



## Club\_Saturne 2007

Analyse d'incertitudes avec Mercure\_Saturne pour la modélisation de la dispersion atmosphérique

**Emmanuel Demaël, Damien Bilbault**

## ▣ **Contexte :**

- ▣ Répondre à de nouvelles exigences réglementaires (environnementales, sûreté)
- ▣ Réseau Incertitudes EDF R&D
- ▣ Approche systématique en prévision de la qualité de l'air

## ▣ **Objectifs :**

- ▣ Quantifier l'incertitude sur les CTA prédits à l'aide de Mercure\_Saturne
- ▣ Hiérarchisation des sources d'incertitudes

## ▣ **Contraintes spécifiques aux modèles CFD :**

- ▣ Complexité des modèles
- ▣ Calculs longs, gros volumes de sortie
- ▣ Gestion de files d'attente pour les simulations
- ▣ Retours d'expérience peu fréquents (dans la communauté atmosphérique et ailleurs)

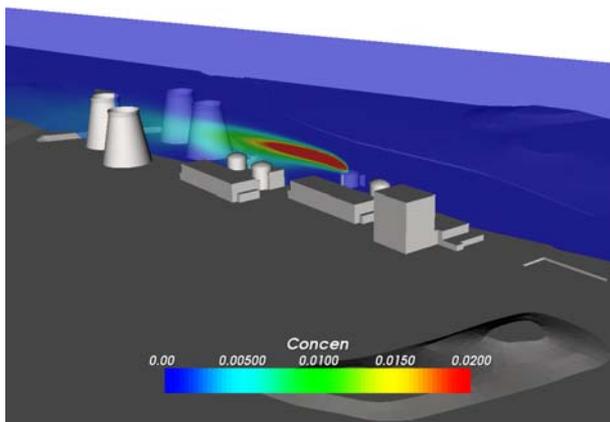
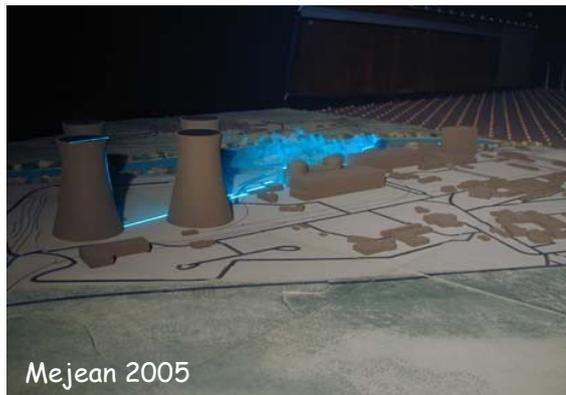
## ▣ **Cas d'étude retenu : dispersion d'un rejet accidentel sur le site CNPE de Bugey**

- ▣ Vent de Sud, Rejet en cheminée
- ▣ Quantification de la dispersion de variables d'intérêt liées au champ de CTA au niveau du sol

- ▣ Présentation de l'étude
- ▣ Méthodologie générale
- ▣ Description des méthodes retenues : Monte-Carlo et Morris
- ▣ Définition des sources d'incertitudes et des variables d'intérêt
- ▣ Résultats
  - ▣ **Quantification des incertitudes (Monte-Carlo)**
  - ▣ **Hiérarchisation des sources d'incertitudes (Montre-Carlo et Morris)**
- ▣ Conclusions et perspectives

# 1- Présentation de l'étude

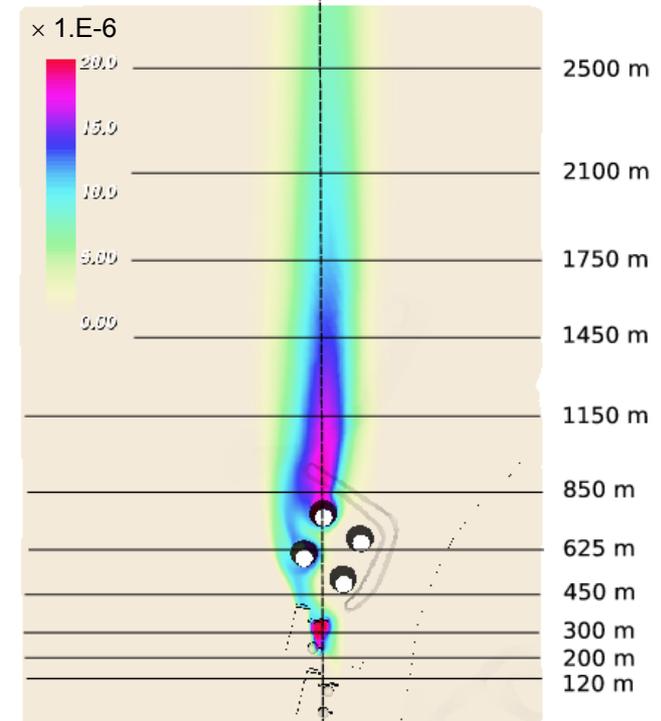
- Simulations k- $\epsilon$  pour modéliser la dispersion atmosphérique (C, C') sur le site CNPE de Bugey. Comparaison aux données en soufflerie et aux simulations ADMS.
- Maillage non-structuré et non conforme d'environ 800.000 cellules. Une majorité d'hexaèdres avec une faible proportion de pentaèdres
- Prise en compte de la topographie et des bâtiments (tranches REP et UNGG, aéroréfrigérants).



## Conditions de simulation

- $W / U$  (cheminée) = 5.5 avec  $U_{50} = 3.7 \text{ m.s}^{-1}$
- Conditions neutres ( $L_{mo} \sim 2000$  and  $z_0 = 0.05 \text{ m}$ , valeurs fitées sur les mesures en soufflerie)
- R avec 16 cellulless (maillage raffiné autour du rejet)
- Hauteur de la cheminée = 55 m, Surhauteur : 30 m

## Simulation de référence



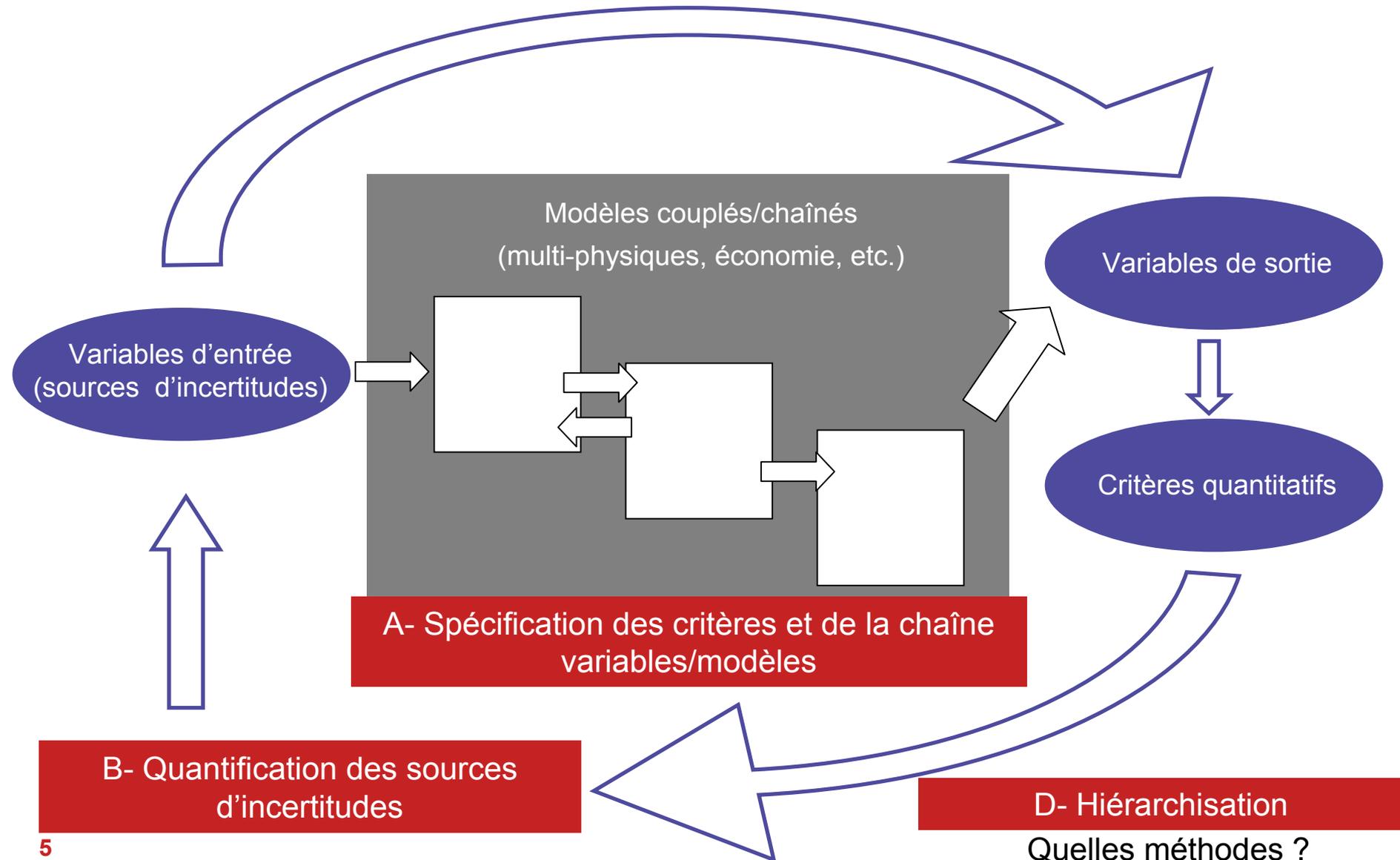
Trace au sol du panache (en CTA)

# 2- Méthodologie générale

Réseau Incertitudes EDF R&D

## C- Propagation des incertitudes

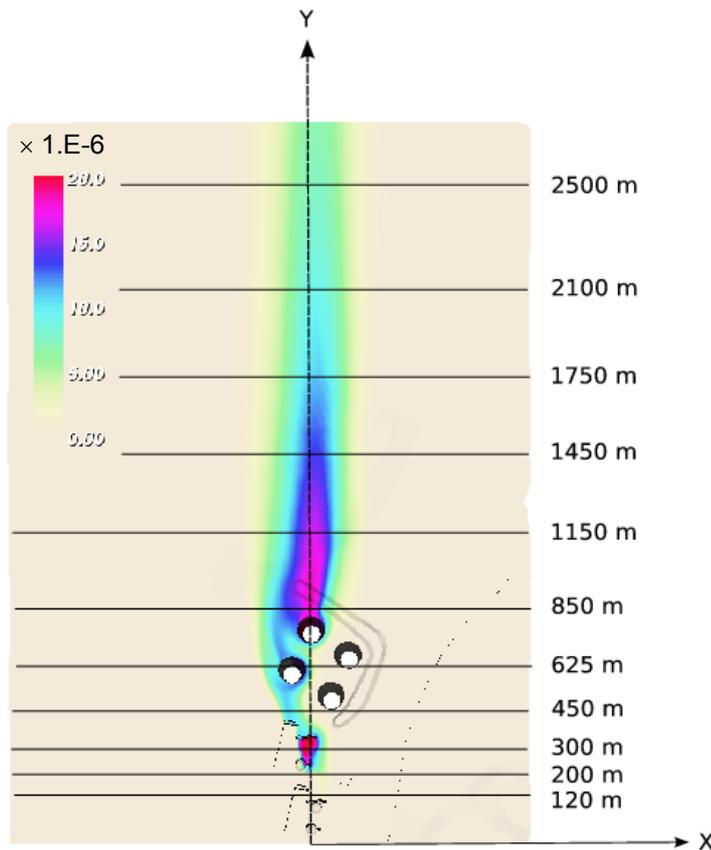
Quelles méthodes ?



# 3- Définition des sources d'incertitudes et des variables d'intérêt

## a- Variables d'intérêt (étape A)

### Simulation de référence



▣ **Champ moyen de concentration au sol  $C_s$**

▣ **3 variables sur les profils au sol**

▣  $C_{\max} = \max [C(x), y=cst]$

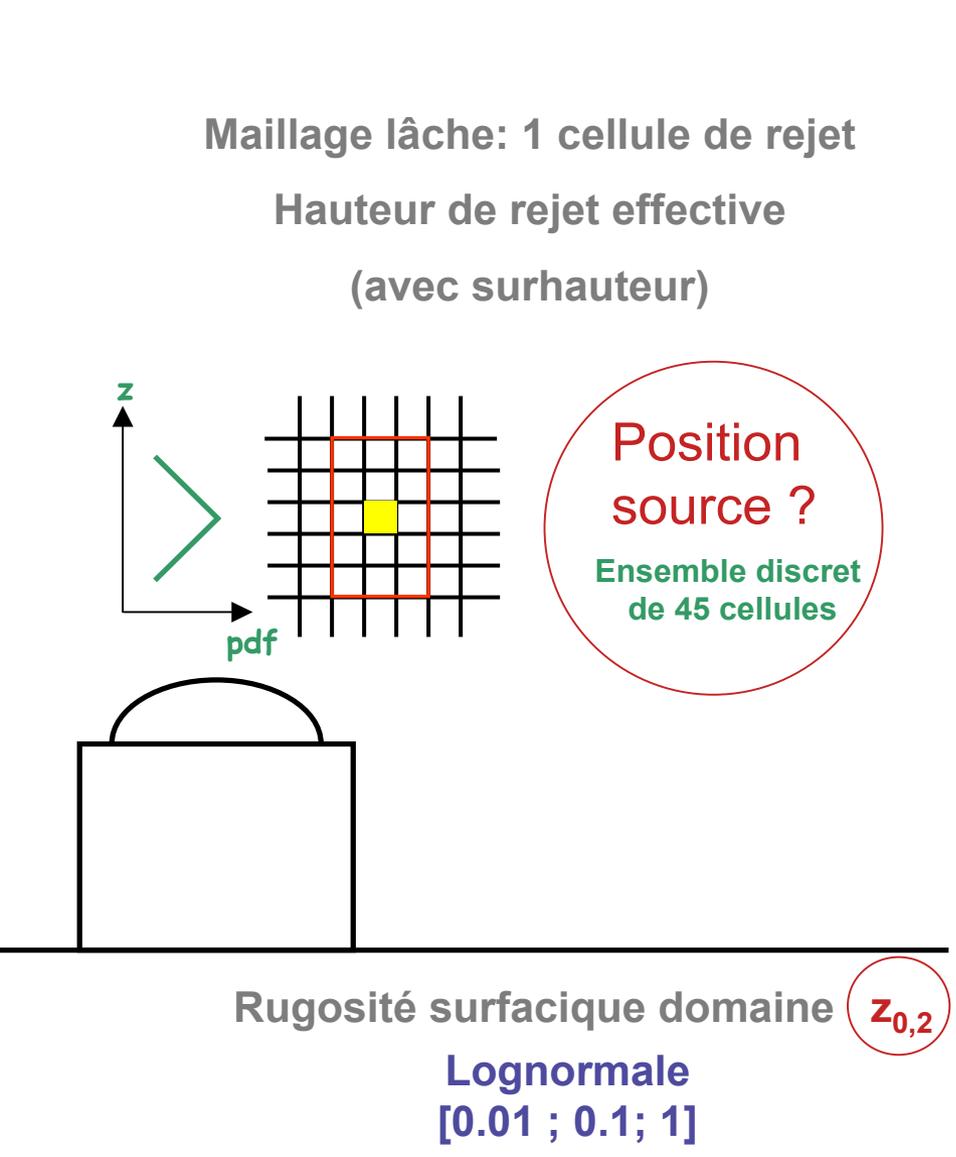
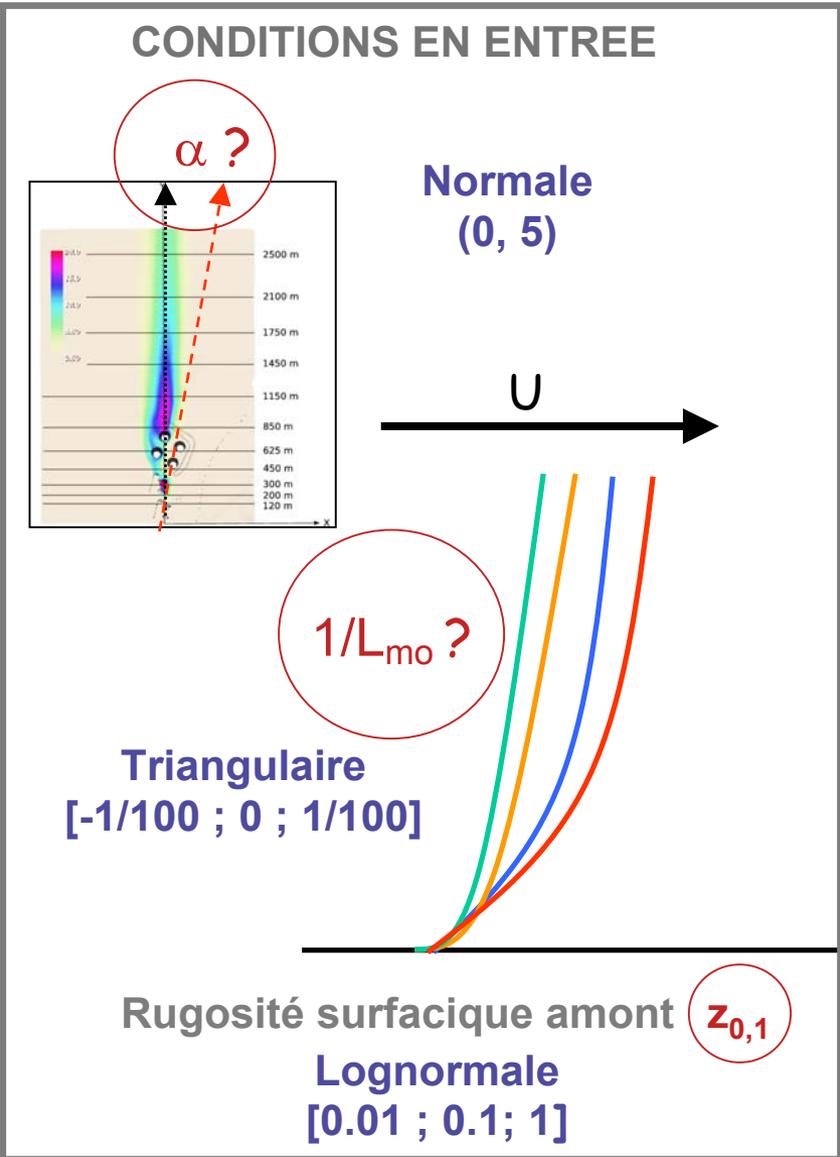
▣  $Y_{\max} = y (C_{\max})$

▣  $C_y = \int C(x) dx \text{ à } y = cst$

Trace au sol du panache (en CTA)

# 3- Définition des sources d'incertitudes et des variables d'intérêt

## b- Sources d'incertitudes : 5 variables d'entrée indépendantes (étapes A et B)



- ▣ **Objectifs : incertitudes/hiérarchisation (quantitatif)**
  - ▣ *Richesse des informations et des méthodes*
  - ▣ *Niveau de confiance dépendant du nombre de simulations*
  - ▣ *Hypothèses sur les variables incertaines / facteurs d'entrée*
  - ▣ *Hypothèses sur les relations  $Y_i = g(X_j)$*
  
- ▣ **Application sur notre cas d'étude**
  - ▣ *Latin Hypercube Sampling pour l'échantillonnage*
  - ▣ *100 simulations sur le cluster de Chatou*
  - ▣ *gestion de files d'attente*

#### ▣ Objectifs : hiérarchisation (qualitatif)

- ▣ *Adapté à un grand nombre de facteurs incertains ( $\neq$  plan d'expérience)*
- ▣ *Pas nécessairement d'hypothèse sur les sources d'incertitudes / facteurs d'entrée*
- ▣ *Pas d'hypothèse sur les relations  $Y_i = g(X_j)$*
- ▣ *De plus en plus explorée*
- ▣ *"Simplicité" dans l'exploitation des résultats*

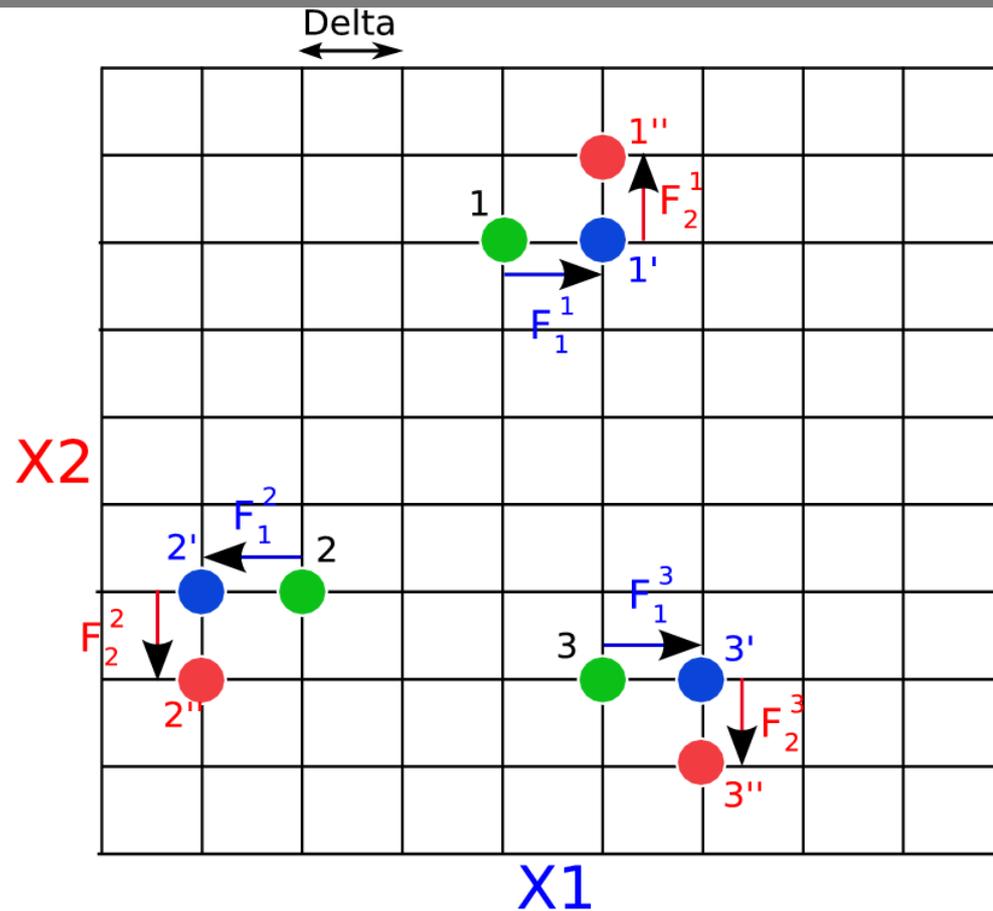
#### ▣ Caractéristiques

- ▣ *« One-at-a-time screening design method » : on regarde l'influence de chacun des facteurs d'entrée en le faisant varier une fois par calcul.*
- ▣ *On définit des effets élémentaires par facteur, un effet étant décrit par deux calculs.*
- ▣ *Une dizaine d'effets élémentaires par facteur est pertinent*

# 4- Description des méthodes retenues

## b- Morris

exemple pour 2 facteurs d'entrée



$$p = 10 ; r = 3$$

● point d'origine

● variation  $\Delta$  pour la variable  $X_1$

● variation  $\Delta$  pour la variable  $X_2$

## b- Morris

$L_{mo}$   
 $\alpha$   
 $Z_{01}$   
 $Z_{02}$   
 $Cel$

$k = 5$



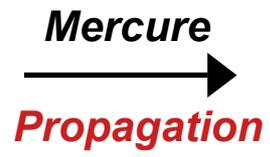
$L_{mo}^*$   
 $\alpha^*$   
 $Z_{01}^*$   
 $Z_{02}^*$   
 $Cel^*$

grille à  $p$  niveaux



$B_i^*$   
1 trajectoire aléatoire  
6 points de grille

$r = 1$



1 variation / facteur  
pour chaque variable

$X^* =$

dim  $r$

$B_1^*$   
...  
 $B_i^*$   
...  
 $B_r^*$



$r$  EE / facteur



$(\mu ; \sigma^2)$  / facteur  
pour  $C_{max}$ ,  $Y_{max}$ ,  $C_y$

# 5- Résultats : quantification des incertitudes (Monte-Carlo)

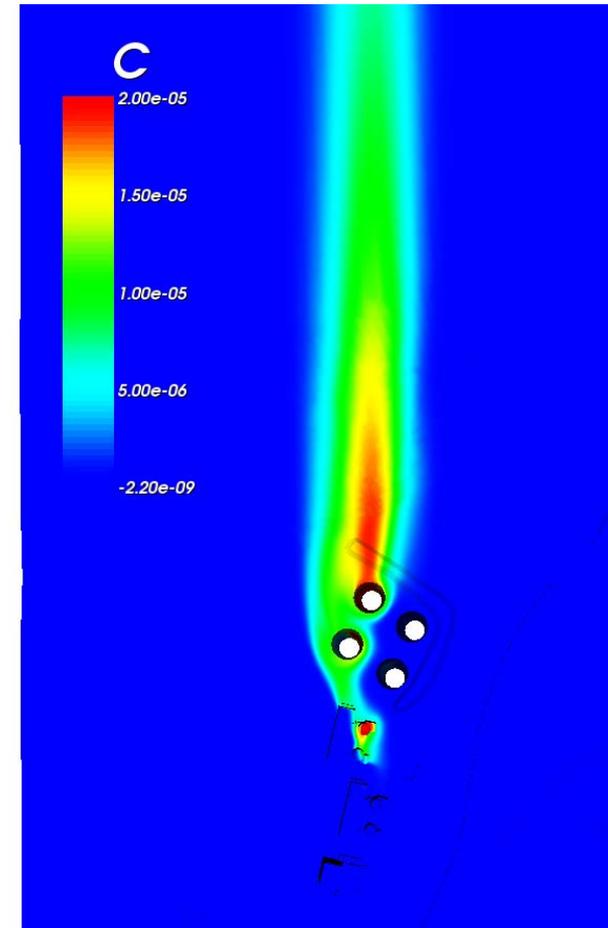
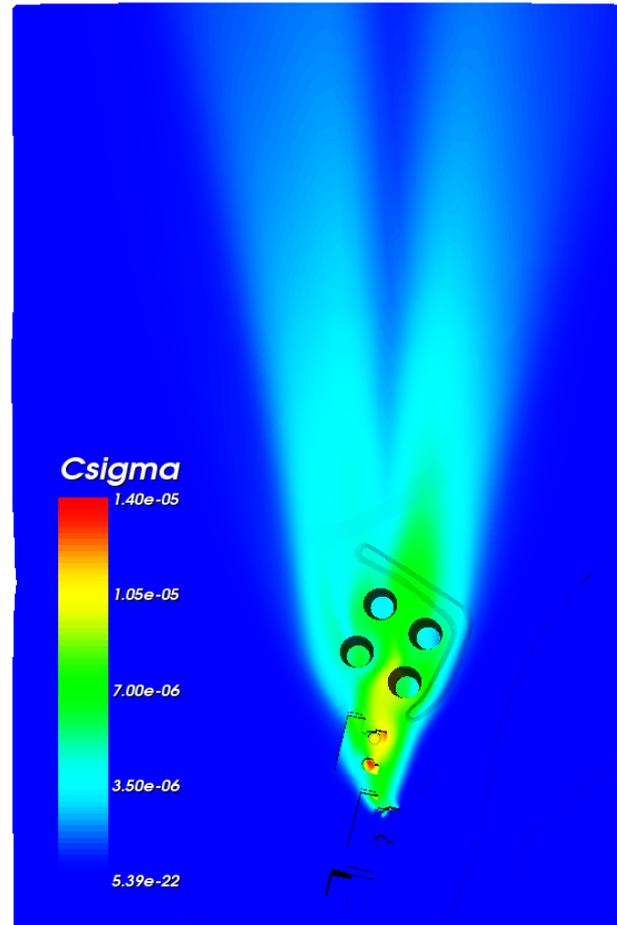
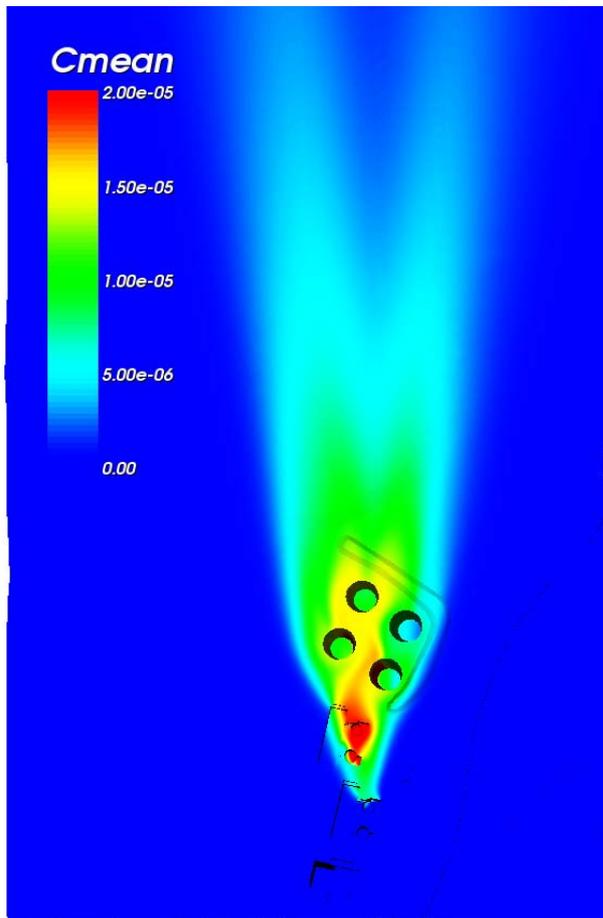
## a- Incertitudes sur $C_s$

- Calcul des estimateurs  $\mu$  et  $\sigma$  sur l'ensemble des 100 simulations

$\langle C \rangle$  pour les 100 simulations

$\sigma_C$  pour les 100 simulations

Simulation de référence

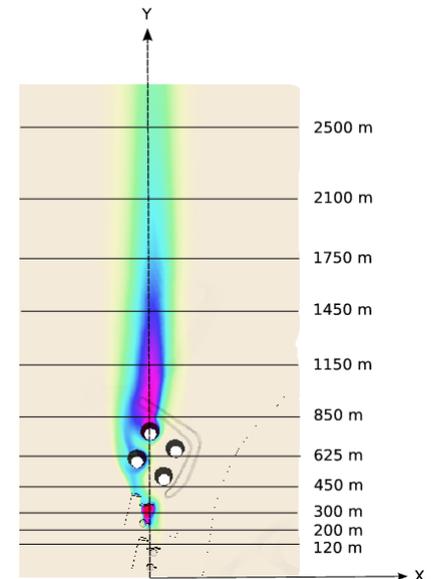
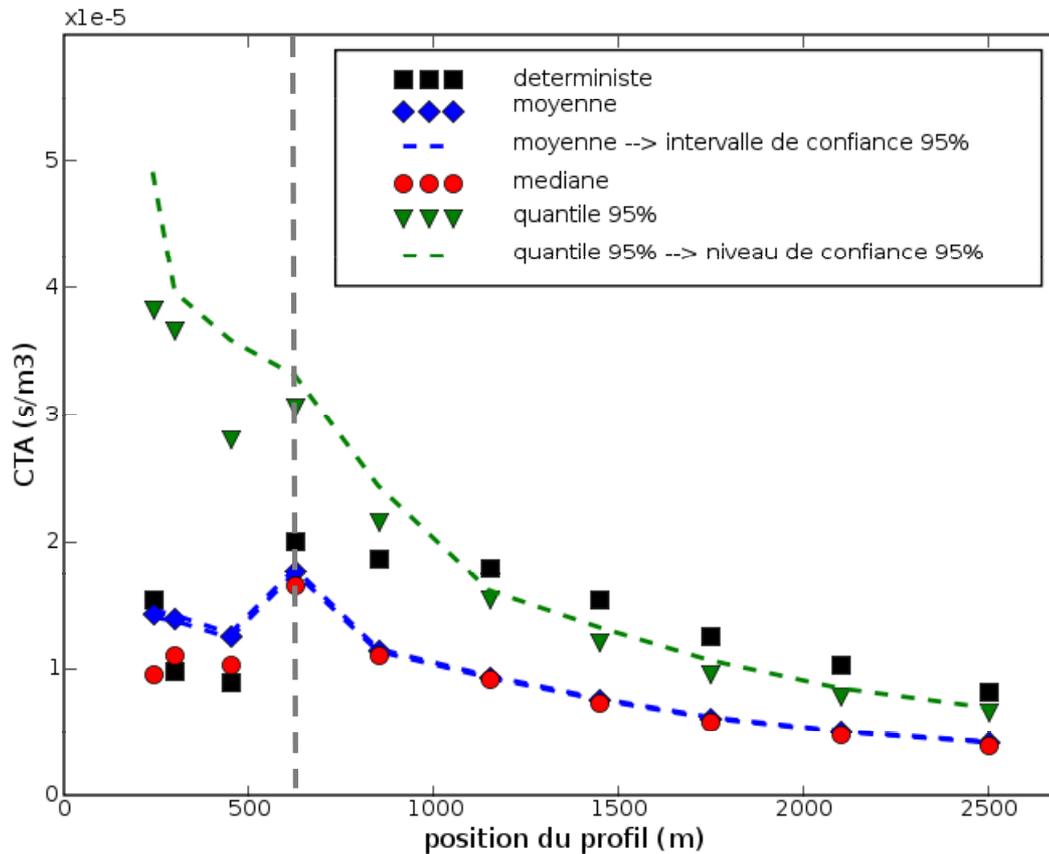


# 5- Résultats : quantification des incertitudes (Monte-Carlo)

## b- Incertitudes sur $C_{\max}$ , $Y_{\max}$ et $C_y$

Dispersion des variables d'intérêt : médiane, moyenne, quantiles, niveaux de confiance

évolution de  $C_{\max}$  en fonction de la distance



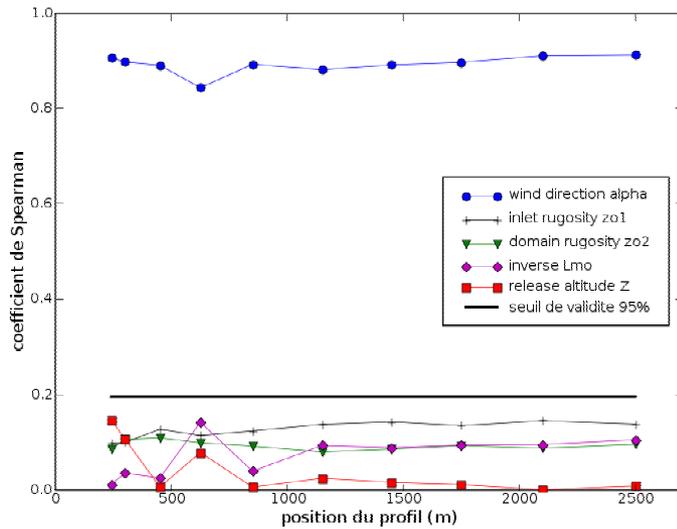
### Monte-Carlo

- ▣ Nombreuses méthodes de hiérarchisation qui dépendent
  - ▣ du type de relation existant entre variables d'entrée et d'intérêt
  - ▣ du nombre de simulations (régression multi-linéaire → Sobol')
  
- ▣ Réalisation des Scatterplot pour mettre en évidence
  - ▣ l'influence des facteurs d'entrée : **1/Lmo, Cel,  $\alpha$**
  - ▣ le type de relation entre variables d'entrée et d'intérêt : quelques relations de **monotonie**  
→ utilisation des coefficients de corrélation de Spearman

### Morris

- ▣ Une seule méthode d'exploitation des résultats → estimation du couple  $(\mu_j ; \sigma_j^2)_{j=1,\dots,k}$  pour chaque variable d'intérêt;
  - ▣  $\mu$  ↗ ⇒ influence ↗
  - ▣  $\sigma$  ↗ ⇒ non-linéarité / interaction ↗
  
- ▣ Etude de la robustesse de la méthode :  $r = 8 / 11 / 15 \rightarrow N = 48 / 66 / 84$

## Monte-Carlo



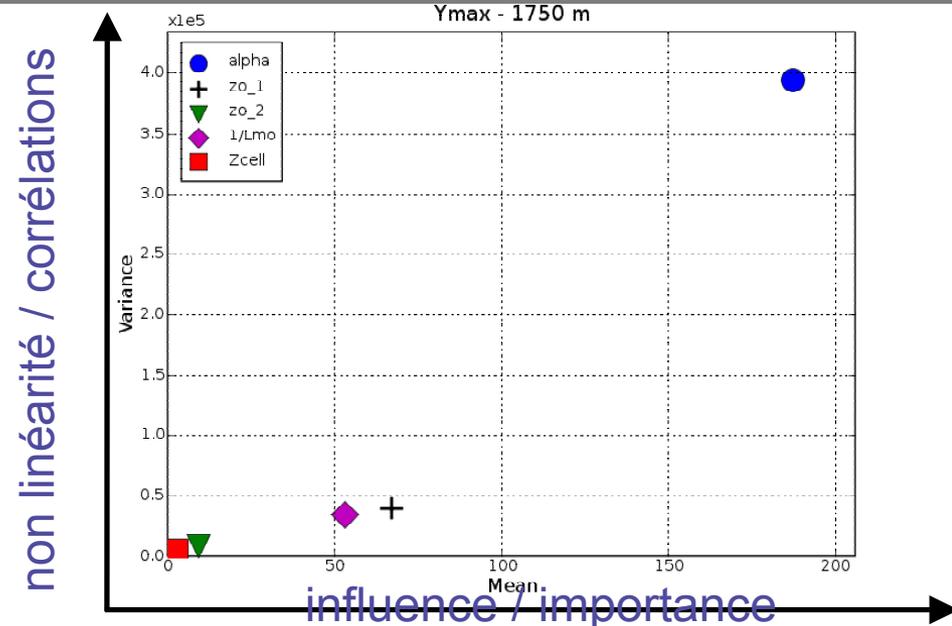
1 facteur prépondérant :

$\alpha$

## Morris

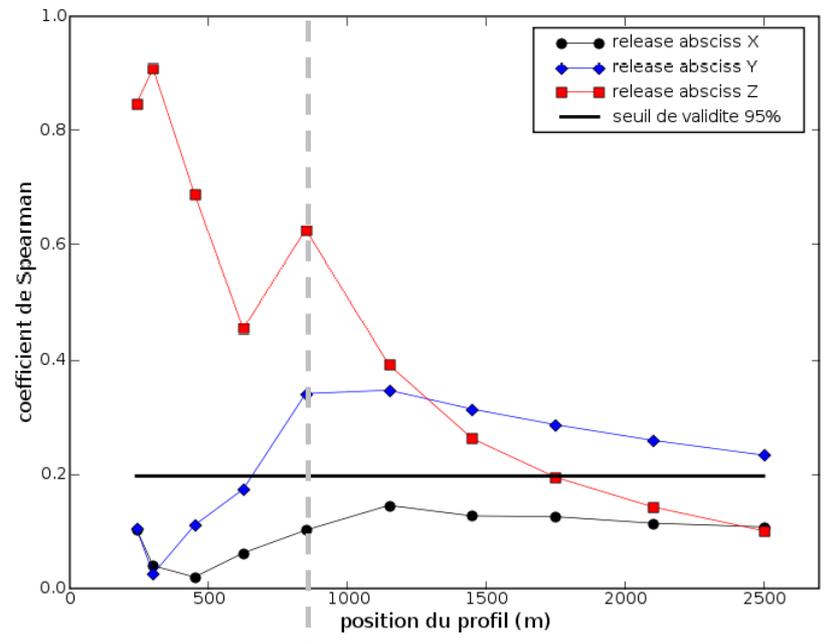
1 facteur prépondérant :

$\alpha$



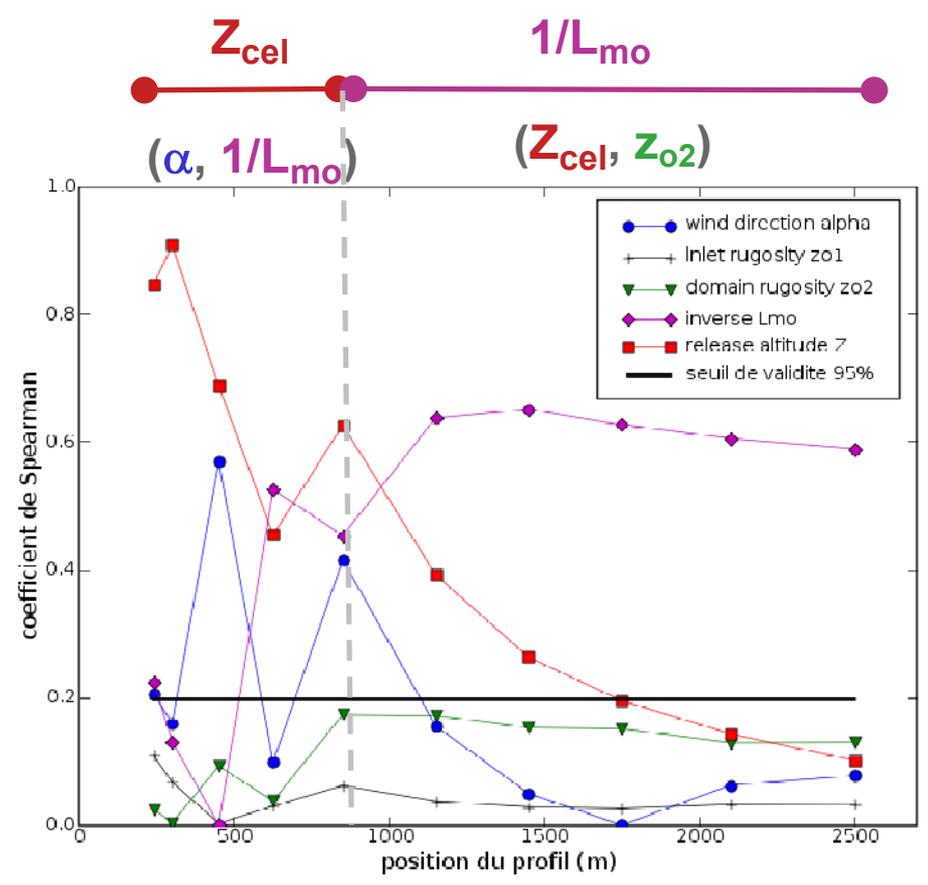
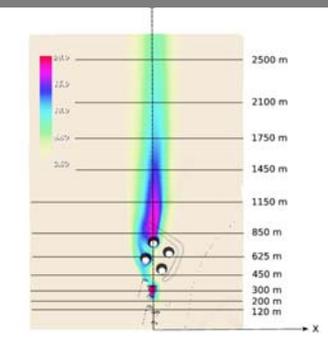
# 5- Résultats : hiérarchisation des incertitudes : $C_{max}$

## Monte-Carlo



$Z_{cel}$

*Importance de la localisation de la source*



$Z_{cel}$

$1/L_{mo}$

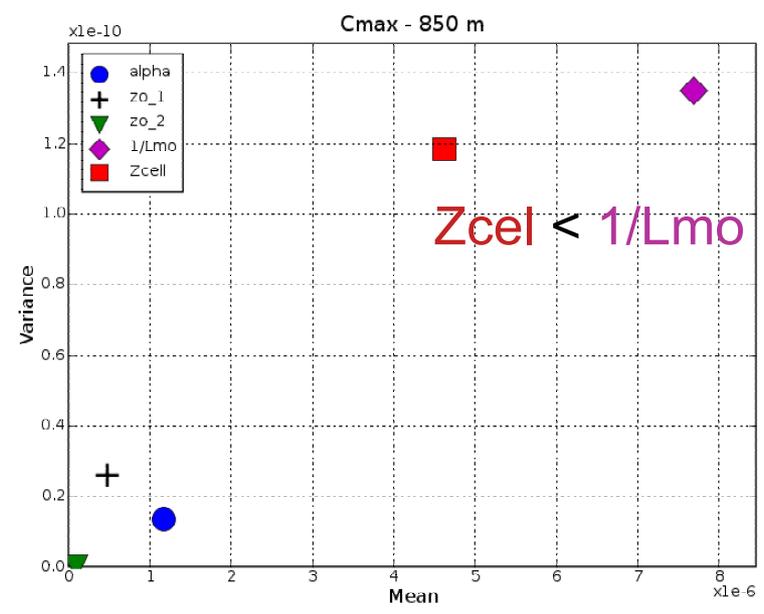
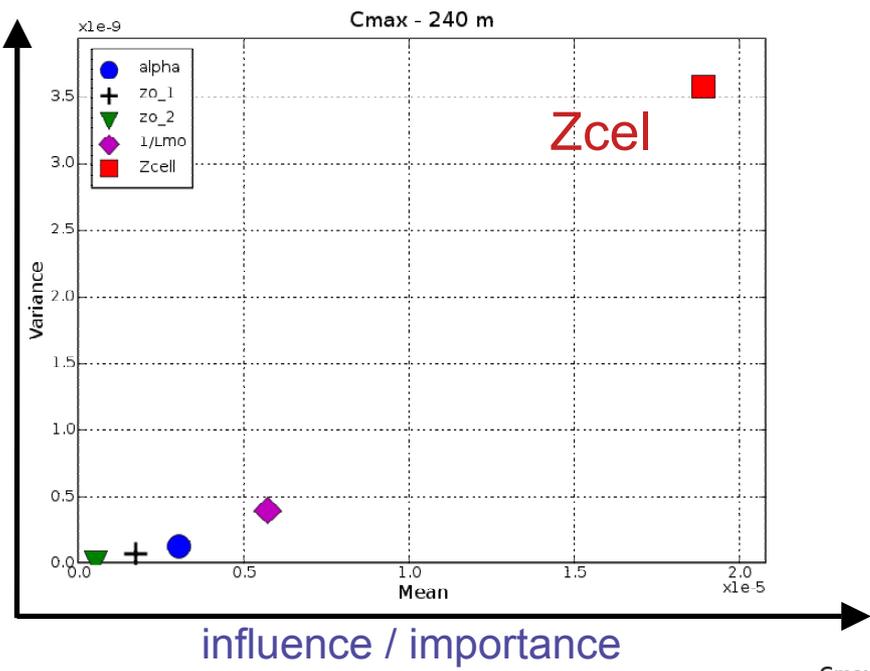
$(\alpha, 1/L_{mo})$

$(Z_{cel}, Z_{o2})$

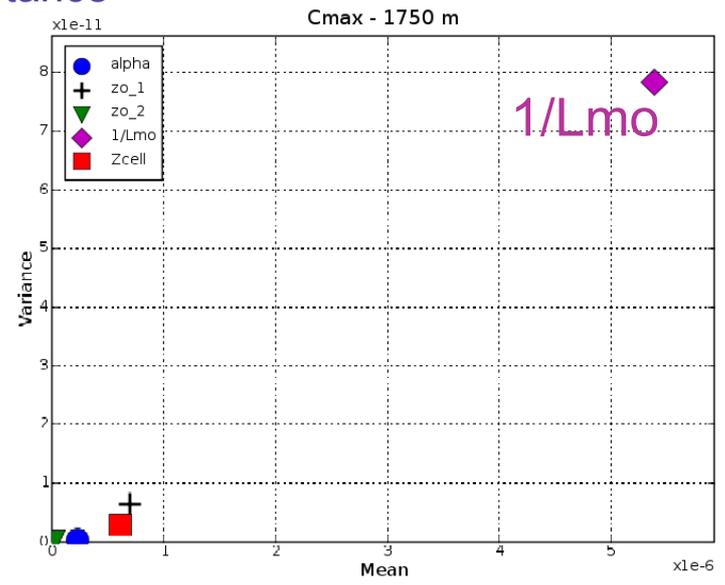
# 5- Résultats : hiérarchisation des incertitudes : $C_{max}$

Morris

non linéarité / corrélations



influence / importance



- non-linéarité
- robustesse

distances	bâti		en aval des aéroréfrigérants	
	$y \leq 625$ m	$y \leq 625$ m	$y > 625$ m	$y > 625$ m
<u>facteurs</u>	Monte-Carlo	Morris	Monte-Carlo	Morris
$\alpha$	+	+	-	-
$1/Lmo$	- $\rightarrow$ +	- $\rightarrow$ +	++	++
$Z_{01}$	-	-	-	-
$Z_{02}$	-	-	?	-
$Z_{cel}$	++	++	+ $\rightarrow$ -	+ $\rightarrow$ -

N.B. : résultats identiques pour la variable  $C_y$

### ■ Calcul d'incertitudes avec Monte-Carlo

- ▣ Réalisable
- ▣ Nombre de simulations possibles ↗ avec le calcul parallèle / cluster
- ▣ Facile à mettre en oeuvre
- ▣ Attention aux incertitudes sur les données d'entrée (ex. pour notre paramètre  $z_{01}$ )

### ■ Hiérarchisation des sources d'incertitudes

- ▣ Monte-Carlo
  - ▣ Quantitatif (+)
  - ▣ Méthodes complexes / coûteuses / hypothèses (-)
- ▣ Morris
  - ▣ Qualitatif (-)
  - ▣ Mise en oeuvre légèrement délicate (-)
  - ▣ Robuste / exploitation simple / pas d'hypothèses (+)
  - ▣ Adaptée à un plus grand nombre de facteurs (+)

- ▣ Augmenter le nombre de paramètres → inclure d'autres types de paramètres
- ▣ Mener des études identiques pour d'autres modélisations (ex : étude identique réalisée avec ADMS)
- ▣ Mise en application d'autres méthodes avec d'autres objectifs (ex : FORM/SORM pour une probabilité de dépassement de seuil)

MERCI !