



## L'AIR INTÉRIEUR : DÉPRESSION, SURPRESSION OU ÉQUILIBRE ?

1<sup>ère</sup> Université d'été AICVF | 11/07/2018

Ophélie OUVRIER-BONNAZ - CEA

Xavier FAURE – CEA

François DEMOUGE – CSTB

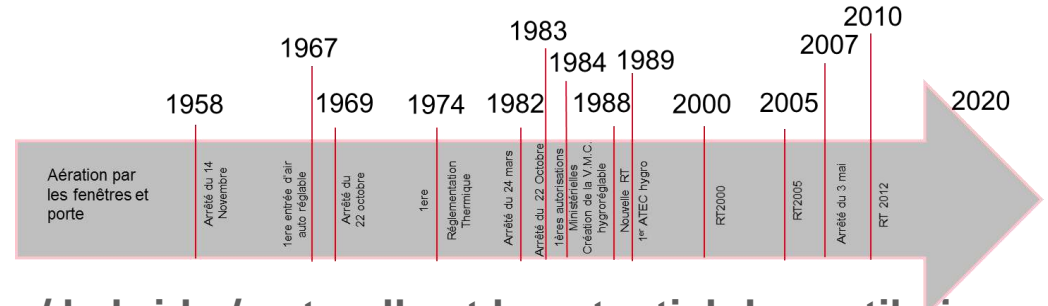
Mickael PAILHA – USMB

Luc BERTOLOTTI - Doctorant



- Evolution des bâtiments

Les systèmes de la ventilation, équipements au cœur de la régulation des ambiances intérieures énergétique et QAI.



- Offre variée

La diversité des systèmes, mécanique / hybride / naturelle et le potentiel de ventilation d'origine naturelle de plus en plus plébiscités par les maitres d'ouvrage.



Villavenir, Saint-Herblain



Parc Delzieux, Saint-Nazaire  
©Willy Berré

- Enjeux de la Qualité de l'air

Emergence des capteurs bas couts (CO2, COV, particule...) et de la volonté des acteurs de développer des stratégies de régulation orientées QAI.

- **Enjeux**

Enjeu (graal) : Résilience des systèmes de ventilation

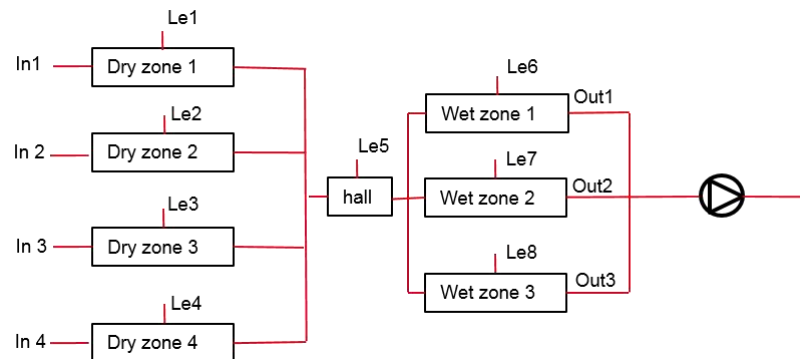
Enjeu : Identification des niveaux de modélisation requis ( finesse modèle/pas de temps) suivant les besoins : évaluation, dimensionnement/étude, recherche pour les différents systèmes,

**Dans la myriade des sources de défauts (installation, usage (comportement occupant/activités), dimensionnement => on s'intéresse à l'étude des CL**

- **Objectif**

- Etude de la variabilité des conditions limites

- Turbulence du vent et fluctuations de pression engendrées à l'intérieur du bâti en fonction de la perméabilité de l'enveloppe et des dynamiques de diffusion hydrique associée, des temps de réponse des organes de régulation et des sources de polluants internes.

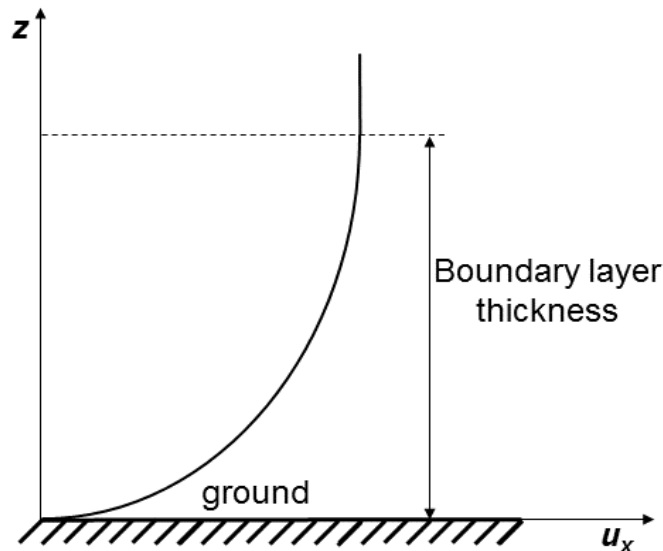


- **Est-ce que les turbulences doivent-être intégrées dans le dimensionnement en ingénierie ?**

# 1 - DÉFINITION DES LONGUEURS MINIMALES DES BÂTIMENTS POUR OBSERVER DES EFFETS DE LA DÉ-CORRÉLATION DE LA TURBULENCE PAR TYPOLOGIE DE VENT

## • Météorologie

- La Couche limite atmosphérique (CLA) est la partie la plus basse de l'atmosphère qui contient l'air (vent fluctuant en fonction du temps et de l'espace)
- Le Vent est donc le résultat des forces de pression des masses d'air mises en mouvement par le réchauffement inégal du sol, de la force de Coriolis, des contraintes de cisaillement du terrain, etc.

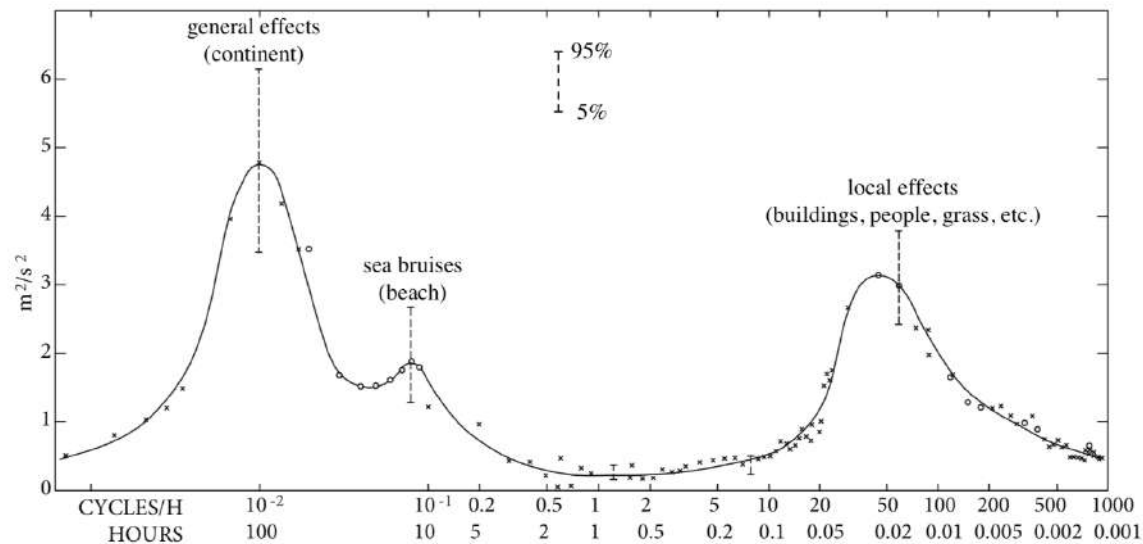


Allure du profil de vitesse moyenne du vent proche du sol

# 1 - DÉFINITION DES LONGUEURS MINIMALES DES BÂTIMENTS POUR OBSERVER DES EFFETS DE LA DÉ-CORRÉLATION DE LA TURBULENCE PAR TYPOLOGIE DE VENT

## • Echelles spatiales et temporelles

- Les échelles du vent varient de la turbulence micro-échelle (qq mètres, durée de vie de l'ordre de la seconde) à la macro-échelle avec des systèmes météo locaux (brise marine, etc) et rafales planétaires (voyageant autour du globe, durée de vie de plusieurs jours)
- Les spectres d'énergie turbulente du vent indiquent les fréquences des échelles de vent pertinentes



Spectre d'énergie de Van der Hoven (1957)

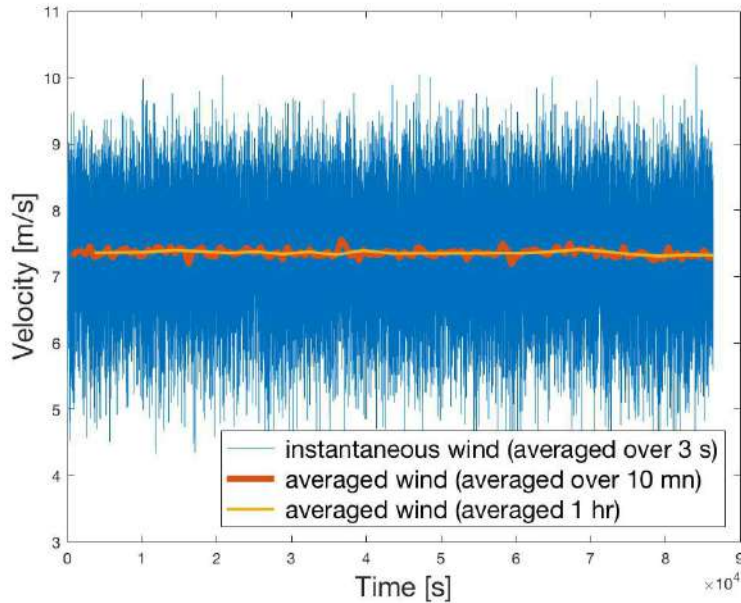
# 1 - DÉFINITION DES LONGUEURS MINIMALES DES BÂTIMENTS POUR OBSERVER DES EFFETS DE LA DÉ-CORRÉLATION DE LA TURBULENCE PAR TYPOLOGIE DE VENT

## • Définition du terrain

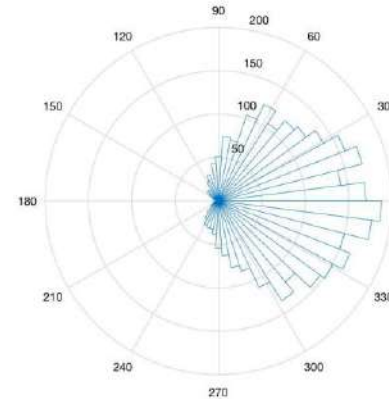
- Le profil moyen de vitesse du vent dépend directement de la rugosité du terrain. On notera alors  **$z_0$  la longueur de rugosité** du terrain. L'Eurocode 1 (EN-1991) classe les terrains selon 5 grandes catégories avec une longueur de rugosité associée :

Terrain category	Terrain description	$z_0$ (m)	$z_{min}$
0	Sea or coastal area exposed to the open sea	0.003	1
I	Lakes or flat and horizontal area with negligible vegetation and without obstacles	0.01	1
II	Area with low vegetation such as grass and isolated obstacles (trees, buildings) with separation of at least 20 obstacle-heights	0.05	2
III	Area with regular cover of vegetation or buildings or with isolated obstacles with separation of maximum 20 obstacle-heights (such as villages, suburban terrain, permanent forest)	0.3	5
IV	Area in which at least 15% of the surface is covered with buildings and their average height exceeds 15 m	1	10

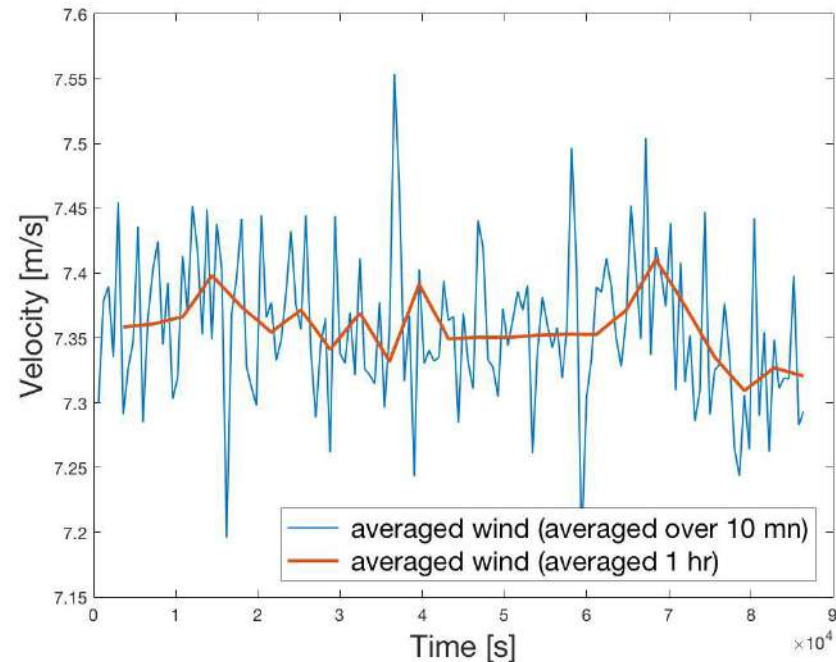
# 1 - DÉFINITION DES LONGUEURS MINIMALES DES BÂTIMENTS POUR OBSERVER DES EFFETS DE LA DÉ-CORRÉLATION DE LA TURBULENCE PAR TYPOLOGIE DE VENT



Fichiers météo instantané / moyenné sur 10 min / sur 1h



Reconstitution rose des vents pour étude



Fichiers météo moyenné sur 10 min / sur 1h

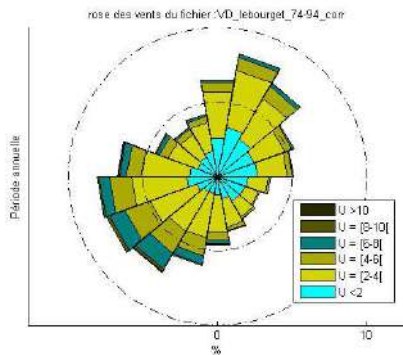
- **Objectifs essais**

- Valider l'approche nodale avec pas de temps plus faible que les approches moyennes avec les différents systèmes d'entrées/sorties d'air
- Enrichir base de données

- **Moyens**

- Soufflerie CSTB Nantes

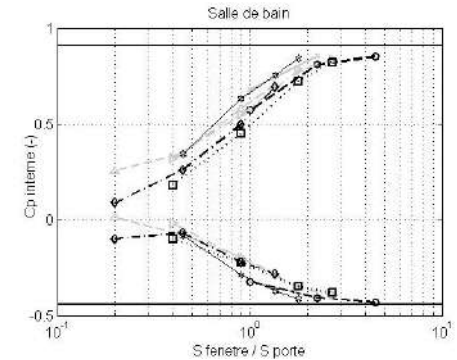
- **Principe des essais**



Rose des vents appliquée



Exemple de maquette



Exemple de résultat



## 4 – QUANTIFIER L'IMPACT DE LA TURBULENCE SUR LES SYSTÈMES DE VENTILATION MÉCANIQUE, NATURELLE ET HYBRIDE

- Objectif

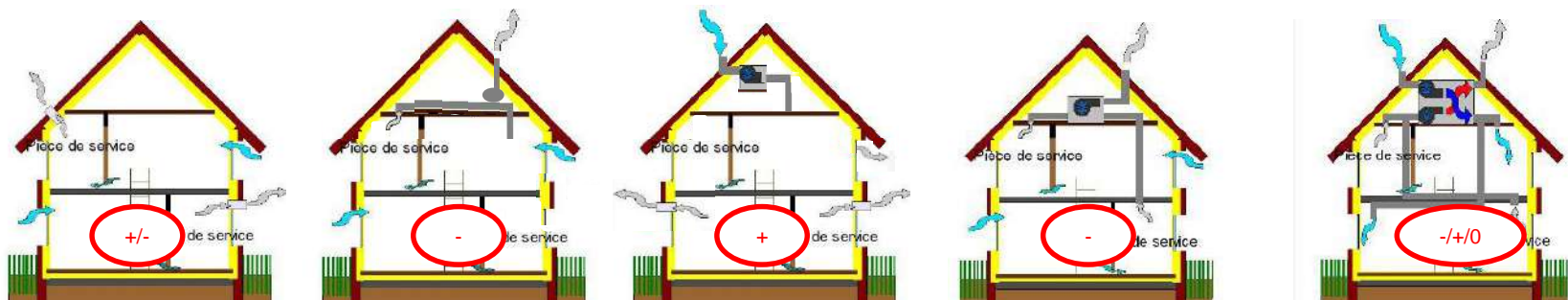
Etude en simulation pour évaluer l'influence des paramètres en limite, i.e. la turbulence sur le coefficient de pression au niveau des orifices d'entrées/sortie et proposer une approche instationnaire de la turbulence. Pour intégrer si besoin une meilleure prise en compte des effets du vent dans le dimensionnement des systèmes.

- Critères

- Energétique – kWh
- QAI – kppm.h
- Pérennité bâti - teneur en eau (hr)

- Diversité des systèmes

- Naturelle / Hybride / Mécanique par insufflation / Mécanique par Extraction / Mécanique Double Flux



- L'identification des effets contribuant ou s'opposant au renouvellement d'air des bâtiments devra considérer les effets mécaniques et naturels (aérodynamique et thermique) et leur dynamique.

- **Objectif**

## Evaluation qualitative de l'effet de la turbulence générée par le vent

- Etat de référence : Condition de vent au pas de temps horaire, le vent est constant en direction et intensité pendant une heure.
- Etat turbulent : le vent varie en intensité et direction, quel effet cela entraîne-t-il sur les fluctuations de pression de façade ?

- **Données d'entrée**

- Maison type F4
- Fichier météo de Trappes
- Coefficient de pression en façade  $C_p$  = Pression de facade/Pression dynamique du vent
- Classe de rugosité, IIIb à 6 m hauteur de référence

Les données de vent sont communiquée sur un site de classe de rugosité II et à 10 m. Le passage sur une autre classe de rugosité et une hauteur différente se fait au travers des formules données dans l'Eurocode 1-4

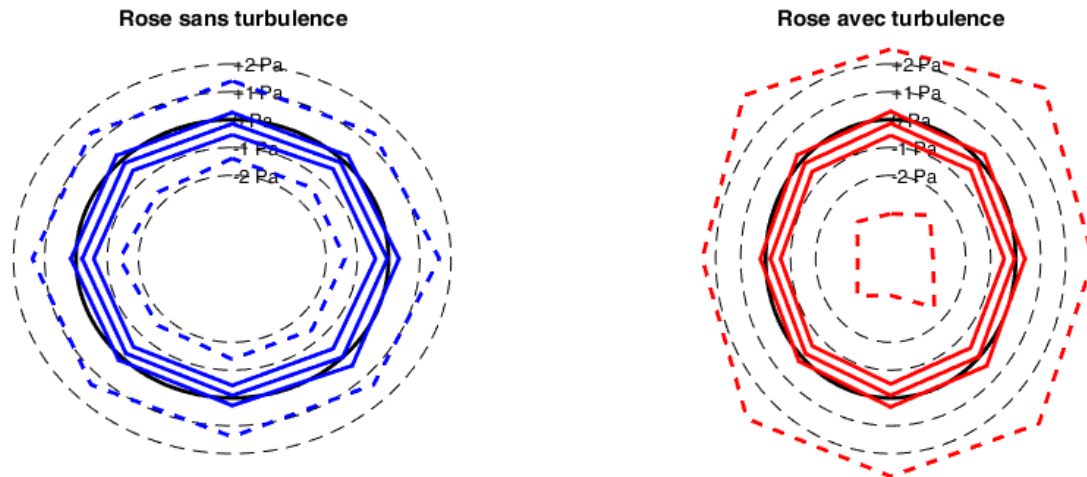
$$U_h = k_r \ln \left( \frac{h}{z_0} \right) \cdot U_{mteo,II} \quad \text{avec} \quad k_h = 0.19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07}$$

$U_h$  : Vitesse (m/s) à la hauteur  $h$ ,  $U_{mteo,II}$  : Vitesse (m/s) à 10m sur un site de classe II,  $z_0$  la hauteur (m) de rugosité du site,  $z_{0,II}$  la hauteur (m) de rugosité sur un site de classe II

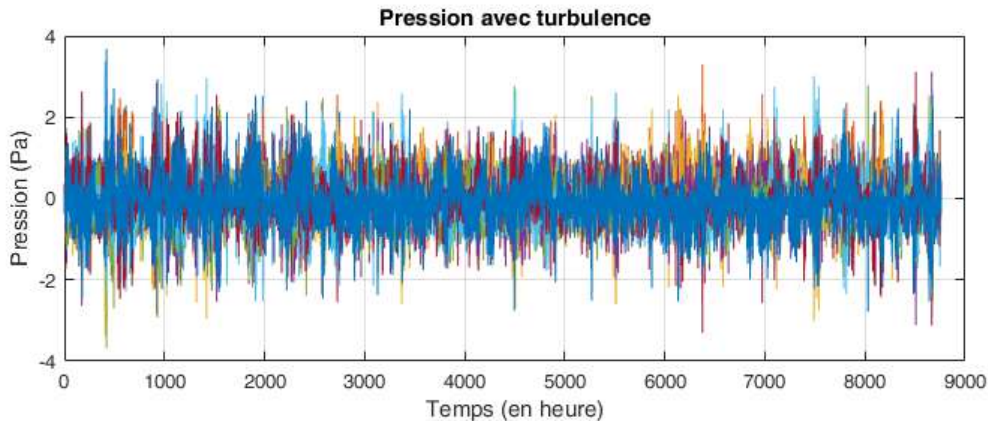
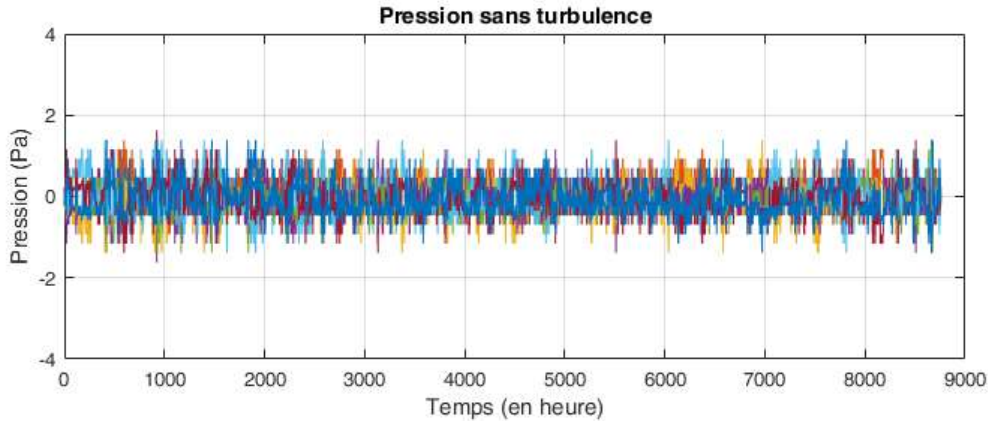
- **Introduction de la turbulence**

- Le vent présente un spectre d'énergie minimale sur une fréquence de 10 min.
- Choix : tirer aléatoirement une direction dans un angle de  $\pm 30^\circ$  autour de la direction principale et tirer aléatoirement une vitesse à partir de la vitesse moyenne horaire et de l'intensité turbulente (considérée ici comme constante, mais pourtant également variable dans le temps...)

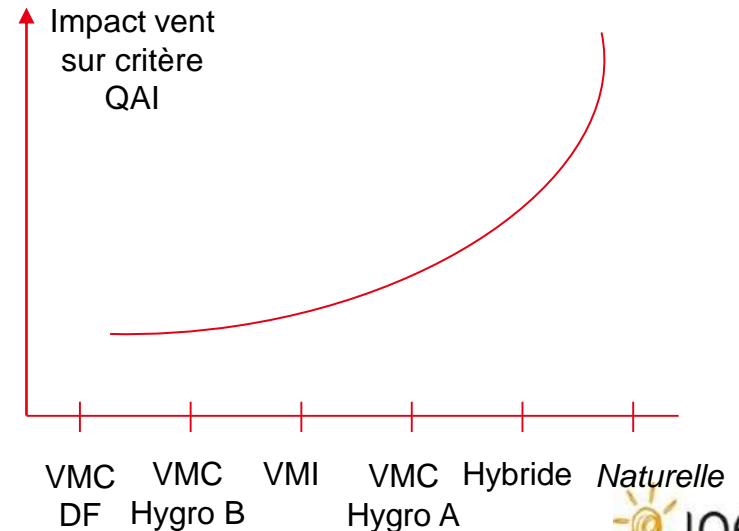
- **Pressions de façade sous forme de moyenne, écart type, minimum et maximum sous forme de rose des vents**



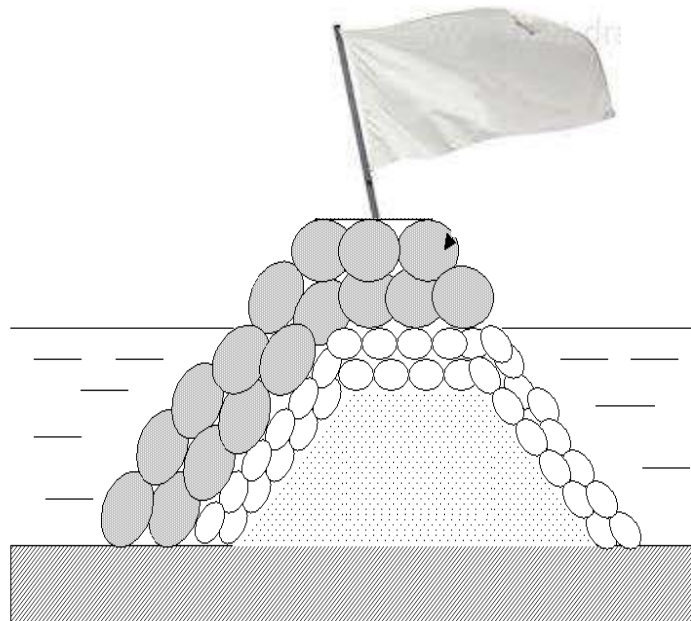
# ILLUSTRATION - IDENTIFICATION DES PRESSIONS DE FAÇADE ET INTRODUCTION DE TURBULENCE DANS LES CONDITIONS DE VENT



- Impact sur un système de ventilation actuellement sous Avis Technique (analyse de Octobre à Mai)
- Etude sur un cas F4 avec scenarios de l'ATEC
- Résultats



- Valider les hypothèses d'entrée (coefficient pression) et le modèle
- Quantifier l'impact de la considération de la turbulence dans le dimensionnement des systèmes de ventilation
- Définition et Intégration de ce paramètre dans les outils de dimensionnement



MERCI DE VOTRE ATTENTION

---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Alternative Energies and Atomic Energy Commission  
17 av des martyrs 38000 GRENOBLE France  
<http://iten.cea.fr>

Établissement public à caractère industriel et commercial  
Public establishment with commercial and industrial character  
RCS Paris B 775 685 019

INES Site  
Institut National de l'Energie Solaire  
National Solar Energy Institute  
50 avenue du lac Léman  
73375 Le Bourget-du-Lac France  
+33 4 79 79 20 00