



# Analyse de sensibilité et d'incertitude

## Méthodologie pour la garantie de performance

Atelier garantie de performance énergétique  
*27 octobre 2015 – SIMUREX – Porticcio*

Présentation

Charles Garnier  
Balsam Ajib  
Bruno Peuportier

# Objectifs

- Etudier un processus de garantie de performance énergétique  
=> application à un cas d'étude réel : bâtiment en réhabilitation
- Définir l'objectif de performance en intégrant des sources d'incertitudes et des possibilités d'ajustement :
  - comportements
  - climat
  - valeurs techniques et/ou de conception
- Vérifier les résultats après travaux et expliquer les éventuels écarts

Travaux menés dans le cadre de l'ANR OMEGA

# Démarche

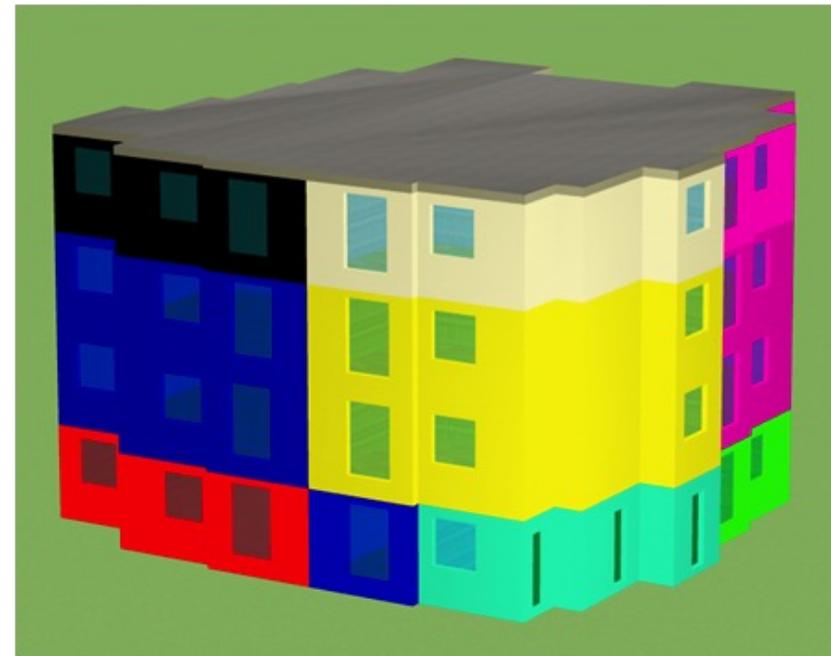
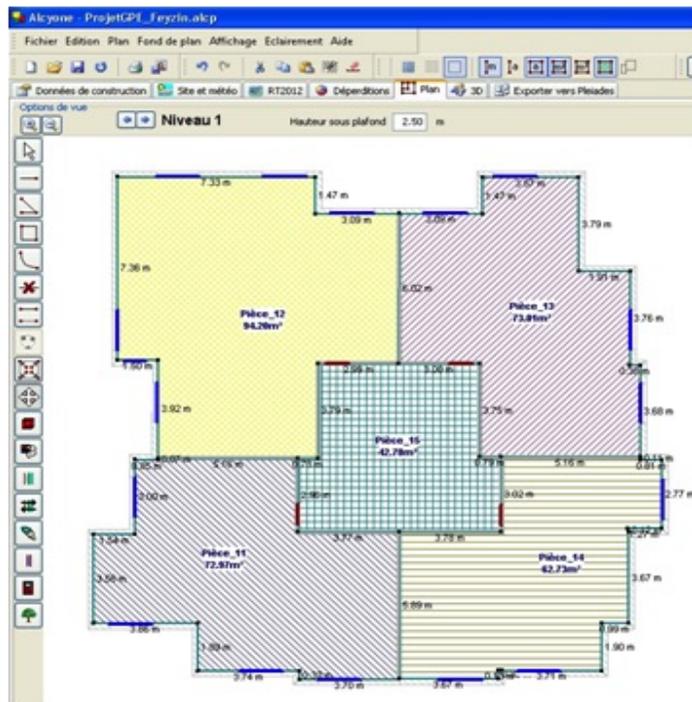
- Caractériser les paramètres incertains :
  - Identification *a priori* des paramètres pouvant être incertains
  - Distinction des paramètres entre :
    - Valeur technique et/ou de conception
    - Valeur liée au climat
    - Valeur liée aux comportements des occupants
  - Définition des plages d'incertitudes associées
- Choix des paramètres à ajuster et propagation d'incertitudes :

***expression de la performance garantie a priori***
- Protocole de mesure et de vérification de la performance  

***expression de la performance garantie a posteriori***

# Application à un cas d'étude : bâtiment de logements collectifs

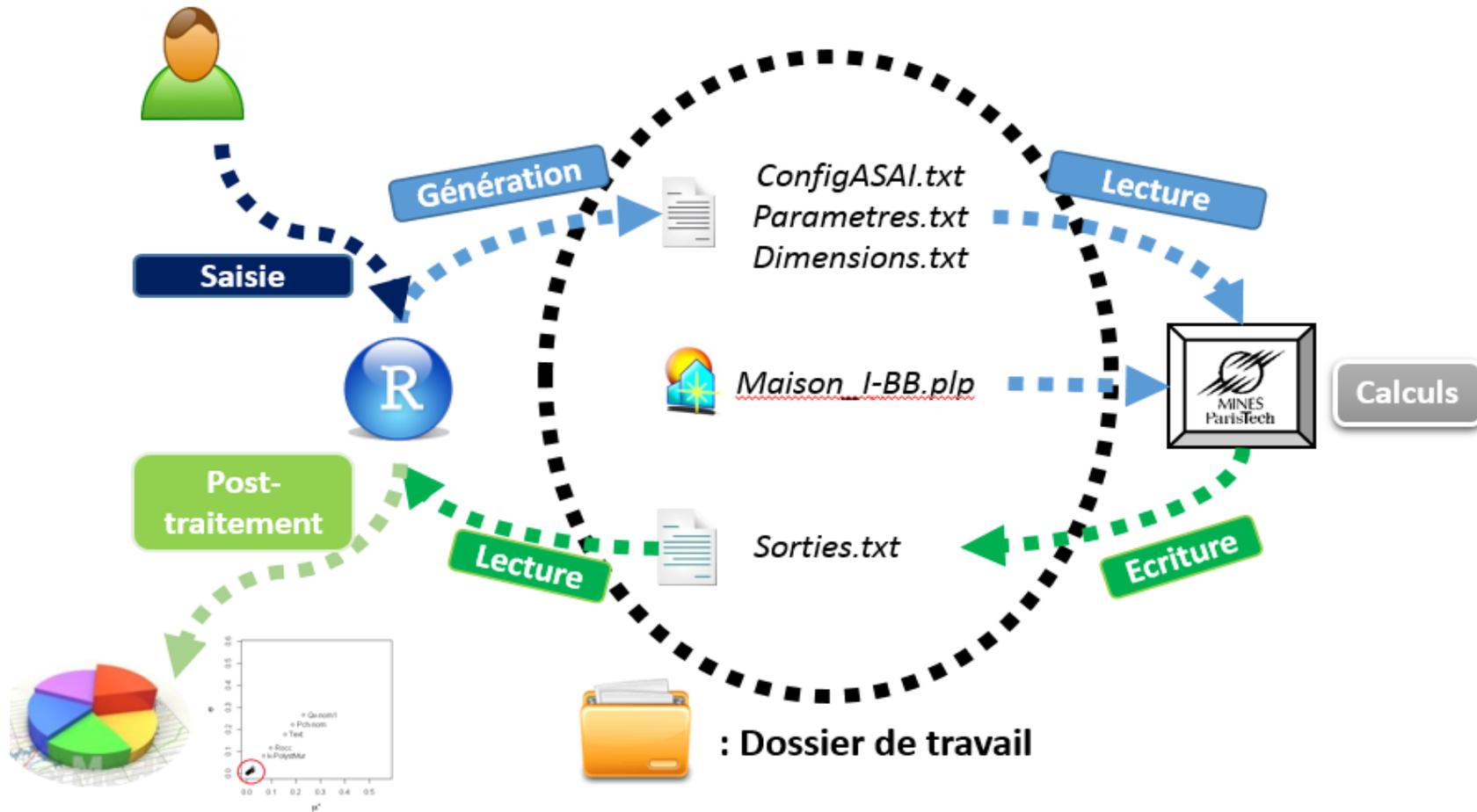
Immeuble de 16 logements à Feyzin (69), bâtiment E  
Zones thermiques (RdC, étages courants, dernier niveau / orientations)



On cherche à garantir la performance énergétique (***consommation liée au chauffage et à l'ECS***) du bâtiment après rénovation

# Implémentation logicielle

Couplage informatique : COMFIE et R (outil de statistiques)



# Définition des paramètres incertains

Les sources d'incertitudes peuvent provenir :

- d'une méconnaissance du bâtiment existant
  - d'incertitudes sur des valeurs techniques et/ou de conception dues à la mise en place sur chantier
  - du comportement des occupants difficile à prédire
  - des variations climatiques
- + incertitudes sur certains paramètres du modèle thermique (exemple : coefficient de convection)

# Définition des paramètres incertains

39 paramètres incertains ont été identifiés sur le cas d'étude de Feyzin :

- 2 paramètres liés au site (*albédo, rayonnement solaire global horizontal diffus*)
- 20 paramètres liés à des valeurs techniques et/ou de conception (*conductivité, chaleur massique, masse volumique, émissivité, propriétés des fenêtres, ponts thermiques, infiltrations, débit de ventilation*)
- 2 paramètres liés aux occupants (*occupation, occultation*)
- 7 paramètres de modélisation (*coefficients de convection intérieurs et extérieurs*)
- 8 paramètres liés aux équipements (*chaudière*).

# Définition des paramètres d'ajustement

- Certains paramètres sont incertains, mesurables et peuvent être intégrés à un contrat de GPE :
  - Paramètres concernant le climat : ***température extérieure, rayonnement solaire global***
  - Paramètres liés aux occupants : ***température de consigne pour le chauffage, consommation d'ECS, puissance dissipée par les appareils***
  - Paramètre lié aux équipements : ***température d'eau chaude***
- La mesure de ces paramètres une fois les travaux réalisés permet d'ajuster la consommation énergétique garantie.
- Nécessité d'évaluer le gain sur la consommation garantie du à l'ajustement d'un paramètre car la mesure représente un coût
  - => 1<sup>er</sup> temps : seule la température extérieure comme paramètre d'ajustement**

# Analyse de sensibilité

- Définition d'une marge d'incertitude *a priori*
  - Valeurs technique/conception :
    - données de la littérature, d'experts
  - Données météo :
    - delta sur le fichier météo année typique

*Remarque : la marge d'incertitude sur la température extérieure est de +/- 0.5°C car considéré comme paramètre ajusté*

- Valeurs dépendant du comportement des occupants :
  - Écart en % par rapport aux seules valeurs connues (celles avant travaux ou valeurs moyennes de la population française)
- Analyse de sensibilité globale car problème complexe avec interaction entre les paramètres incertains  
**=> Méthode de Morris**

# Méthode de Morris

## Intervalle de confiance pour la méthode de Morris

Effet élémentaire  $\mu_p = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r d_{X_{pi}}$  Effet non linéaire / interaction  $\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (d_{X_{pi}} - \mu_p)^2}$

Distance à l'origine  $D_p = \sqrt{\mu_p^{*2} + \sigma_p^2}$  comme critère de sélection des paramètres

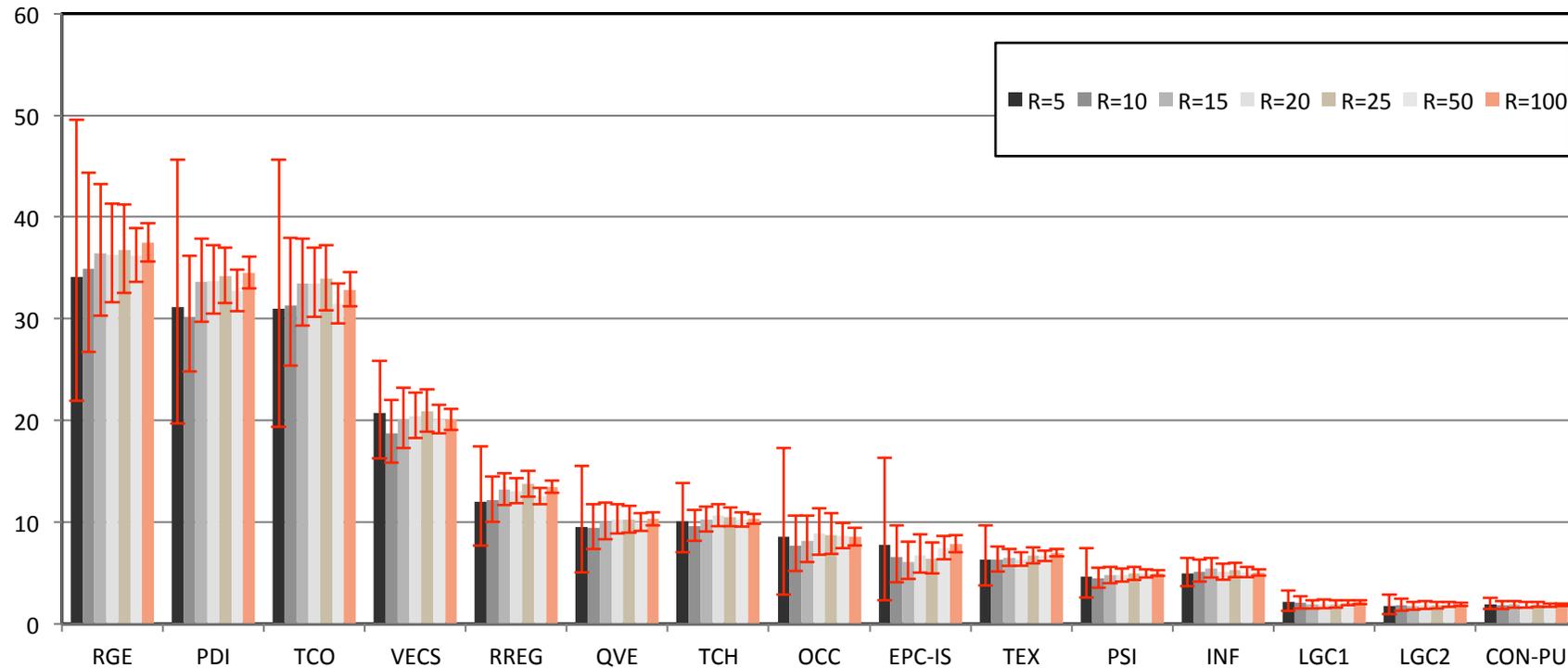
Intervalle de confiance à 95% défini de la manière suivante :

$$\mu_p^* \pm T(r-1, 0.025) \frac{S_p^*}{\sqrt{r}} \quad \text{et} \quad \left[ \sqrt{\frac{r-1}{\chi^2(r-1, 0.025)}} \sigma_p ; \sqrt{\frac{r-1}{\chi^2(r-1, 0.975)}} \sigma_p \right]$$

et 
$$\Delta D_p = \frac{\partial D}{\partial \mu_p^*} \times \Delta \mu_p^* + \frac{\partial D}{\partial \sigma_p} \times \Delta \sigma_p$$

# Méthode de Morris

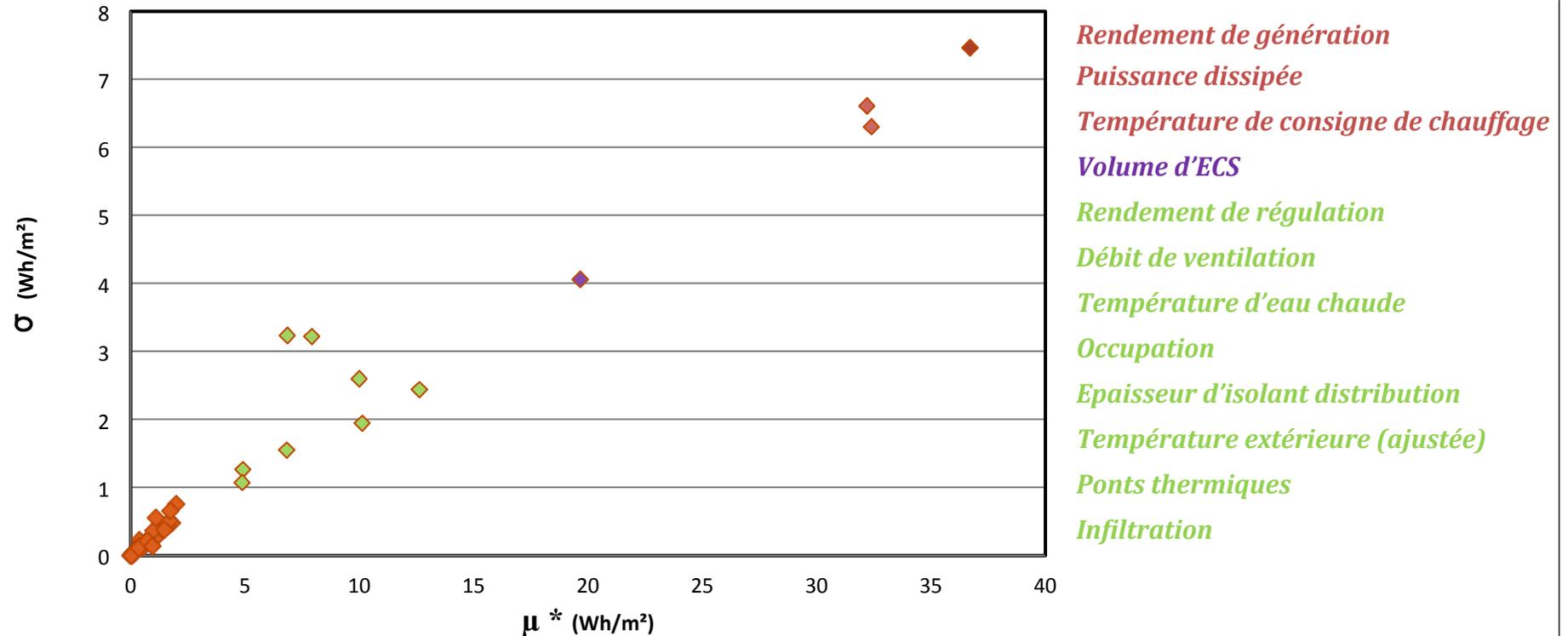
## Intervalle de confiance pour la méthode de Morris



Si le nombre de répétitions est trop faible  
=> on ne peut pas conclure de manière satisfaisante  
Par la suite les résultats sont présentés pour ***r=100***

# Méthode de Morris

## Caractérisation des paramètres influents



12 paramètres incertains identifiés comme influents

# Propagation d'incertitude

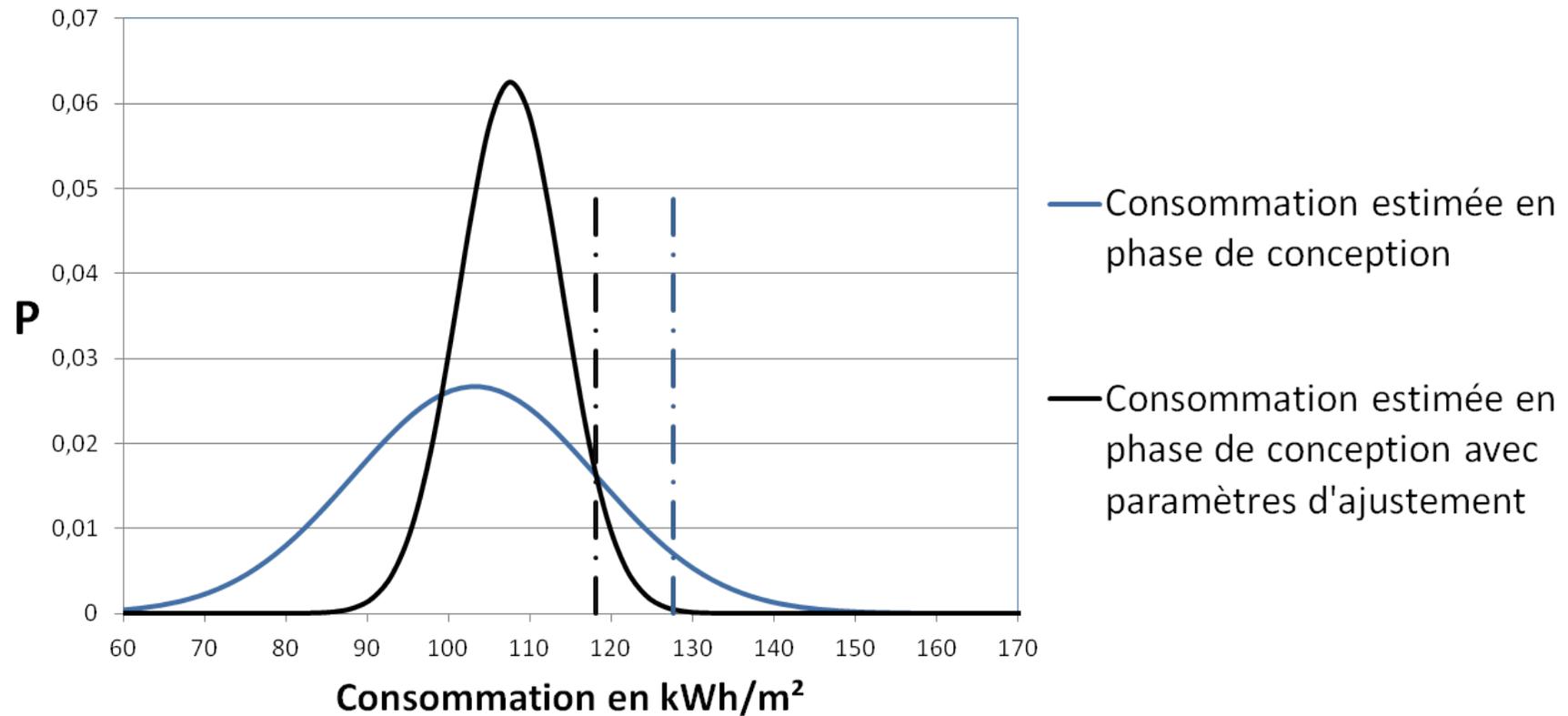
- Définition de lois de probabilité *a priori* :
  - Valeurs techniques et/ou conception : loi normale
  - Valeurs liées aux comportements : loi normale
  - Valeurs climatiques : loi normale

*Remarque : les lois normales sont tronquées aux bornes des intervalles définis à l'étape précédente*

- Méthode de quasi Monte-Carlo avec séquences de Sobol

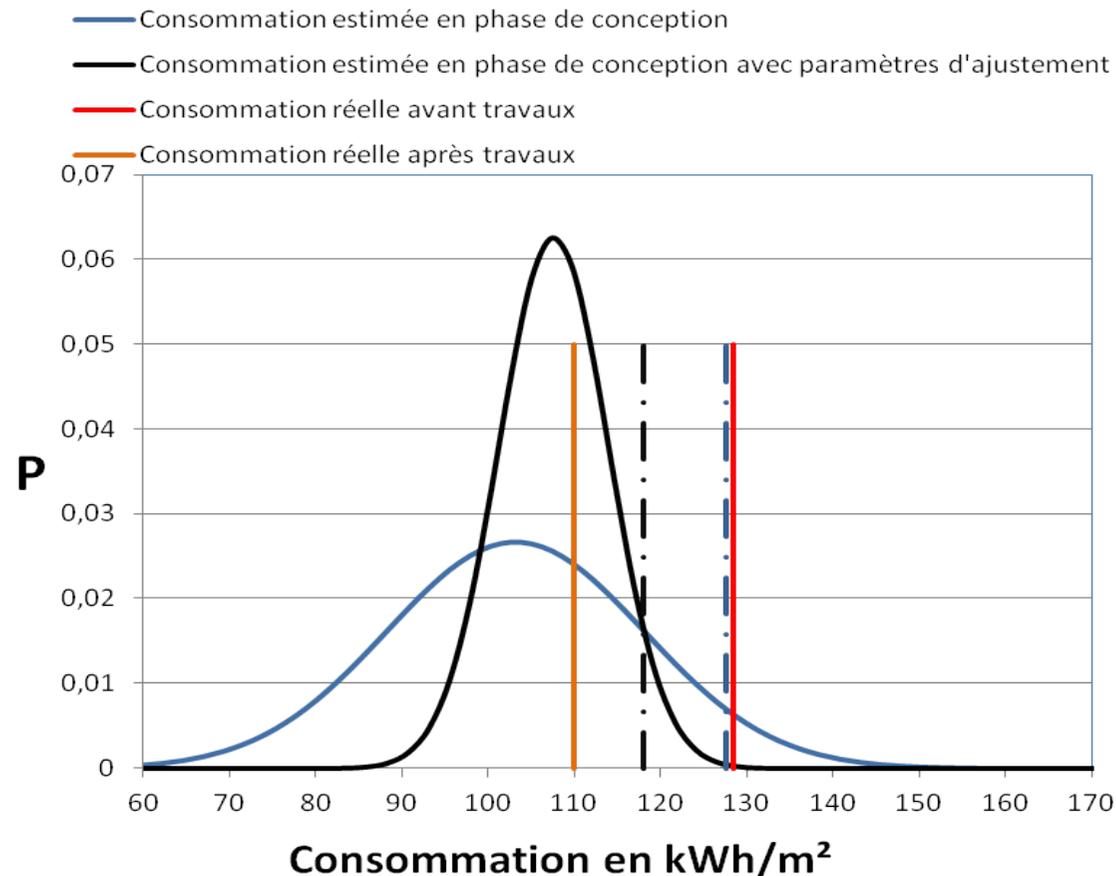
# Propagation d'incertitude

- Influence des paramètres d'ajustement
- ⇒ Réduction des marges d'incertitudes et meilleure garantie de performance



# Propagation d'incertitude

- Comparaison avec la consommation réelle



A noter que :

- *DJU année typique = 2022*
- *DJU après travaux = 2314*
- Les valeurs des paramètres d'ajustement ne correspondent pas à celles mesurées après les travaux

**=> Protocole de mesure et de vérification**

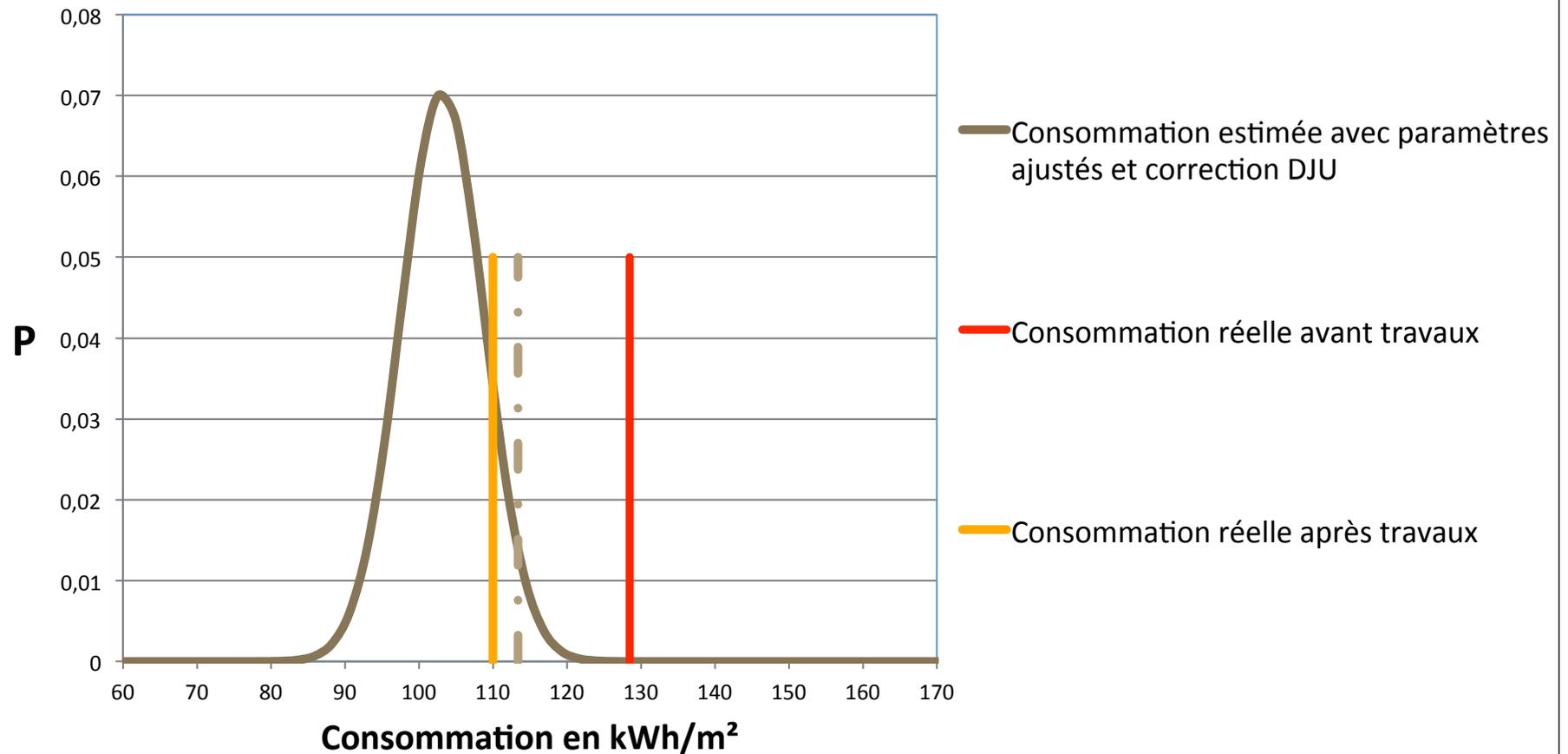
# Propagation d'incertitude

- Protocole de mesure et de vérification
  - Correction de la température extérieure via une correction « simpliste » des besoins de chauffage
  - Ajustement des autres paramètres avec les mesures effectuées sur le bâtiment

**=> Estimation d'une consommation garantie *a posteriori***

# Propagation d'incertitude

- Protocole de mesure et de vérification



# Construction d'un polynôme d'ajustement

- La performance garantie est une consommation ajustée, exprimée sous la forme d'un polynôme simple

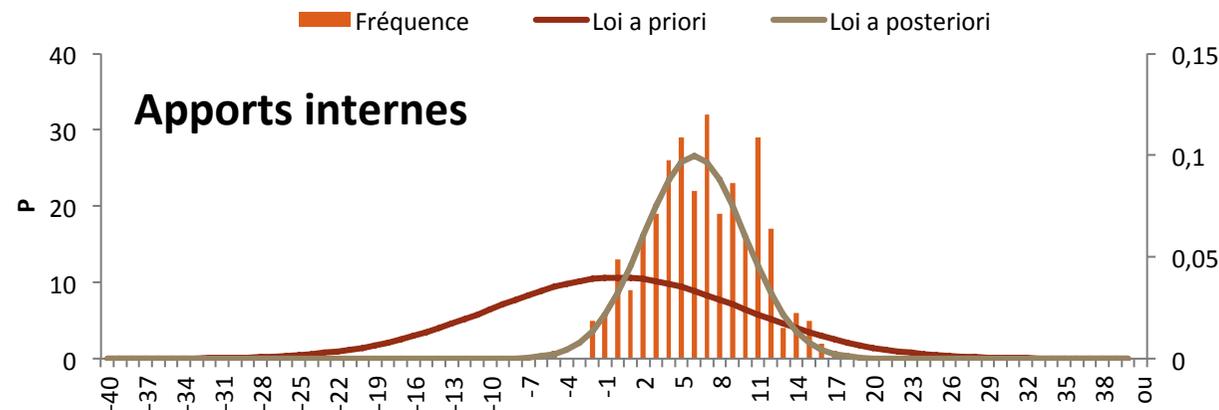
⇒ En première approche, on construira le polynôme sous la forme suivante :

$$\text{Consommation garantie ajustée} = \text{Consommation garantie calculée} + a * \Delta T_{ex} + b * \Delta ECS + c * \Delta T_{co} + d * \Delta P_{di}$$

... si les résultats ne sont pas satisfaisants on complexifiera le polynôme en prenant en compte les interactions d'ordre 1

# Calibrage du modèle

- Dans quel cas ?  
⇒ si après la procédure d'ajustement il existe des écarts entre mesure et consommation garantie estimée *a posteriori*
- Dans quel objectif ?  
⇒ Passer de lois *a priori* sur les paramètres incertains à des lois *a posteriori*



Merci de votre attention !