

**Analyse de la fiabilité de *COMFIE* par comparaison à  
des mesures.  
Application à un bâtiment passif.**

*Thomas Recht<sup>\*1</sup>, Fabio Munaretto<sup>1,2</sup>, Patrick Schalbart<sup>1</sup>, Bruno Peuportier<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> MINES ParisTech - <sup>2</sup> CERIB

\*[thomas.recht@mines-paristech.fr](mailto:thomas.recht@mines-paristech.fr)

# Sommaire

- I. Introduction**
- II. Méthodologie**
- III. Résultats**
- IV. Conclusion**

# I. Contexte et objectif

## Contexte

- Codes de calcul validés sur des bâtiments « standard » (*Judkoff et Neymark, 1995*), (*Jensen, 1995*)
- Progression vers des bâtiments très performants (passif ou BEPOS)
- Question de la fiabilité des codes à nouveau posée (*Duforestel et al., 2008*)
- *COMFIE* : → validations sur cas d'étude des années 1990 (*Peuportier, 2005*)  
→ inter-comparaison sur une maison passive (*Brun et al., 2008*)

## Objectif

- Mener une validation empirique de *COMFIE* sur un bâtiment passif

## Démarche

- Comparer des mesures de température à des résultats de simulation
- Utiliser des techniques d'analyses de sensibilité et de propagation d'incertitudes pour analyser les écarts (proche de *Spitz et al., 2008*)

# II. Modèle

## COMFIE, modèle thermique dynamique de bâtiment

- Modèle multizones discrétisé par volumes finis (*Peuportier et Blanc, 1990*) :  
zone thermique = sous-ensemble à température homogène dans lequel :  
→ les murs sont divisés en mailles  
→ l'air, le mobilier et les cloisons légères regroupés dans une maille unique

- Bilan thermique sur une maille :  $C_{maille} \frac{dT_{maille}}{dt} = Gains - Pertes$

- Ensemble des équations -> système linéaire continu et invariant :

$$\begin{cases} C\dot{T}(t) = AT(t) + EU(t) \\ Y(t) = JT(t) + GU(t) \end{cases}$$

- Système d'ordre élevé réduit par analyse modale

# II. Cas d'étude

## Maison « Béton banché » de la plateforme INCAS (INES)

- Performance proche du label *Passivhaus*, fortement instrumentée
- Températures intérieures mesurées par sondes de platine :  $\pm 1^\circ\text{C}$  (*Spitz, 2012*)
- Inhabitée et soumise à un protocole expérimental



Scénario	1	2	3	4	5	6	
Consigne	20°C	Off	Off	24°C	Off	Off	
Débit VMC	110 m <sup>3</sup> /h	0	0	110 m <sup>3</sup> /h	110 m <sup>3</sup> /h	160 m <sup>3</sup> /h	
Volets	Fermés	Fermés	Fermés	Fermés	Ouverts	Ouverts	
Séparation RDC/R+1	Avec	Avec	Sans	Avec	Sans	Sans	
	01/01	16/01	09/02	20/02	15/03	31/03	22/04

## Modélisation

- Données météorologiques : aéroport du Bourget-du-Lac ( $\approx 200\text{m}$ )
- Zonage thermique pièce par pièce, ponts thermiques (*Trisco*), mouvements d'air intérieurs (*CONTAM*), initialisation en régime permanent

# II. Approche

## Comment comparer des valeurs simulées et mesurées ?

- Définir une **grandeur d'intérêt** :

$$\rightarrow RMSE_{i,s,z} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=N_{ds}}^{N_{fs}} \left( T_{i,z}^{sim}(k\Delta t) - T_z^{mes}(k\Delta t) \right)^2}$$

- Evaluer la variabilité en sortie du modèle due aux incertitudes pesant sur les paramètres d'entrée ( $\approx$  facteurs incertains) :

$\rightarrow$  **Propagation d'incertitudes**

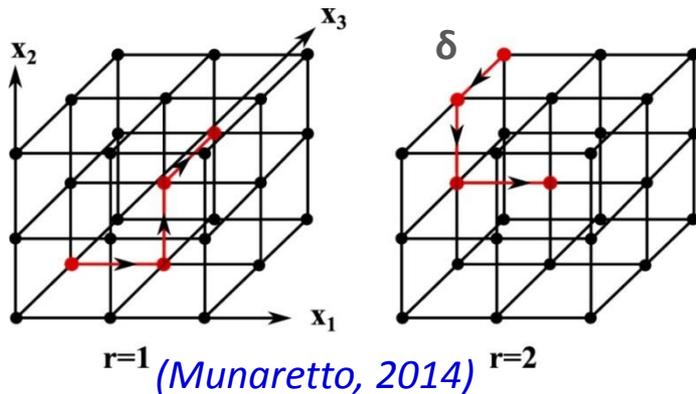
- Réduire les temps de calculs en pratique :

$\rightarrow$  **Opération de criblage**

# II. Criblage de Morris

## Principe

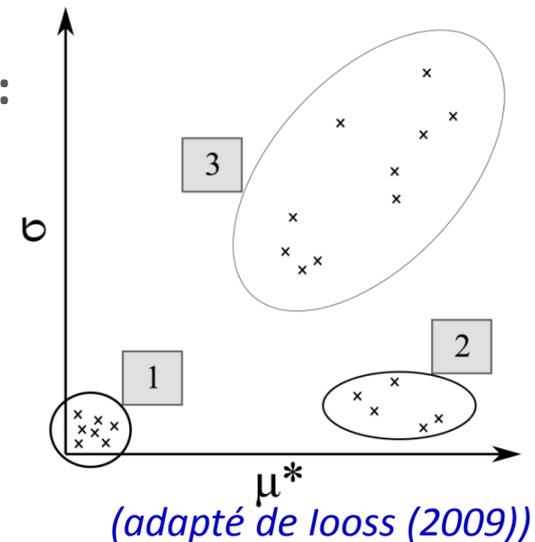
- $r$  répétitions d'un plan *OAT* aléatoirement dans l'espace des entrées discrétisé en une grille de nœuds de dimension  $K$  et de niveaux  $Q$



Effet élémentaire :

$$E_j^i = \pm \frac{\mathcal{F}(x_1^i, \dots, x_j^i \pm \delta, \dots, x_K^i) - \mathcal{F}(x_1^i, \dots, x_j^i, \dots, x_K^i)}{\delta}$$

Graphique de Morris :



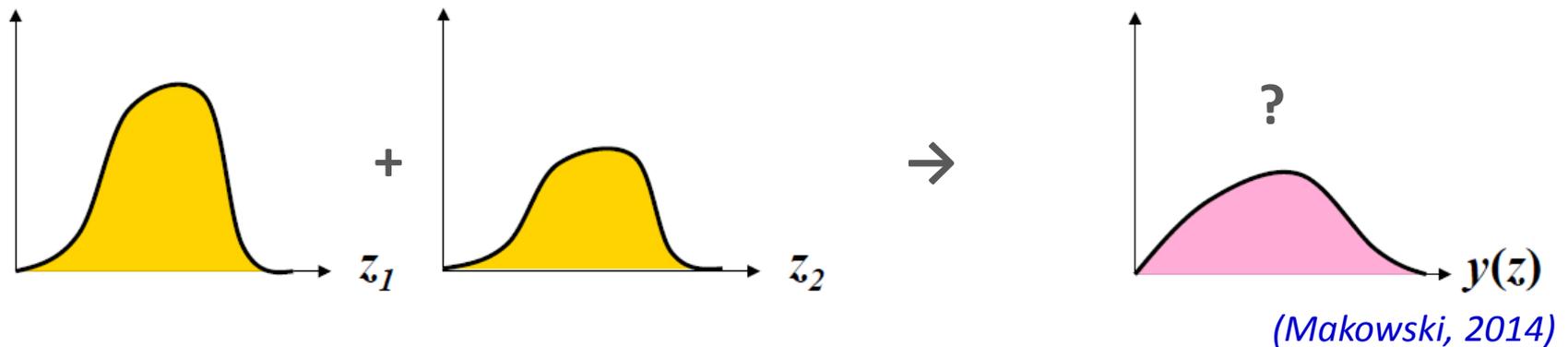
## Intérêts

- Pas d'hypothèse sur la **complexité** et la **régularité** du modèle
- **Incertitudes** et les **interactions** des facteurs d'entrée prises en compte

# II. Propagation d'incertitudes

## Permet de répondre à

- « *Quel est le niveau d'incertitude de  $y(z)$  qui résulte de l'incertitude dans  $z$*  »



## Etapes

- Caractérisation des fonctions de densité de probabilité (FDP)
- Echantillonner ces FDP (**tirage LHS** « Latin Hypercube Sampling » choisi)
- Calculer la sortie pour toutes les séries d'entrées générées
- Estimer la distribution de la sortie

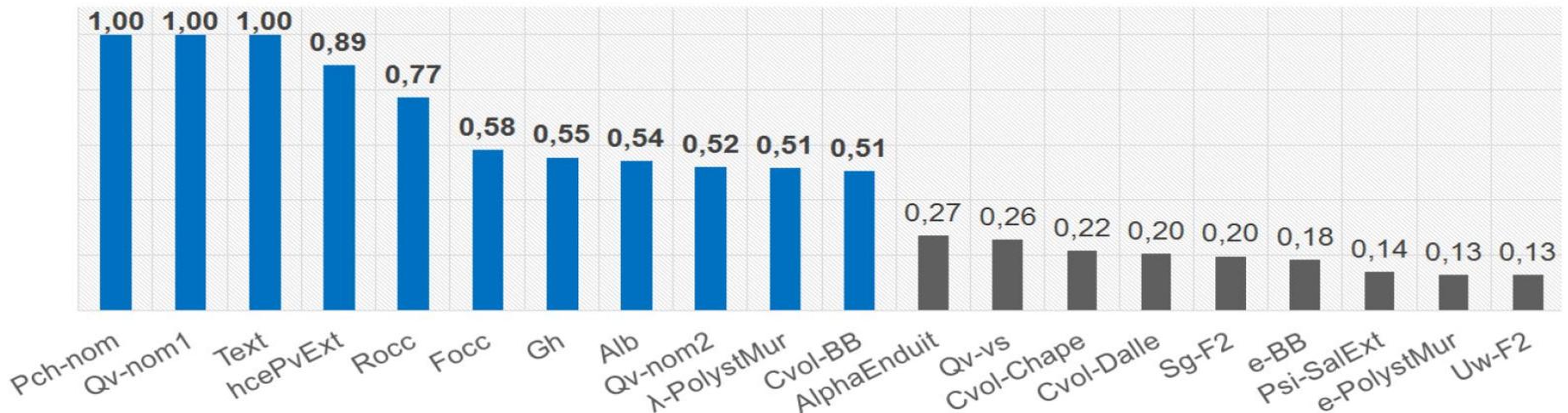
# III. Résultats : criblage de Morris

## Paramètres de la méthode

- Caractérisation de 153 facteurs incertains (*Munaretto, 2014*)
- $r = 30, Q = 6, \delta = Q/(2(Q-1)) = 0.6$

## Sélection

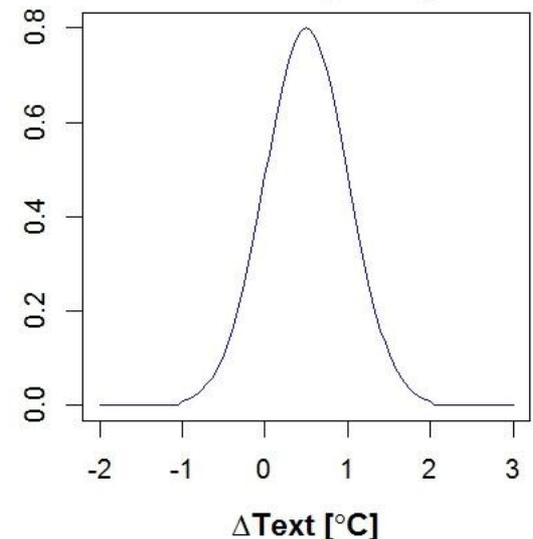
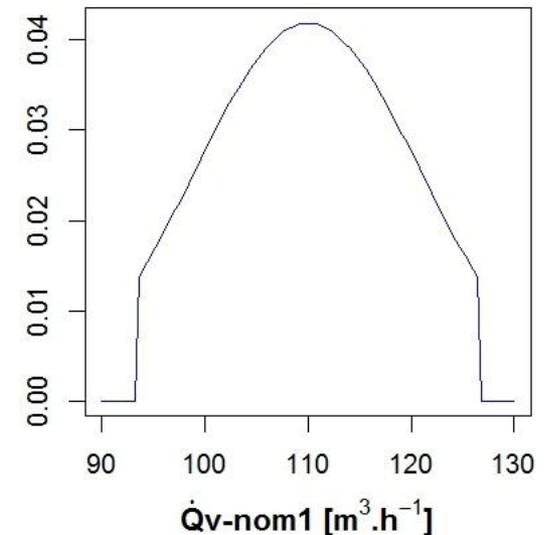
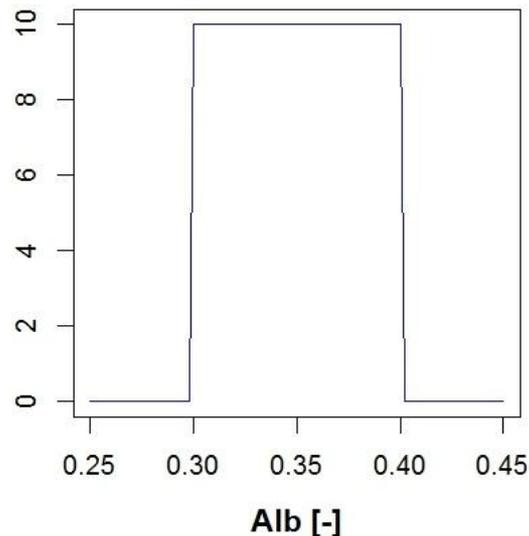
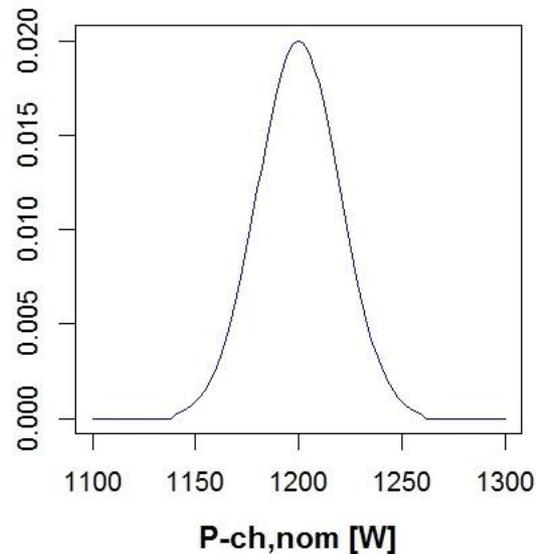
- Calcul de la distance euclidienne :  $d_{j,k}^* = \sqrt{\mu_{j,k}^{*2} + \sigma_{j,k}^2}$
- Classement selon maximum de :  $D_{j,k}^* = \frac{d_{j,k}^* - \min_j(d_{j,k}^*)}{\max_j(d_{j,k}^*) - \min_j(d_{j,k}^*)}$



# III. Fonctions de densité de probabilité

## Paramètres de la méthode

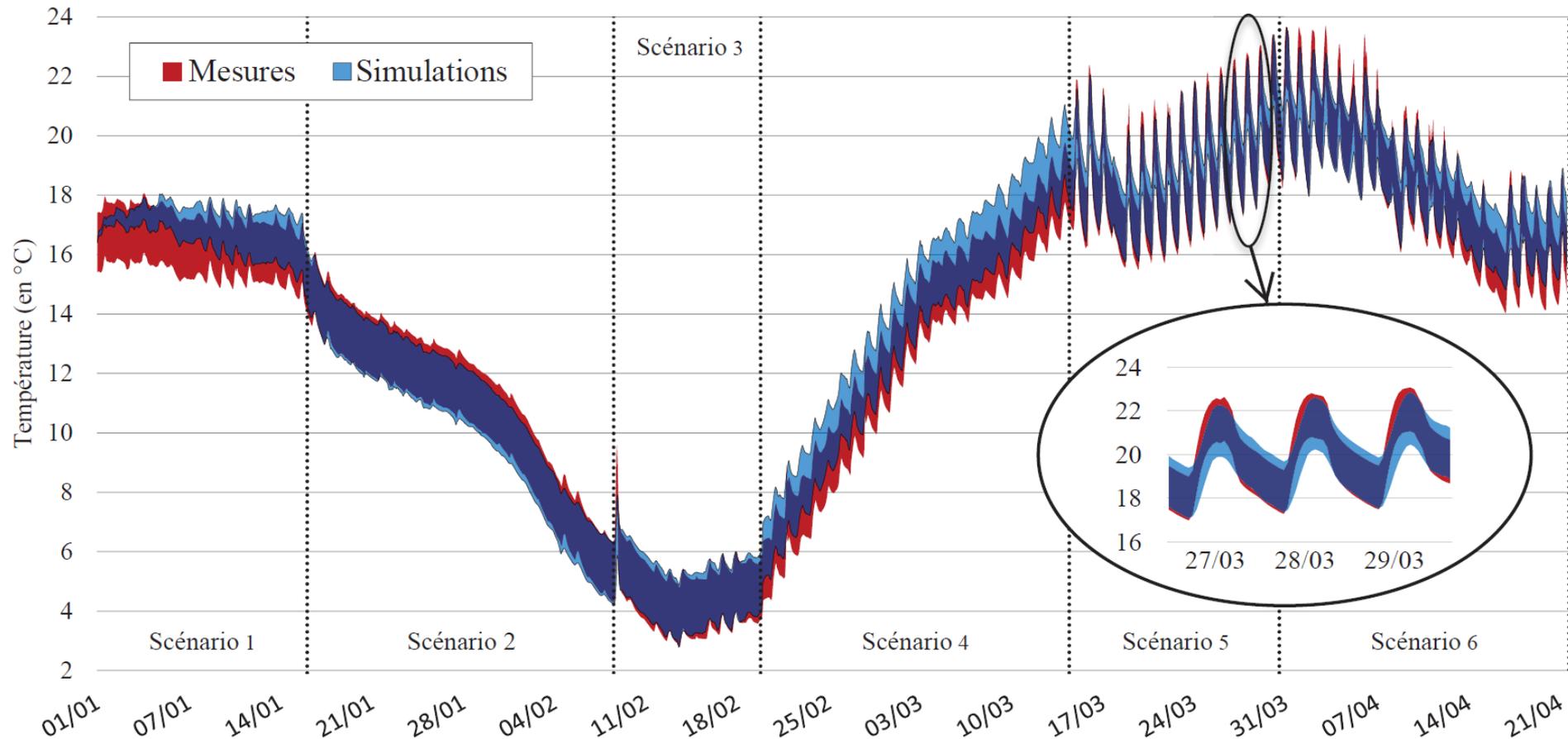
- 11 facteurs incertains retenus et caractérisés par une FDP
- Taille d'échantillon :  $N = 7000$



# III. Résultats : bandes d'incertitudes

## Distribution des températures simulées

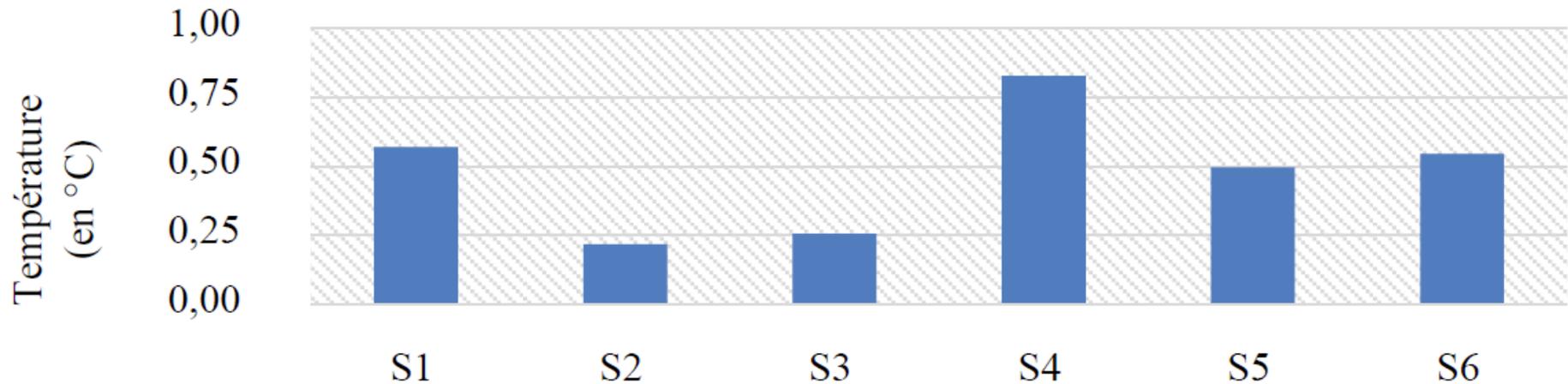
- Bandes d'incertitudes à 95% ( $\pm 2\sigma$ ) tracée



# III. Résultats : RMSE

## Une quantification de l'écart :

- RMSE entre la série moyenne des simulations et la série des mesures



# IV. Conclusion et perspectives

## Conclusion

- Mise en œuvre d'une méthodologie de validation empirique (couplage R)
- Sélection puis caractérisation des paramètres les plus influents
- Adéquation entre mesures et modèle similaire à références internationales

## Perspectives

- Calibrage de modèle (suite à une analyse de sensibilité globale)
- Applications pour la garantie de performance ou aide à la conception

## Remerciements

- Projet ANR Fiabilité

# Fin de la présentation

Merci de votre attention

Avez-vous des questions ?