

Projet 0099-7590

IRSST R-851 et R-848

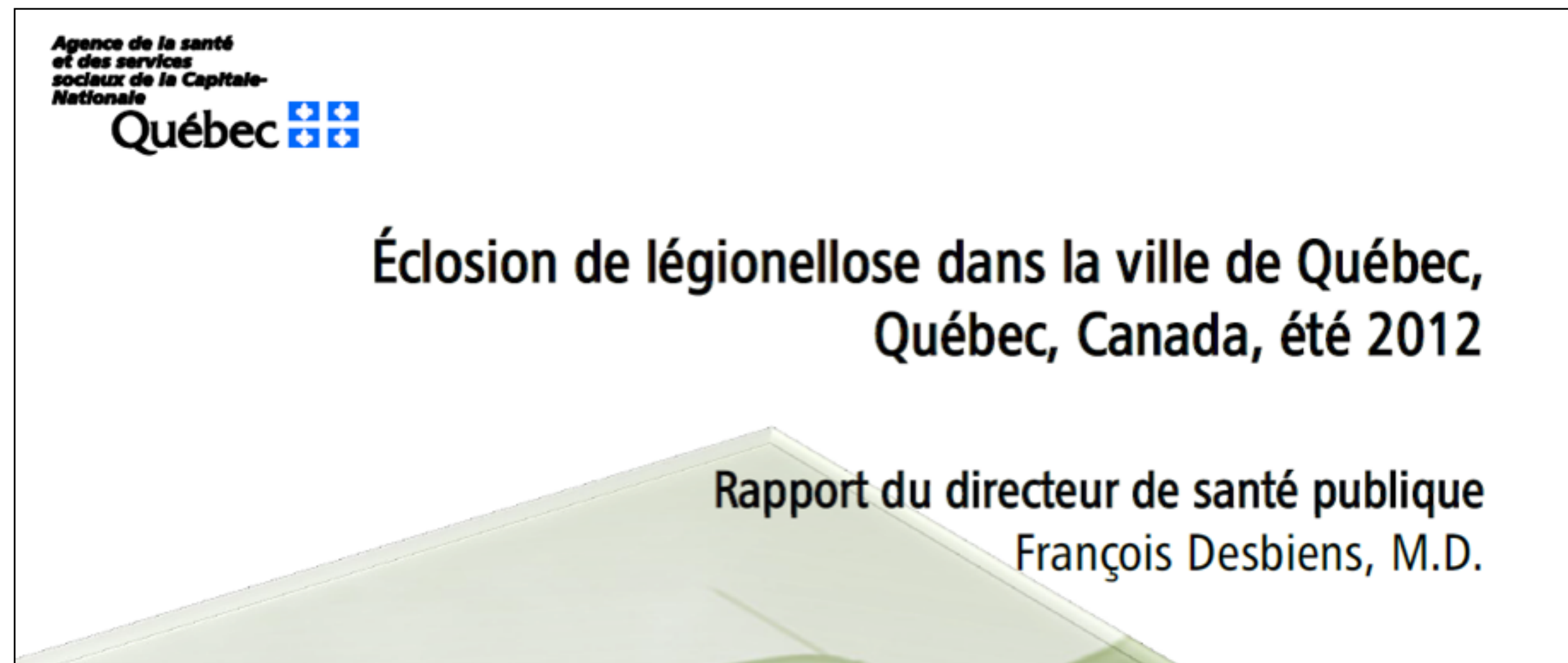
Étude en soufflerie de l'effet des bâtiments adjacents sur la dispersion en champ proche des émissions polluantes de cheminées de toit

IRSST R-852 et R-849

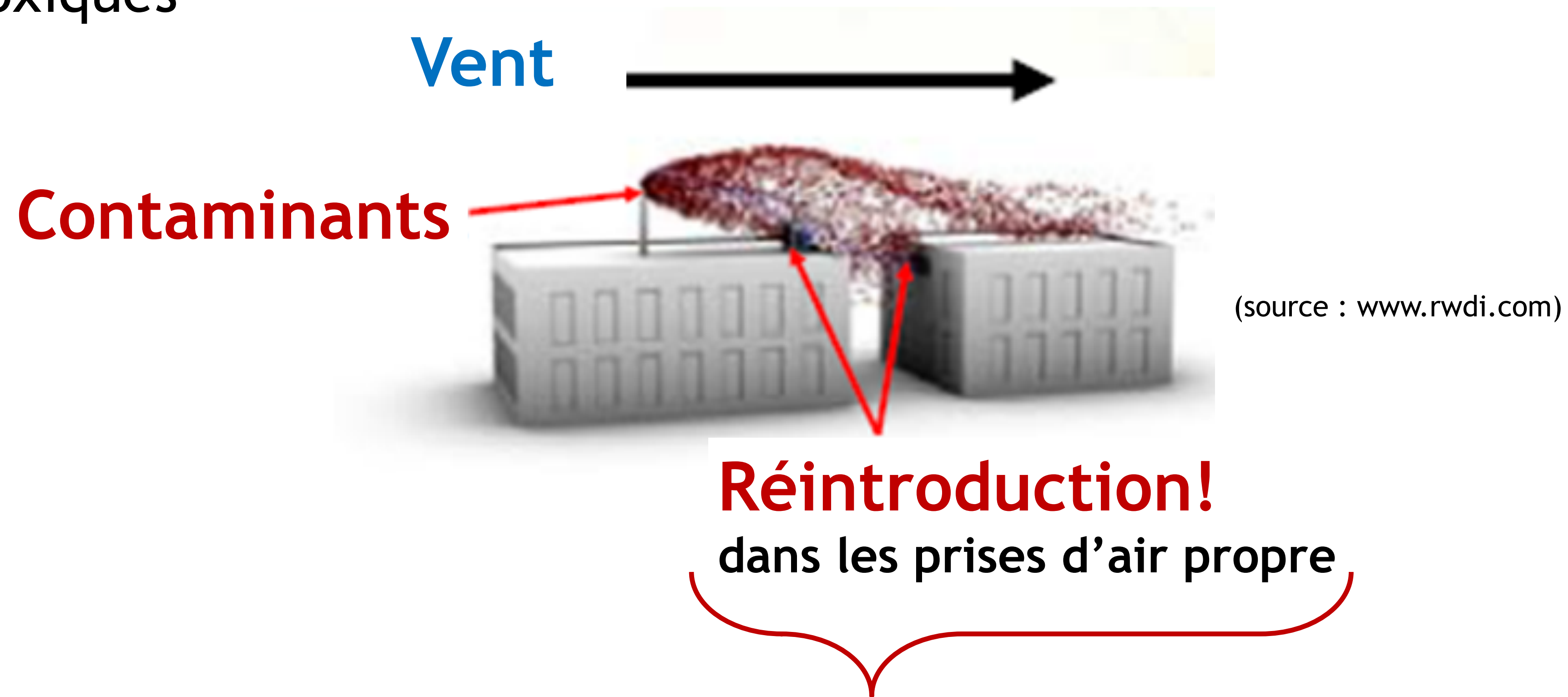
L'effet de bâtiments en amont et en aval sur la dispersion des effluents : une approche axée sur la mécanique des fluides numérique (CFD)

Ted Stathopoulos, Mauricio Chavez, Bodhisatta Hajra, Université Concordia, Ali Bahloul, IRSST

Contamination **épisode** : tours de refroidissement, cheminées de laboratoire et industrie, systèmes de combustion, etc.



Contamination **épisode** : **réintroduction** d'effluents toxiques



Dégradation de la qualité de l'air intérieur

Les **travailleurs** au Québec sont-ils protégés ?

Décret 885-2001

Règlement sur la santé et la sécurité du travail

106. Prises d'air: Les prises d'air doivent être placées de façon à ne pas introduire dans l'établissement de l'air préalablement contaminé ou malsain.

(Section XI. Ventilation et chauffage)

- Modéliser le transport de polluants dans l'air (**expérimental** et **numérique**)
- Comprendre la **trajectoire** des polluants
- Proposer des **recommandations pour limiter** la réingestion de polluants

Structure de la présentation

- Problématique et objectifs
- Méthodologie
 - Expérimental (soufflerie)
 - Numérique (CFD)
- Cas étudiés
- Résultats CFD et interprétation
- Résumé et conclusions

Codes et standards

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE-2011)
 - the exhaust velocity (V_e) should be maintained above **2000 fpm**
 - (V_e) should be at least 1.5 times the design wind speed U_H at roof
- American Industrial Hygiene Association (AIHA) Standard Z9.5 recommends for laboratory fume hood exhausts :
 - minimum stack **height of 10 ft** above the adjacent roof line; and extending one stack diameter above any architectural screen
 - minimum V_e of **3000 fpm**
- Uniform Plumbing Code (UPC) [IAPMO, 1997b] requires exhaust vents to be **3 ft or more above** air inlets
- National Fire Protection Association (NFPA) Standard 45 specifies a minimum **stack height of 10 ft to** protect rooftop workers
- Uniform Mechanical Code (IAPMO 1997a), widely used in the USA, recommends exhausts be at **least 3 ft** from property lines and **3 ft from openings** into buildings

L'effet des bâtiments adjacents...

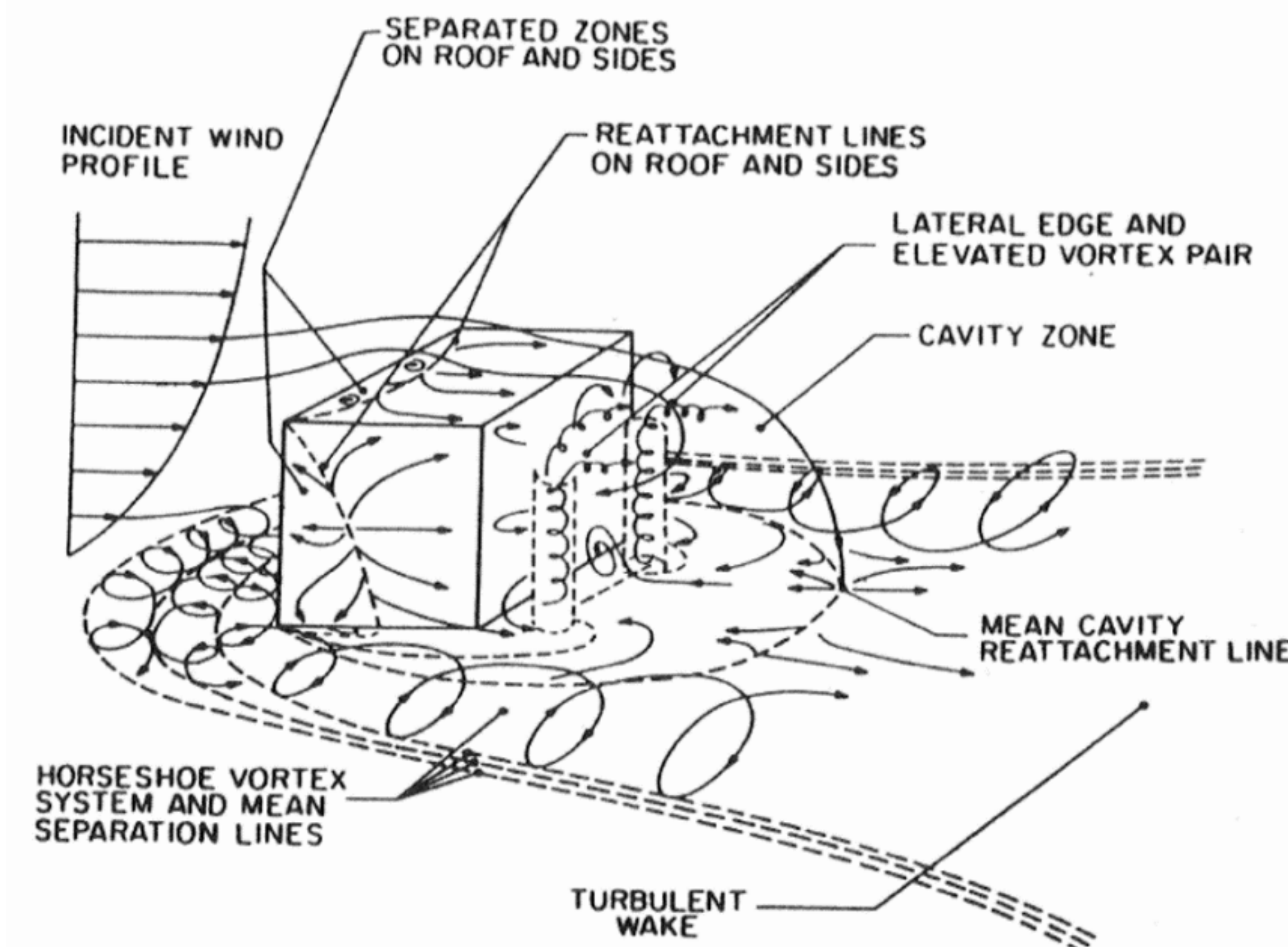
Aérodynamique urbaine : **un problème complexe!**

1- il est toujours **turbulent**

2- il dépend de la **morphologie urbaine**

3- **invisible**, le visualiser pour l'étudier

- On peut **mesurer** ses effets (pression, vitesse, concentration) à échelle naturelle ou réduite (soufflerie)
- On peut le **modéliser** numériquement



(Hunt et al. 1978)

Besoin

d'outils de **modélisation** capable de **prédire** la dispersion de polluants dans l'air pour :

- caractériser et comprendre le **mécanisme de transport** des matières dangereuses dans l'air
- développer des **stratégies** pour réduire les risques de contamination dans les espaces de travail

Objectifs

1. Identification, calibration et validation de la **méthode numérique**
2. Étude **paramétrique** de dispersion en milieu urbain
3. **Recommandations** par rapport au choix de l'emplacement de prises d'air propre pour **éviter la réingestion** de contaminants

Méthodologies pour **prédire** dispersion (écoulements extérieurs)

- Modèles empiriques (ex. : ASHRAE)

- Simulation en soufflerie

Part 1 (R-851)

- Simulation numérique des fluides (CFD)

Part 2 (R-852)

Définitions

Dilution normalisée
(Wilson, 1979)

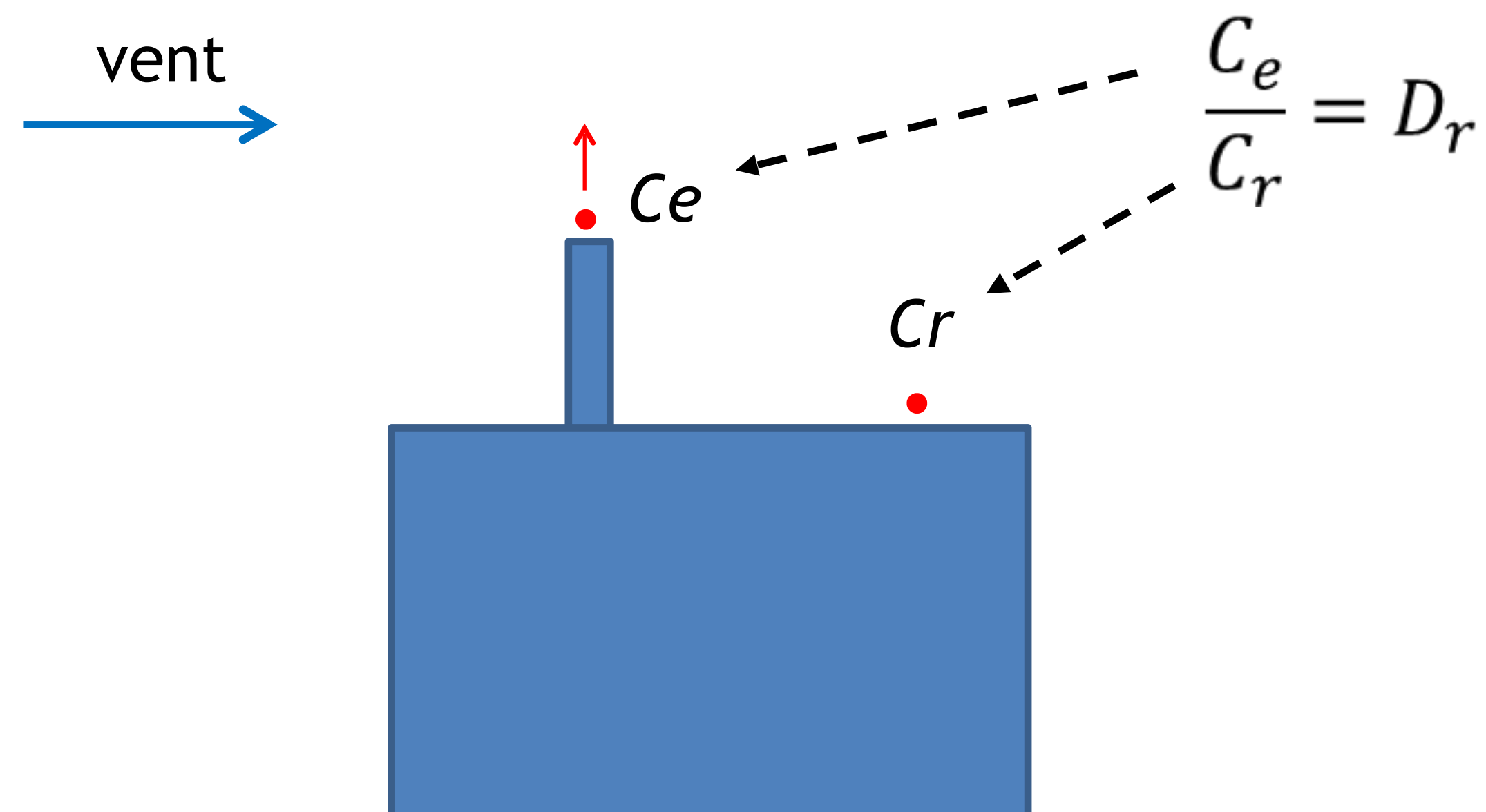
$$D_N = \frac{D_r Q_e}{U_H H^2}$$

D_r dilution

H is the building height (m)

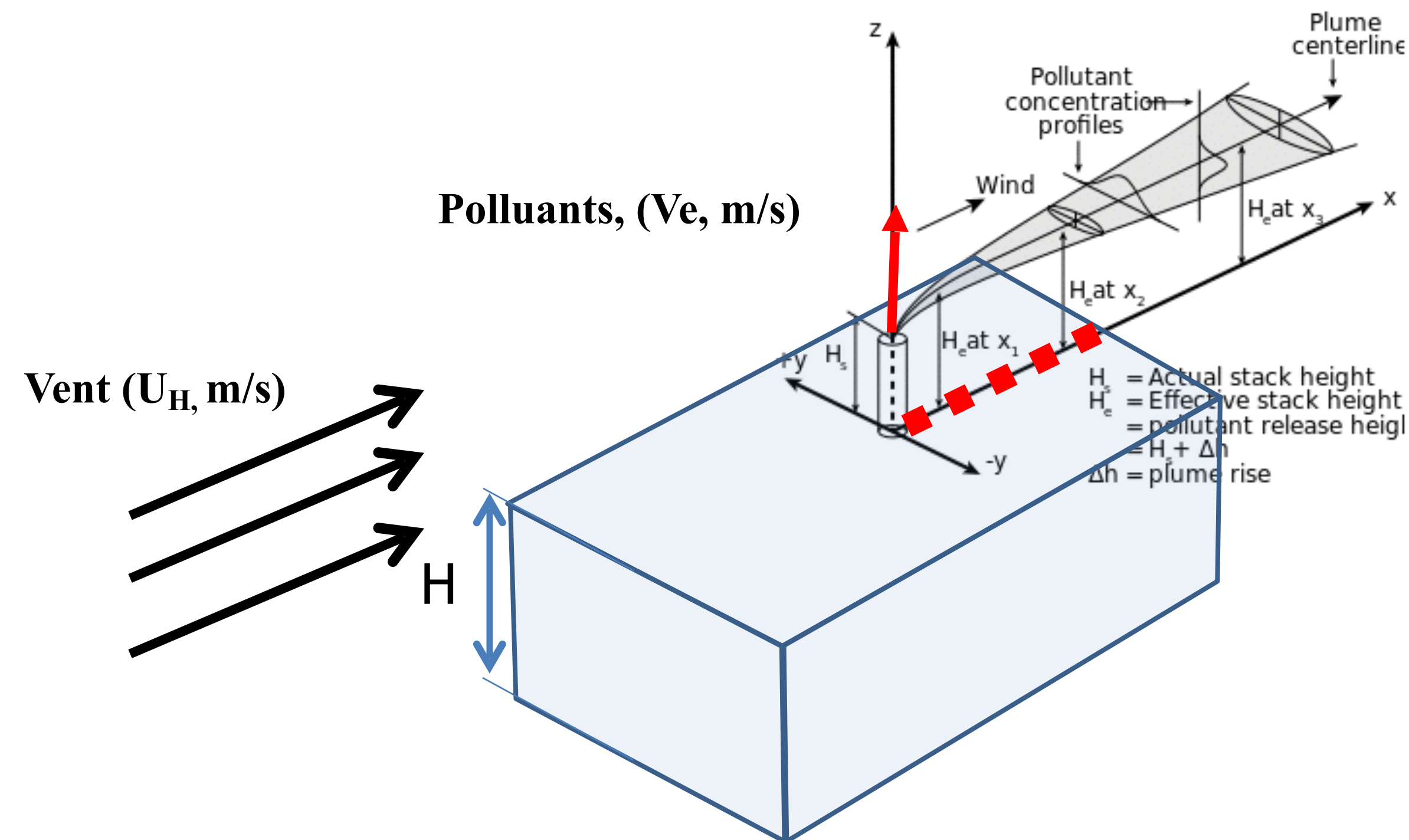
U_H is the wind speed at H (m/s)

Q_e is the emission rate (m³/s)



- Modèle empirique de dispersion : ASHRAE

Distribution **gaussienne**, pour un bâtiment **isolé**



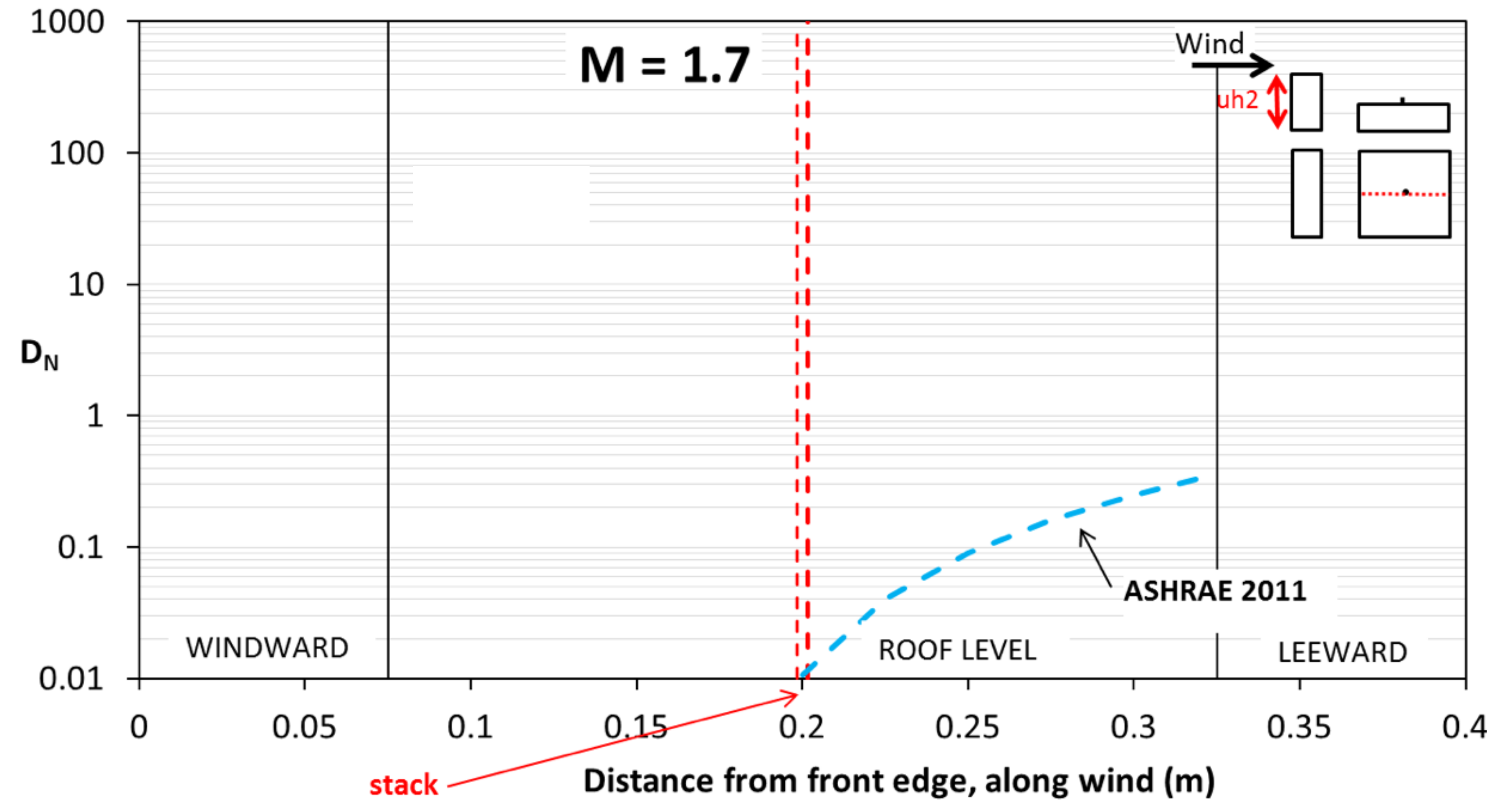
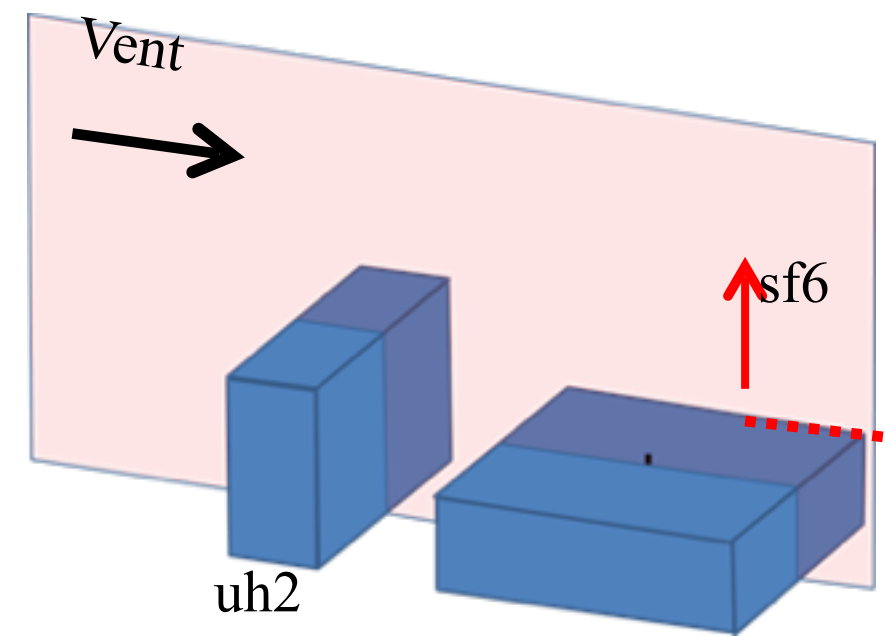
$$D_r = 4 \frac{U_H}{V_e} \times \frac{\sigma_y}{d_e} \times \frac{\sigma_z}{d_e} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

σ_y cross-wind plume spread

σ_z vertical plume spread

ξ = vertical separation ($h_{\text{plume}} - h_{\text{top}}$)

- Modèle ASHRAE



- Simulation en soufflerie



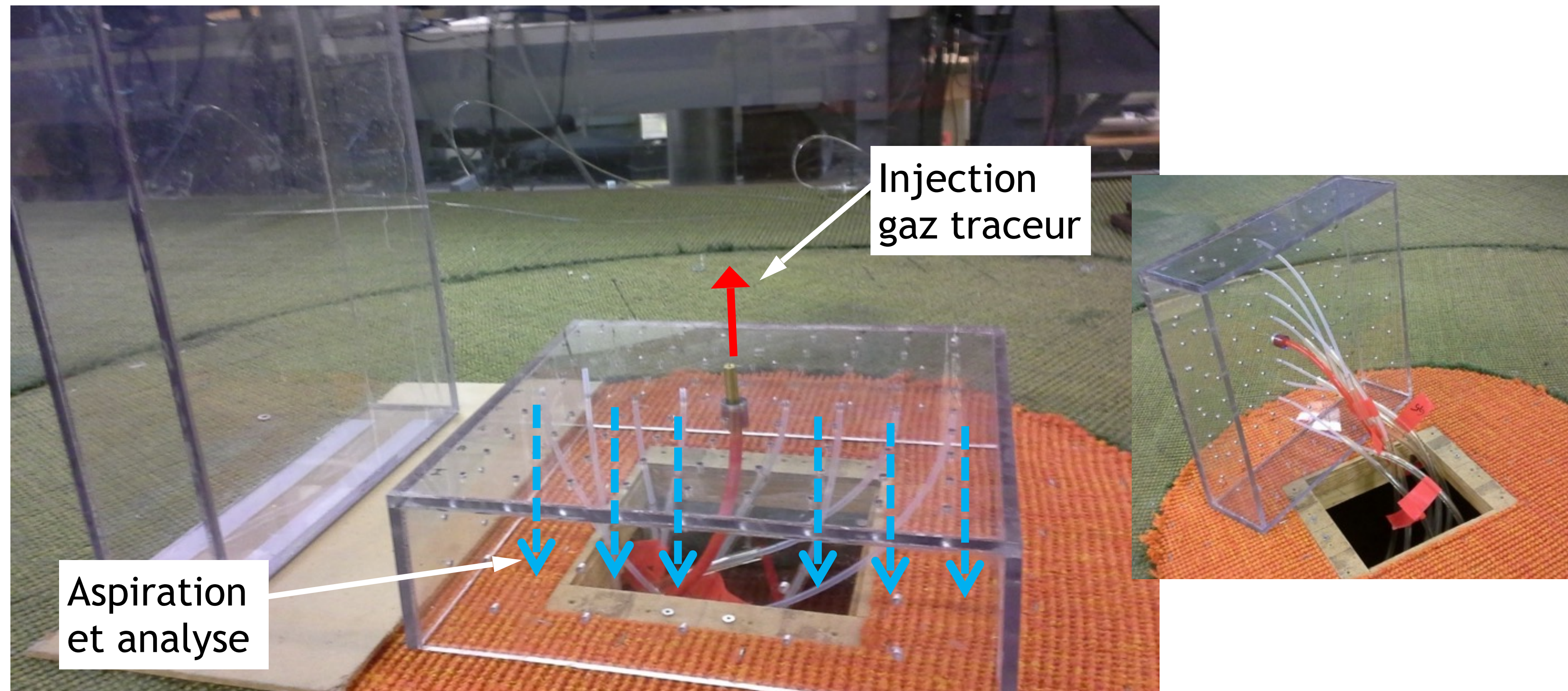
Soufflerie Université Concordia

1,8 m X 1,8 m (square section) et 12,2 m (length)

Snyder, 1981 criteria :

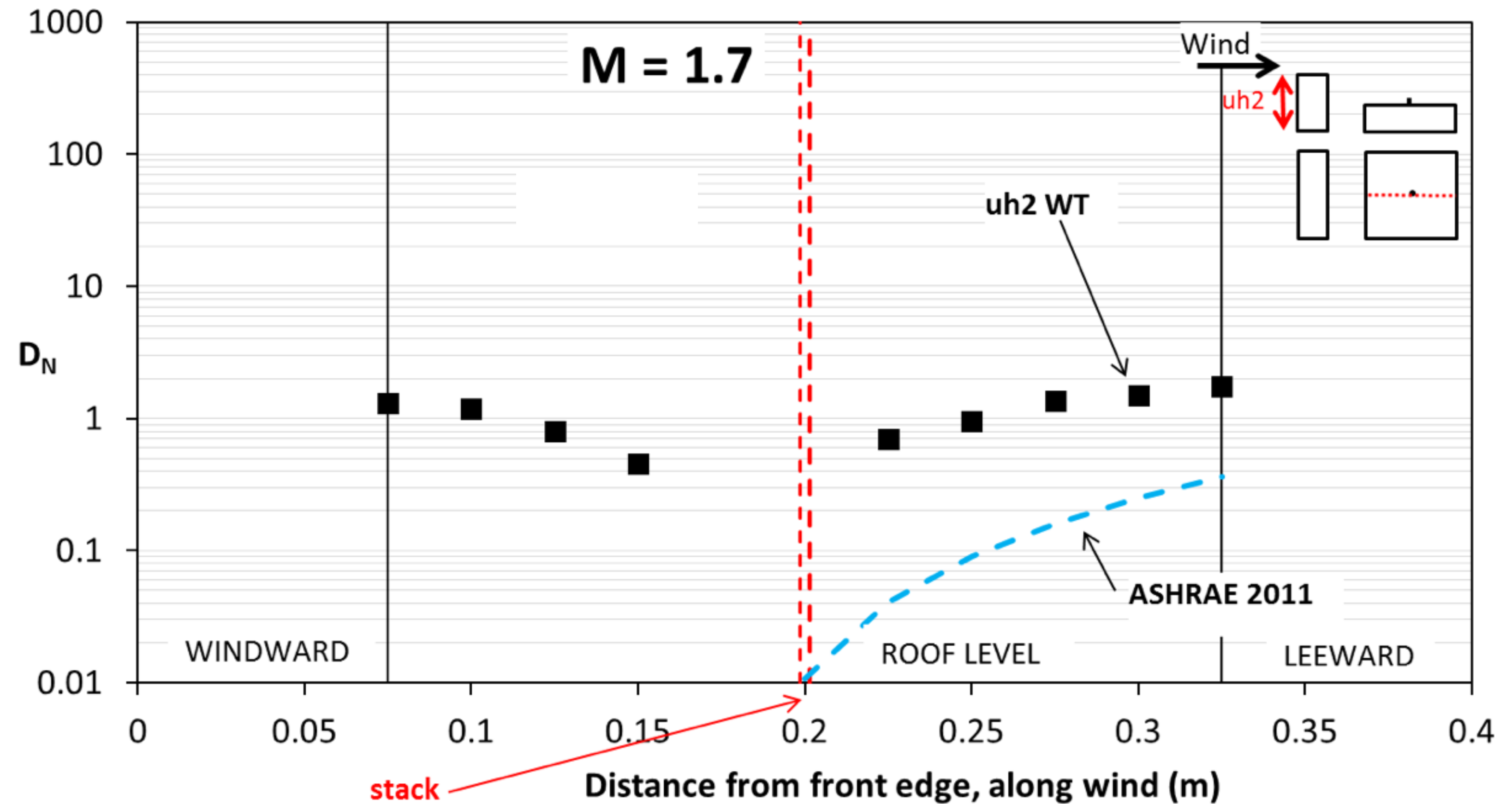
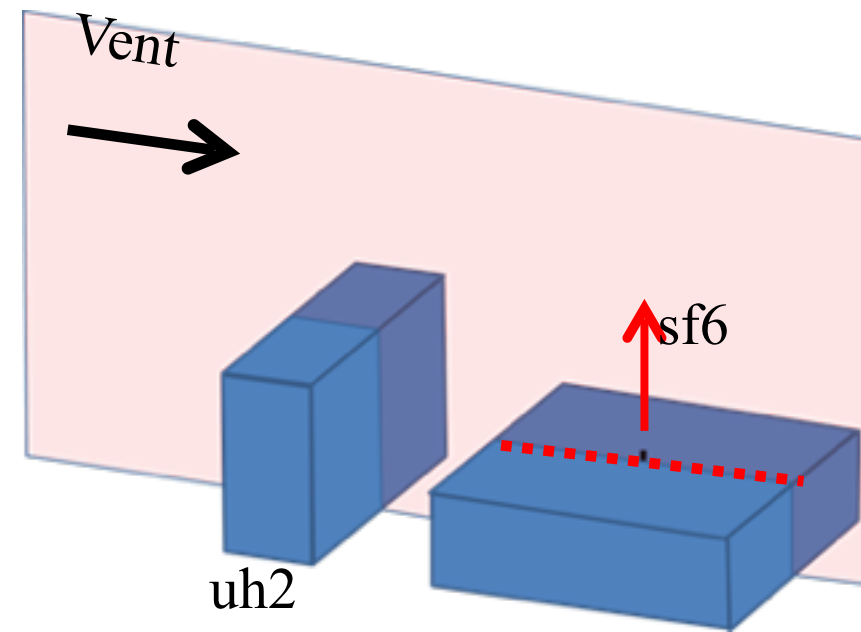
- Geometric similarity
- Building Reynolds Number > 11 000
- Stack Reynolds Number > 2 000
- Similarity of wind tunnel flow with atmospheric surface layer
- Equivalent stack momentum ratio

- Simulation en soufflerie



Emplacement des récepteurs

- Simulation en soufflerie

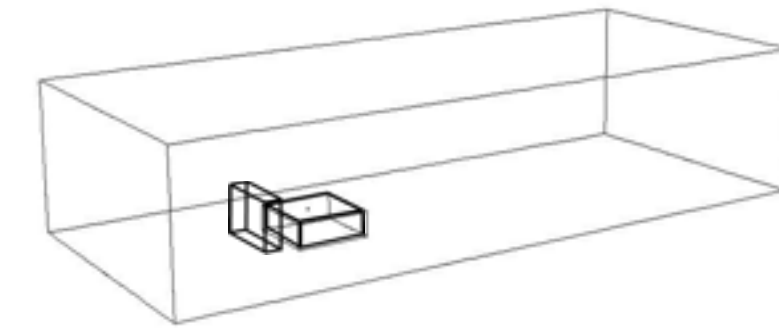


Methodology

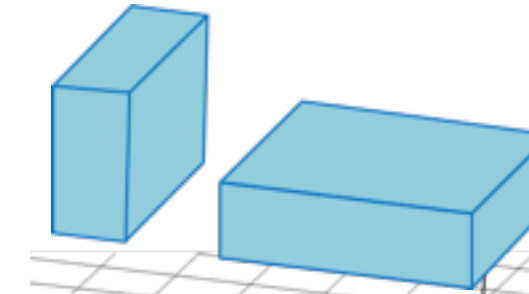
- Simulation numérique des fluides (CFD)

(Résolution numérique des équations qui
décrivent le mouvement des fluides :
Navier-Stokes) →

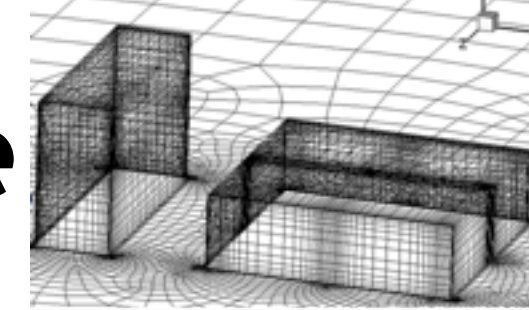
1. Domaine



2. Modèle

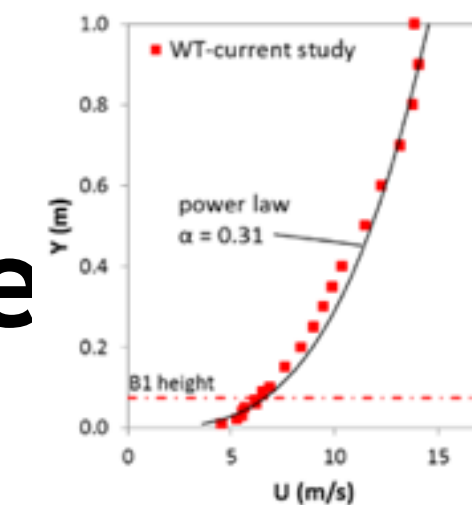


3. Maillage



4. Équations pour
écoulement et **dispersion**

5. Conditions
aux frontière

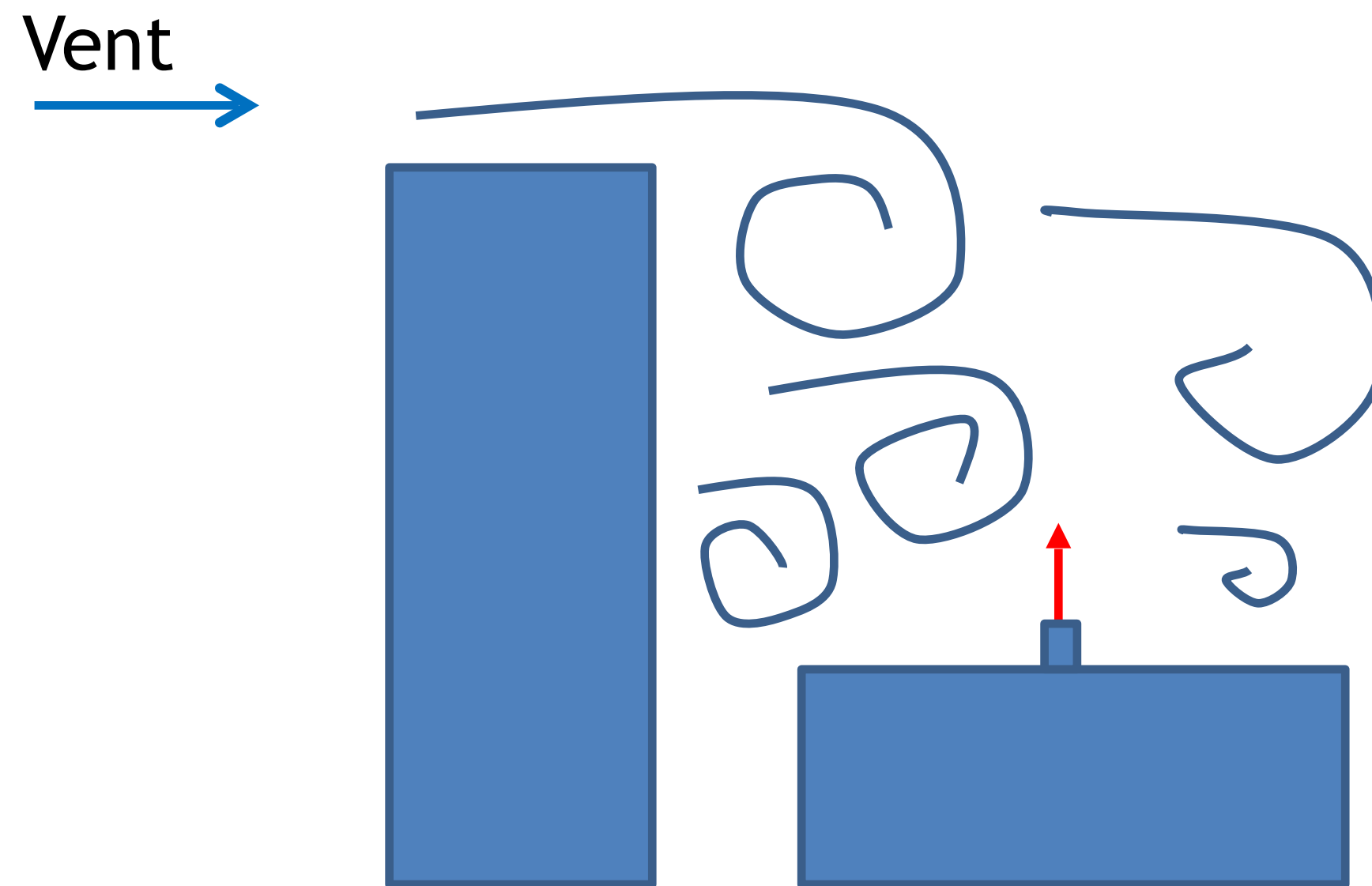


6. Critère de
convergence

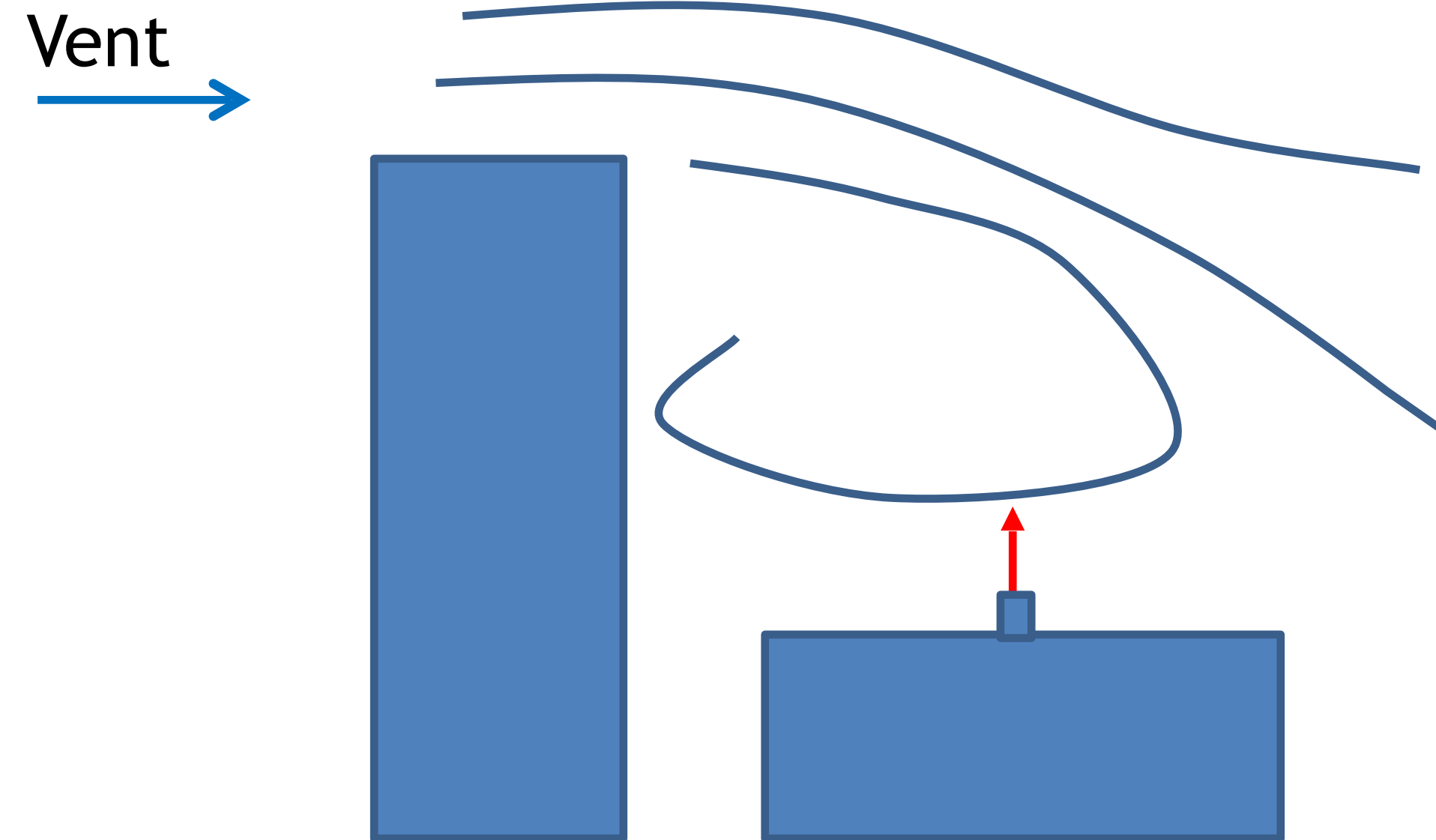
7. **Validation**

- Simulation numérique (CFD)

écoulement



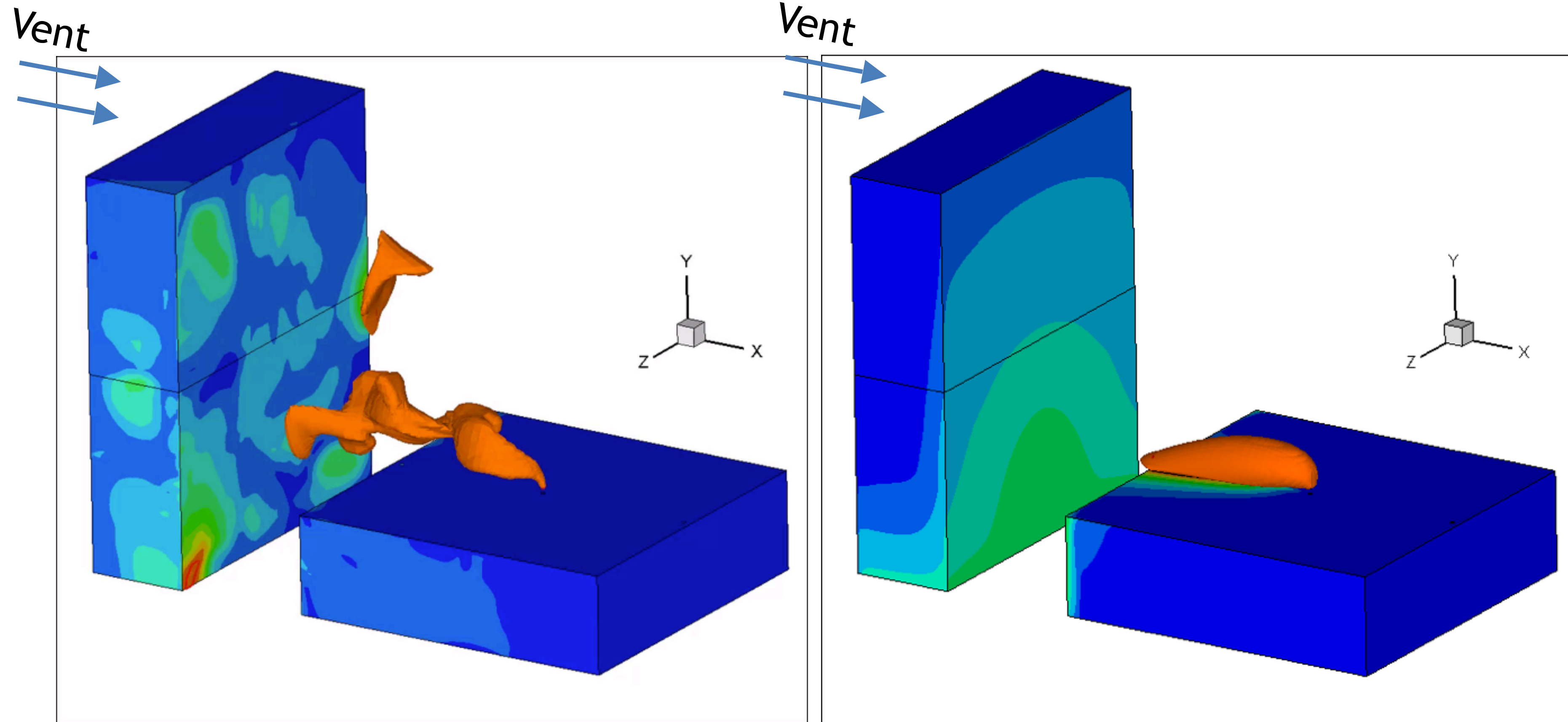
Transitoire (DNS, LES)



Stationnaire (RANS)

↓
Besoin modèle de turbulence

- Simulation numérique (CFD) écoulement

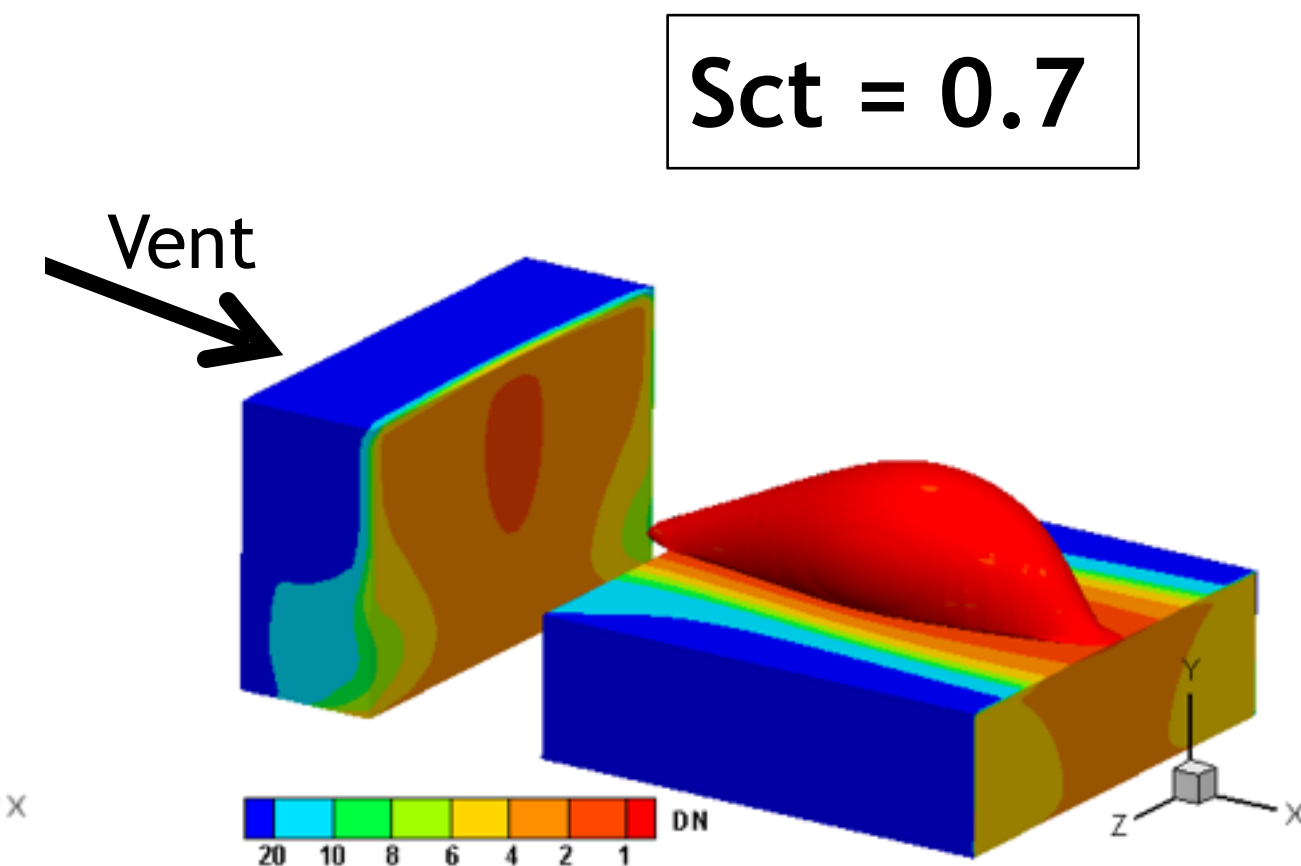
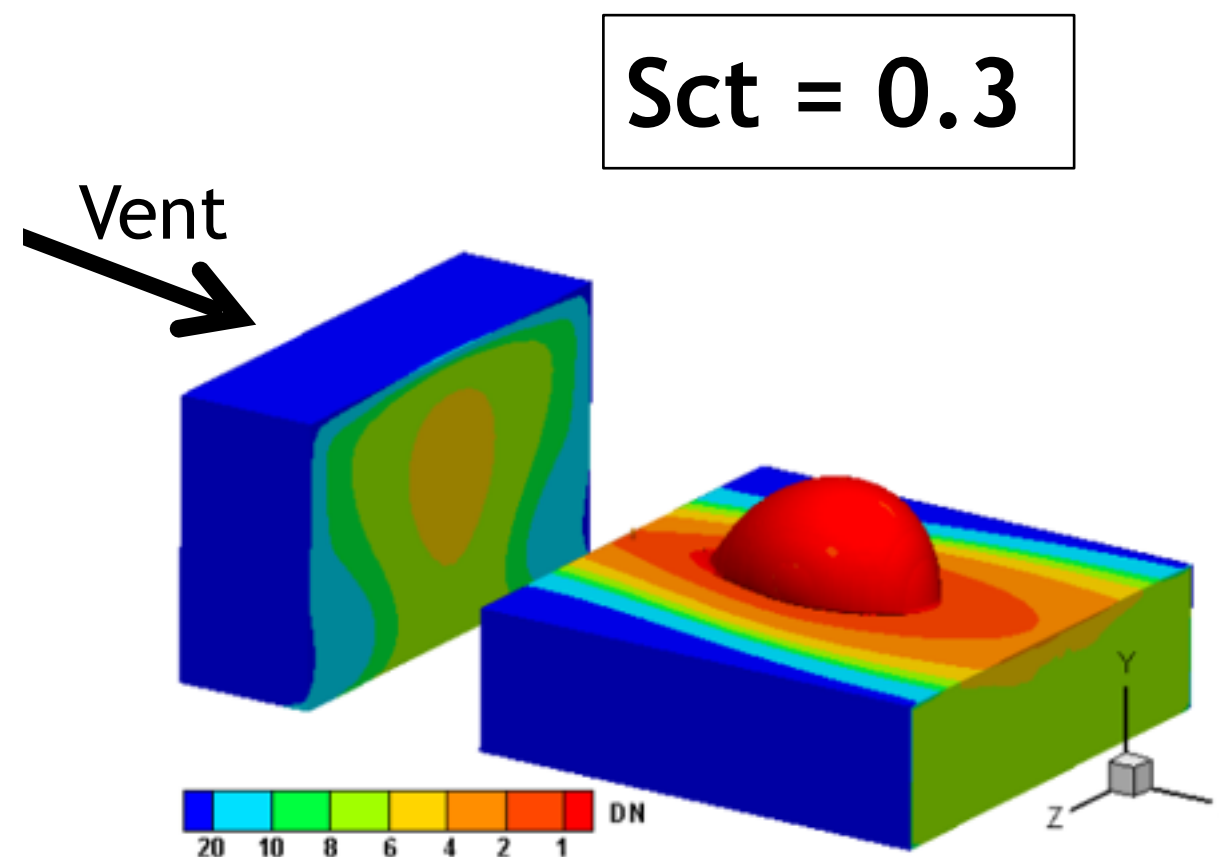
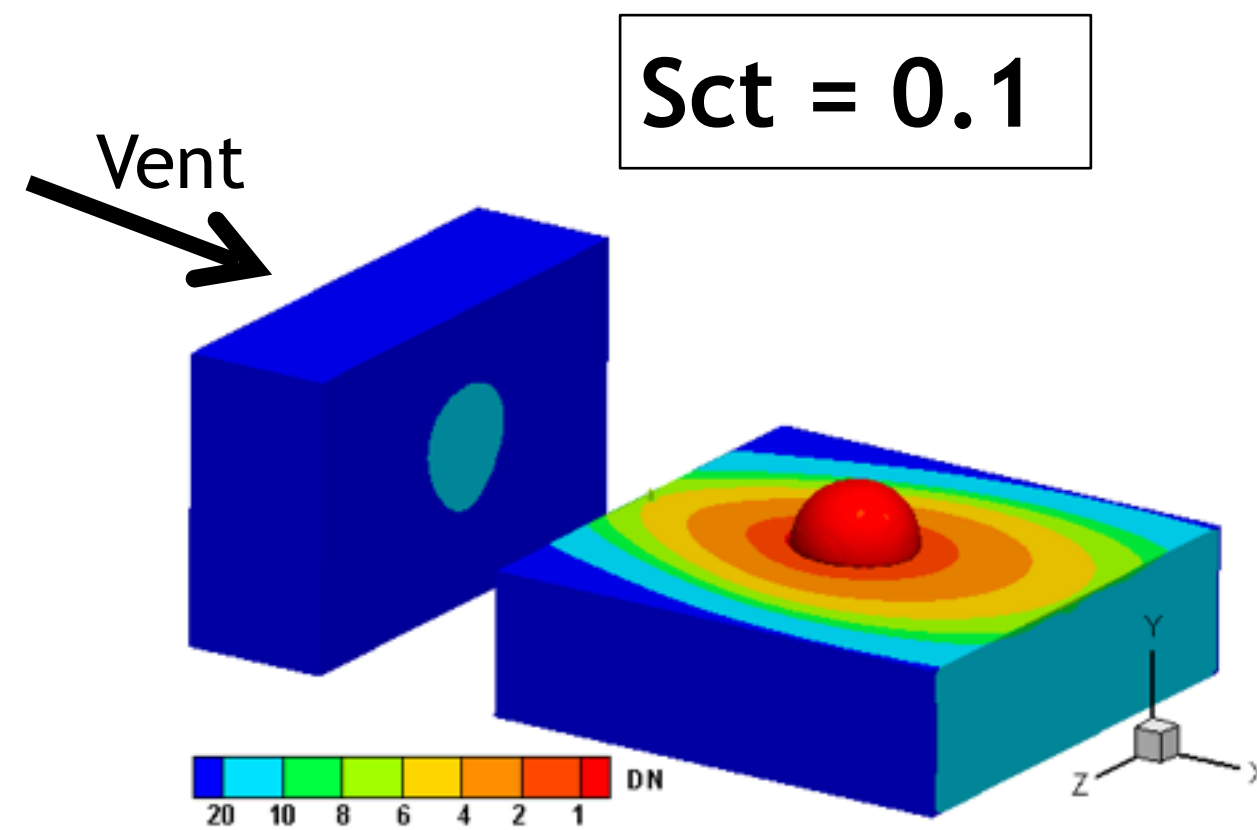


(LES)

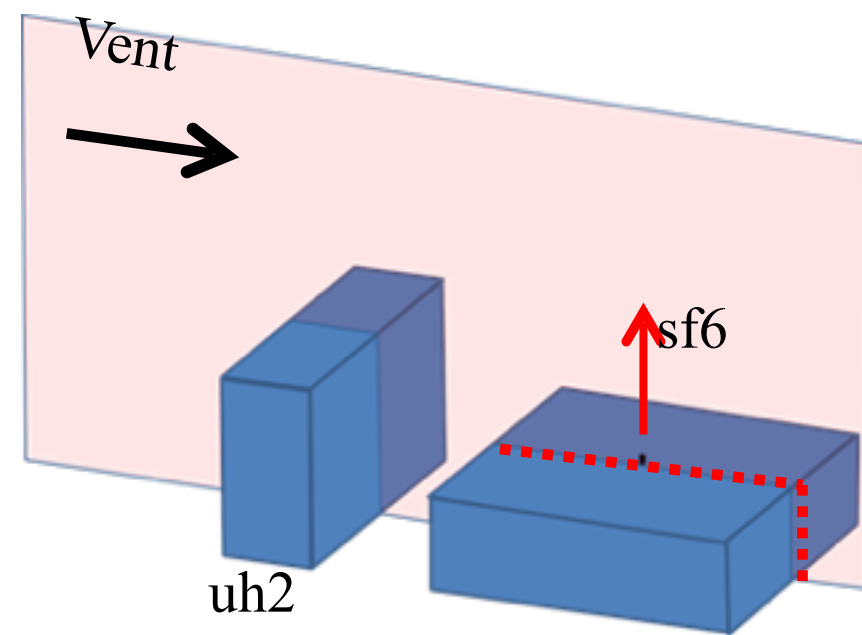
Stationnaire (RANS)

- Simulation numérique (CFD) dispersion

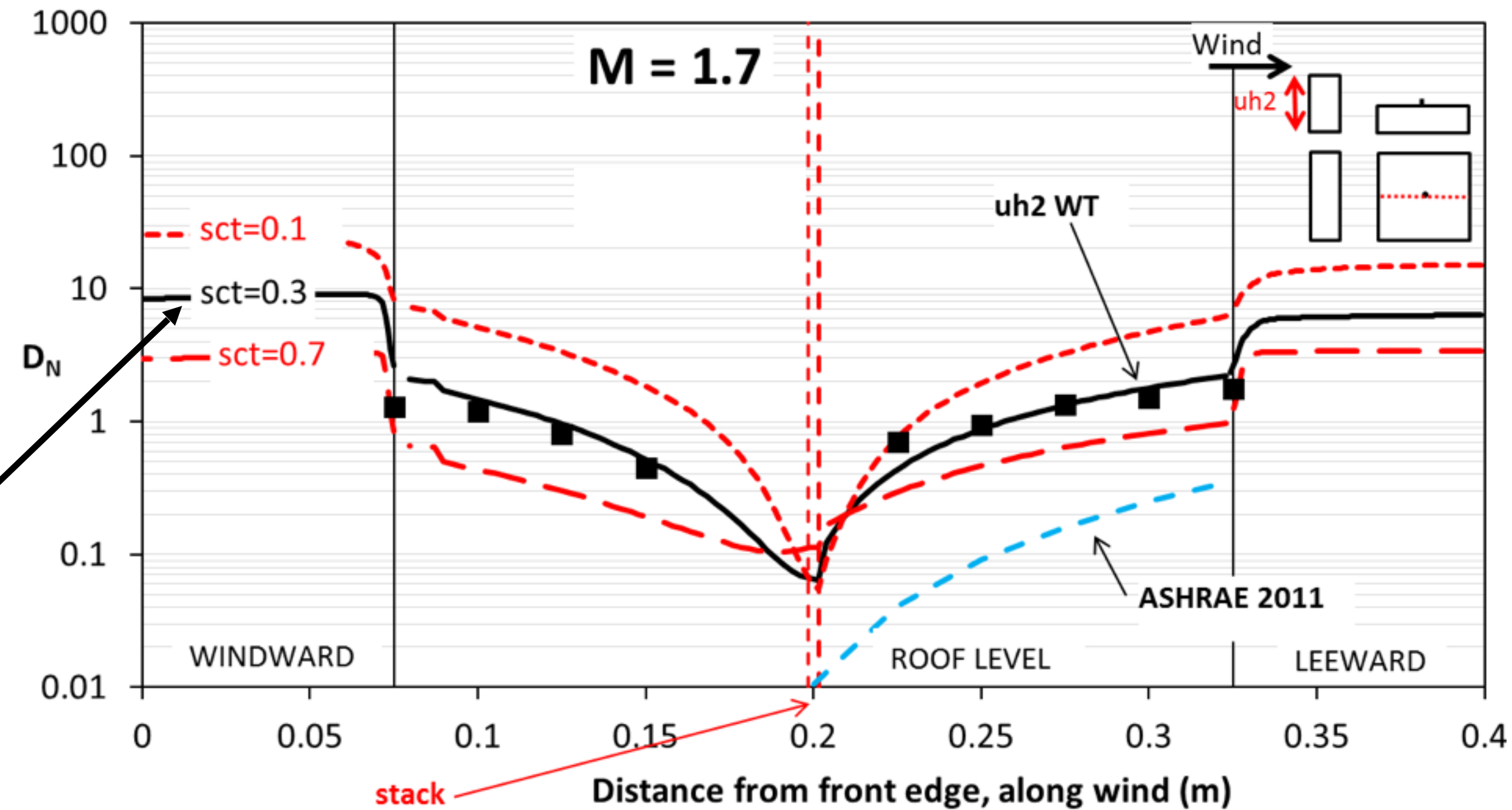
$$-\overline{u_j'c'} = D_{c,t} \frac{\partial C}{\partial x_j} \quad D_{c,t} = \frac{v_t}{Sct} \begin{matrix} \longrightarrow \text{(calculé)} \\ \longrightarrow \text{(imposé)} \end{matrix}$$



- Simulation numérique (CFD) dispersion



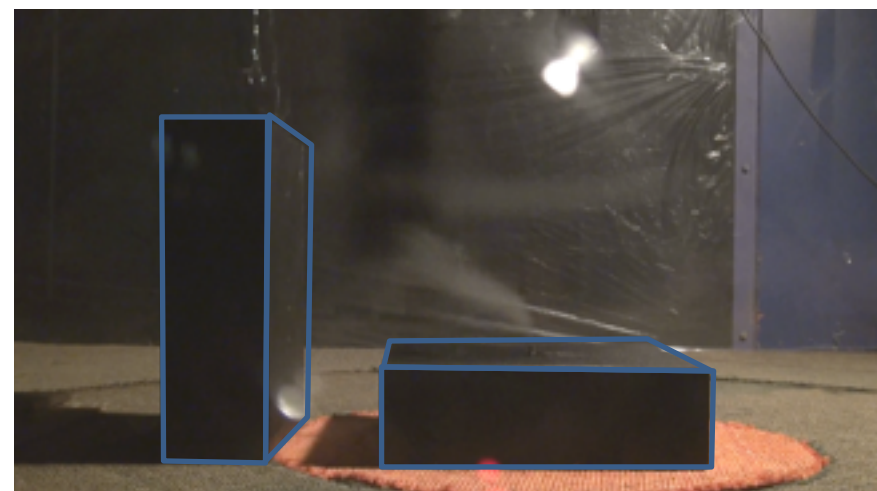
**Sct =
0.3**



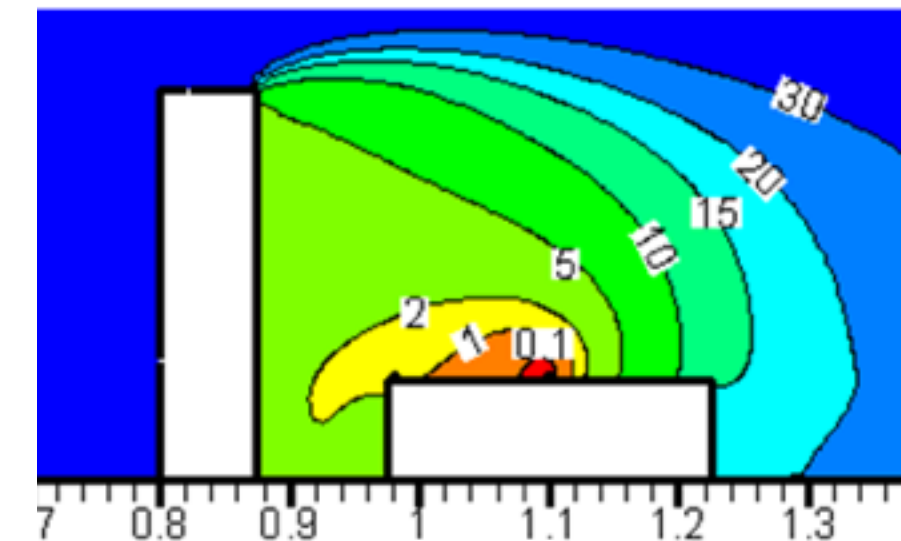
- Simulation numérique (CFD) validation

“The judicial presumption of innocence does not hold in CFD. CFD results are wrong, **until proven otherwise.**”

(Blocken, 2014)



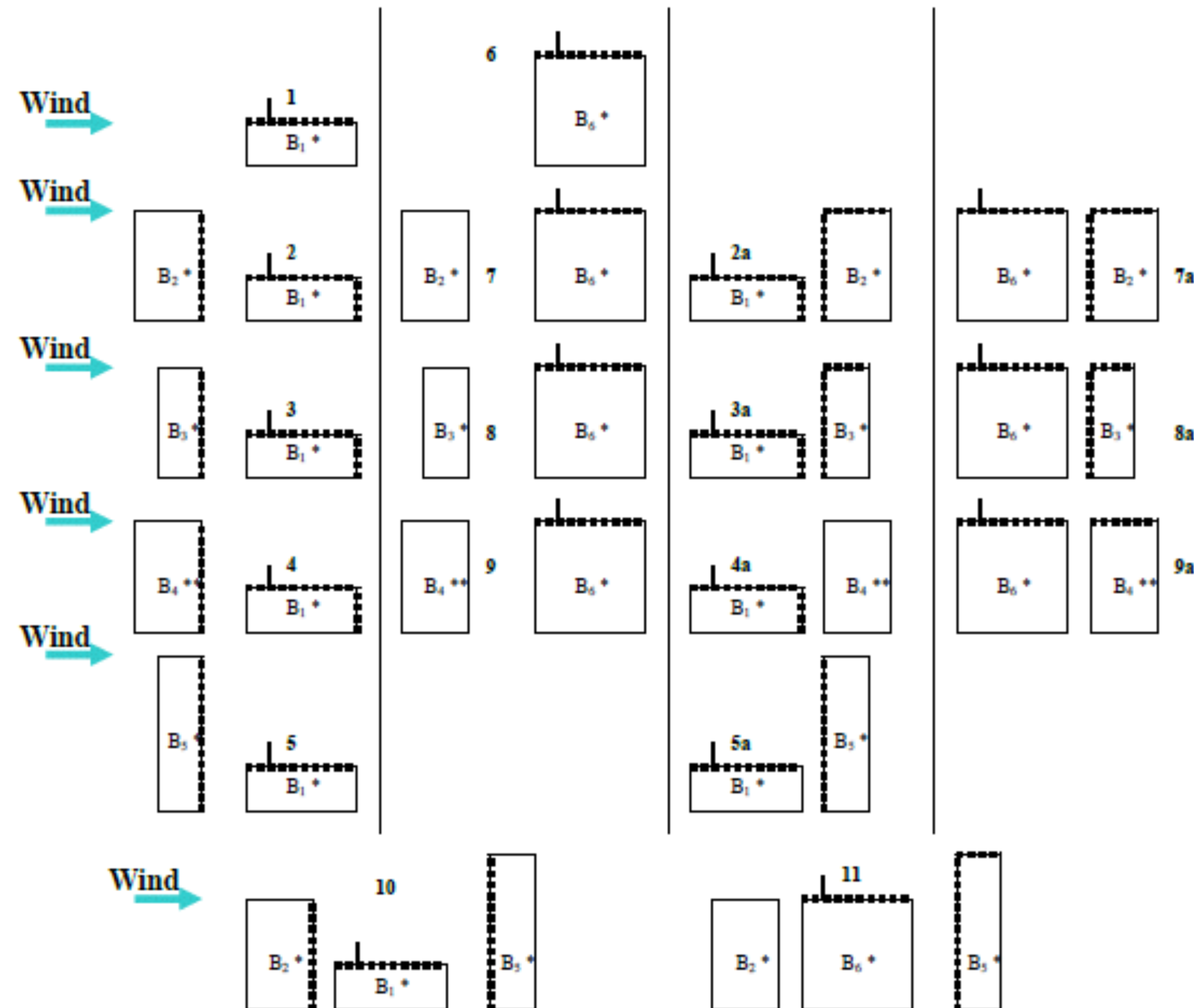
Soufflerie



CFD

- Indépendance du **maillage**, sélection **modèle de turbulence**, calibration diffusion turbulente (pour RANS) et autres

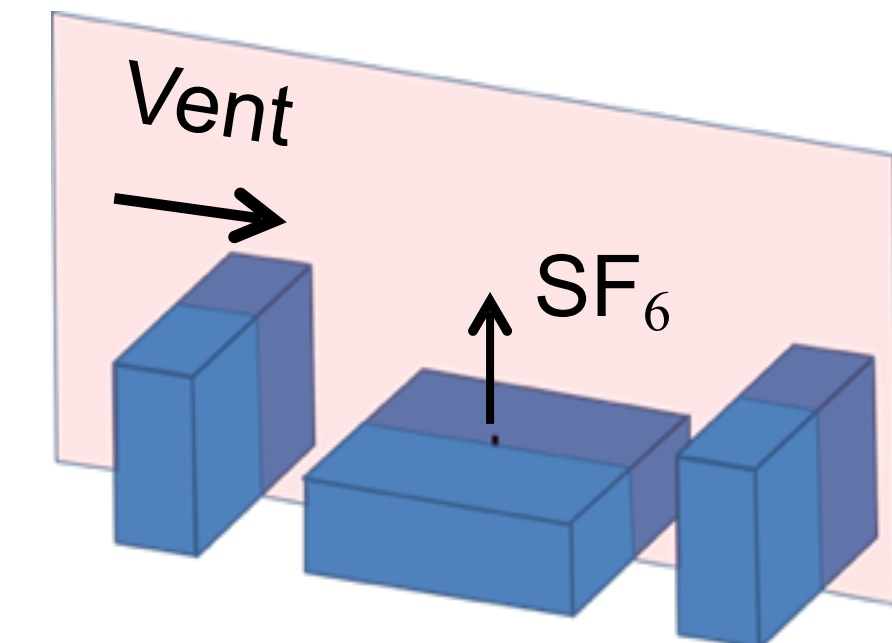
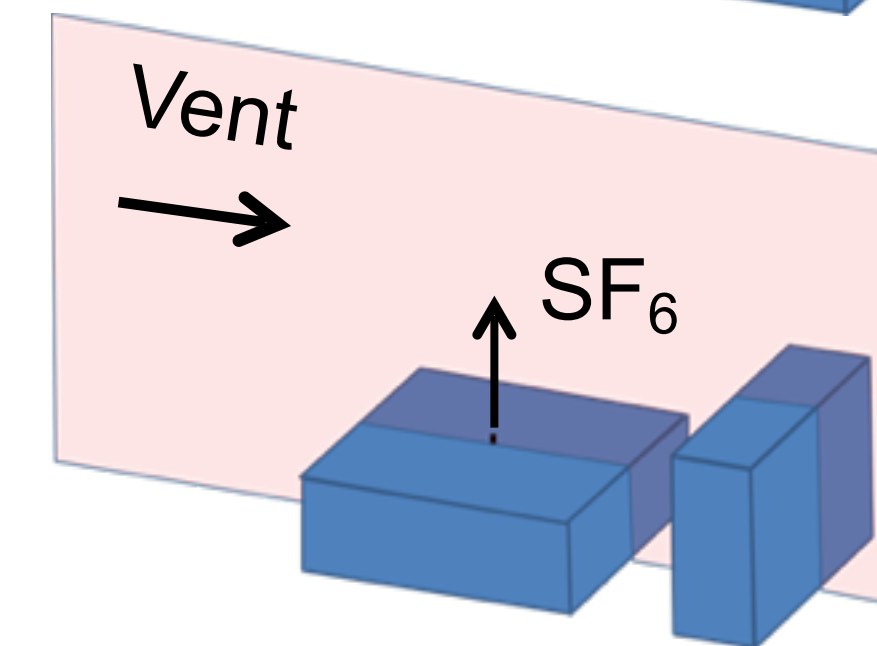
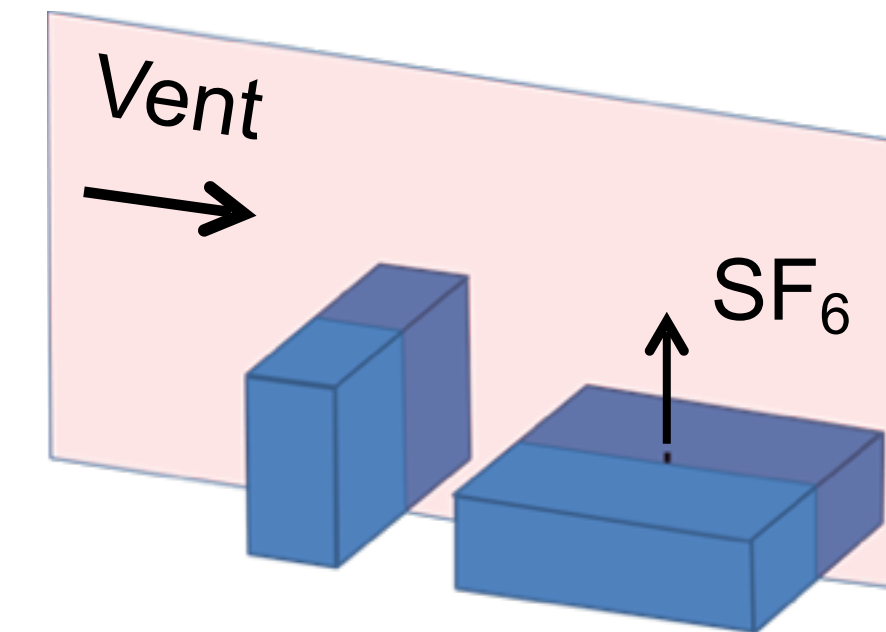
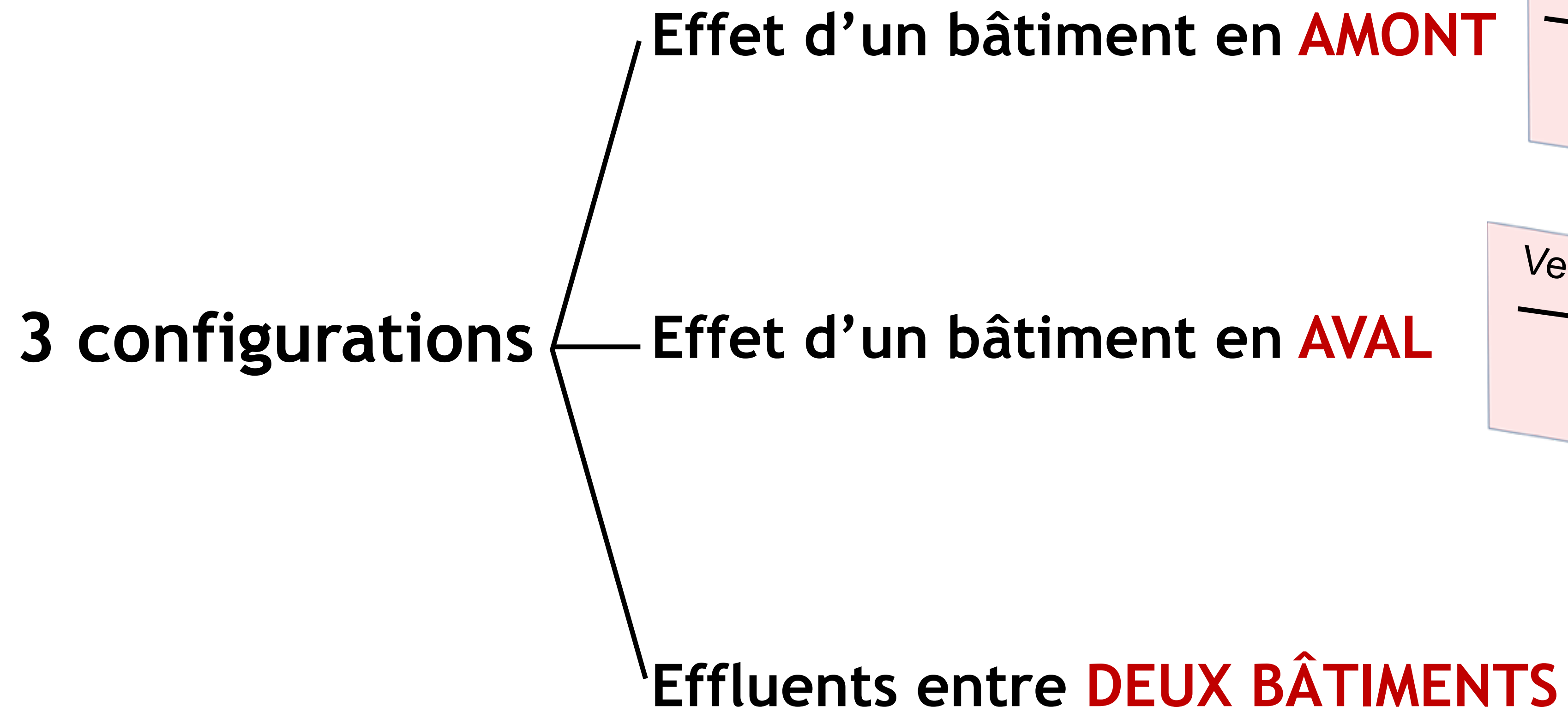
Étude paramétrique : cas étudiés en soufflerie



- Stack height (h_s) = 1, 3, 5 m
- $M = 1, 2, 3$ ($M = V_e / U_H$)
- Stack location (X_s) = 0 - 20 m
- Wind azimuth = 0°
- Receptors 5 m apart
- Spacing (S_1 or S_2) = 20 - 50 m

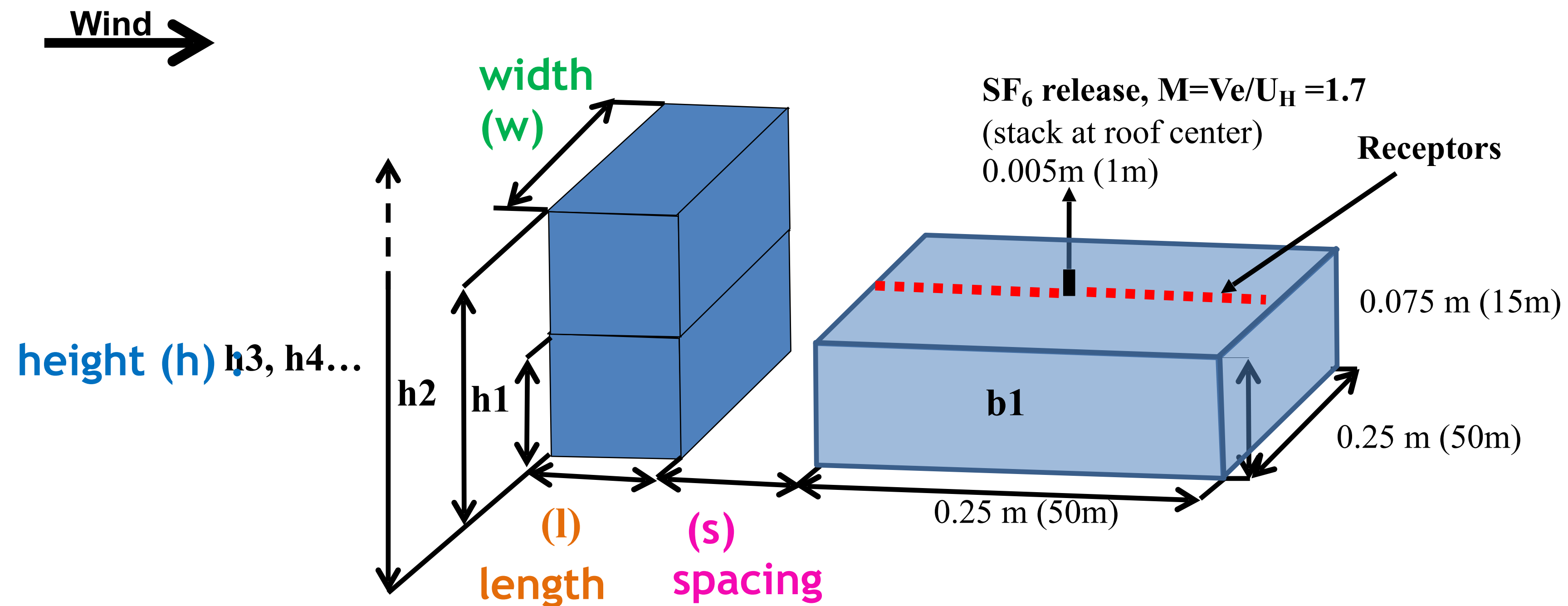
-Les données expérimentales ont servi à valider les résultats CFD

Étude paramétrique : cas étudiés avec **CFD**

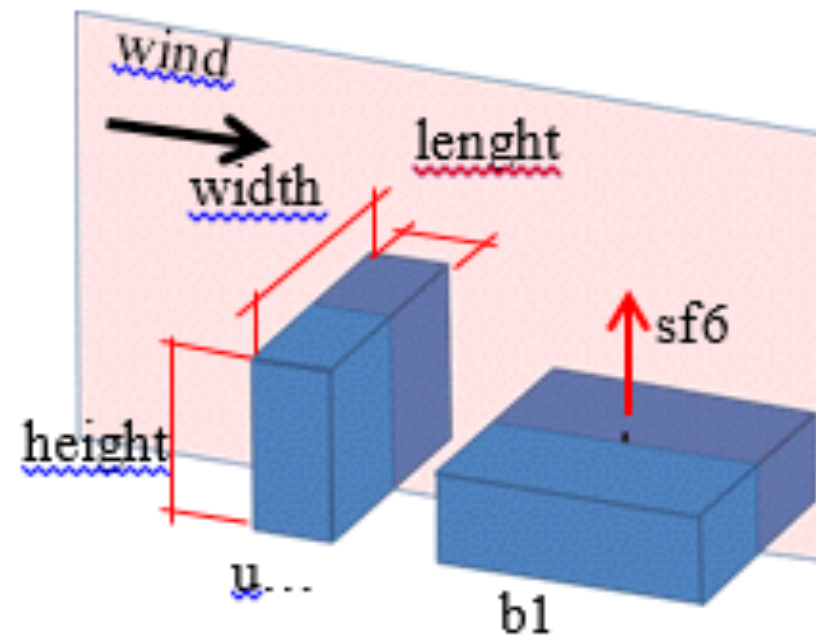


Étude paramétrique : cas étudiés avec CFD

4 parameters : height (4) , width (4), length (3) and spacing (3)

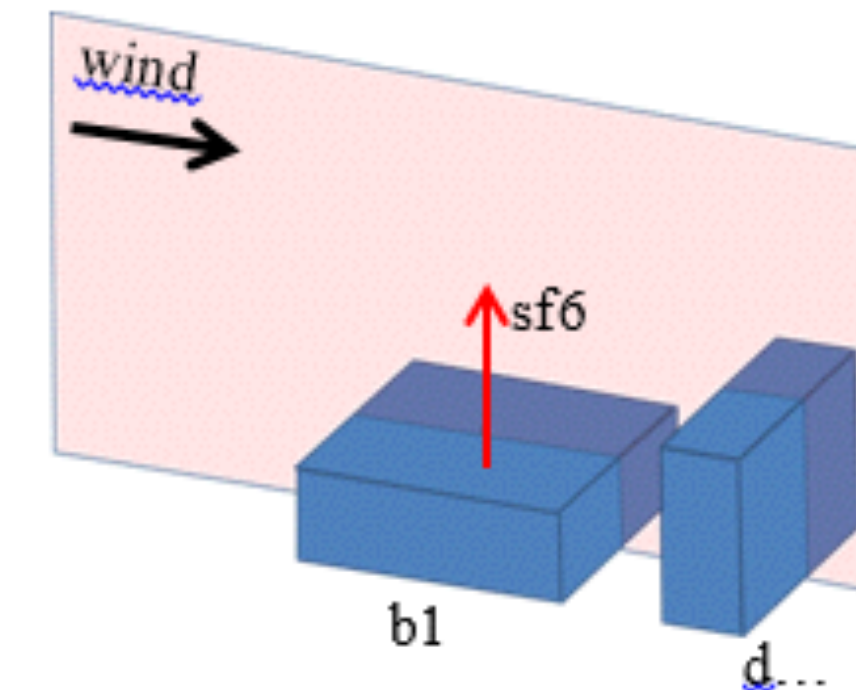


Étude paramétrique : cas étudiés avec CFD



Effect of an **UPSTREAM** building

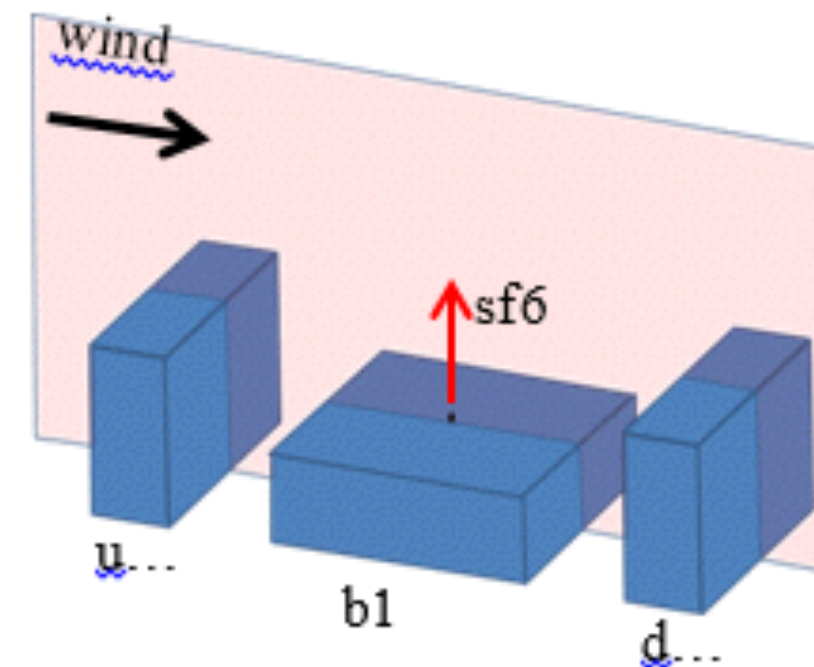
case	Height (m)	Length (m)	Width (m)
uh1	0.075	0.075	0.25
uh2	0.15	0.075	0.25
uh3	0.225	0.075	0.25
uh4	0.3	0.075	0.25
ul1	0.15	0.075	0.25
ul2	0.15	0.15	0.25
ul3	0.15	0.225	0.25
uw1	0.15	0.075	0.125
uw2	0.15	0.075	0.25
uw3	0.15	0.075	0.375
uw4	0.15	0.075	0.5



Effect of a **DOWNSTREAM** building

case	Height (m)	Length (m)	Width (m)
dh1	0.075	0.075	0.25
dh2	0.15	0.075	0.25
dh3	0.225	0.075	0.25
dh4	0.3	0.075	0.25
dl1	0.15	0.075	0.25
dl2	0.15	0.15	0.25
dl3	0.15	0.225	0.25
dw1	0.15	0.075	0.125
dw2	0.15	0.075	0.25
dw3	0.15	0.075	0.375
dw4	0.15	0.075	0.5

Étude paramétrique : cas étudiés avec CFD



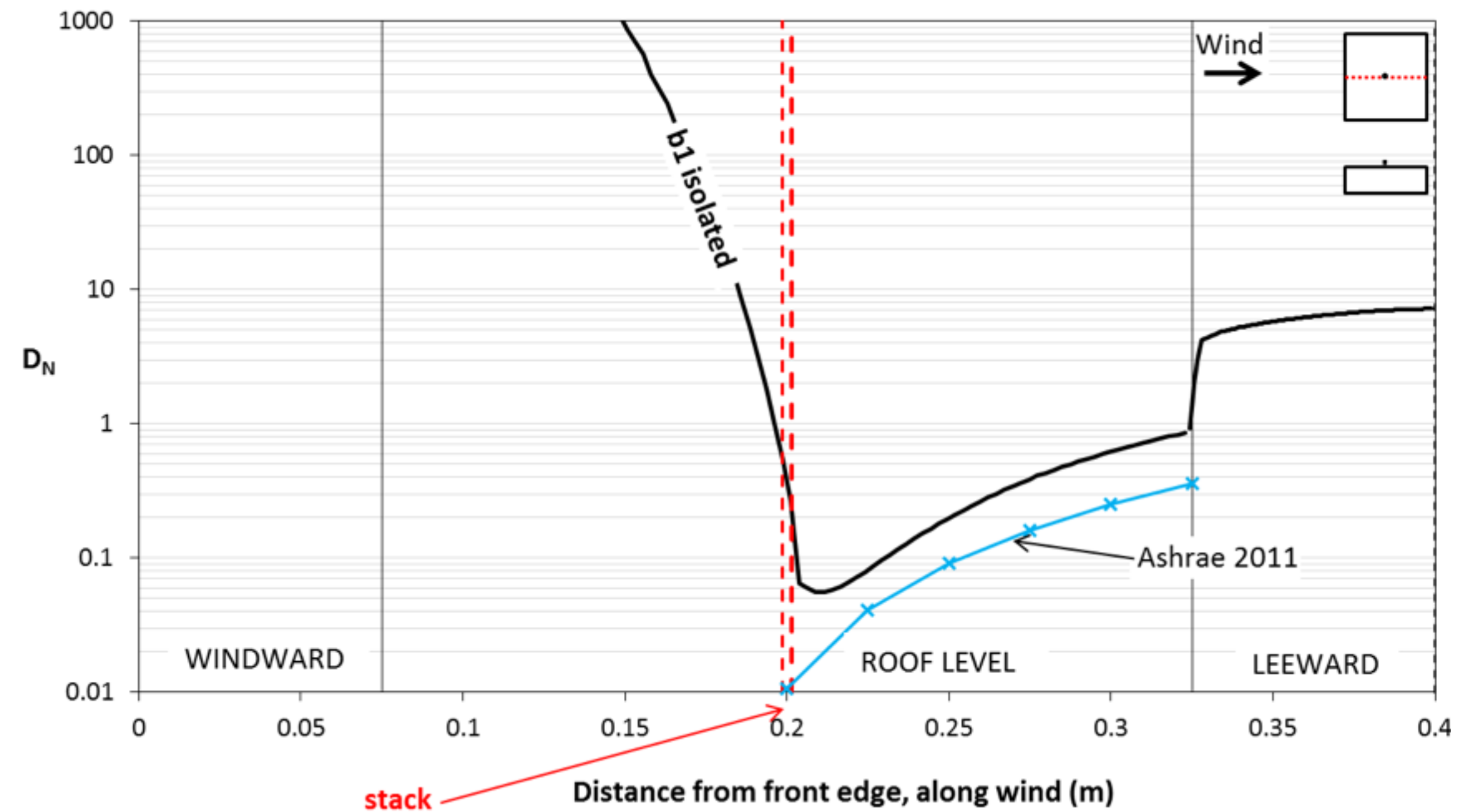
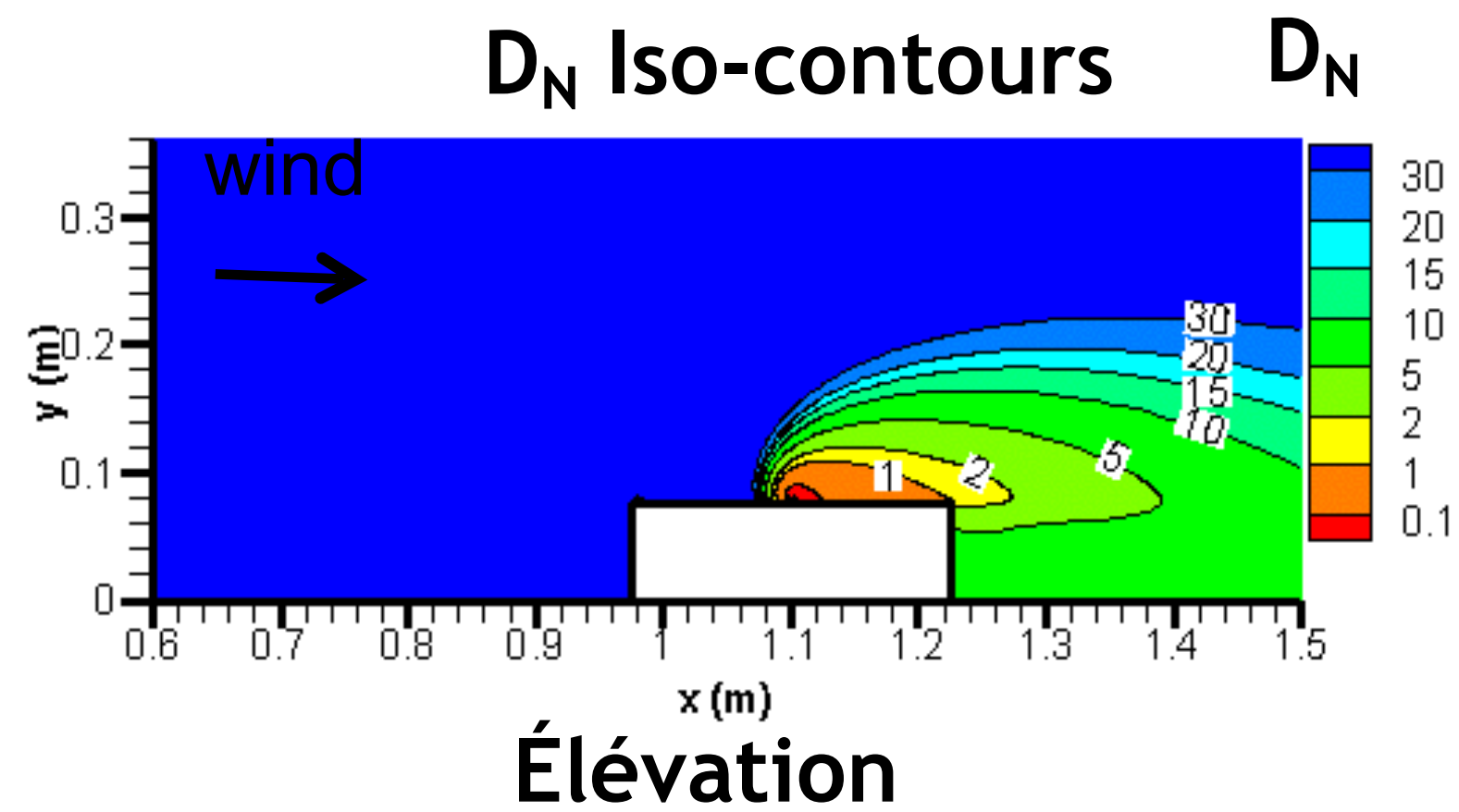
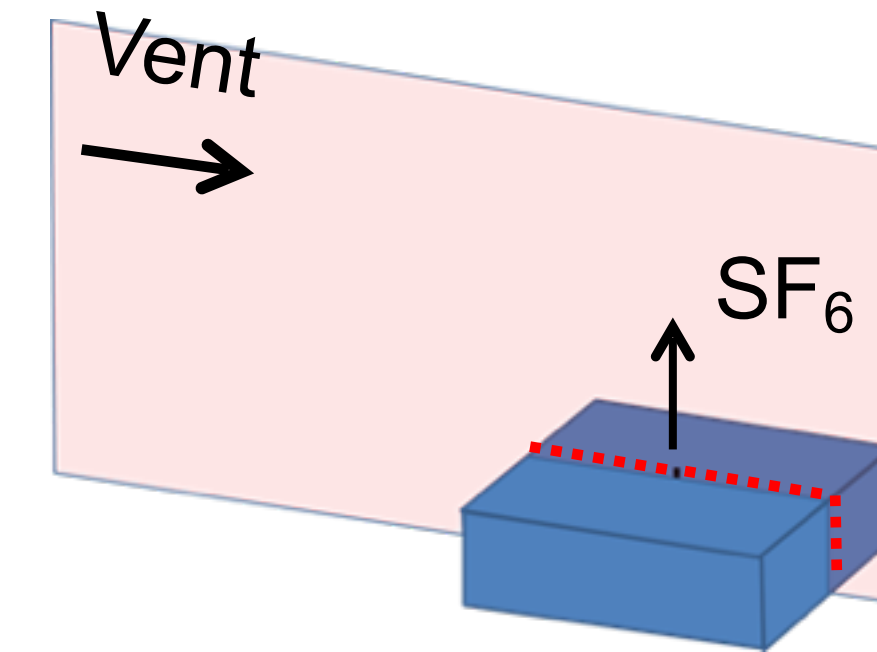
An emitting building **BETWEEN TWO** buildings

case	Height (m) of the upstream building (m)	Height (m) of the downstream building (m)	Length (m)	Width (m)
uh1dh4	uh1=0.075	dh4 = 0.3	0.075	0.25
uh2dh4	uh2=0.15	dh4 = 0.3	0.075	0.25
uh3dh4	uh3=0.225	dh4 = 0.3	0.075	0.25
uh4dh4	uh4=0.3	dh4 = 0.3	0.075	0.25
uh4dh1	uh4=0.3	dh4 = 0.075	0.075	0.25
uh4dh2	uh4=0.3	dh4 = 0.15	0.075	0.25
uh4dh3	uh4=0.3	dh4 = 0.225	0.075	0.25

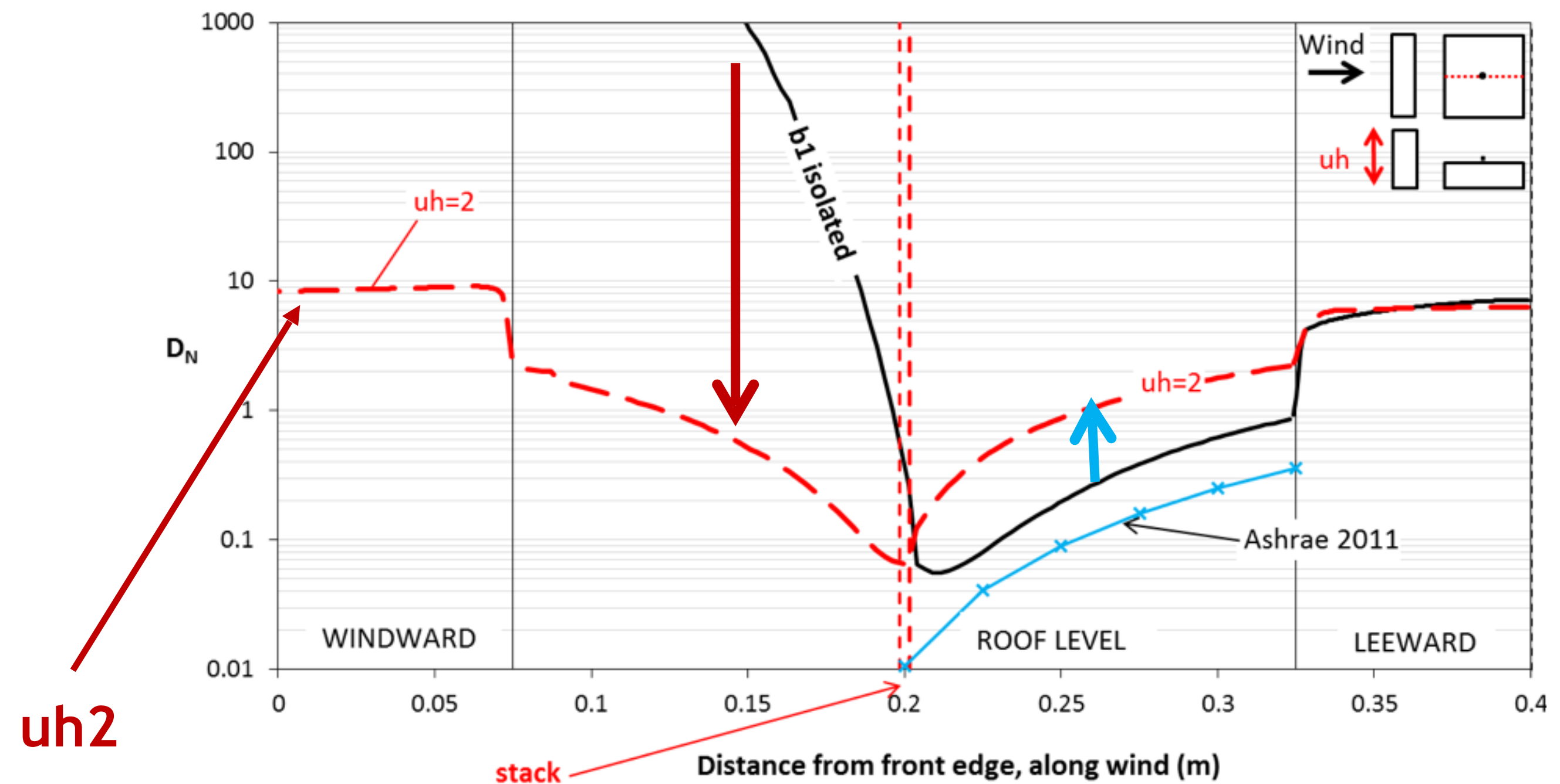
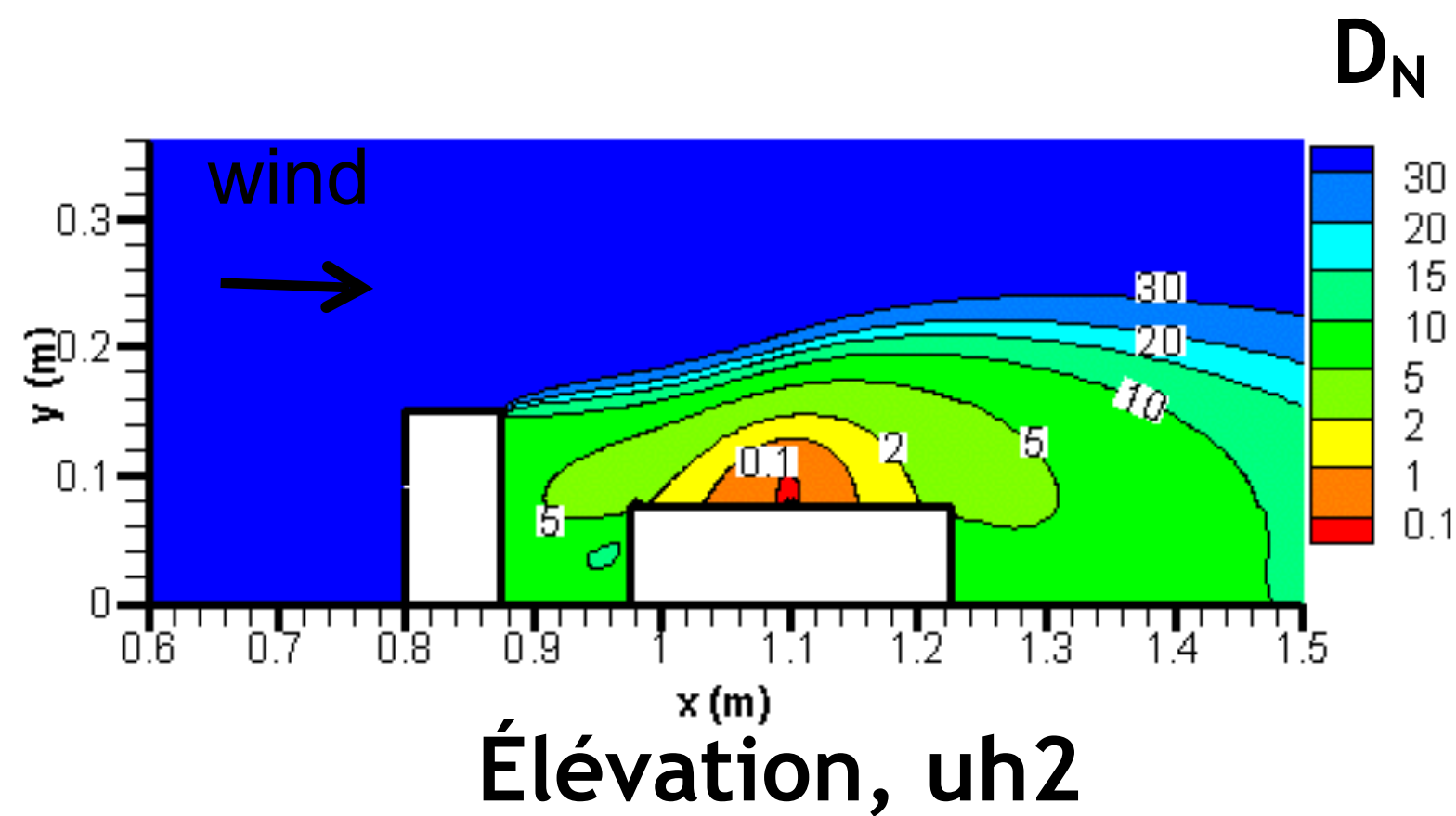
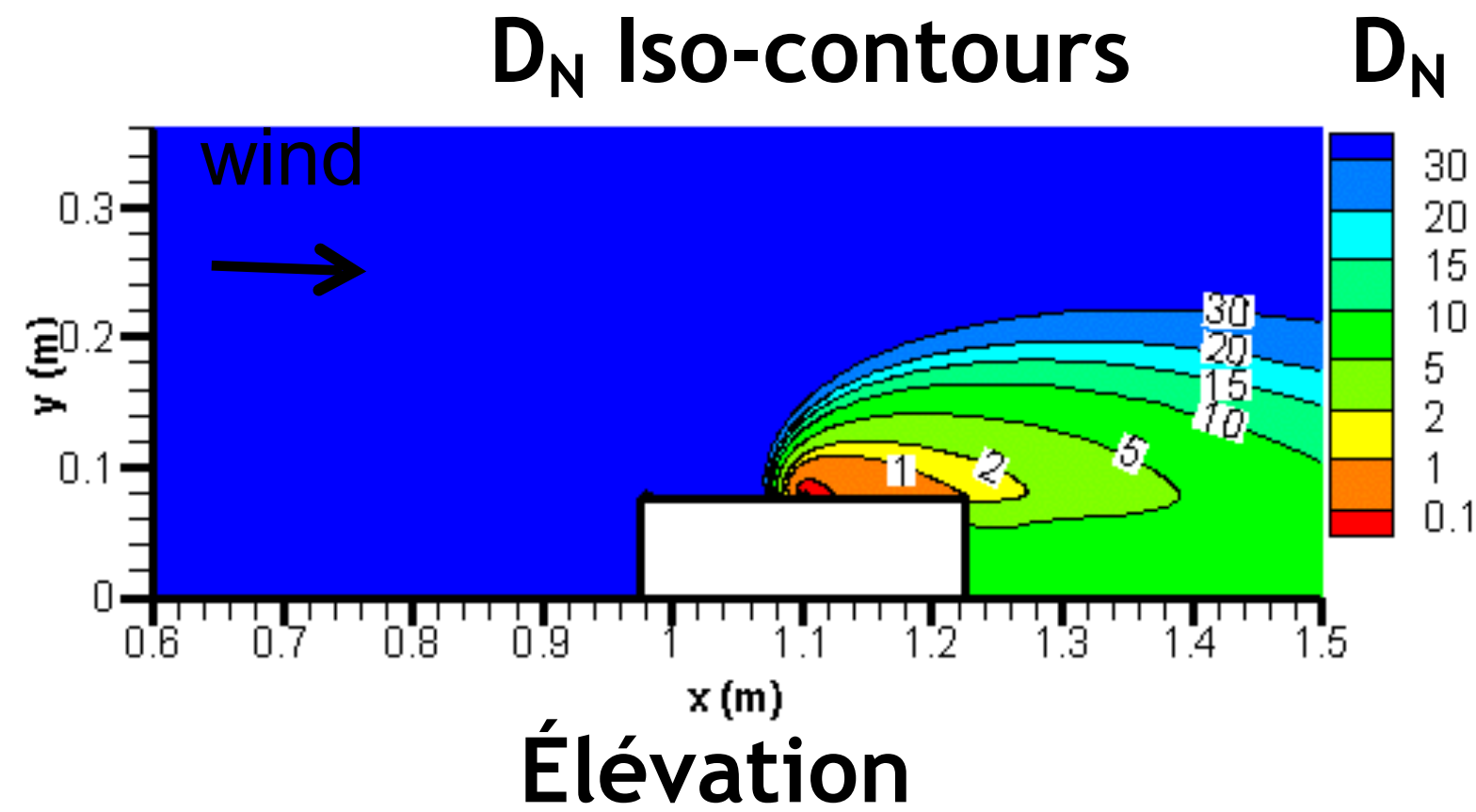
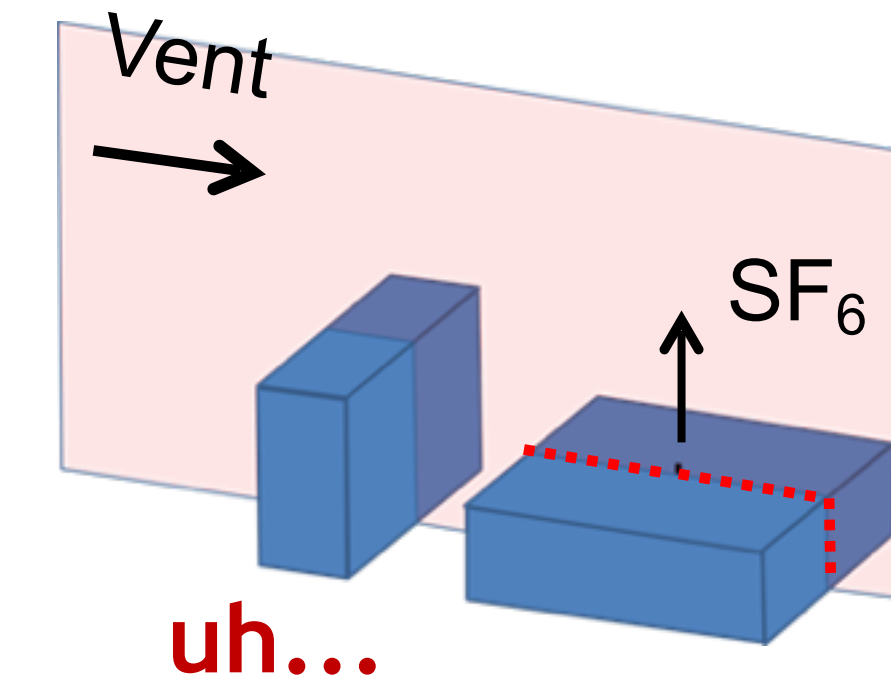
33 cas ont été simulés

Résultats des simulations CFD

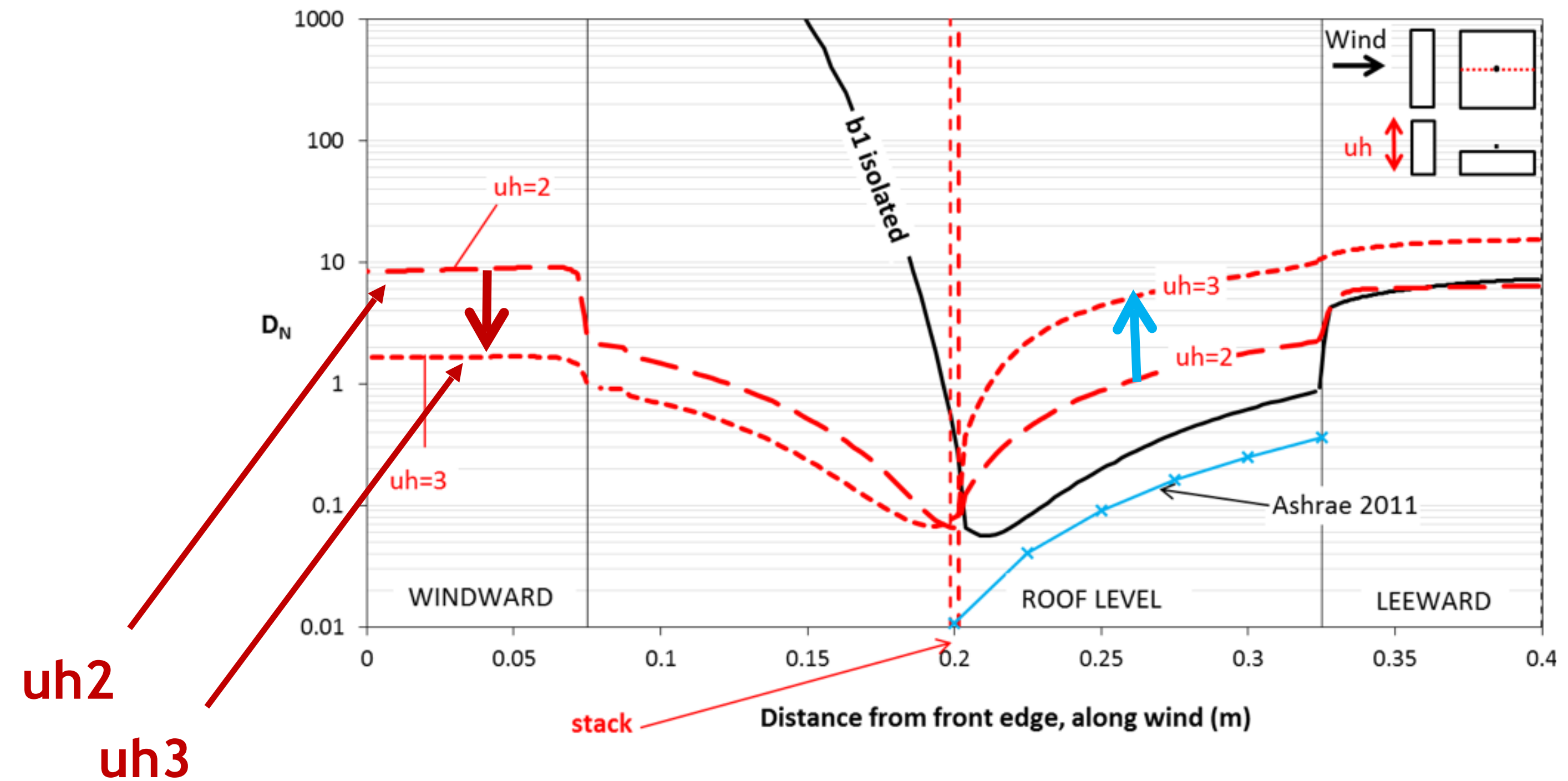
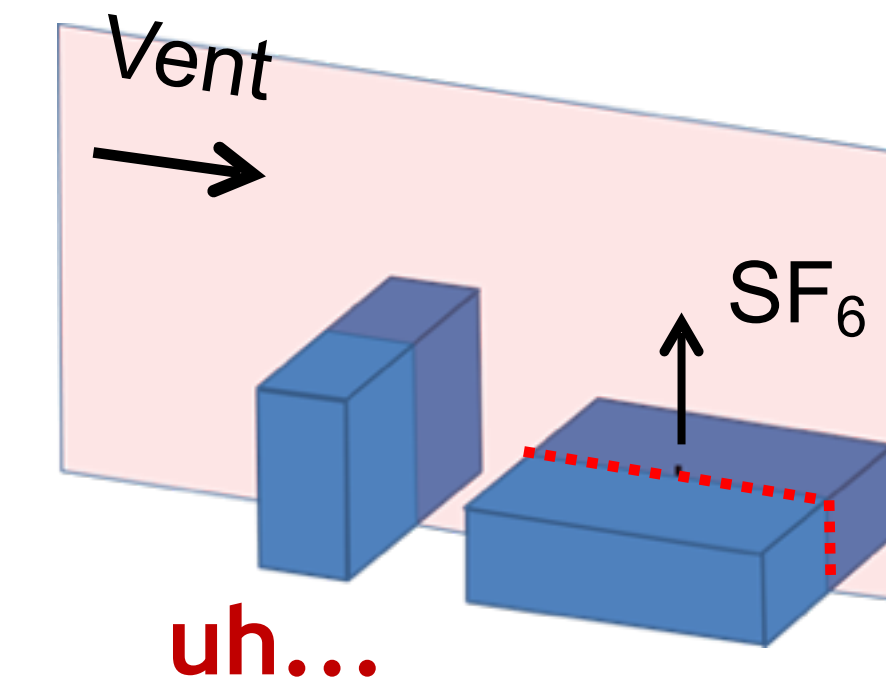
Bâtiment ISOLÉ



Effet d'un bâtiment en **AMONT**



Effet d'un bâtiment en **AMONT** (variation de la **hauteur**)

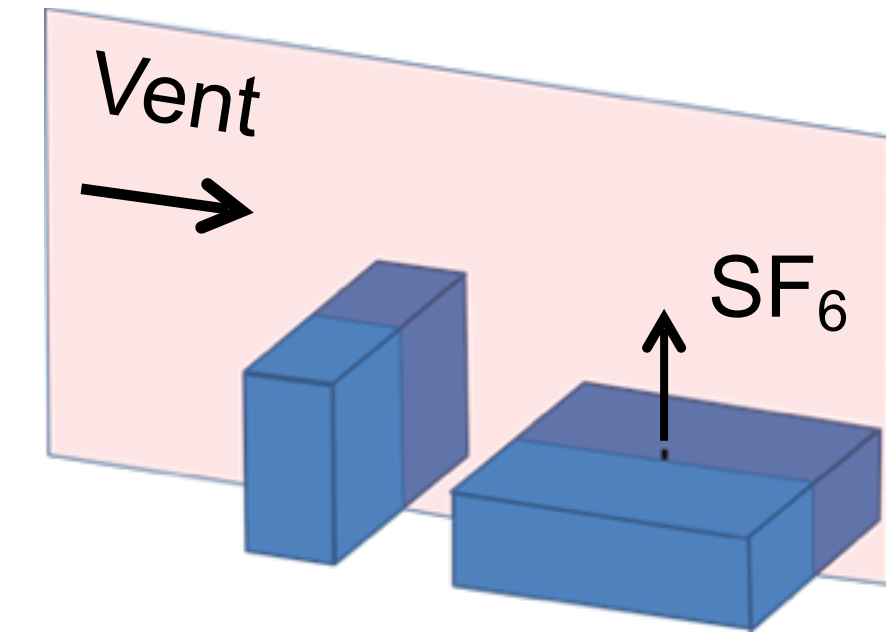


A diagram illustrating a Venturi effect experiment. A horizontal tube with a narrowing section is shown. A pink shaded region represents the gas flow, with an arrow labeled "Vent" pointing to the right. Two blue rectangular blocks are placed in the tube. The block in the narrower section is labeled "SF₆" with an upward arrow, indicating a pressure or density measurement. A red dashed line outlines the block in the wider section. The text "uh..." is written in red at the bottom left.

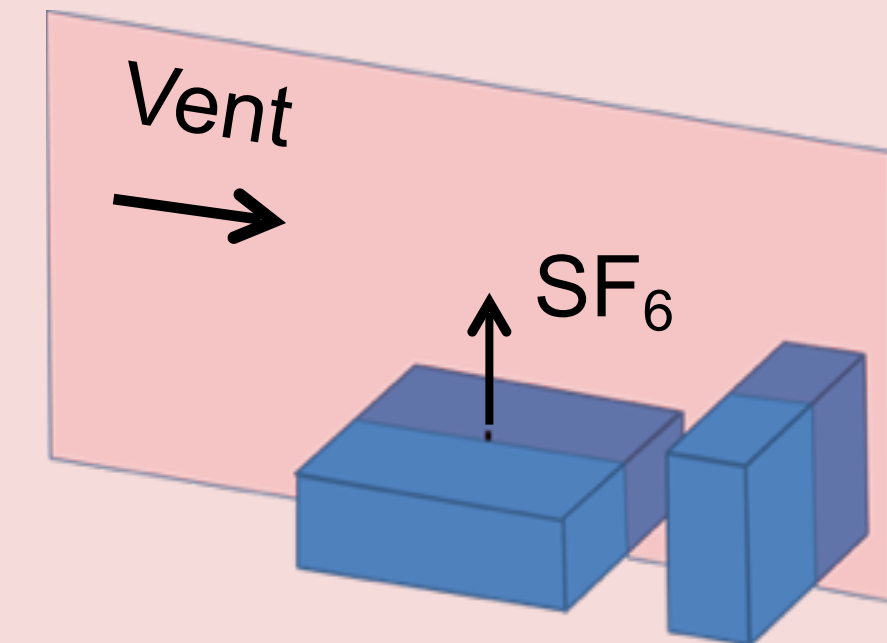


3 configurations

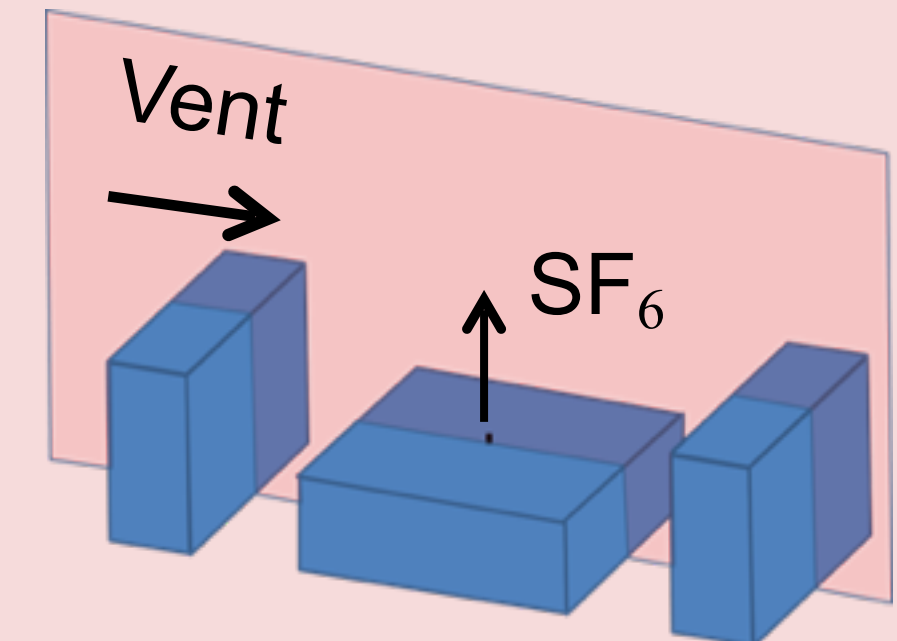
Effet d'un bâtiment en **AMONT**



Effet d'un bâtiment en **AVAL**



Effluents entre **DEUX BÂTIMENTS**



Dans le rapport

Interprétation du champ de dilution sous forme de graphique (exemple 1)

Emplacement sécuritaire des prises d'air évitant
la réingestion de contaminants

ACCEPTABILITÉ : dilution minimale **3 000/1**

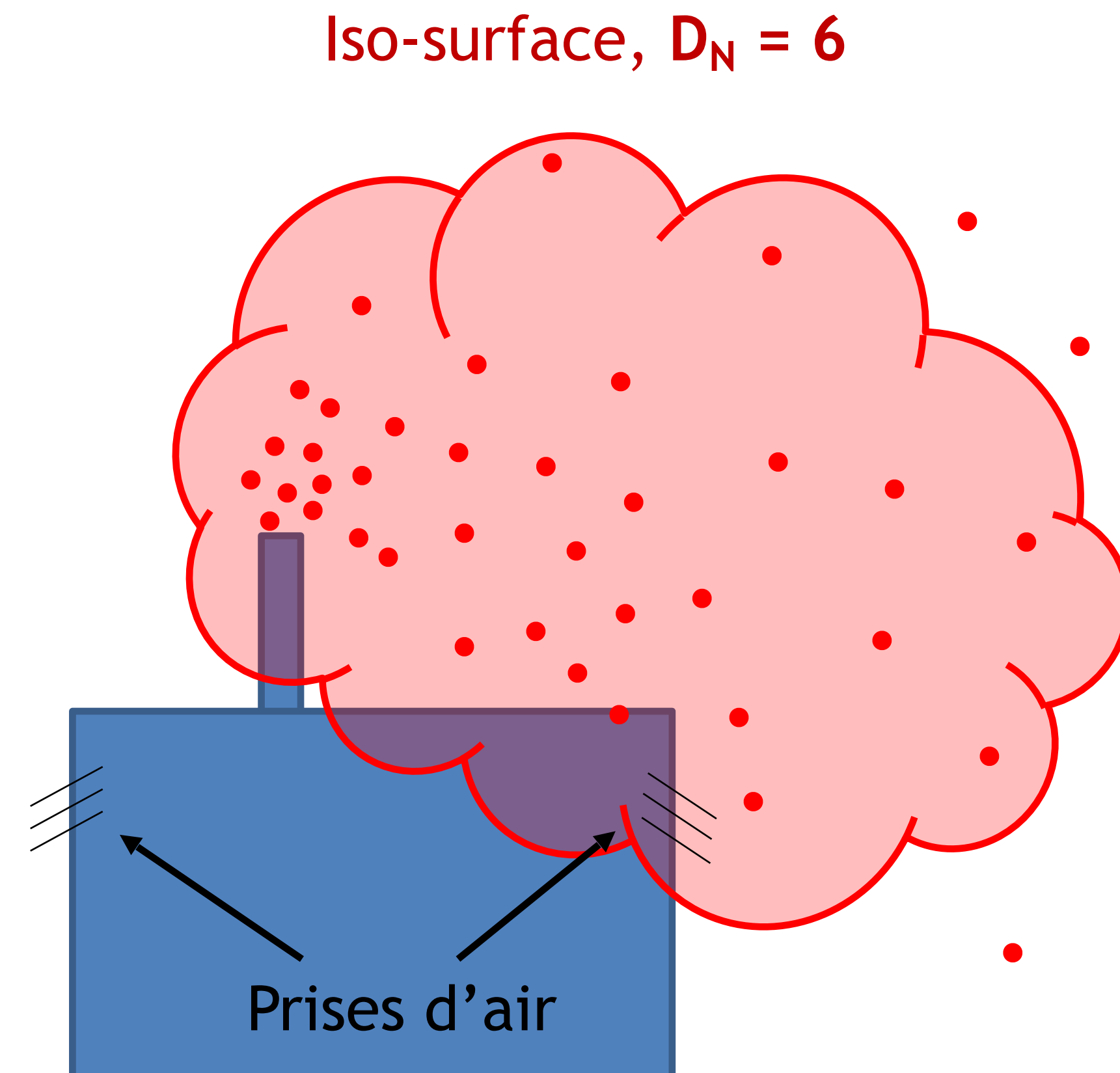
(pour éviter des odeurs et des problèmes de santé pour un vaste groupe de contaminants
(Wong and Ratcliff (2003))

$$D_r = \frac{C_e}{C_r} = \frac{3000}{1} \rightarrow \boxed{D_N = 6}$$

$D_N < 6$
ZONE CONTAMINÉE

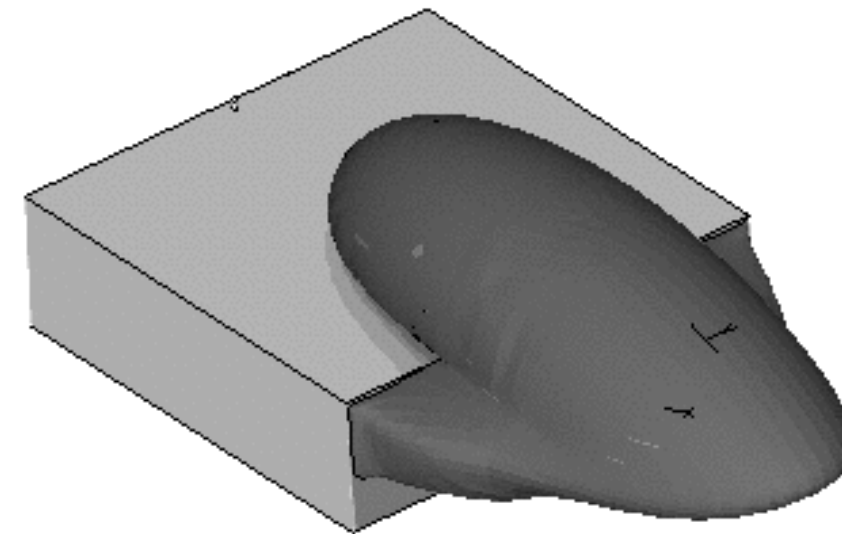
$D_N \geq 6$
ZONE PROPRE

vent →

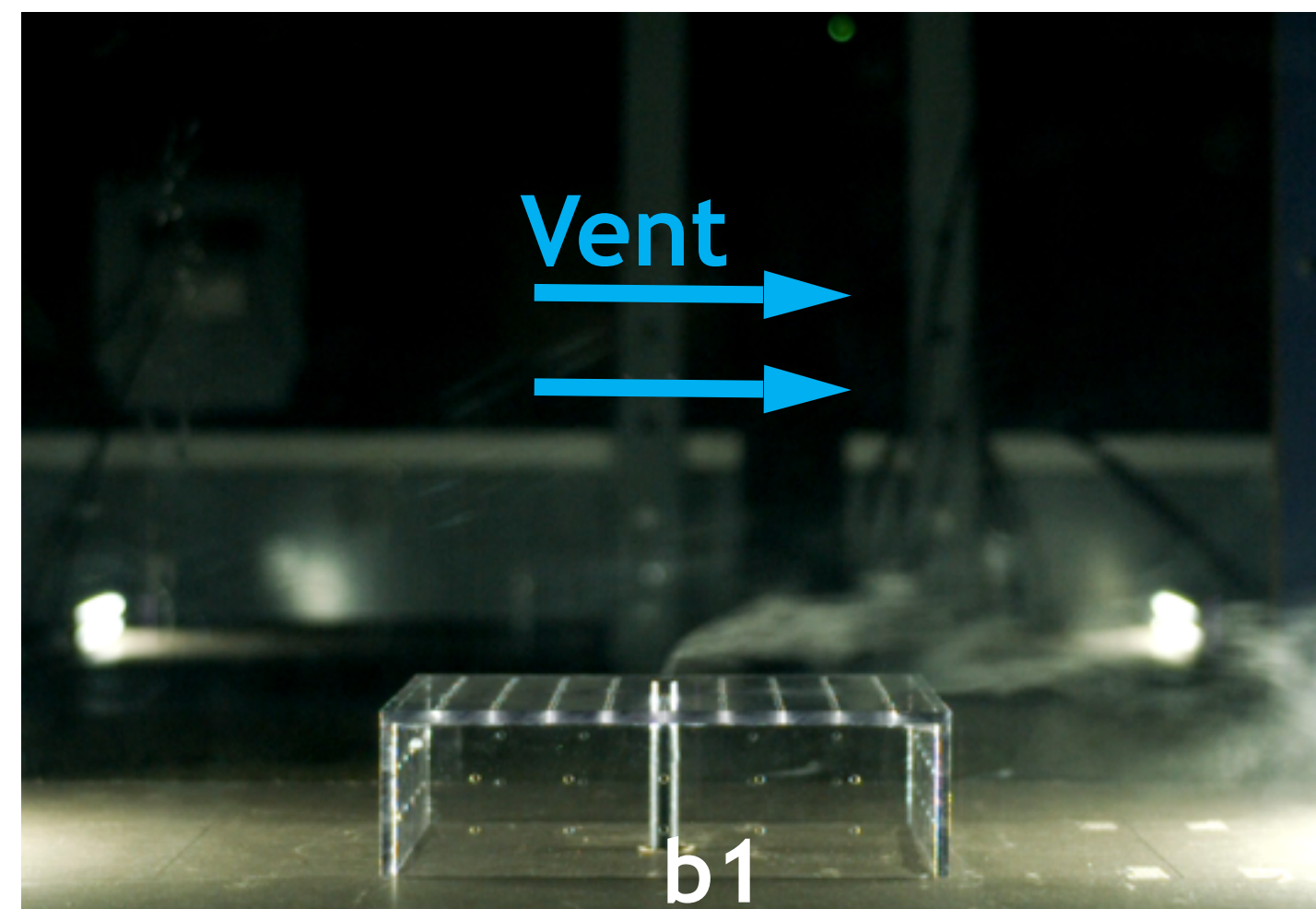


Bâtiment **ISOLÉ**

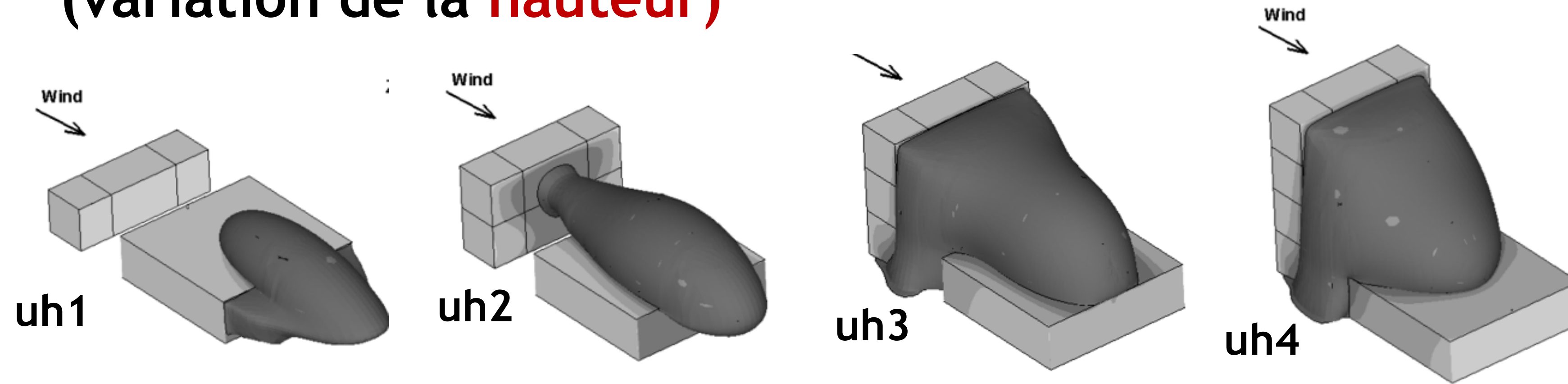
Wind
↙



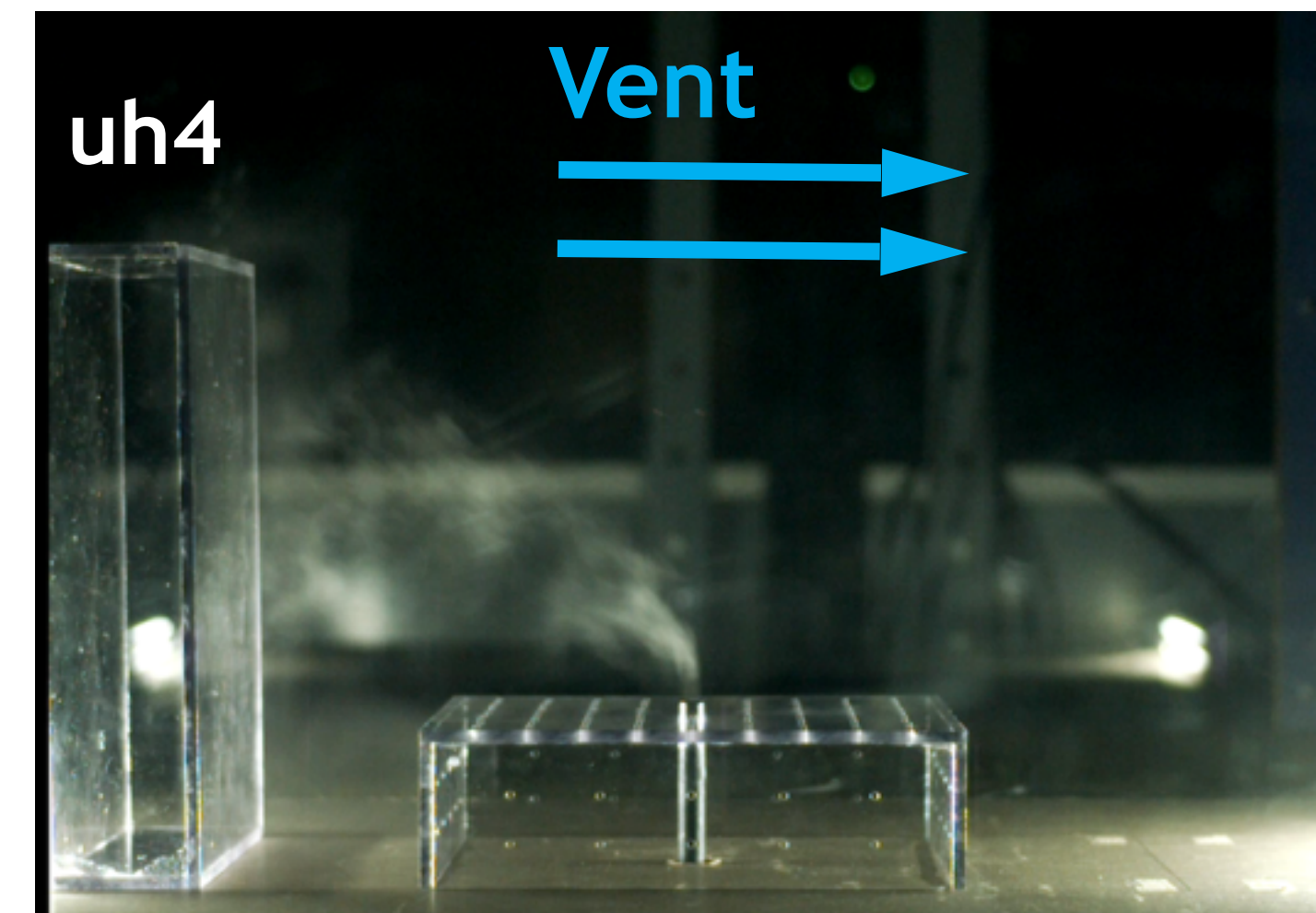
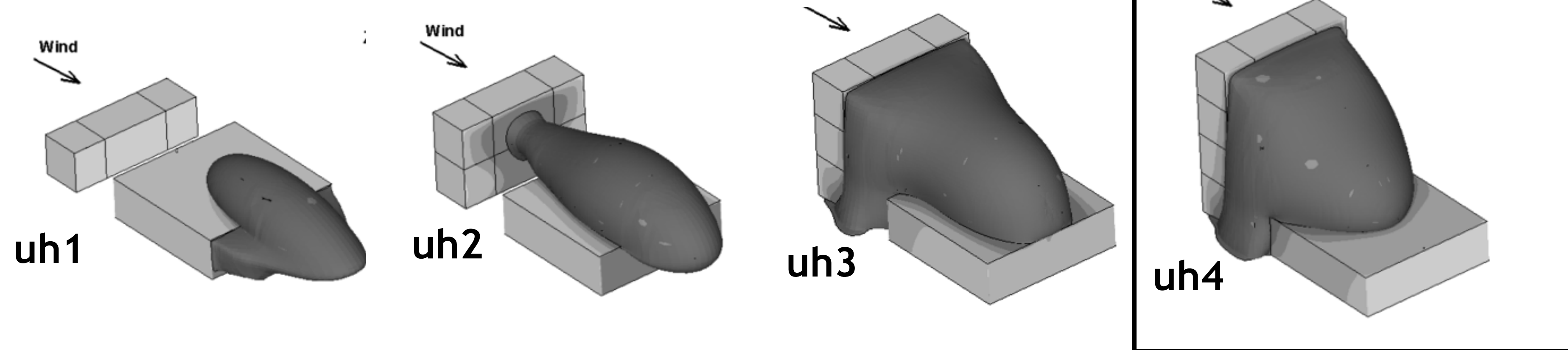
Iso-surface $D_N = 6$
(zone **contaminée**)



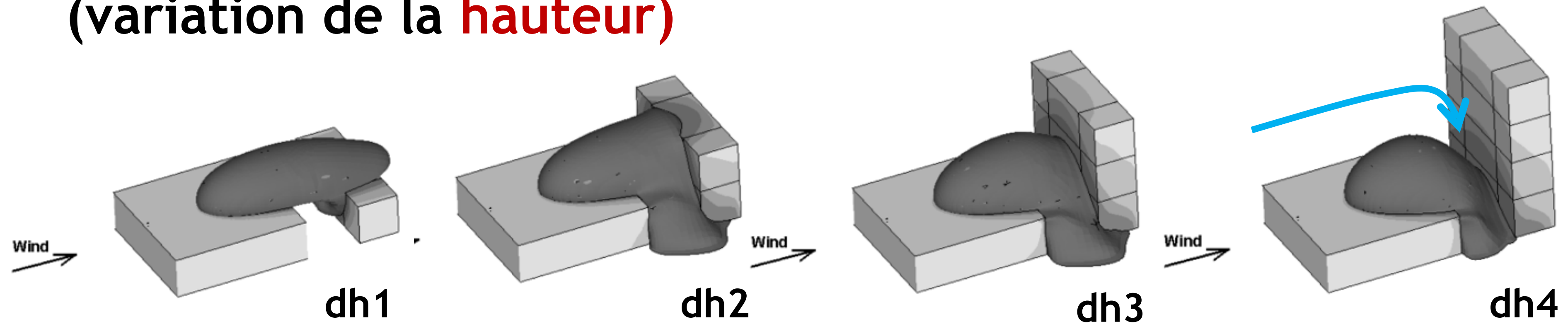
Effet d'un bâtiment en **AMONT** (variation de la **hauteur**)



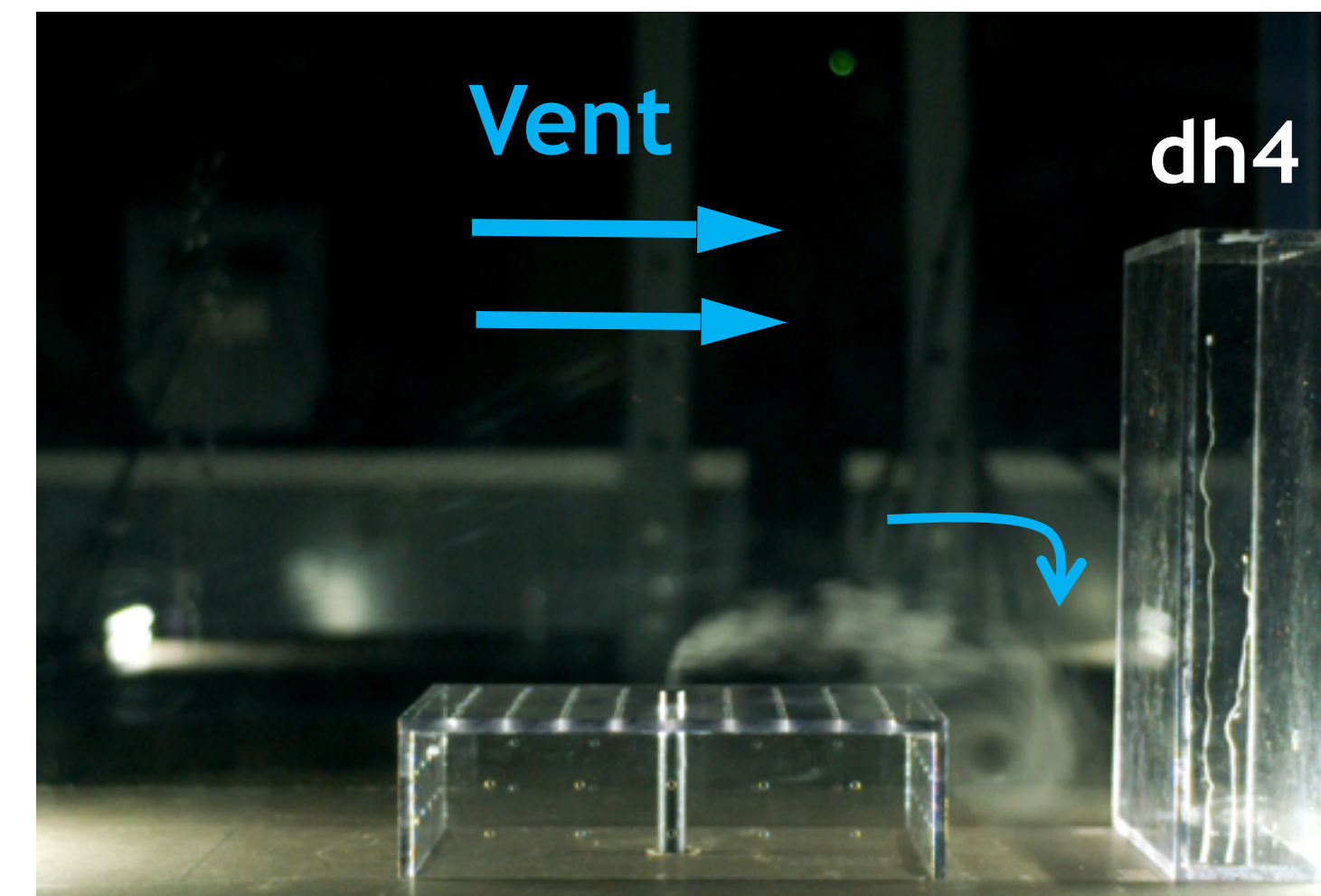
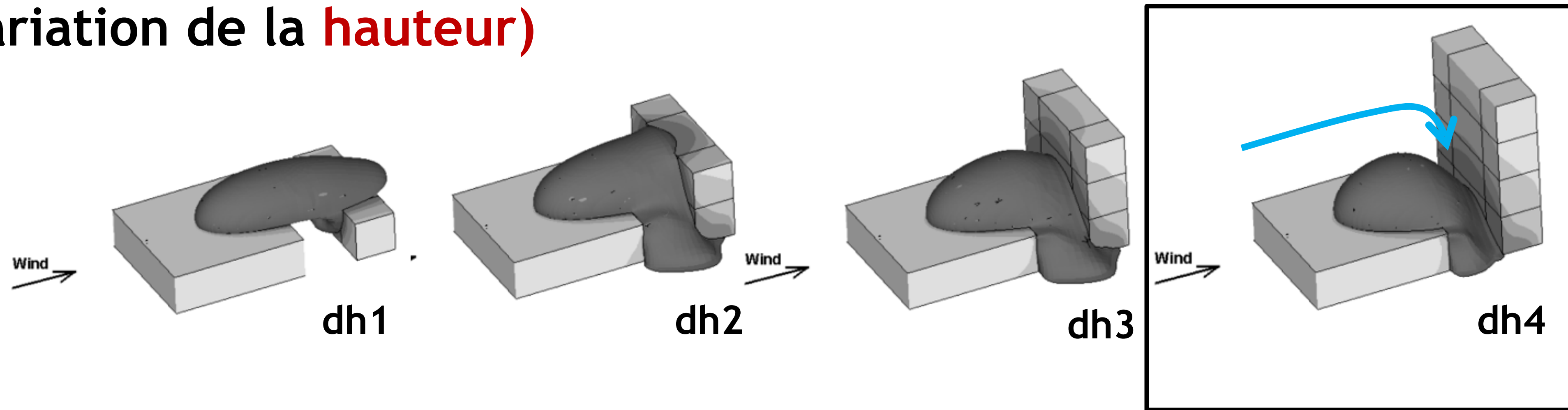
Effet d'un bâtiment en **AMONT** (variation de la **hauteur**)

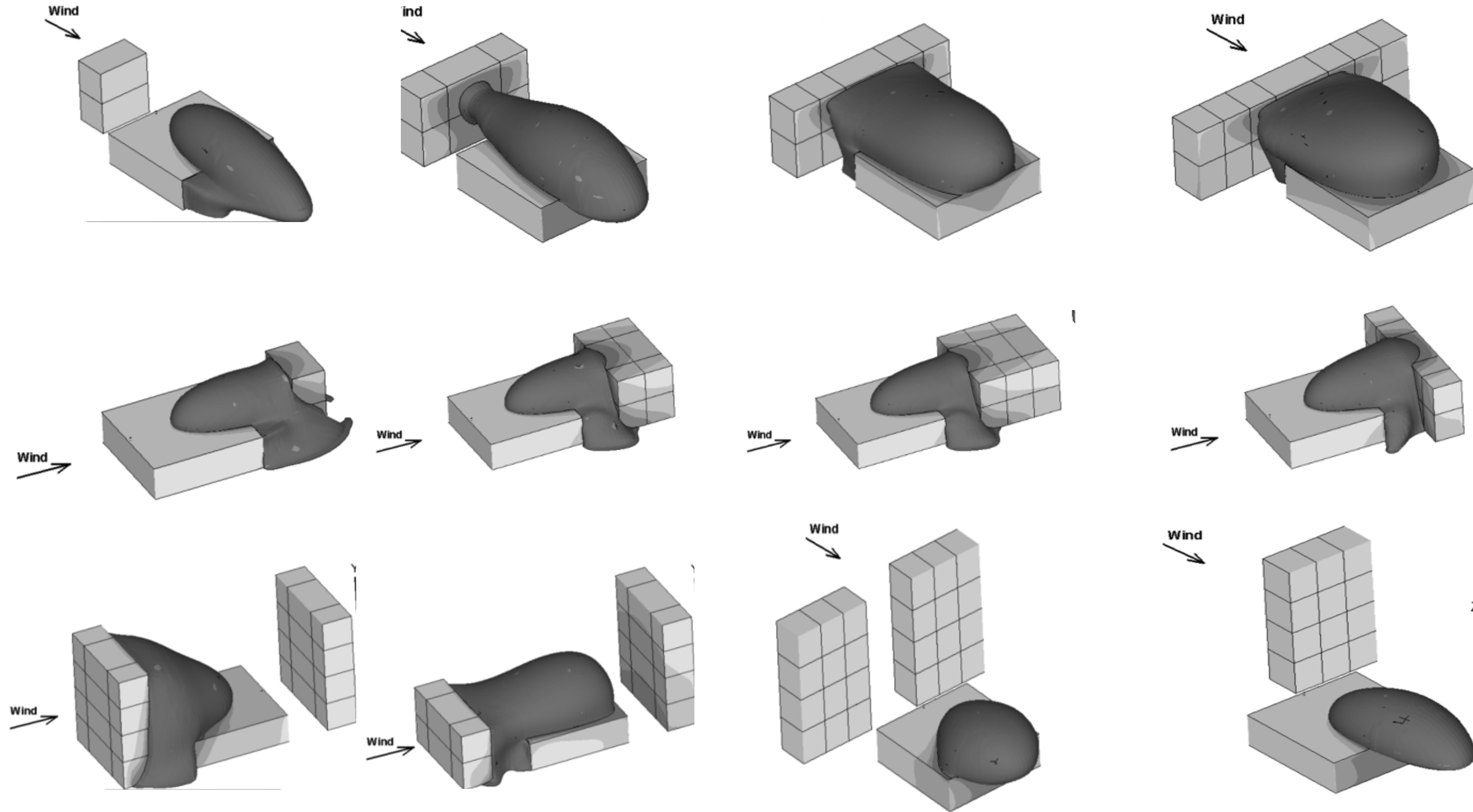


Effet d'un bâtiment en **AVAL** (variation de la **hauteur**)



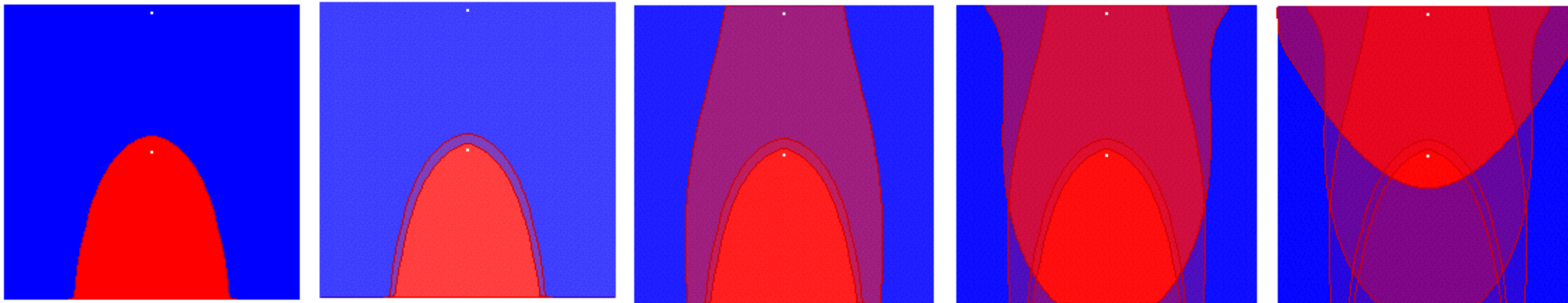
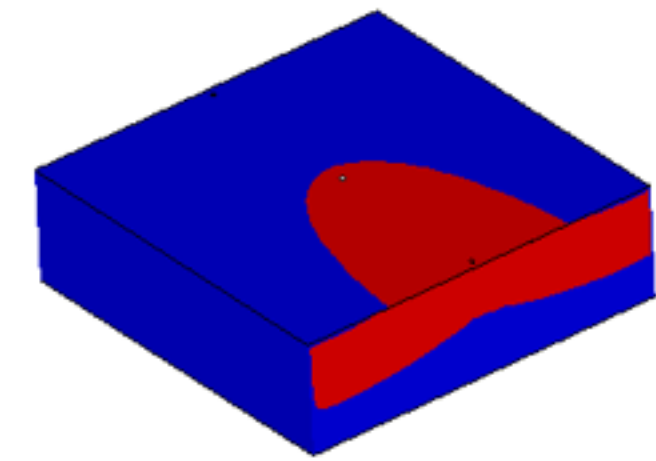
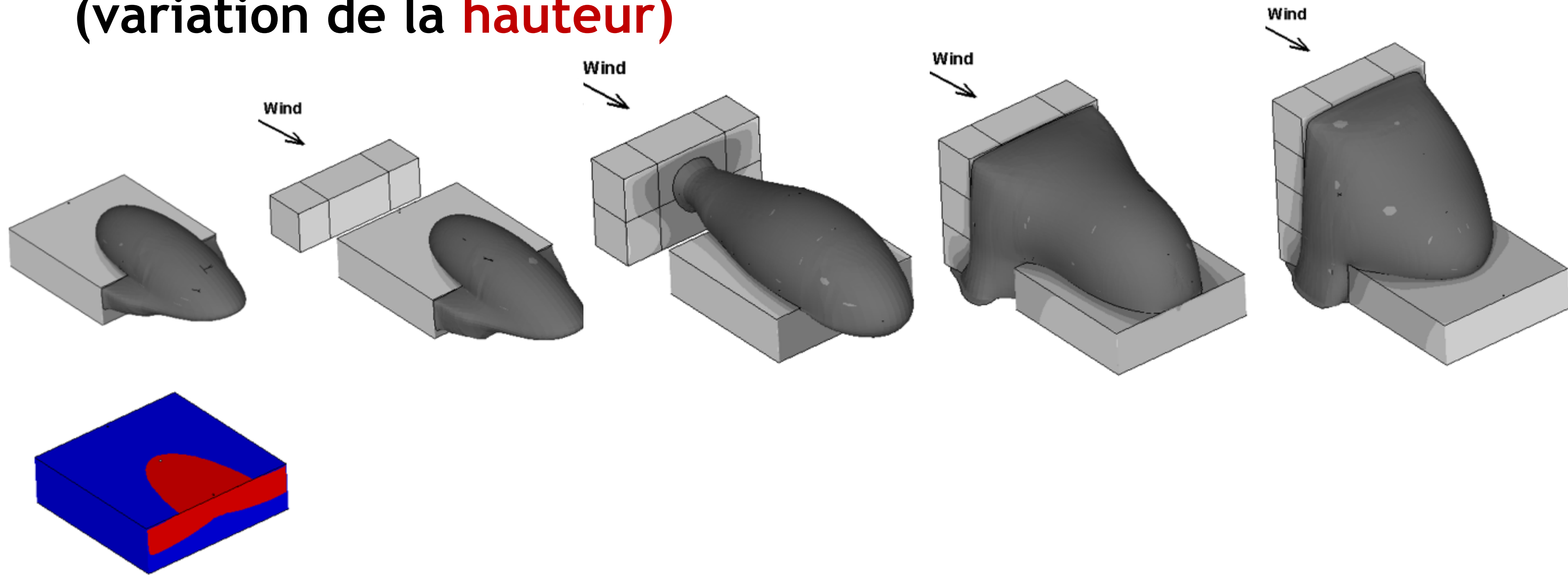
Effet d'un bâtiment en **AVAL** (variation de la **hauteur**)





Interprétation du champ de dilution sous forme de graphique (exemple 2)

Effet d'un bâtiment en **AMONT** (variation de la **hauteur**)



Résumé et conclusion

1. Vaste collection de données expérimentales de **modélisation en soufflerie** (R-848)
2. Mise en place d'un outil de simulation **numérique (CFD)** (R-849)
3. Étude **paramétrique** de dispersion en milieu urbain
4. **Interprétation graphique** des résultats pour l'emplacement de prises d'air propre **évitant la réingestion** de contaminants
5. Développement d'une **méthode hybride** (expérimentale et numérique) pour aborder les problèmes de qualité de l'air

Merci!

Vent

