.10)$$

Où :

- C_d est le coefficient dynamique défini au chapitre 3 ;
- C_f est le coefficient de force défini au chapitre 4

CALCUL DES FORCES À L’AIDE DES COEFFICIENTS DE FORCES (cf. §2.6.1)

La force exercée par le vent F_w agissant sur une construction ou un élément de construction peut être déterminée directement en utilisant l’expression (2.9) ou (2.10)

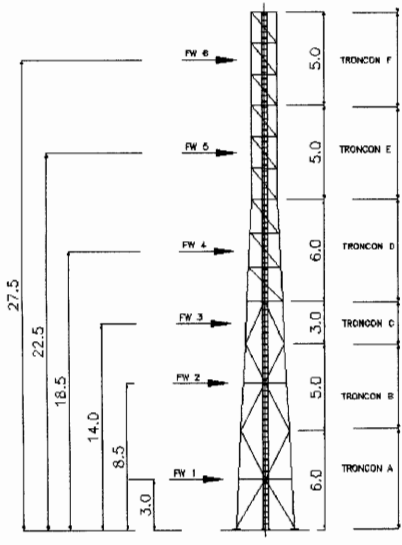
$$F_w = C_d \times C_f \times q_p(z_j) \times A_{ref} \quad [N] \qquad (cf. § 2.9)$$

Ou par sommation vectorielle sur les éléments de construction individuels à l’aide de l’expression :

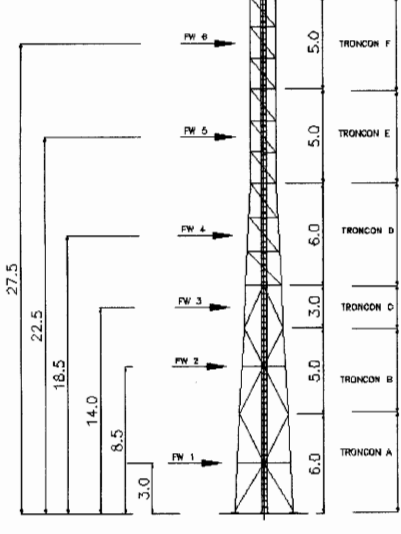
$$F_w = C_d \times \sum C_f \times q_p(z_j) \times A_{ref} \quad [N] \qquad (cf. eq. 2.10)$$

$$\text{Avec : } q_p(z_j) = q_{ref} \times C_e(z_j) \qquad (cf. eq.2.1)$$

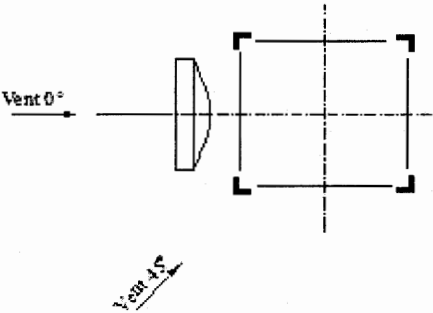
Vent normal à une face (à 0°)

		z_j (m)	A_{ref} (cm ²)	C_{f_0}	C_d	$C_e(z_j)$	$q_p(z_j)$ (N/m ²)	F_{w_i} N
	Fw6	27,50	14956	3,16	0.96	8.31	3116	14137
	Fw5	22,50	14956	2,98	0.96	8.04	3014	12900
	Fw4	18,50	19290	3,03	0.96	7.74	2903	16289
	Fw3	14,00	12450	3,07	0.96	7.28	2731	10017
	Fw2	8,50	25998	3,13	0.96	6.40	2401	18749
	Fw1	3,00	29822	3,13	0.96	4.56	1709	15323

Vent suivant la diagonale (à 45°)

		z_j (m)	A_{ref} (cm ²)	$C_{f_{45}}$	C_d	$C_e(z_j)$	$q_p(z_j)$ (N/m ²)	F_{w_i} N
	Fw6	27,50	14956	3.52	0.96	8.31	3116	15748
	Fw5	22,50	14956	3.52	0.96	8.04	3014	15238
	Fw4	18,50	19290	3.48	0.96	7.74	2903	18708
	Fw3	14,00	12450	3.46	0.96	7.28	2731	11290
	Fw2	8,50	25998	3.43	0.96	6.40	2401	20545
	Fw1	3,00	29822	3.54	0.96	4.56	1709	17330

Vent sur l'antenne parabolique



		z_j (m)	A_{ref} cm ²	C_{f_0}	C_d	$C_e(z_j)$	$q_p(z_j)$ (N/m ²)	F_w N
	FA	27,50	8241	1.10	0.96	8.31	3116	2712
		Z_j (m)	A_{ref} cm ²	$C_{f_{45}}$	C_d	$C_e(z_j)$	$q_p(z_j)$ (N/m ²)	F_w N
	FA	27,50	8241	0.75	0.96	8.31	3116	1849

C.N.E.R.I.B.

Cité El-Mokrani - SOUIDANIA - ALGER

 (021) 38.00.79/89/90/91 **Fax** : (021) 38.04.31
Site web : www.cnerib.edu.dz  : mail@cnerib.edu.dz

PAO - CNERIB

Prix de vente : 200 DA

ISBN : 978-9961-845-48-6