



Exemples de Calcul au Vent

—

Calcul du Coefficient de Pression Intérieure

Table des matières

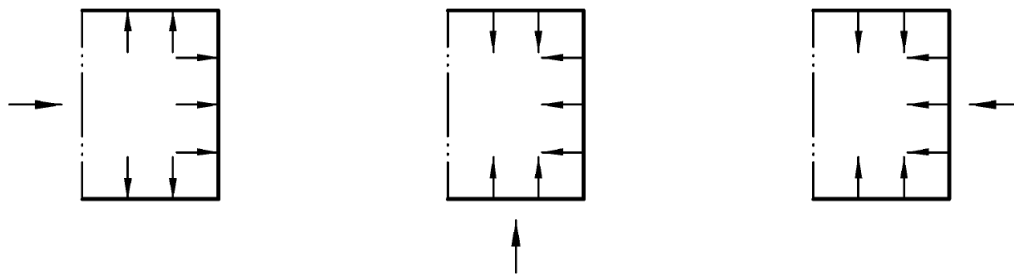
Objectif de ce document	3
Coefficient de Pression Intérieure	3
Ce que dit la norme NF EN 1991-1-4	3
Coefficient de Pression Intérieure lorsque le bâtiment est ouvert	4
Description de la Structure	6
Coefficient de Pression Extérieure sur les Façades	7
Cas 1 : Bâtiment ouvert avec face dominante ($F_d = 2F_{nd}$)	8
Dimension des ouvertures.....	8
Détermination de la face dominante.....	8
Calcul des Cpi en fonction de la direction du vent	9
Cas 2 : Bâtiment ouvert avec face dominante ($F_d \geq 3F_{nd}$)	11
Dimension des ouvertures.....	11
Détermination de la face dominante.....	11
Calcul des Cpi en fonction de la direction du vent	12
Cas 3 : Bâtiment ouvert avec face dominante ($3F_{nd} > F_d > 2F_{nd}$).....	14
Dimension des ouvertures.....	14
Détermination de la face dominante.....	15
Calcul des Cpi en fonction de la direction du vent	15
Cas 4 : Bâtiment ouvert sans face dominante ($F_d < 2F_{nd}$)	17
Dimension des ouvertures.....	17
Détermination de la face dominante.....	17
Calcul des Cpi en fonction de la direction du vent	18
Bibliographie.....	21

Objectif de ce document

Ce document a pour objectif de montrer par la pratique la méthode pour déterminer les coefficients de pression intérieure. Il est présenté en deux parties, une première où sont exposées les formules directement extraites de la norme NF EN 1991-1-4, et une seconde partie présentant quatre exemples d'applications couvrant différentes configurations possibles.

Ce document ne traite pas des cas où il existe des ouvertures en toiture.

Coefficient de Pression Intérieure



Représentation de la pression intérieure en fonction du sens du vent (Schémas extraits de DIN 1055-4 §12.1.9 Bild11)

Ce que dit la norme NF EN 1991-1-4

- §7.2.9(2) : « Le coefficient de pression intérieure, C_{pi} , dépend de la dimension et de la répartition des ouvertures dans l'enveloppe du bâtiment. Lorsque, sur au moins deux faces du bâtiment (façades ou toitures), l'aire totale des ouvertures existant sur chacune des faces représente 30% de l'aire de cette face, [...] il est [...] recommandé d'utiliser les règles définies en 7.3 et 7.4 »
(NF EN 1991-1-4 §7.3 « toitures isolées » et §7.4 « murs isolés, [...] »)
« Note : Les ouvertures d'un bâtiment comprennent des ouvertures de petites dimensions telles que fenêtres ouvertes, ouvrants, cheminées, etc. ainsi qu'une perméabilité de fond telle que fuite d'air autour des portes, fenêtres, équipements techniques et fuites à travers l'enveloppe du bâtiment. La perméabilité de fond se situe généralement dans la plage comprise entre 0,01 % et 0,1 % de l'aire de la face. »
- §7.2.9(3) : Si le bâtiment est considéré fermé en utilisation normal (Calcul ELU) mais qu'une face peut être considérée comme dominante en situation exceptionnelle, il convient de considérer cette face ouverte comme situation accidentelle.
- Il est d'usage d'utiliser la note 2 de la clause §7.2.9(6) pour calculer les bâtiments fermés.
« Note 2 : Lorsqu'il se révèle impossible, ou lorsqu'il n'est pas considéré justifié d'évaluer μ pour un cas particulier, il convient alors de donner à C_{pi} la valeur la plus sévère de + 0,2 et - 0,3. »

Coefficient de Pression Intérieure lorsque le bâtiment est ouvert

Cas avec Face Dominante

La clause §7.2.9(4) définit une face dominante par l'aire de ses ouvertures qui est au moins égale à deux fois la somme des aires des ouvertures des autres faces du bâtiment.

Il convient de déterminer si le bâtiment possède une face dominante par l'application de la clause §7.2.9(5)

$$\underline{\text{Aire}_{\text{face dominante}} = 2 \times \text{Aire}_{\text{autres faces}}}$$

Lorsque l'aire de la face dominante vaut 2 fois la somme des aires des ouvertures des autres faces,

$$C_{pi} = 0.75 \times C_{pe, \text{face dominante}}$$

$$\underline{\text{Aire}_{\text{face dominante}} \geq 3 \times \text{Aire}_{\text{autres faces}}}$$

Lorsque l'aire de la face dominante vaut 3 fois la somme des aires des ouvertures des autres faces,

$$C_{pi} = 0.9 \times C_{pe, \text{face dominante}}$$

$$\underline{3 \times \text{Aire}_{\text{autres faces}} > \text{Aire}_{\text{face dominante}} > 2 \times \text{Aire}_{\text{autres faces}}}$$

Lorsque l'aire de la face dominante vaut entre 2 et 3 fois la somme des aires des ouvertures des autres faces, il est possible de faire une interpolation linéaire entre les deux cas précédents.

L'hypothèse d'interpolation est :

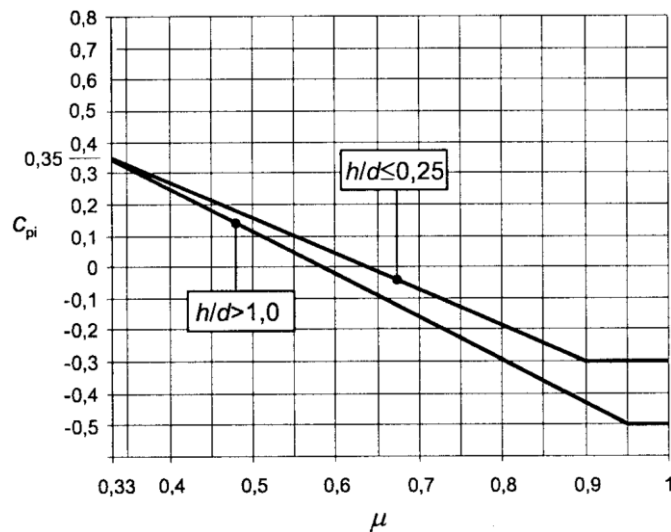
$$\frac{0.9 - 0.75}{3 - 2} * \frac{\text{Ouvertures de la face dominante}}{\text{Somme des ouvertures des autres faces}} + \left(0.9 - \frac{0.9 - 0.75}{3 - 2} * 3 \right)$$

La formule d'interpolation simplifiée est la suivante

$$C_{pi} = \left(0.15 * \frac{\text{Ouvertures de la face dominante}}{\text{Somme des ouvertures des autres faces}} + 0.45 \right) * C_{pe}$$

Cas sans Face Dominante

Si le bâtiment est ouvert mais qu'il n'est pas possible de déterminer une face dominante, le coefficient de pression intérieure doit être déterminé par lecture graphique à l'aide de la figure 7.13 et de la formule 7.3 de NF EN 1991-1-4 §7.2.9(6)



Coefficients de pression intérieure applicables pour les ouvertures uniformément réparties (NF EN 1991-1-4 §7.2.9 Figure 7.13)

Où, pour chacune des directions de vent θ , $\mu = \frac{\text{Somme des ouvertures où } C_{pe} \text{ est négatif ou nul}}{\text{Somme de toutes les ouvertures}}$

Calcul du rapport d'ouverture μ (NF EN 1991-1-4 §7.2.9 Formule(7.3))

En alternative à la lecture graphique, le coefficient de pression intérieure peut aussi être obtenue grâce à ces formules :

Pour $h/d \leq 0.25$

$$C_{pi(0.33 \leq \mu < 0.90)} = -1.14\mu + 0.73$$

$$C_{pi(0.90 \leq \mu \leq 1.00)} = -0.3$$

Pour $h/d > 1.0$

$$C_{pi(0.33 \leq \mu < 0.95)} = -1.37\mu + 0.80$$

$$C_{pi(0.95 \leq \mu \leq 1.00)} = -0.5$$

Pour $0.25 < h/d \leq 1.0$

L'hypothèse d'interpolation est la suivante :

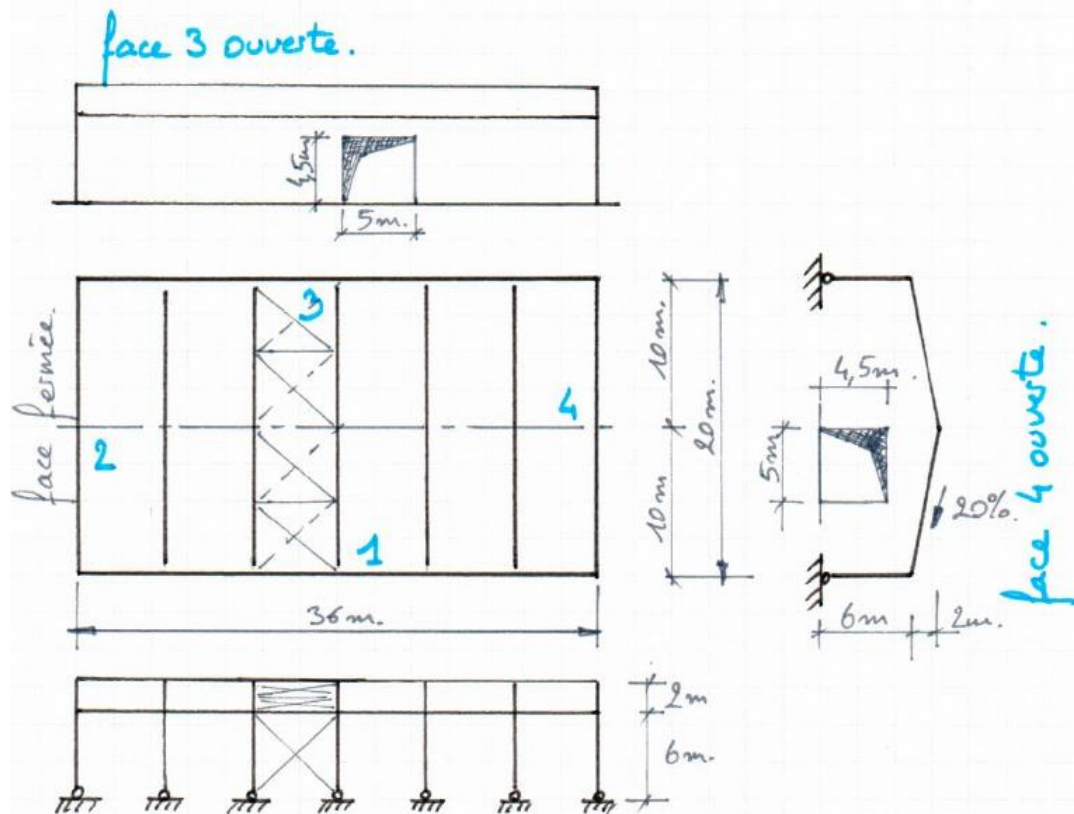
$$C_{pi(0.25 < h/d \leq 1.00)} = (C_{pi(h/d > 1.00)} - C_{pi(h/d \leq 0.25)}) * \frac{4h/d - 1}{3} + C_{pi(h/d \leq 0.25)}$$

$$C_{pi(0.33 \leq \mu < 0.90)} = (-0.23\mu + 0.07) * (1.33h/d - 0.33) + (-1.14\mu + 0.73)$$

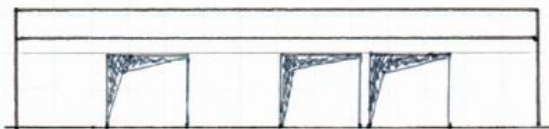
$$C_{pi(0.90 \leq \mu < 0.95)} = (-1.37\mu + 1.10) * (1.33h/d - 0.33) - 0.30$$

$$C_{pi(0.95 \leq \mu \leq 1.00)} = -0.20 * (1.33h/d - 0.33) - 0.30$$

Description de la Structure

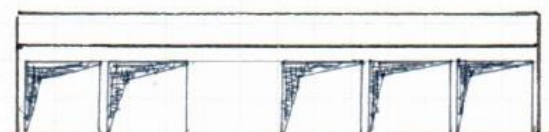


Différents cas d'ouvertures pour la face 1.



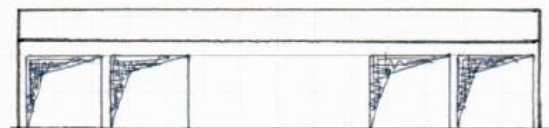
Cas 1

3 ouvertures de 5,5 m x 5,5 m.



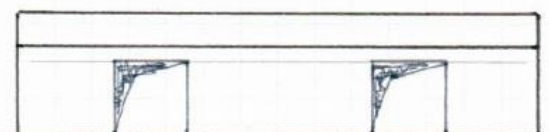
Cas 2.

5 ouvertures de 5,5 m x 5,5 m.



Cas 3.

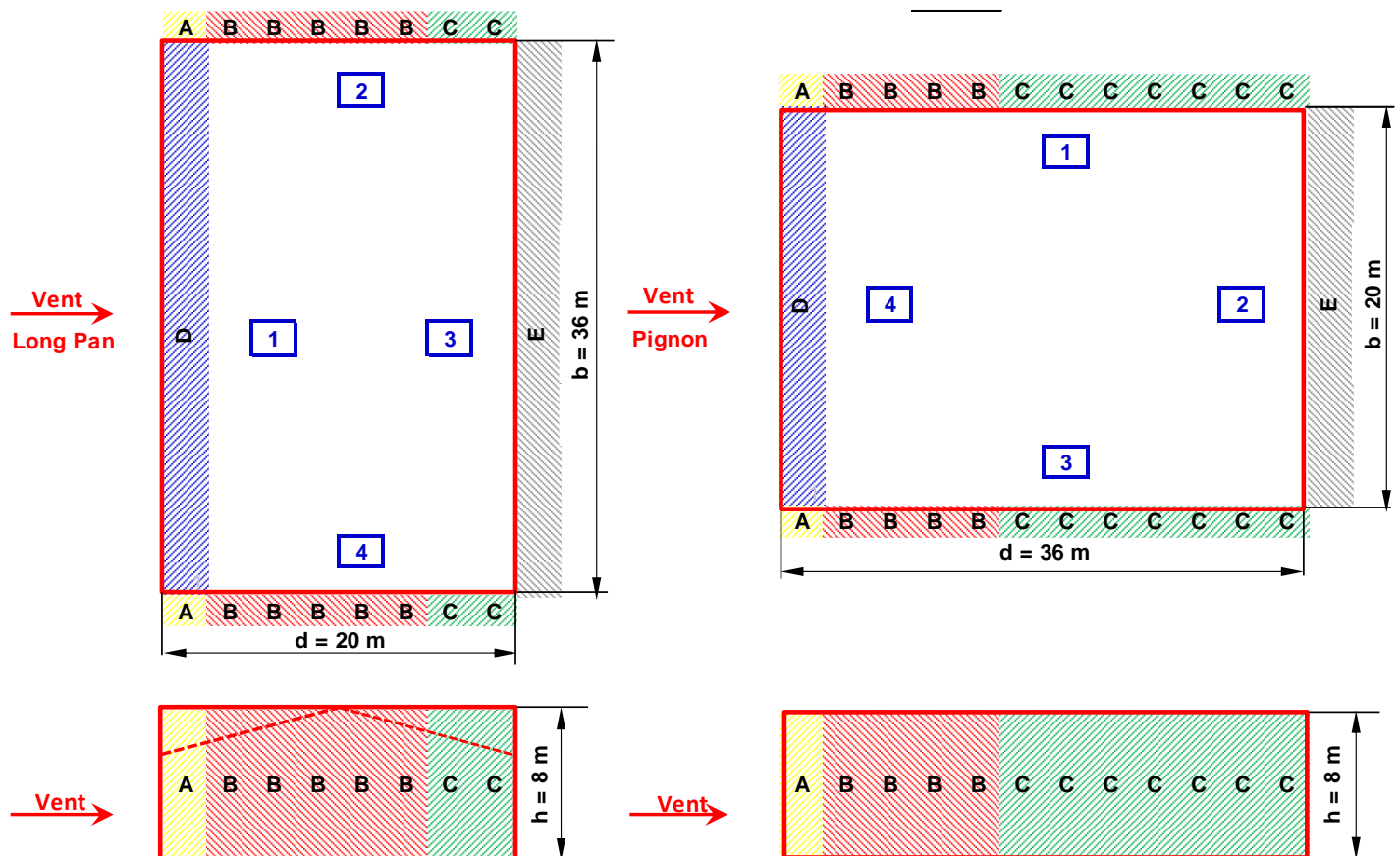
4 ouvertures de 5,5 m x 5,5 m.



Cas 4.

2 ouvertures de 5,5 m x 5,5 m.

Coefficient de Pression Extérieure sur les Façades



Vent sur Façades -
Dimensions

Dimensions	e	A	B	C	D	E
Vent long Pan	16.00	3.20 m	12.80 m	4.00 m	36.00 m	36.00 m
Vent pignon	16.00	3.20 m	12.80 m	20.00 m	20.00 m	20.00 m

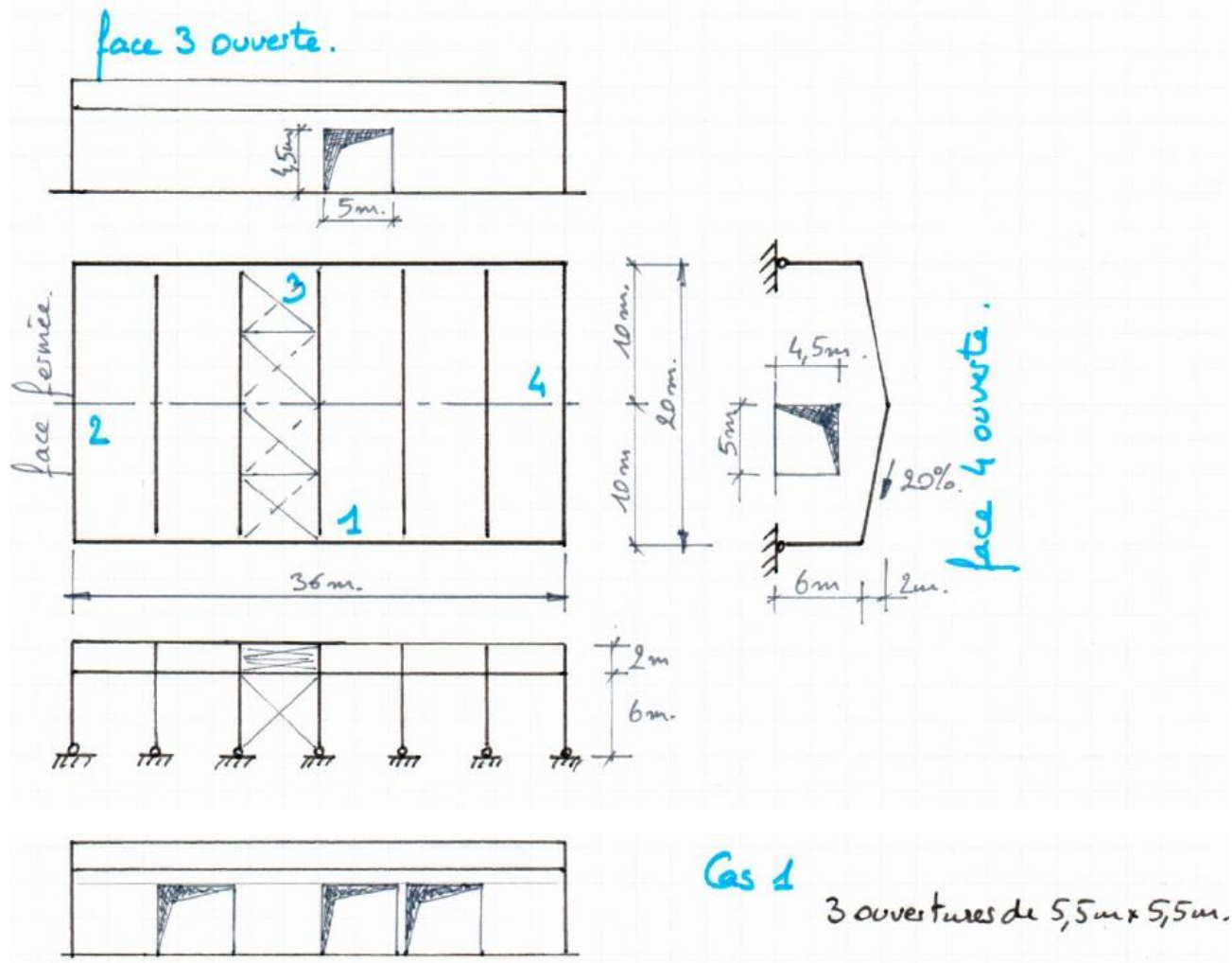
Vent sur Façades -
Valeurs de c_{pe}

Coefficients		A		B		C		D		E	
	e	Cpe10	Cpe1	Cpe10	Cpe1	Cpe10	Cpe1	Cpe10	Cpe1	Cpe10	Cpe1
Vent long Pan	16.00	-1.20	-1.40	-0.80	-1.10	-0.50	-0.50	0.72	1.00	-0.34	-0.34
Vent pignon	16.00	-1.20	-1.40	-0.80	-1.10	-0.50	-0.50	0.70	1.00	-0.30	-0.30

Dans la suite du document, les abréviations suivantes sont utilisées :

- F_d : Aire de la face dominante
- F_{nd} : Aire des faces non dominantes

Cas 1 : Bâtiment ouvert avec face dominante ($F_d = 2F_{nd}$)



Dimension des ouvertures

Face 1 : $A_1 = 3 * 5.5m * 5.5m = 90.75 m^2$ → $90.75 / 216 = 0.42$ → 42% d'ouverture

Face 2 : Fermée $A_2 = 0 m^2$ → $0 / 140 = 0.00$ → 0% d'ouverture

Face 3 : $A_3 = 1 * 5m * 4.5m = 22.5 m^2$ → $22.5 / 216 = 0.10$ → 10% d'ouverture

Face 4 : $A_4 = 1 * 5m * 4.5m = 22.5 m^2$ → $22.5 / 140 = 0.16$ → 16% d'ouverture

Une seule face dépasse 30% d'ouverture, la clause NF EN 1991-1-4 §7.2.9(2) est respectée.

Détermination de la face dominante

La face 1 est plus ouverte que les autres faces, il est possible qu'il s'agisse d'une face dominante.

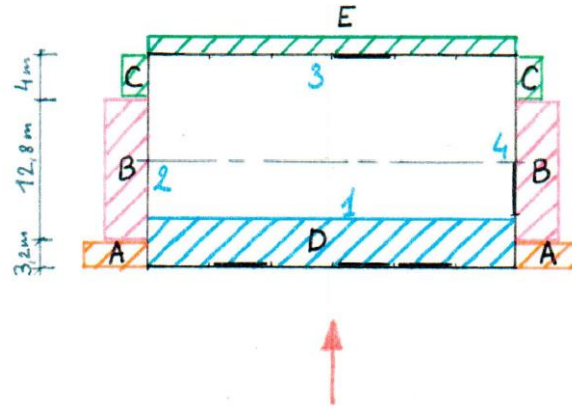
$$\frac{A_1}{A_3 + A_4} = \frac{91 m^2}{45 m^2} \approx 2$$

La face A1 est dominante.

Selon NF EN 1991-1-4 §7.2.9(5) formule (7.1), le coefficient de pression intérieure est : $C_{pi} = 0.75 * C_{pe}$

Calcul des Cpi en fonction de la direction du vent

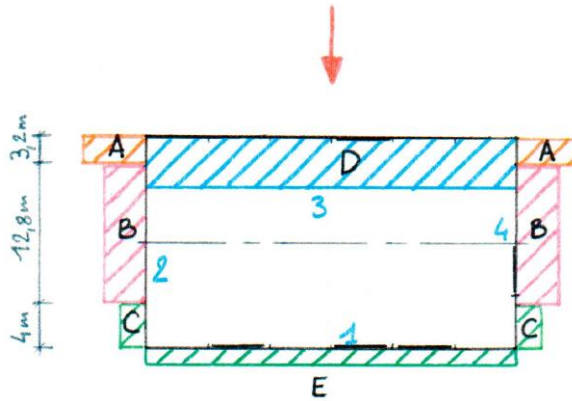
Vent 1 → 3



Face dominante en Zone D, $C_{pe,zone D} = +0.72$

$$C_{pi} = 0.75 * +0.72 = \mathbf{+0.54}$$

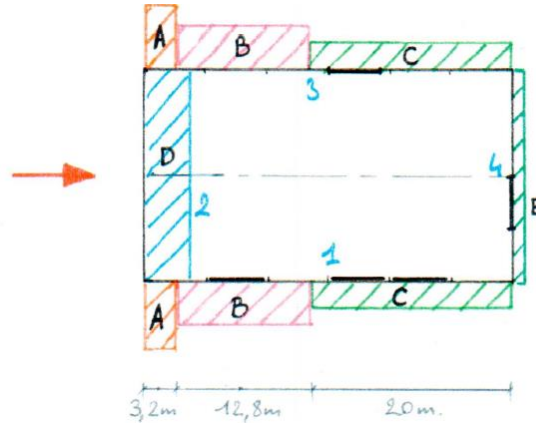
Vent 3 → 1



Face dominante en Zone E, $C_{pe,zone E} = -0.34$

$$C_{pi} = 0.75 * -0.34 = \mathbf{-0.26}$$

Vent 2→4



Face dominante en Zones B/C

$$C_{pe,zone\ B} = -0.80 \quad \text{sur } 1 \times 30.25 \text{ m}^2$$

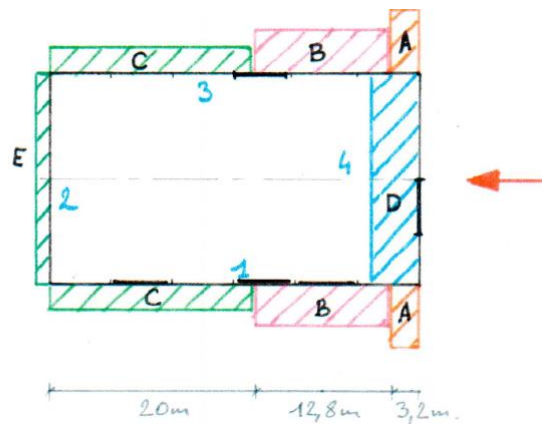
$$C_{pe,zone\ C} = -0.50 \quad \text{sur } 2 \times 30.25 \text{ m}^2$$

Moyenne des Cpe en zones B et C au prorata des ouvertures.

$$C_{pe,zone\ B/C} = \frac{(30.25 * -0.80) + (2 * 30.25 * -0.50)}{3 * 30.25} = -0.60$$

$$C_{pi} = 0.75 * -0.60 = -0.45$$

Vent 4→2



Face dominante en Zones B/C

$$C_{pe,zone\ B} = -0.80 \quad \text{sur } 1.7 \times 30.25 \text{ m}^2$$

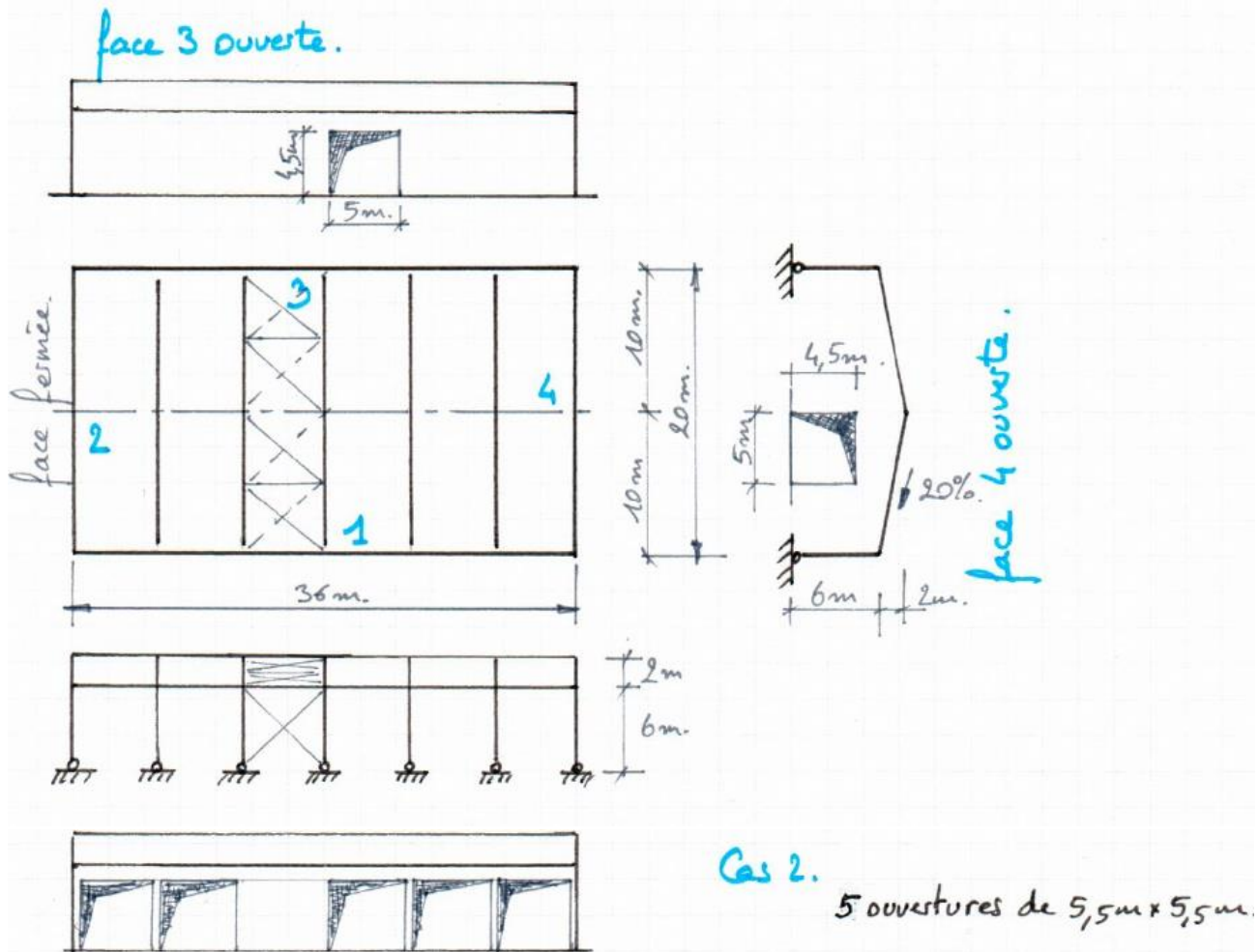
$$C_{pe,zone\ C} = -0.50 \quad \text{sur } 1.3 \cdot 30.25 \text{ m}^2$$

Moyenne des Cpe en zones B et C au prorata des ouvertures.

$$C_{pe,zone\ B/C} = \frac{(1.7*30.25*-0.80)+(1.2*30.25*-0.50)}{3*30.25} = -0.65$$

$$C_{pi} = 0.75 * -0.65 = -0.4$$

Cas 2 : Bâtiment ouvert avec face dominante ($F_d \geq 3F_{nd}$)



Dimension des ouvertures

Face 1 : $A_1 = 5 * 5.5m * 5.5m = 151.25 m^2 \rightarrow 151.25 / 216 = 0.70 \rightarrow 70\%$ d'ouverture

Face 2 : Fermée $A_2 = 0 m^2 \rightarrow 0 / 140 = 0.00 \rightarrow 0\%$ d'ouverture

Face 3 : $A_3 = 1 * 5m * 4.5m = 22.5 m^2 \rightarrow 22.5 / 216 = 0.10 \rightarrow 10\%$ d'ouverture

Face 4 : $A_4 = 1 * 5m * 4.5m = 22.5 m^2 \rightarrow 22.5 / 140 = 0.16 \rightarrow 16\%$ d'ouverture

Une seule face dépasse 30% d'ouverture, la clause NF EN 1991-1-4 §7.2.9(2) est respectée.

Détermination de la face dominante

La face 1 est plus ouverte que les autres faces, il est possible qu'il s'agisse d'une face dominante.

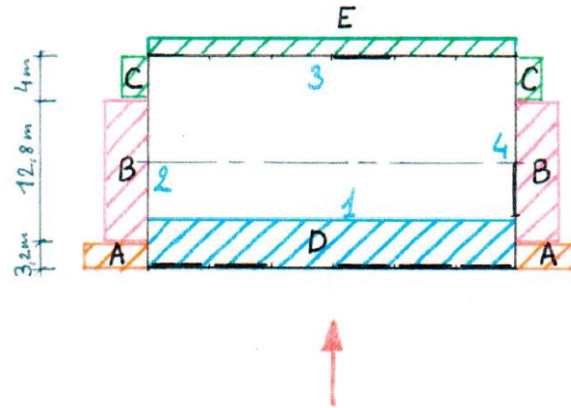
$$\frac{A_1}{A_3 + A_4} = \frac{151 m^2}{45 m^2} \geq 3$$

La face A1 est dominante.

Selon NF EN 1991-1-4 §7.2.9(5) formule (7.2), le coefficient de pression interieur est : $C_{pi} = 0.9 * C_{pe}$

Calcul des C_{pi} en fonction de la direction du vent

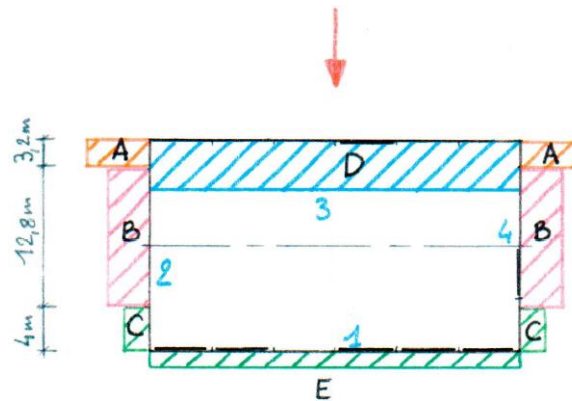
Vent 1 → 3



Face dominante en Zone D, $C_{pe,zone D} = +0.72$

$$C_{pi} = 0.9 * +0.72 = \mathbf{+0.65}$$

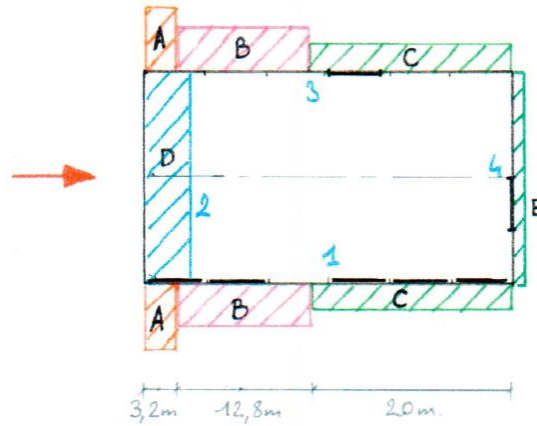
Vent 3 → 1



Face dominante en Zone E, $C_{pe,zone E} = -0.34$

$$C_{pi} = 0.9 * -0.34 = \mathbf{-0.31}$$

Vent 2→4



Face dominante en Zones A/B/C

$$C_{pe,zone A} = -1.20 \quad \text{sur } 0.5 \times 30.25 \text{ m}^2$$

$$C_{pe,zone B} = -0.80 \quad \text{sur } 1.5 \times 30.25 \text{ m}^2$$

$$C_{pe,zone C} = -0.50 \quad \text{sur } 3 \times 30.25 \text{ m}^2$$

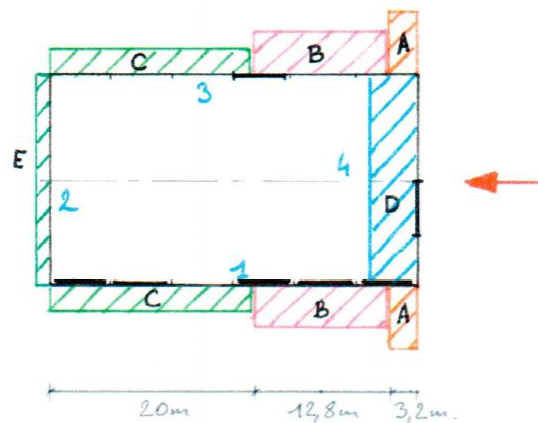
Moyenne des Cpe en zones A, B et C au prorata des ouvertures.

$$C_{pe,zone A/B/C} = \frac{(0.5 \times 30.25 \times -1.20) + (1.5 \times 30.25 \times -0.80) + (3 \times 30.25 \times -0.50)}{5 \times 30.25}$$

$$C_{pe,zone A/B/C} = -0.66$$

$$C_{pi} = 0.9 \times -0.66 = -0.59$$

Vent 4→2



Face dominante en Zones A/B/C

$$C_{pe,zone A} = -1.20 \quad \text{sur } 0.5 \times 30.25 \text{ m}^2$$

$$C_{pe,zone B} = -0.80 \quad \text{sur } 2.2 \times 30.25 \text{ m}^2$$

$$C_{pe,zone C} = -0.50 \quad \text{sur } 2.3 \times 30.25 \text{ m}^2$$

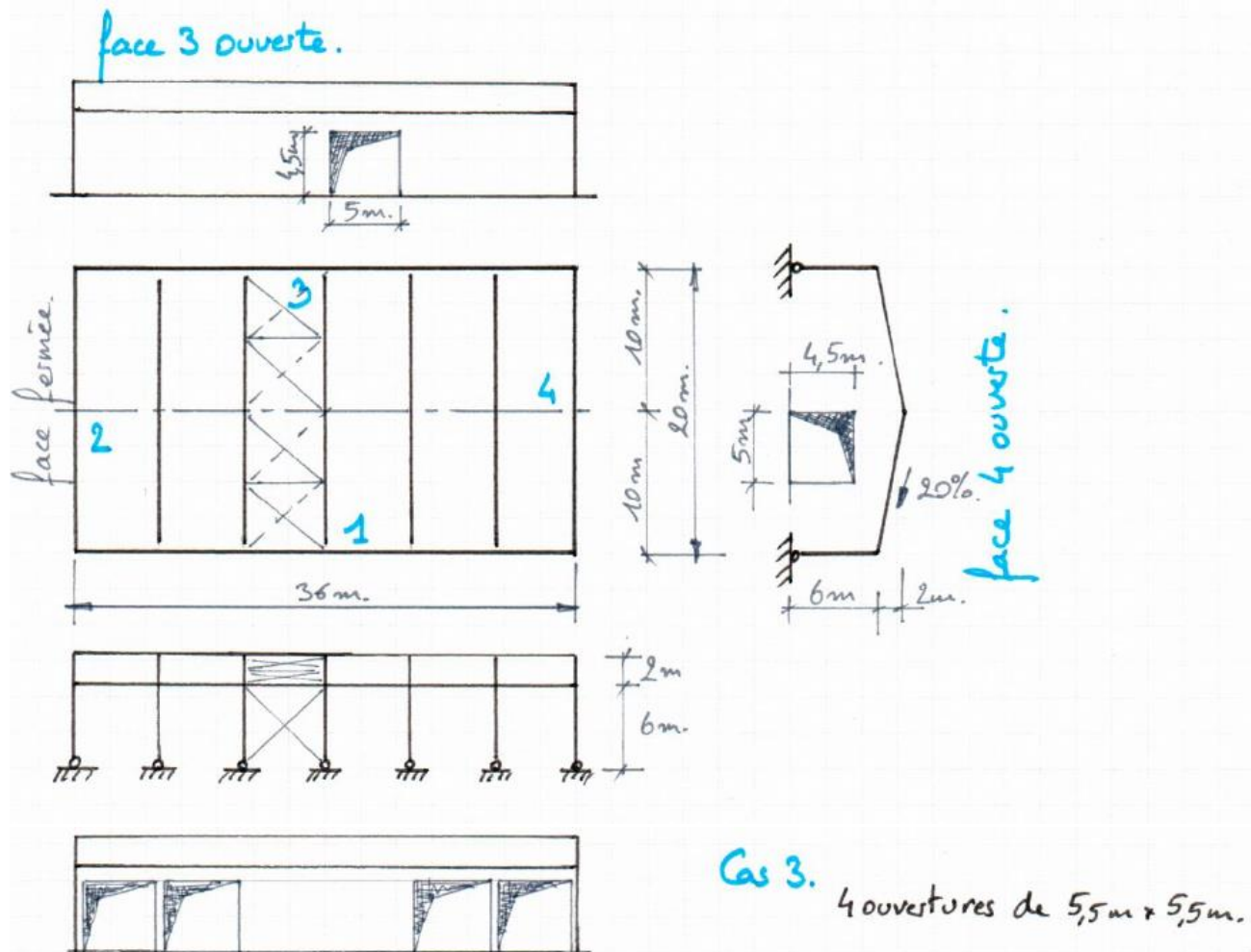
Moyenne des Cpe en zones A, B et C au prorata des ouvertures.

$$C_{pe,zone A/B/C} = \frac{(0.5 \times 30.25 \times -1.20) + (2.2 \times 30.25 \times -0.80) + (2.3 \times 30.25 \times -0.50)}{5 \times 30.25}$$

$$C_{pe,zone A/B/C} = -0.70$$

$$C_{pi} = 0.9 \times -0.70 = -0.63$$

Cas 3 : Bâtiment ouvert avec face dominante ($3F_{nd} > F_d > 2F_{nd}$)



Dimension des ouvertures

Face 1 : $A_1 = 4 * 5.5m * 5.5m = 121 m^2$	→	$121 / 216 = 0.56$	→ 56% d'ouverture
Face 2 : Fermée $A_2 = 0 m^2$	→	$0 / 140 = 0.00$	→ 0% d'ouverture
Face 3 : $A_3 = 1 * 5m * 4.5m = 22.5 m^2$	→	$22.5 / 216 = 0.10$	→ 10% d'ouverture
Face 4 : $A_4 = 1 * 5m * 4.5m = 22.5 m^2$	→	$22.5 / 140 = 0.16$	→ 16% d'ouverture

Une seule face dépasse 30% d'ouverture, la clause NF EN 1991-1-4 §7.2.9(2) est respectée.

Détermination de la face dominante

La face 1 est plus ouverte que les autres faces, il est possible qu'il s'agisse d'une face dominante.

$$\frac{A_1}{A_3 + A_4} = \frac{121 \text{ m}^2}{45 \text{ m}^2} = 2.69$$

La face A1 est dominante, mais $3 > \frac{A_1}{A_3 + A_4} > 2$

Selon la dernière partie de NF EN 1991-1-4 §7.2.9(5), le coefficient de pression interieur peut être obtenu par interpolation linéaire entre les valeurs des formules (7.1) et (7.2)

En appliquant la formule d'interpolation,

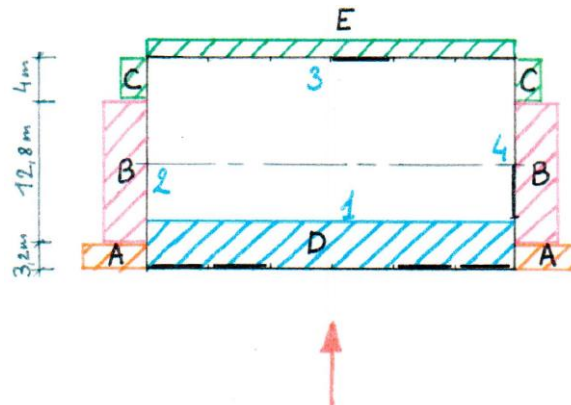
$$C_{pi} = \left(0.15 * \frac{\text{Ouvertures de la face dominante}}{\text{Somme des ouvertures des autres faces}} + 0.45 \right) * C_{pe}$$

On obtient, **$C_{pi} = (0.15 * 2.69 + 0.45) * C_{pe}$**

$$\mathbf{C_{pi} = 0.85 * C_{pe}}$$

Calcul des Cpi en fonction de la direction du vent

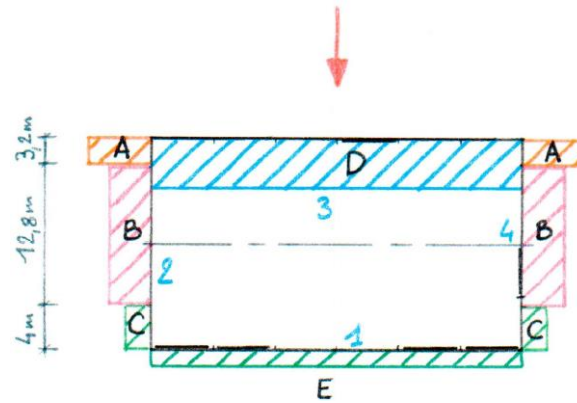
Vent 1 → 3



Face dominante en Zone D, $C_{pe, \text{zone D}} = +0.72$

$$C_{pi} = 0.85 * +0.72 = \mathbf{+0.61}$$

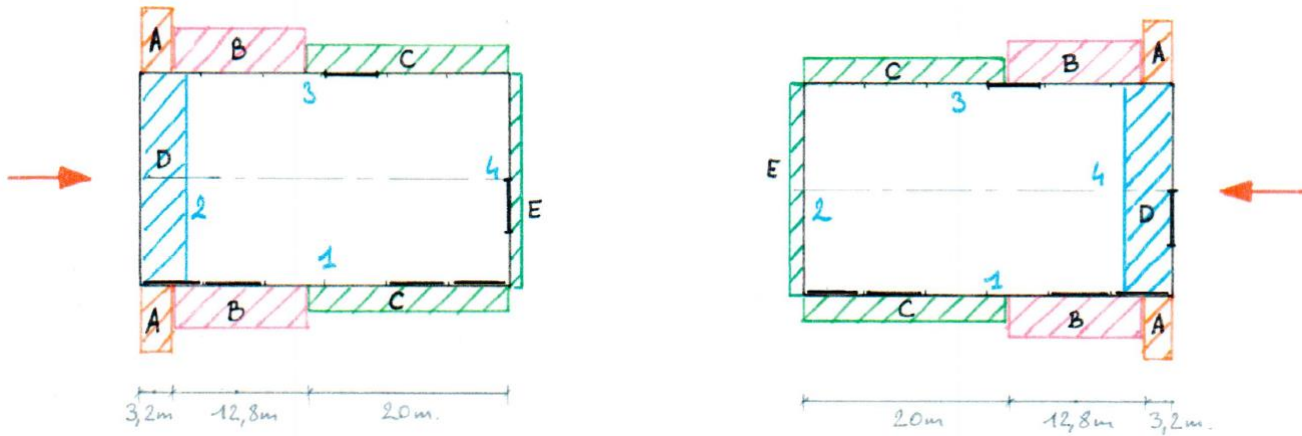
Vent 3→1



Face dominante en Zone E, $C_{pe,zone E} = -0.34$

$$C_{pi} = 0.85 * -0.34 = -0.29$$

Vent 2→4 ou 4→2



Les directions de vent 2→4 et 4→2 sont symétriques.

Face dominante en Zones A/B/C

$$C_{pe,zone A} = -1.20 \quad \text{sur } 0.5*30.25 \text{ m}^2$$

$$C_{pe,zone B} = -0.80 \quad \text{sur } 1.5*30.25 \text{ m}^2$$

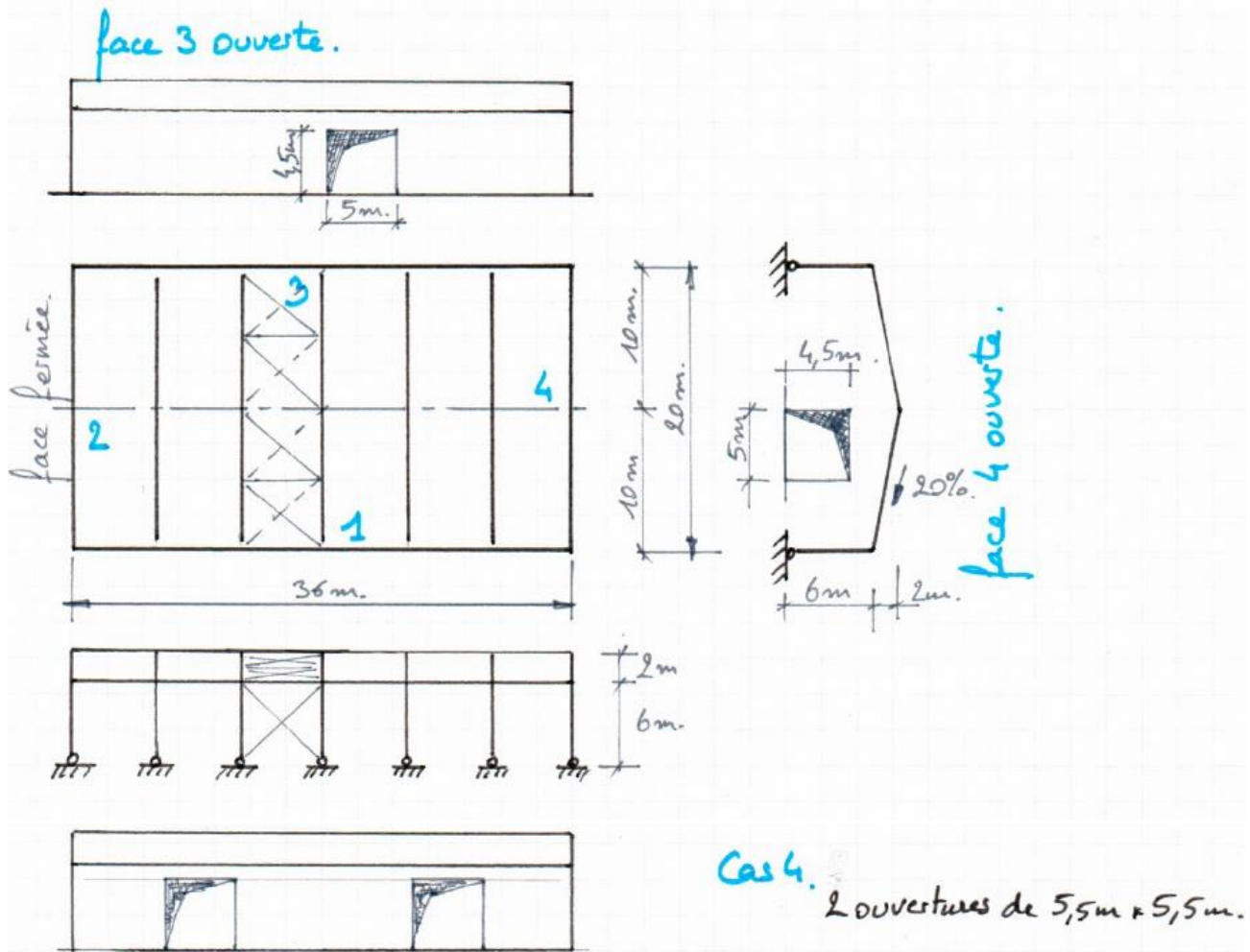
$$C_{pe,zone C} = -0.50 \quad \text{sur } 2*30.25 \text{ m}^2$$

Moyenne des Cpe en zones A, B et C au prorata des ouvertures.

$$C_{pe,zone A/B/C} = \frac{(0.5*30.25*-1.20) + (1.5*30.25*-0.80) + (2*30.25*-0.50)}{4*30.25} = -0.70$$

$$C_{pi} = 0.85 * -0.70 = -0.60$$

Cas 4 : Bâtiment ouvert sans face dominante ($F_d < 2F_{nd}$)



Dimension des ouvertures

Face 1 : $A_1 = 2 * 5.5m * 5.5m = 60.5 m^2$	→	$60.5 / 216 = 0.28$	→ 28% d'ouverture
Face 2 : Fermée $A_2 = 0 m^2$	→	$0 / 140 = 0.00$	→ 0% d'ouverture
Face 3 : $A_3 = 1 * 5m * 4.5m = 22.5 m^2$	→	$22.5 / 216 = 0.10$	→ 10% d'ouverture
Face 4 : $A_4 = 1 * 5m * 4.5m = 22.5 m^2$	→	$22.5 / 140 = 0.16$	→ 16% d'ouverture

Aucune face ne dépasse 30% d'ouverture, la clause NF EN 1991-1-4 §7.2.9(2) est respectée.

Détermination de la face dominante

La face 1 est plus ouverte que les autres faces, il est possible qu'il s'agisse d'une face dominante.

$$\frac{A_1}{A_3 + A_4} = \frac{61 m^2}{45 m^2} = 1.36$$

Le bâtiment n'a pas de face dominante car $\frac{A_1}{A_3 + A_4} < 2$

Le coefficient de pression intérieure doit être déterminé à l'aide de NF EN 1991-1-4 §7.2.9(6) figure 7.13 et de la formule 7.3

Calcul des Cpi en fonction de la direction du vent

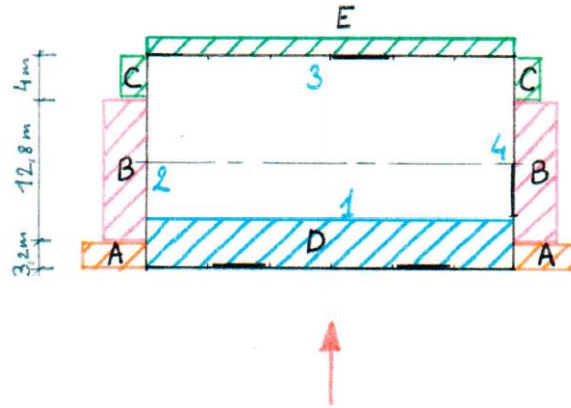
Vent 1→3

Rapport hauteur sur longueur h/d

$$h/d = 8/20 = 0.4$$

Le rapport h/d est compris entre 0.25 et 1.0, dans ce cas, il faut interpoler.

Rapport des ouvertures

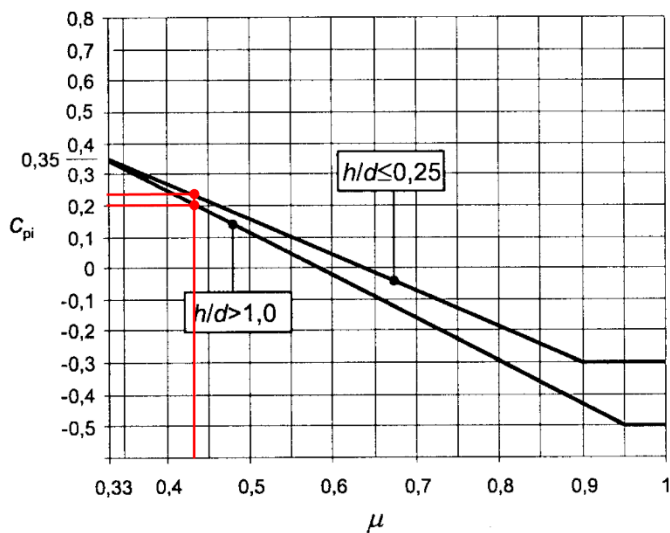


$$\mu = \frac{2*22.5}{2*22.5+2*30.25} = \frac{45}{105.5} = \mathbf{0.43}$$

Cpi par Calcul

$$C_{pi(0.33 \leq \mu < 0.90)} = (-0.23\mu + 0.07) * (1.33h/d - 0.33) + (-1.14\mu + 0.73) = \mathbf{+0.23}$$

Cpi par Lecture Graphique



Par lecture graphique, on obtient :

$$C_{pi(h/d>1.00)} = +0.2$$

$$C_{pi(h/d \leq 0.25)} = +0.24$$

Application de la formule d'interpolation :

$$C_{pi(0.25 < h/d \leq 1.00)} = (C_{pi(h/d > 1.00)} - C_{pi(h/d \leq 0.25)}) * \frac{4h/d-1}{3} + C_{pi(h/d \leq 0.25)} = \mathbf{+0.23}$$

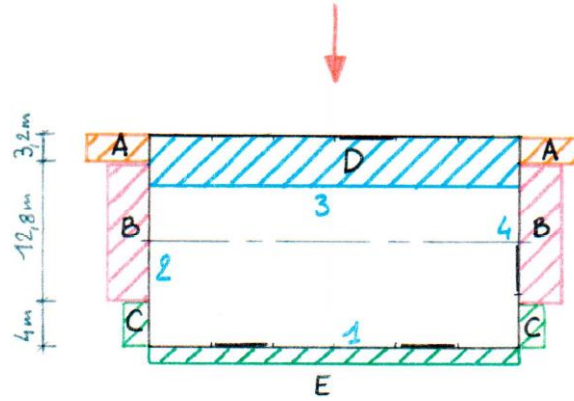
Vent 3 → 1

Rapport hauteur sur longueur h/d

$$h/d = 8/20 = 0.4$$

Le rapport h/d est compris entre 0.25 et 1.0, dans ce cas, il faut interpoler.

Rapport des ouvertures

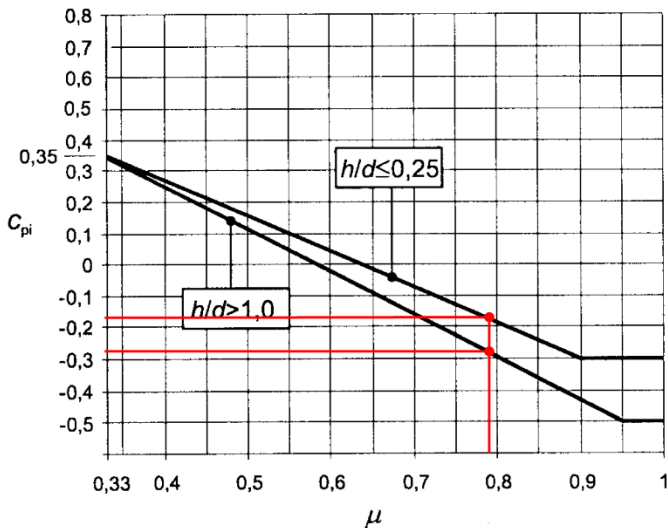


$$\mu = \frac{22.5 + 2 \cdot 30.25}{2 \cdot 22.5 + 2 \cdot 30.25} = \frac{83}{105.5} = 0.79$$

Cpi par Calcul

$$C_{pi(0.33 \leq \mu < 0.90)} = (-0.23\mu + 0.07) \cdot (1.33h/d - 0.33) + (-1.14\mu + 0.73) = -0.19$$

Cpi par Lecture Graphique



Par lecture graphique, on obtient :

$$C_{pi(h/d > 1.00)} = -0.28$$

$$C_{pi(h/d \leq 0.25)} = -0.17$$

Application de la formule d'interpolation :

$$C_{pi(0.25 < h/d \leq 1.00)} = (C_{pi(h/d > 1.00)} - C_{pi(h/d \leq 0.25)}) \cdot \frac{4h/d - 1}{3} + C_{pi(h/d \leq 0.25)} = -0.19$$

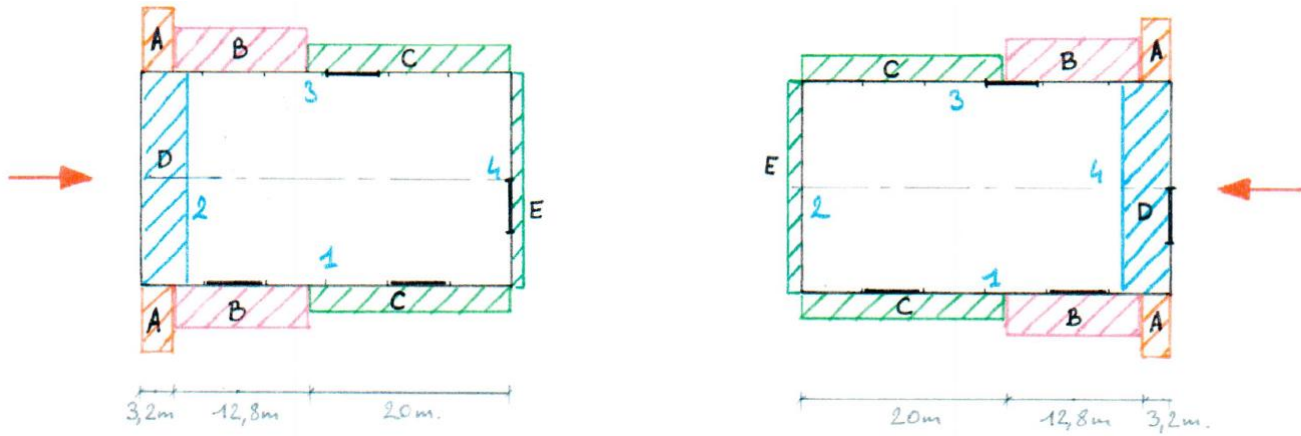
Vent $2 \rightarrow 4$ ou $4 \rightarrow 2$

Rapport hauteur sur longueur h/d

$$h/d = 8/36 = 0.22$$

Le rapport h/d est inférieur à 0.25, une lecture graphique est directement possible.

Rapport des ouvertures



Vent $2 \rightarrow 4$: $\mu = \frac{2 \cdot 22.5 + 2 \cdot 30.25}{2 \cdot 22.5 + 2 \cdot 30.25} = \frac{105.5}{105.5} = 1.00$ (toutes les faces ont un C_{pe} négatif ou nul)

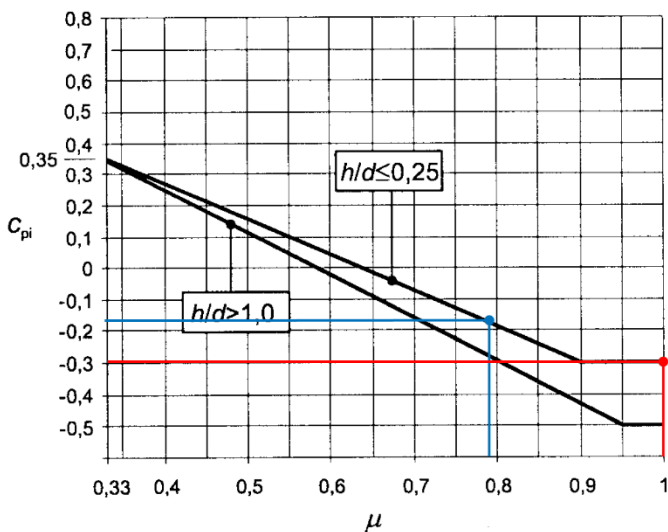
Vent $4 \rightarrow 2$: $\mu = \frac{22.5 + 2 \cdot 30.25}{2 \cdot 22.5 + 2 \cdot 30.25} = \frac{83}{105.5} = 0.79$

C_{pi} par Calcul

Vent $2 \rightarrow 4$: $C_{pi(0.90 \leq \mu \leq 1.00)} = -0.30$

Vent $4 \rightarrow 2$: $C_{pi(0.33 \leq \mu < 0.90)} = -1.14\mu + 0.73 = -0.17$

C_{pi} par Lecture Graphique



Par lecture graphique, on obtient :

Vent $2 \rightarrow 4$:

$C_{pi(h/d \leq 0.25)} = -0.30$

Vent $4 \rightarrow 2$:

$C_{pi(h/d \leq 0.25)} = -0.17$



Bibliographie

- NF EN 1991-1-4:2005 / AC:2010 / NA :2008
- Règles NV65 et annexes – Editions Eyrolles 1976
- DIN 1055-4 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4 : Windlasten : März 2005
- http://public.iutonline.net/mecanique/mecanique-des-structures/fauqueux/EC1_Vent_web/co/EC1_Vent_web.html