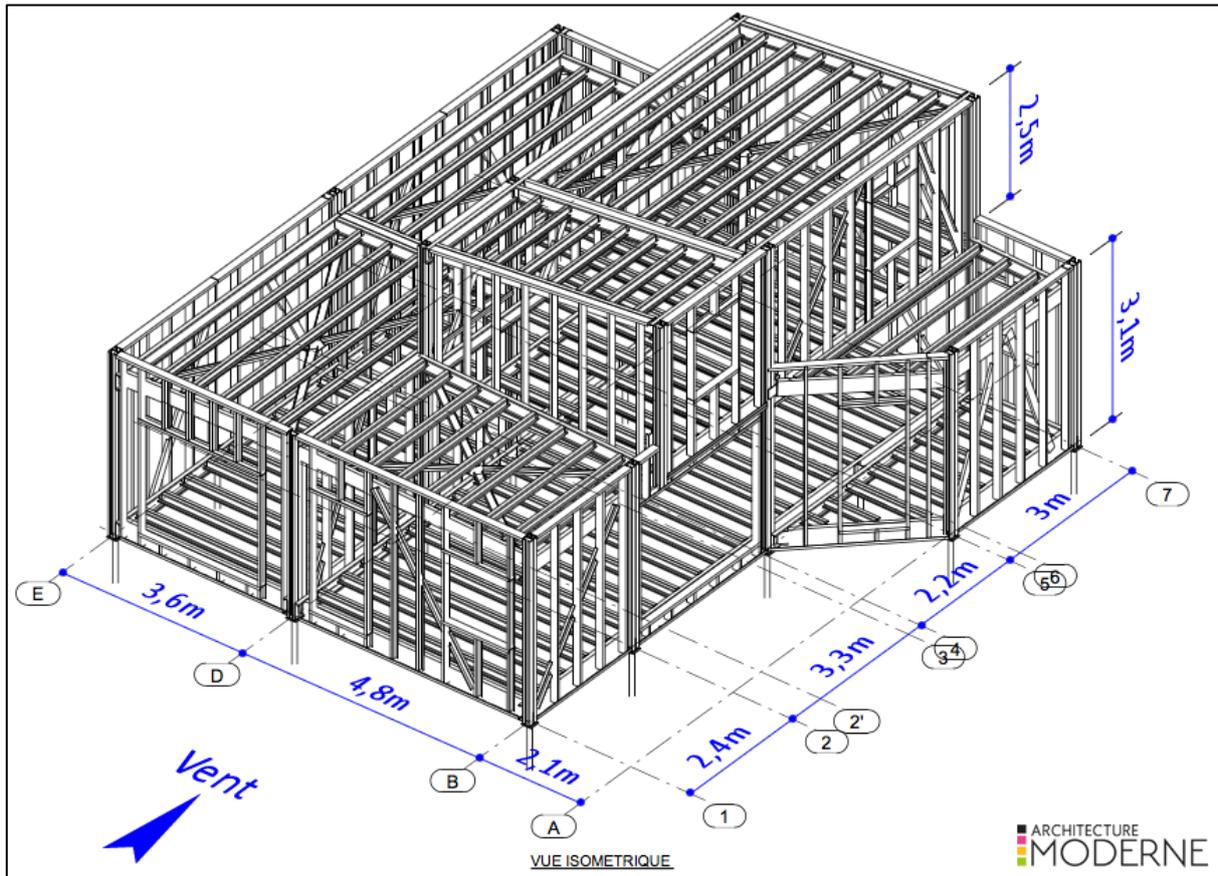


## Effets du vent sur un bâtiment présentant des décrochements

### Situation :

Le bâtiment étudié est implanté dans le département de l'Hérault (34) dans une zone urbanisée sur un terrain plat.

### Données :



Les acrotères en périphérie du 1<sup>er</sup> niveau mesurent 0,3m.

### Hypothèses :

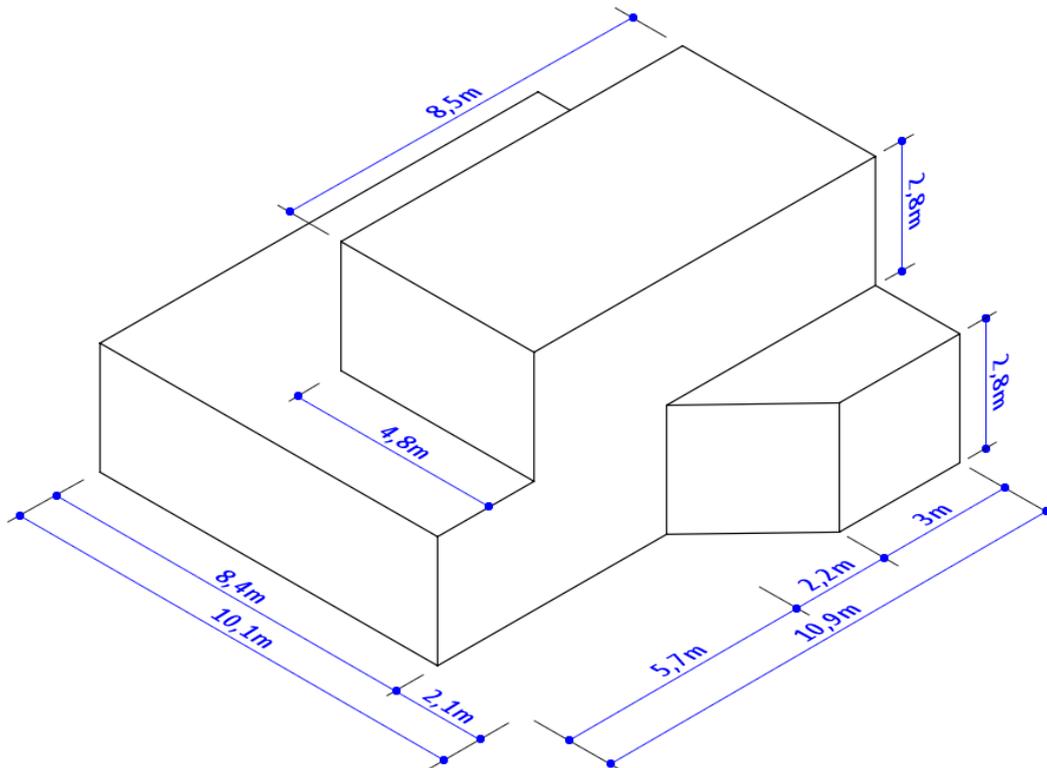
Lors de l'étude on négligera la pente de la toiture ainsi que la présence des acrotères. On prendra une vitesse de référence du vent,  $v_b = 26 \text{ m/s}$  et la densité de l'air  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ . L'écoulement de l'air autour du bâtiment sera considéré comme un **régime turbulent** (énergie de turbulence : **103,2 J/kg**, dissipation de turbulence : **426 009 600 W/kg**), voir calcul en annexe.

### Objectifs :

- Observer l'écoulement du vent autour du bâtiment puis identifier la zone où les turbulences sont maximales.
- Déterminer la valeur moyenne des pressions relatives sur les différentes faces.
- Dédire les coefficients de pressions extérieures moyens sur les différentes faces.
- Conclure à propos des résultats obtenus.

## Démarche :

Modélisation du bâtiment sous SOLIDWORKS (vid001.mp4)



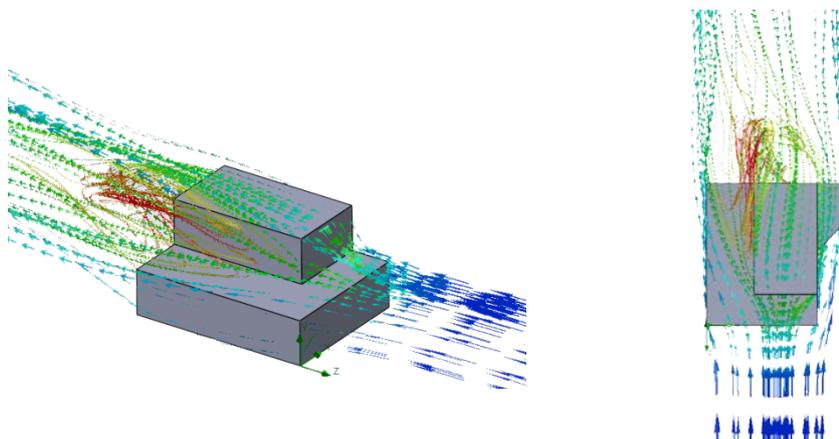
Création et paramétrage d'un projet Flow Simulation (vid002.mp4)

- Définition du type d'analyse (écoulement externe, prise en compte de la gravité)
- Définition du fluide (Air, écoulement turbulent uniquement)
- Définition des conditions de parois (parois adiabatiques, rugosité :  $0\mu\text{m}$ )
- Définition des conditions initiales et ambiantes (pression : 101325 Pa, densité :  $1,225\text{ kg/m}^3$ , vitesse : 26 m/s, énergie de turbulence : 103,2 J/kg, dissipation de turbulence : 426 009 600 W/kg)

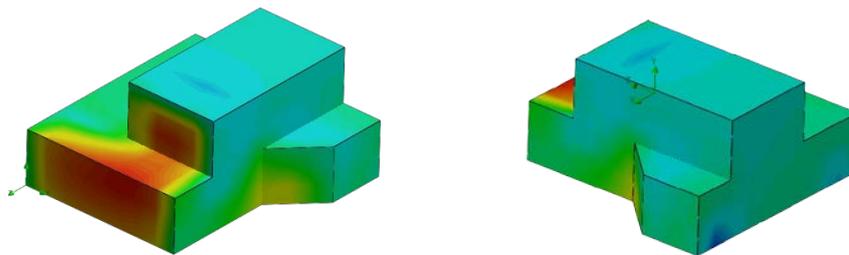
Lancement du calcul

Visualisation et affichage des résultats : (vid003.mp4)

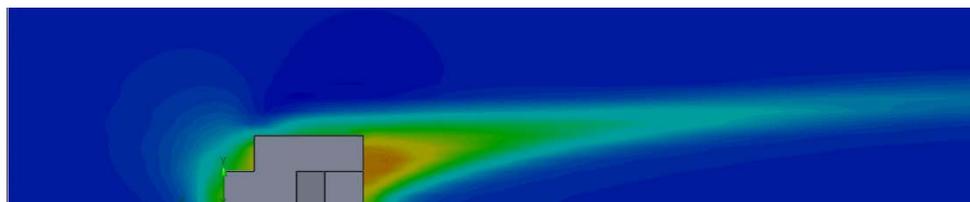
Visualisation des lignes de courants



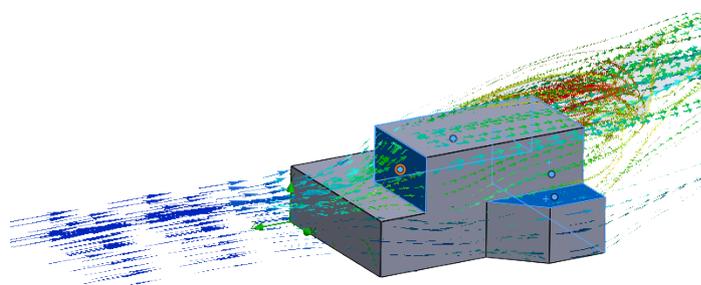
## Visualisation surfacique des pressions relatives sur les parois



## Définition d'un plan de visualisation du champ des vitesses



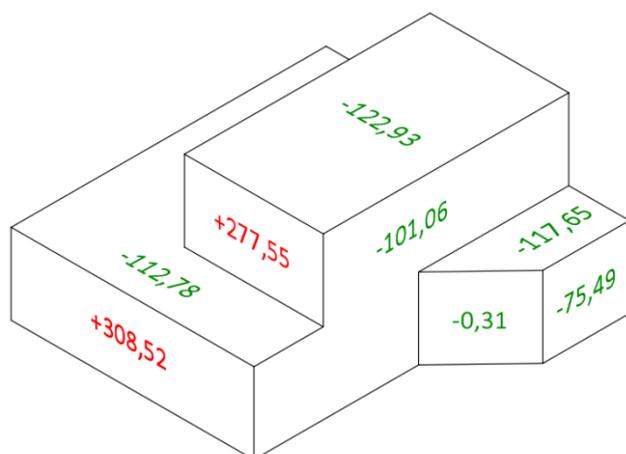
## Affichage des pressions relatives moyennes sur les parois



X [m]	Y [m]	Z [m]	Milieu	Pression relative [Pa]
6.000	4.200	-2.400	Fluide/Solide	279.16
9.356	2.800	-8.801	Fluide/Solide	-123.35
5.485	2.278	-10.900	Fluide/Solide	-95.57
3.600	4.200	-6.650	Fluide/Solide	-99.83

## Résultats :

La simulation permet d'obtenir les résultats (pressions relatives moyennes) suivants :



X [m]	Y [m]	Z [m]	Milieu	Pression relative [Pa]
6.000	4.200	-2.400	Fluide/Solide	277.55
4.200	1.400	0	Fluide/Solide	308.52
9.174	2.800	-8.801	Fluide/Solide	-117.65
8.400	3.076	-5.125	Fluide/Solide	-101.06
9.250	1.400	-6.800	Fluide/Solide	-0.31
10.100	1.400	-9.400	Fluide/Solide	-75.49
2.753	2.800	-4.485	Fluide/Solide	-112.78
6.000	5.600	-6.650	Fluide/Solide	-122.93

En appliquant le théorème de Bernoulli pour une ligne de courant, nous pouvons déterminer la pression relative du vent avant d'atteindre le bâtiment :

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 = 0,5 \times 1,225 \times 26^2 = 414 \text{ Pa}$$

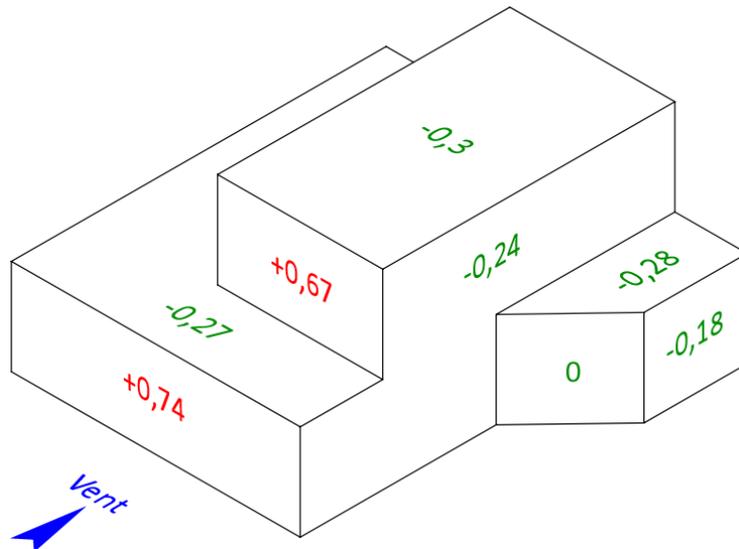
$$P = 414 \text{ Pa}$$

Les coefficients de pressions extérieures peuvent se déterminer en faisant le rapport  $Pr/P$ .

$$C_{pe} = Pr/P$$

$Pr$  : pression relative sur la paroi

On obtient les coefficients  $C_{pe_{moy}}$  suivants :



### Conclusion :

On constate que les valeurs des coefficients de pressions extérieures moyennes obtenues par simulation sont inférieures aux valeurs définies par l'Eurocode1 (voir résultats en annexe). Les résultats de la simulation ne sont donc pas directement exploitables pour un calcul réglementaire, car les écarts sont trop importants (-65% pour la face latérale droite).

Pour avoir un avis précis sur les résultats fournis par la simulation, il serait intéressant de faire un essai en soufflerie et comparer les résultats obtenus. Le modèle réduit pourra être réalisé avec une imprimante 3D ou la rugosité des surfaces pourra être maîtrisée afin de prendre en compte les rapports de similitude et les facteurs d'échelle.



### NF EN 1991-1-4/NA (Clause 1.5)

*La modélisation statistique, au cœur des modèles de calcul actuellement utilisés pour les applications au Génie Civil, simplifie les calculs en considérant des équations moyennées (en temps) avec deux conséquences :*

- *l'opération de moyenne temporelle crée de nouvelles inconnues qui exigent, pour que le système soit soluble, l'introduction de données complémentaires, sous forme de modèles physiques dont il existe une certaine variété (relations de fermeture). La qualité des simulations réalisées repose ainsi sur l'expertise approfondie qu'ont les opérateurs en matière de méthodes numériques et de physique des phénomènes modélisés ;*
- *par construction, la modélisation statistique vise les valeurs moyennes des pressions, alors que le dimensionnement des constructions repose sur leurs valeurs extrêmes. Les simulations de ce type connaissent donc les limitations indiquées précédemment, à propos de l'estimation des pressions et forces extrêmes à partir de leurs valeurs moyennes.*

# Annexes

## Calcul du régime d'écoulement

Le régime d'écoulement est défini par le nombre de Reynolds :  $Re = \frac{L \cdot \rho \cdot U}{\mu}$

L : longueur de référence (m)

Pour l'étude de la traînée des corps géométriques non profilés, cette longueur de référence est la largeur de la surface frontale. ([https://www.mecaflux.com/nombre\\_reynolds.htm](https://www.mecaflux.com/nombre_reynolds.htm))

$\rho$  : densité volumique du fluide (kg/m<sup>3</sup>)

U : vitesse du fluide (m/s)

$\mu$  : viscosité dynamique (kg/m.s)

$$Re = \frac{L \cdot \rho \cdot U}{\mu} = \frac{10,1 \times 1,225 \times 26}{18,6 \cdot 10^{-6}} = 17\,294\,892 \gg 2\,000, \text{ le régime d'écoulement est turbulent}$$

Utilitaire en ligne : <http://www.jcg2.fr/reynolds.php>

## Calcul de l'intensité de la turbulence

Hauteur maxi du bâtiment : z = 5,6m

Coefficient d'orographie :  $c_0(z) = 1$  (Terrain plat)

Terrain de catégorie IIIb :  $z_{\min} = 9\text{m}$  ;  $z_0 = 0,5\text{m}$  ;  $z_{0II} = 0,05\text{m}$

NF EN 1993-1-1-4/NA (tableau 4.A)

$$z < z_{\min}, \text{ on a donc : } I_v(z) = I_v(z_{\min}) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right)}$$

NF EN 1993-1-1-4 (équation 4.7)

avec le coefficient de turbulence :  $k_t = 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log(z_0) + 3)^6 = 0,922$

NF EN 1993-1-1-4 (équation 4.19)

$$I_v(z_{\min}) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right)} = \frac{0,922}{1 \times \ln\left(\frac{9}{0,5}\right)} = 0,319 \%$$

## Calcul de la longueur caractéristique de la turbulence

### Modèle de turbulence k- $\epsilon$ standard

Energie de turbulence (J/kg) :  $k = \frac{3}{2} \cdot I_v^2 \cdot U^2 = 103,2 \text{ J/kg}$

Dissipation de turbulence (W/kg) :  $\epsilon = \frac{0,09 \cdot k^2}{\beta \vartheta} = 426\,009\,600 \text{ W/kg}$

Turbulent viscosity ratio (écoulement externe) :  $0,1 < \beta < 0,2$  ; on prendra  $\beta = 0,15$

Viscosité dynamique :  $\vartheta = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Travaux des élèves-ingénieurs du Département Mécanique des Fluides, Energétique & Environnement de l'ENSEEIH  
<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/beiepe/book/export/html/1116>

## Détermination des coefficients $C_{pe,10moy}$ selon l'Eurocode1 (CNC2M/REC EC1-CM : Juillet 2017)

Décrochement en plan au vent (configuration n°1) :

$h = 5,6m$  ;  $b_{EO} = 10,1m$  ;  $A_{pb} = 98,5m^2$  ;  $d_{EO} = A_{pb}/b_{EO} = 9,75m$

$e = 10,1m > d_{EO} = 9,75m$  (2 zones)

$d_r = 6,8m$

$b_r = 2,1m$

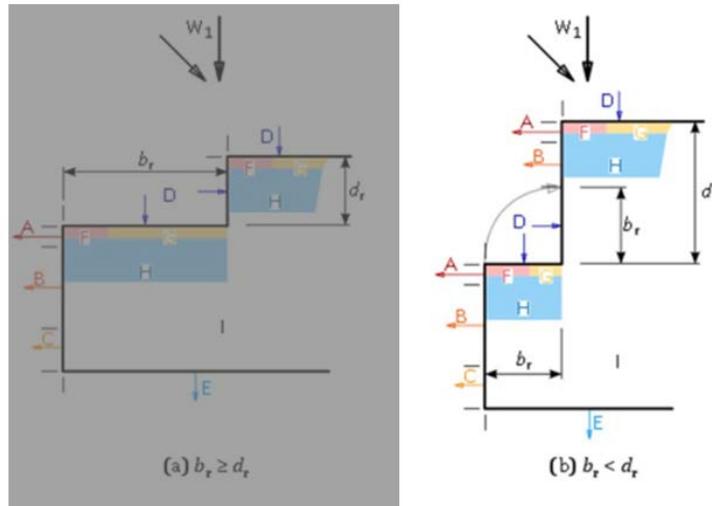


Figure 5 — Décrochement en plan au vent – Configuration n°1

Décrochement en élévation au vent :

$h = 5,6m$  ;  $b = 10,1m$  ;  $A_{vb} = 54,3m^2$  ;  $d = A_{vb}/b = 5,37m$

$e = 10,1m$

$d_r = 2,4m$       $d_r > h_r$  et  $h_1 = 2,8m < 0,7h = 3,92m$

$h_r = 2,8m$

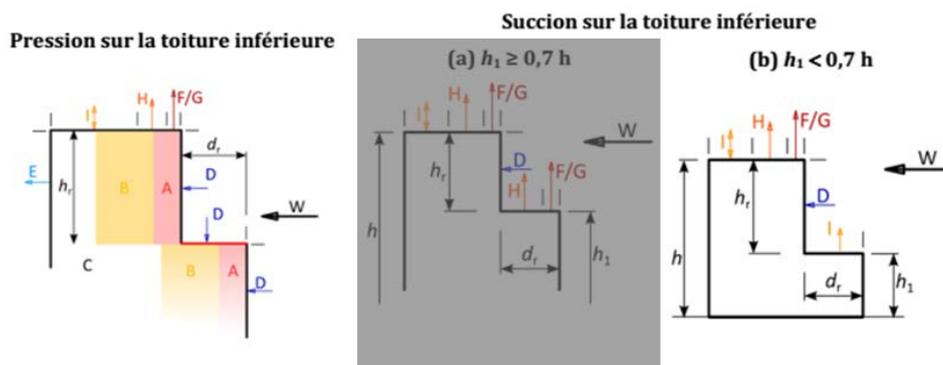


Figure 15 — Décrochement en élévation au vent avec  $d_r < h_r$

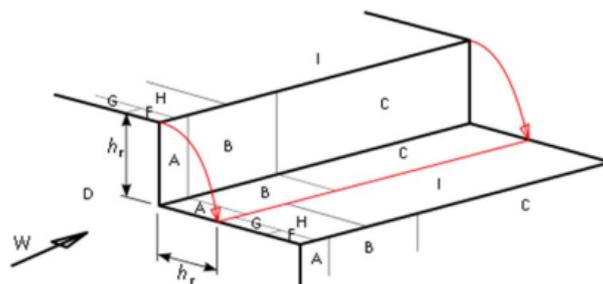
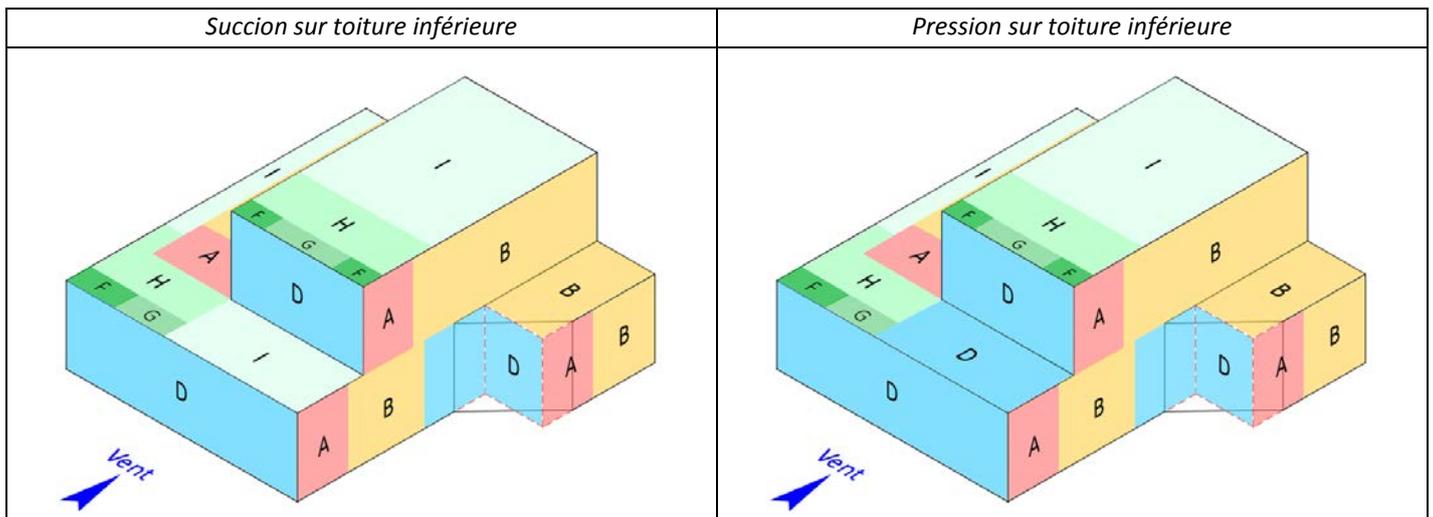


Figure 17 — Décrochement en élévation parallèle au vent

Représentation spatiale des coefficients de pression :



Valeur des coefficients  $C_{pe,10}$  :

A = -1,2 ; B = -0,8 ; C = -0,5 ; D = +0,74

F = -1,8 ; G = -1,2 ; H = -0,7 ; I = -0,2

Coefficients  $C_{pe,10moy}$  :

