

# Une surface de réponse à base de polynômes de chaos pour l'analyse des incertitudes à l'échelle du bâtiment

R. MERHEB  
L. MORA  
E. PALOMO

IBPSA France-Arras  
20/05/2014

# Contexte et objectifs (1/2)

Le secteur du bâtiment est :

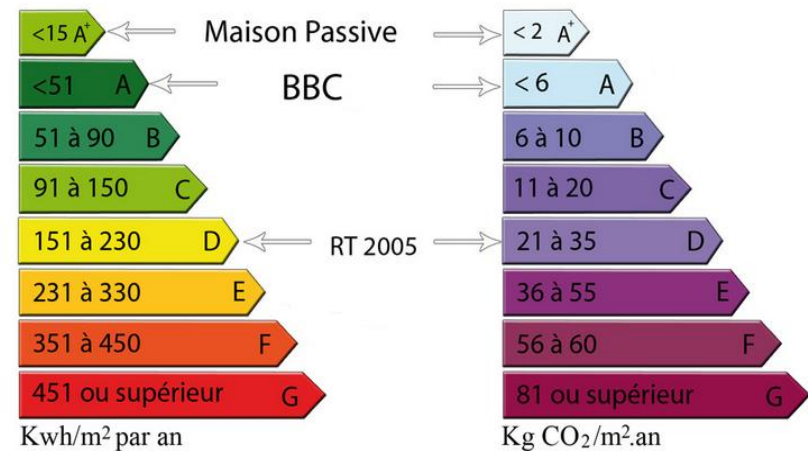
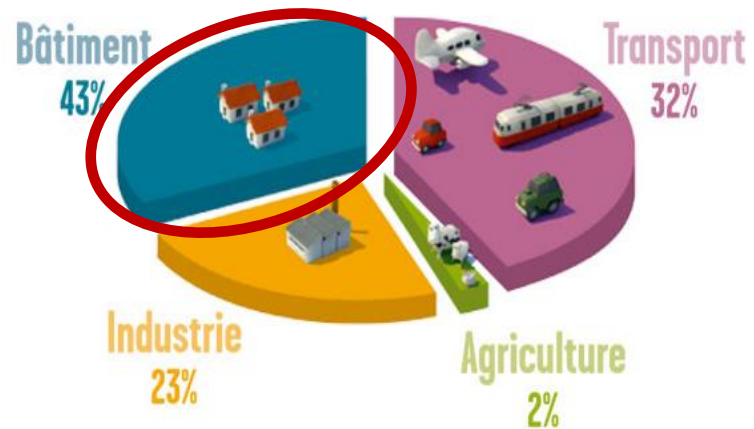
- Le plus grand consommateur d'énergie en France
- Responsable de 25% des émissions de CO<sub>2</sub>



- Le Grenelle de l'environnement exige de diviser par 4 la consommation actuelle en énergie d'ici 2050
- Des réglementations thermiques plus dures

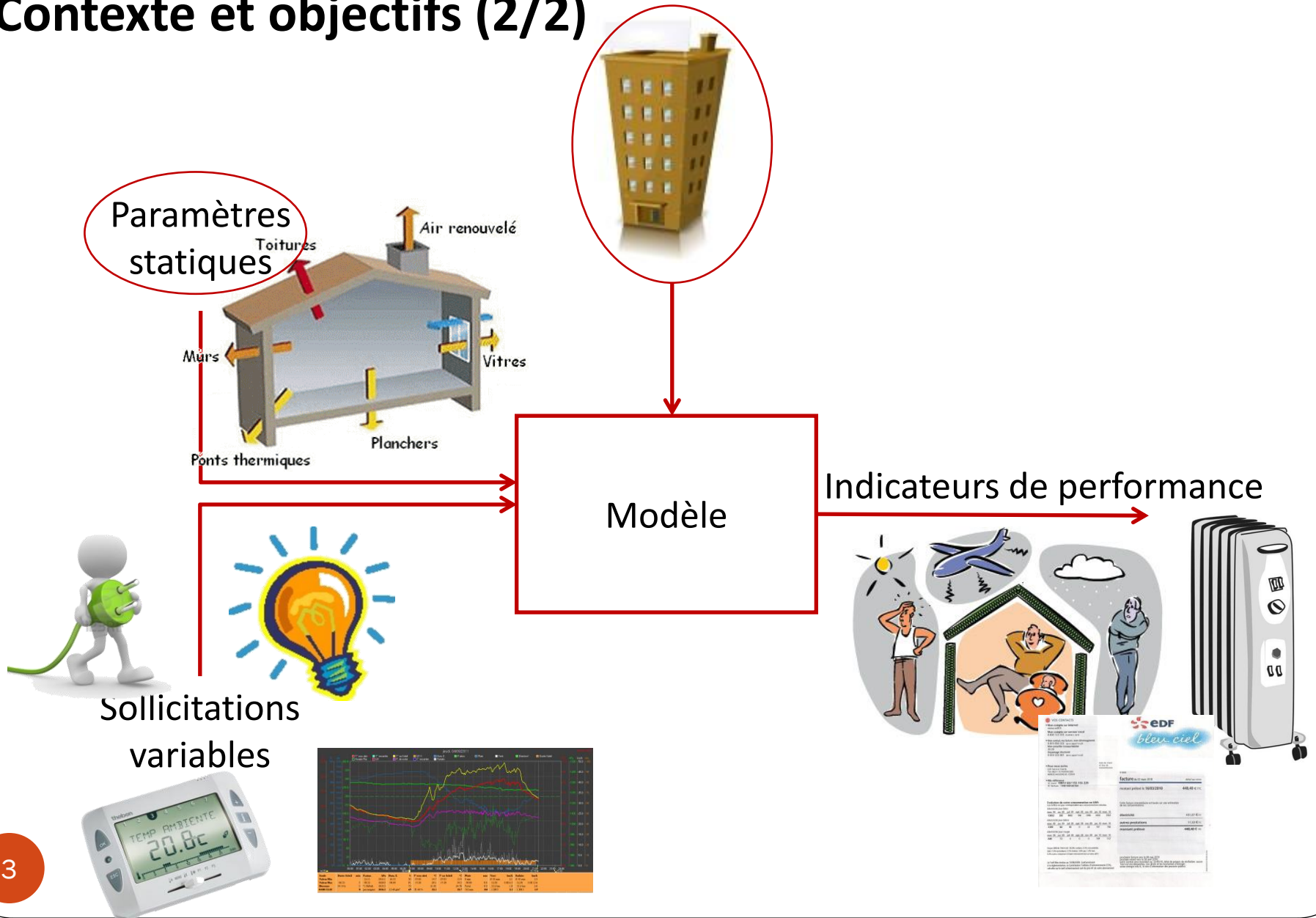


- Concevoir des bâtiments à faible consommation d'énergie



**La Simulation Thermique Dynamique (STD) devient incontournable**

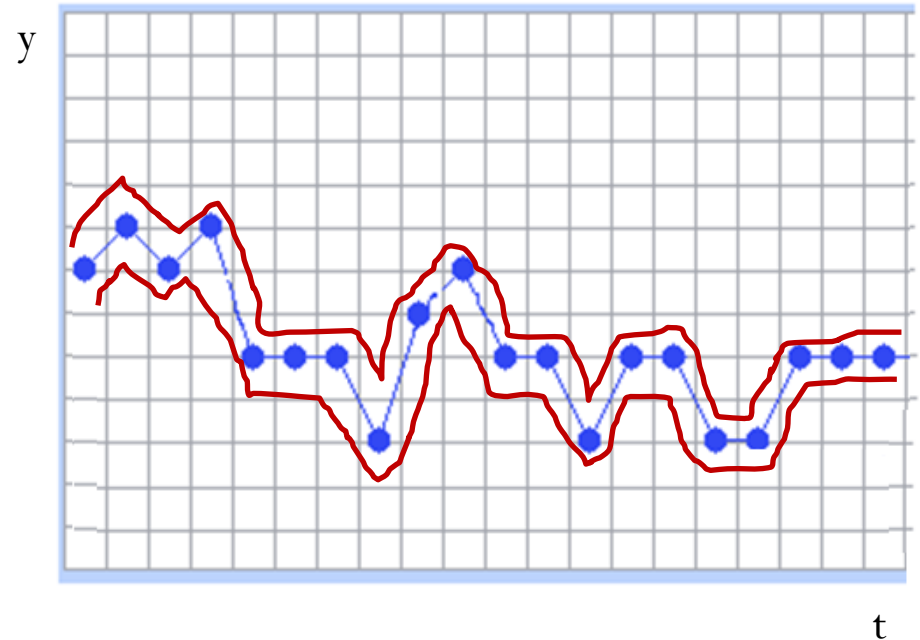
# Contexte et objectifs (2/2)



# Garantie des performance énergétiques par l'analyse d'incertitudes

$$y = f(a, b, t)$$

Comment étudier l'effet de la méconnaissance de **a** et **b** sur **y**?



# Méthodes d'Analyse de sensibilité

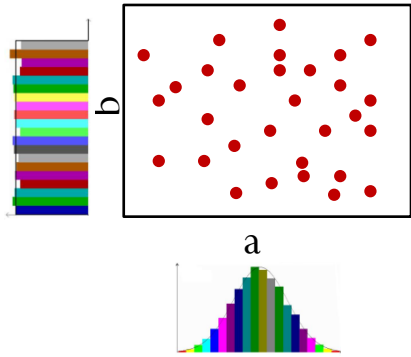
- Analyse de sensibilité locale, des indices calculés souvent par la méthode de perturbation

$$S_i = x_i \frac{\partial y}{\partial x_i}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} \approx \frac{y(x_1, \dots, x_i + \Delta x_i, \dots, x_n) - y(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)}{\Delta x_i}$$

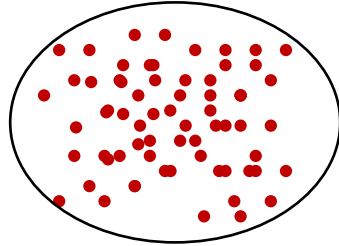
- Analyse de sensibilité globale

# L'Analyse d'Incertitudes

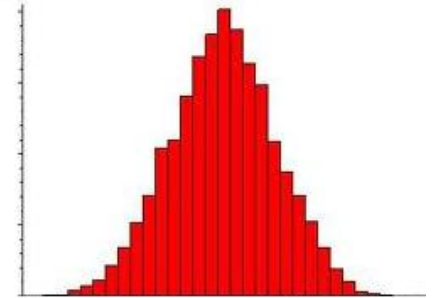


$$y = f(a, b)$$

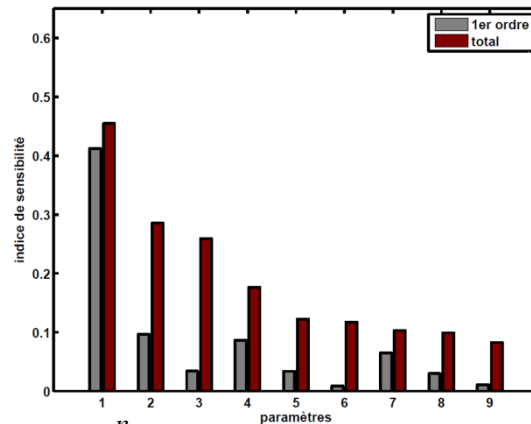
Evaluation de  $y$



Monte Carlo



Sobol et FAST



Polynômes de Chaos

$$V = \sum_{i=1}^n V_i + \sum_{1 < i < j < n} V_{ij} + \dots + V_{1, \dots, n}$$

# Les polynômes de chaos

- Les polynômes de chaos présentent les avantages suivants:
  - Une évaluation très rapide du modèle
  - Déduire les indices de sensibilité de Sobol à partir des coefficients

$$IS(\underline{i}) = \frac{\text{Var}[E[\tilde{Y} | (X_{i_1}, \dots, X_{i_k})]]}{\text{Var}[\tilde{Y}]} = \frac{\sum_{p \in I(\underline{i})} \alpha_p}{\sum_{p \in k_g^*} \alpha_p}$$

- Déduire les caractéristiques probabilistes de la sortie qu'il remplace:

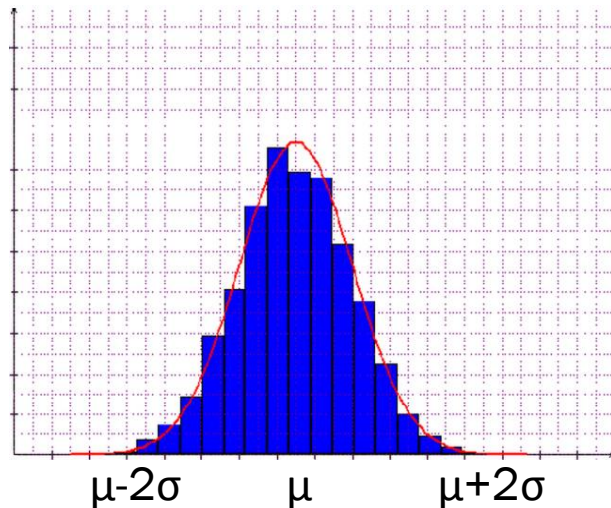
$$E[\tilde{Y}] = \alpha_0, E[\tilde{Y}^2] = \sum_{k \in k_h} \alpha_k, \text{Var}[\tilde{Y}] = \sum_{k \in k_g^*} \alpha_k$$

# Méthodologie d'analyse d'incertitudes

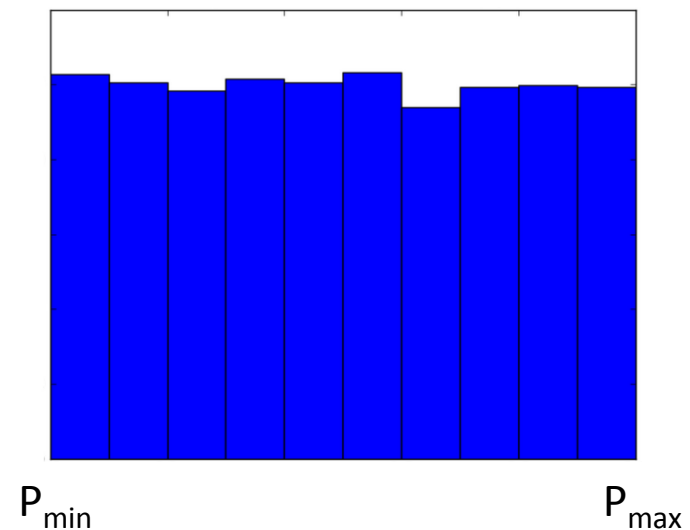
- Méthodologie en 3 étapes:

1. Analyse de sensibilité locale
2. Attribuer une loi de probabilité et une incertitude pour chaque paramètre
3. Construire un méta modèle à base de polynôme de chaos

Paramètres mesurés



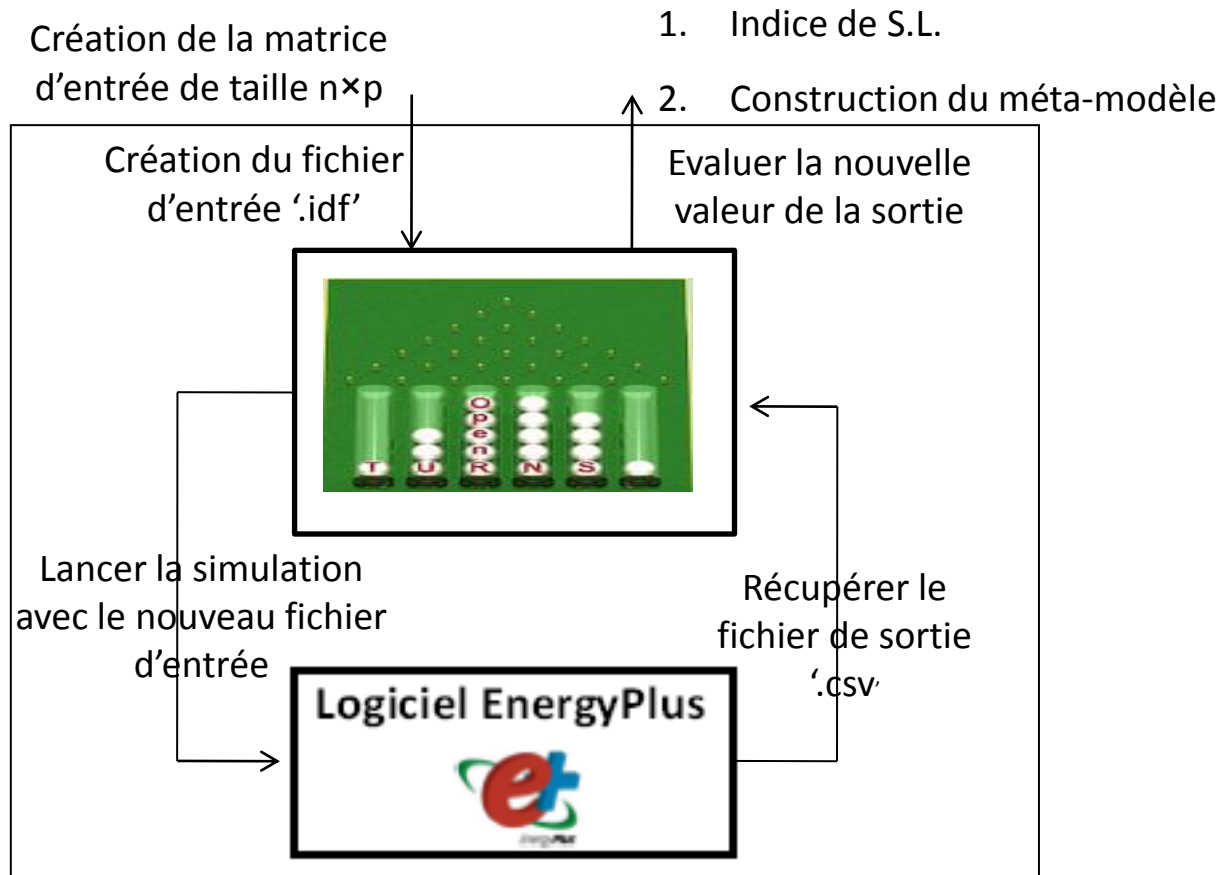
Paramètres mal connus





# Comment réaliser cette méthodologie?

- Un couplage EnergyPlus-OpenTurns pour :
  - L'analyse de sensibilité locale
  - La construction du méta-modèle



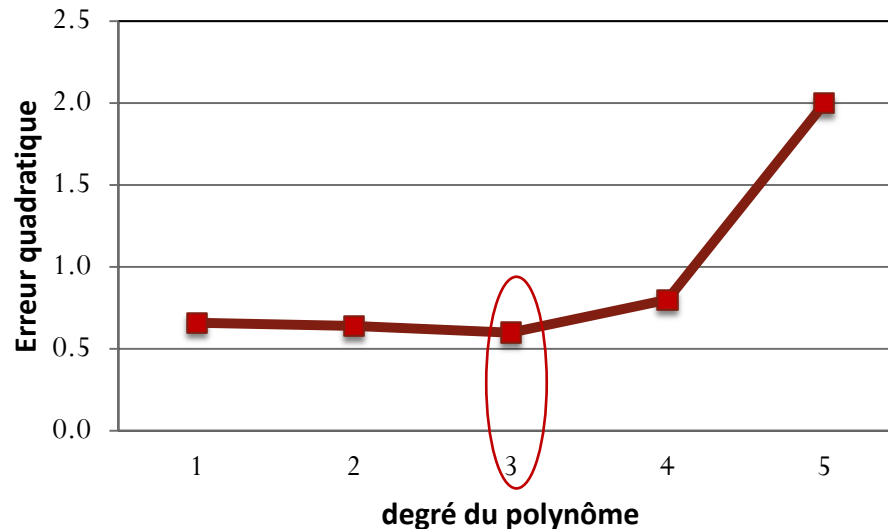
# Comment faire le choix du méta-modèle?

- Choix du degré optimal des polynômes et de la taille optimale de l'échantillon

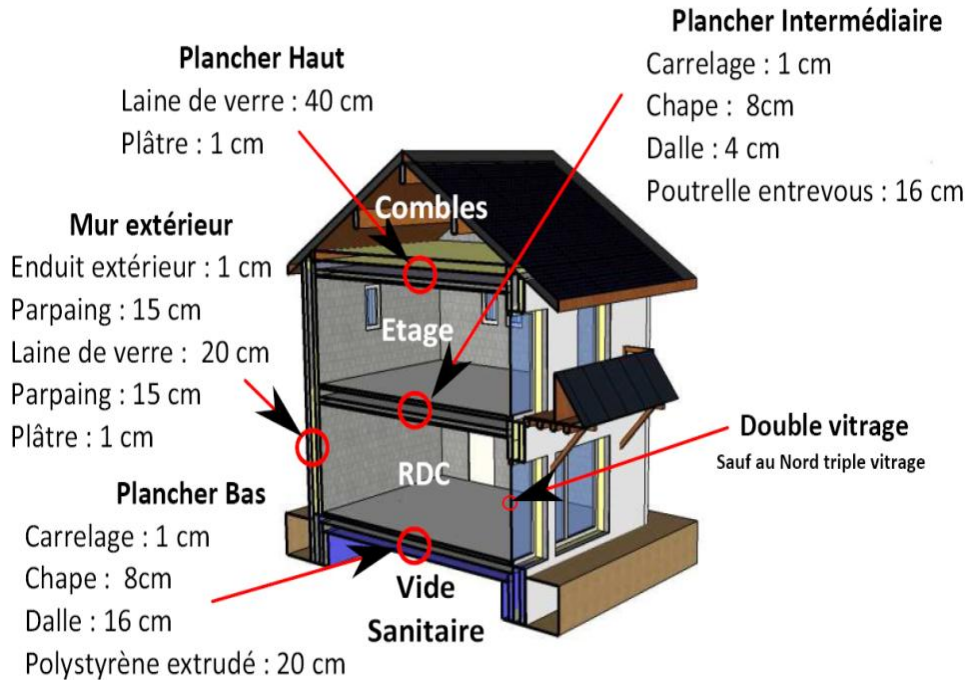
Diviser la base de données de la sortie en 2 :

- une base d'apprentissage
- une base de validation

$$L^2 = \sqrt{\frac{1}{n_v} \sum_{i=1}^{n_v} [g(\underline{X}_i) - \tilde{g}(\underline{X}_i)]^2}$$



# Cas test: Maison INCA-DM INES Chambéry



- Un scénario pour une famille de 4 personnes
- Fichier météo typique de Chambéry
- Sortie examinée:

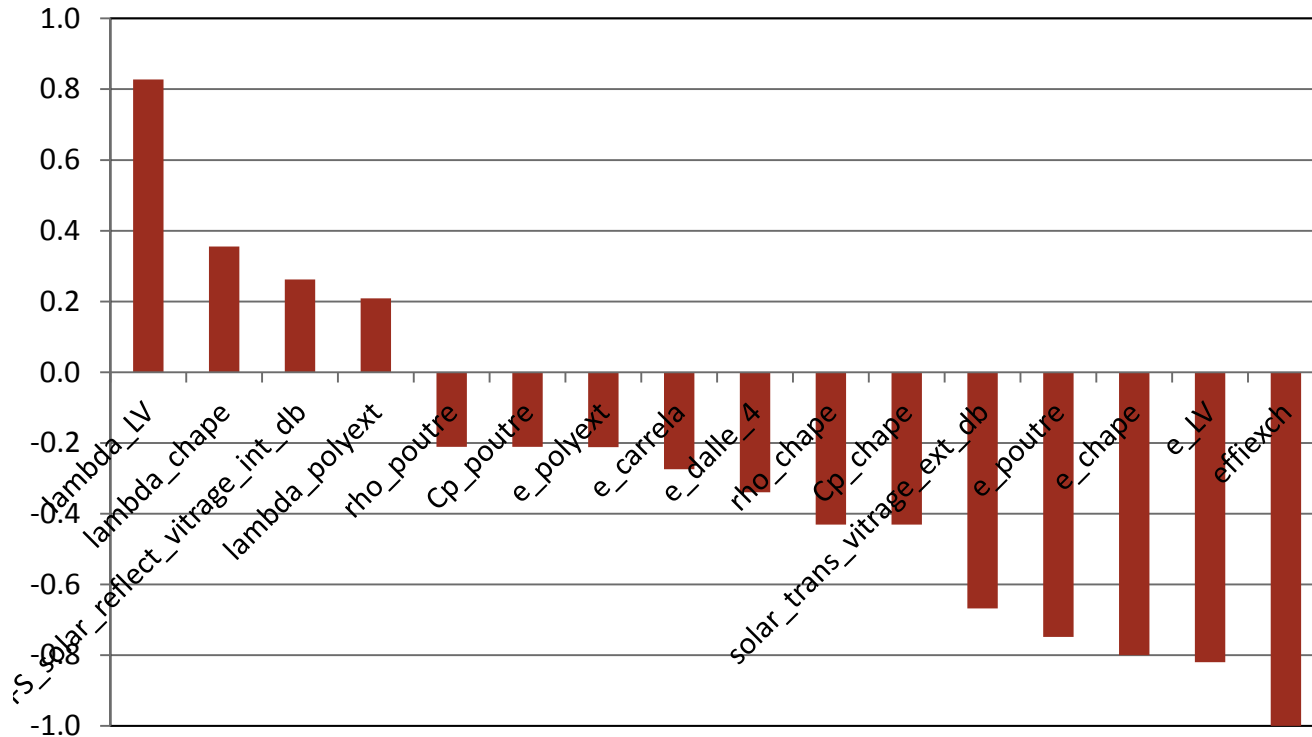
## Besoins annuels en chauffage

### 143 paramètres incertains statiques:

1. La conductivité, l'épaisseur, la chaleur spécifique et la masse volumique des matériaux opaques
2. L'absorptivité et l'émissivité pour les enduits intérieurs et extérieurs
3. Les caractéristiques du vitrage pour les matériaux translucides
4. Les caractéristiques des volets
5. La résistance thermique de la porte d'entrée
6. L'albédo
7. Le débit de ventilation et sa répartition entre les 2 zones (RDC et étage)
8. Le débit d'infiltration
9. Les coefficients de convection

# 1<sup>ère</sup> étape : Analyse de sensibilité locale

## Besoins annuels en chauffage



## 2ème étape: Attribution d'une loi de probabilité et d'une incertitude pour les paramètres sélectionnés

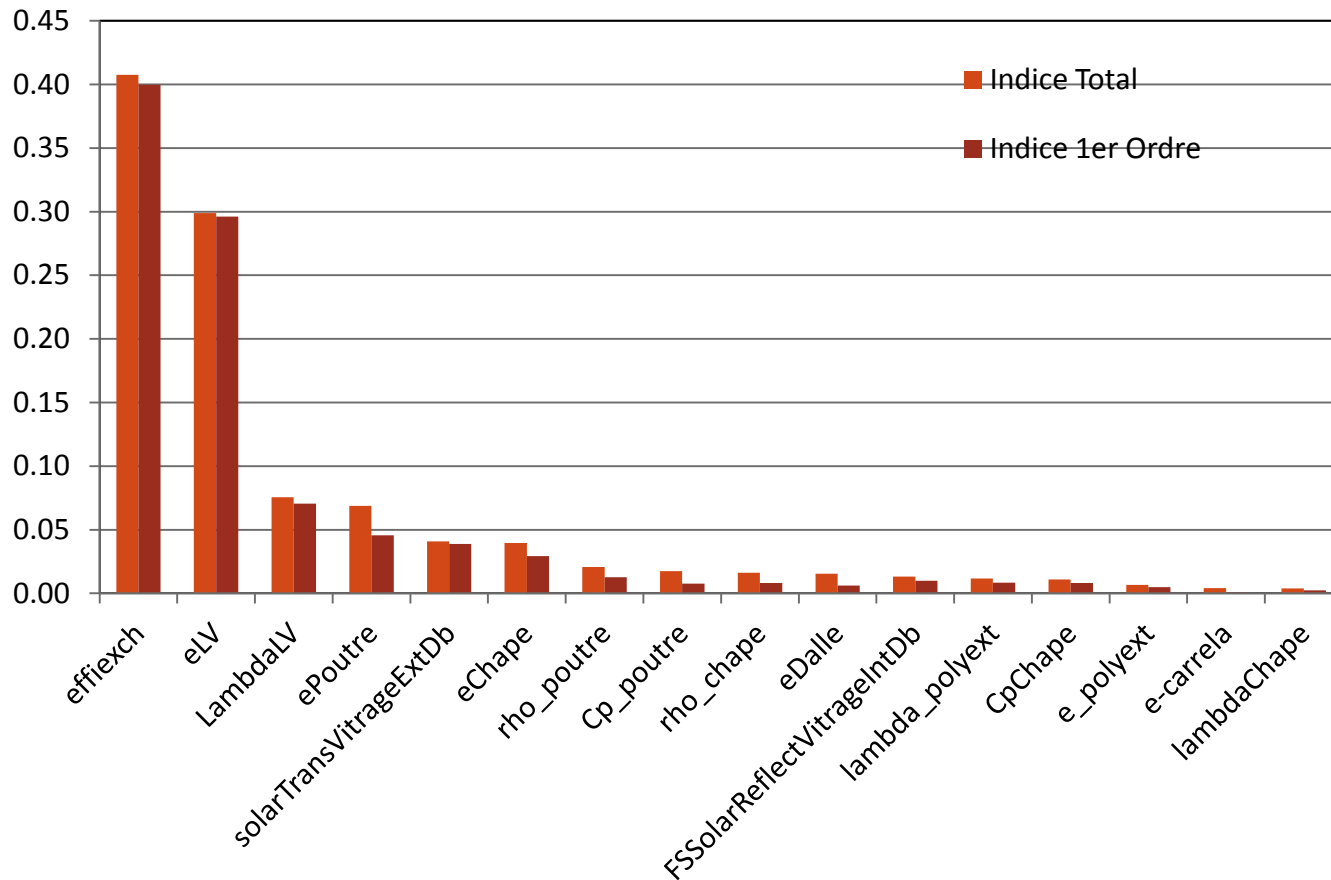
Paramètres	Loi de distribution	Incertitude
conductivité de la laine de verre	Normale	$\pm 5\%$
conductivité de la chape	Normale	$\pm 5\%$
réflexion vitrage intérieur double	Normale	$\pm 5\%$
conductivité du polystyrène extrudé	Normale	$\pm 5\%$
masse volumique de la poutrelle entrevous du plancher intermédiaire	Normale	$\pm 10\%$
chaleur spécifique de la poutrelle entrevous du plancher intermédiaire	Normale	$\pm 10\%$
épaisseur polystyrène extrudé	Normale	$\pm 3\%$
épaisseur du carrelage	Normale	$\pm 5\%$
épaisseur de la dalle du plancher intermédiaire	Normale	$\pm 10\%$
masse volumique de la chape	Normale	$\pm 10\%$
chaleur spécifique de la chape	Normale	$\pm 10\%$
transmission vitrage extérieur double	Normale	$\pm 5\%$
épaisseur de la poutrelle entrevous du plancher intermédiaire	Normale	$\pm 10\%$
épaisseur de la chape	Normale	$\pm 10\%$
épaisseur de la laine de verre	Normale	$\pm 10\%$
efficacité de l'échangeur double flux	Uniforme	$\pm 10\%$

## 3ème étape: Construction et choix du polynôme de chaos, Besoins annuels en chauffage

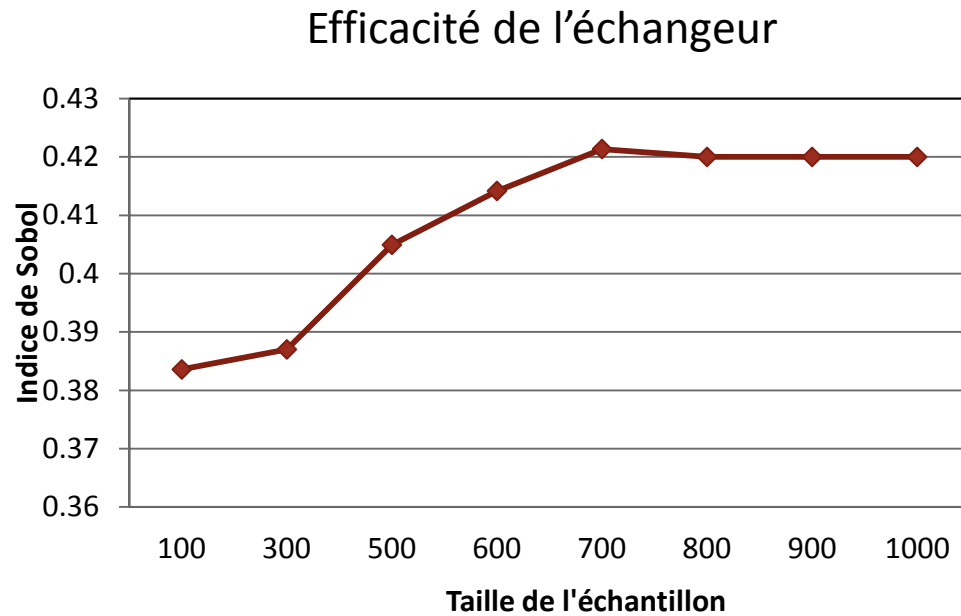
Taille de l'échantillon	Degré optimal	Erreur quadratique
1500	1	0,68
2000	2	0,613
2600	2	0,61

**Taille optimale de l'échantillon : 2000 pour un polynôme de degré 2**

# Résultats de l'analyse de sensibilité globale



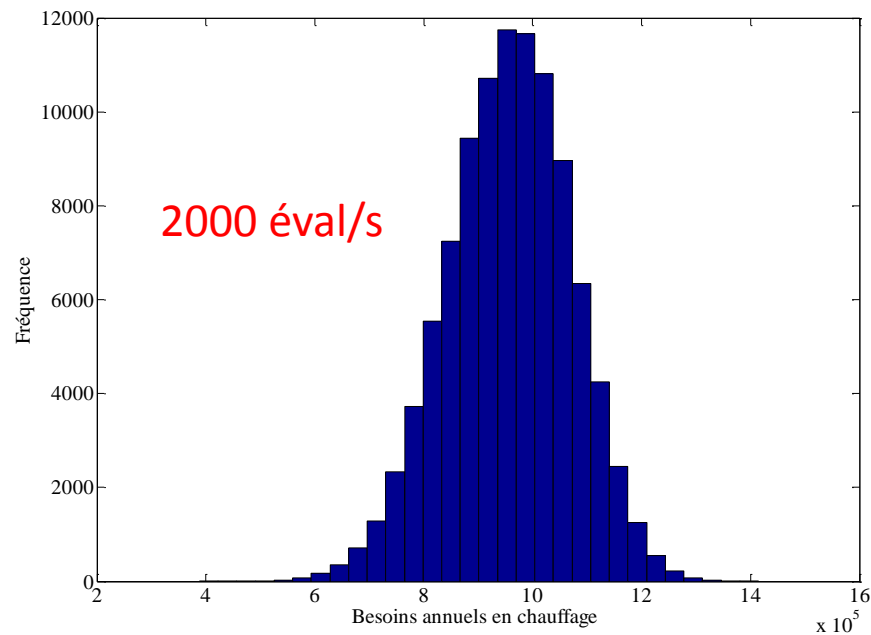
# Convergence de l'indice de Sobol





# Résultats de la propagation d'incertitudes

Sortie	Moyenne	Incertitude absolue (2 fois l'écart-type)	Incertitude relative (%)
Besoins annuels de chauffage [KWh/m <sup>2</sup> .an]	9,6	$\pm 2,27$	23%



# Conclusions et Perspectives

- Proposer une méthodologie à base de polynôme de chaos adaptée à l'échelle du bâtiment
- Hiérarchiser les paramètres grâce à une analyse de sensibilité globale
- Effet important des paramètres statiques sur les indicateurs de performance

## Perspectives

- Profiter des atouts du méta-modèle pour:
  - L'analyse de performance d'un parc de bâtiments semblables
- Intégrer ces méthodes pour l'aide à la décision pour des opérations de conception et de rénovation

Merci de votre attention

# 1<sup>er</sup> Test : Modifier l'isolant utilisé

Sortie	Moyenne	Incertitude absolue (2 fois l'écart-type)	Incertitude relative (%)
Besoins annuels de chauffage [KWh/m <sup>2</sup> .an]	10,8	$\pm 1,8$	16%

IS efficacité de l'échangeur=0,6

## 2<sup>ème</sup> test : Ajouter des paramètres incertains (1/2)

Les paramètres ajoutés :

- Débit d'infiltration
- Débit de ventilation
- Répartition du débit de ventilation entre RDC et Etage
- Albédo

Sortie	Moyenne	Incertitude absolue (2 fois l'écart-type)	Incertitude relative (%)
Besoins annuels de chauffage [KWh/m <sup>2</sup> .an]	16,3	± 2,4	15%

## 2<sup>ème</sup> test : ajouter des paramètres incertains (2/2)

