



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

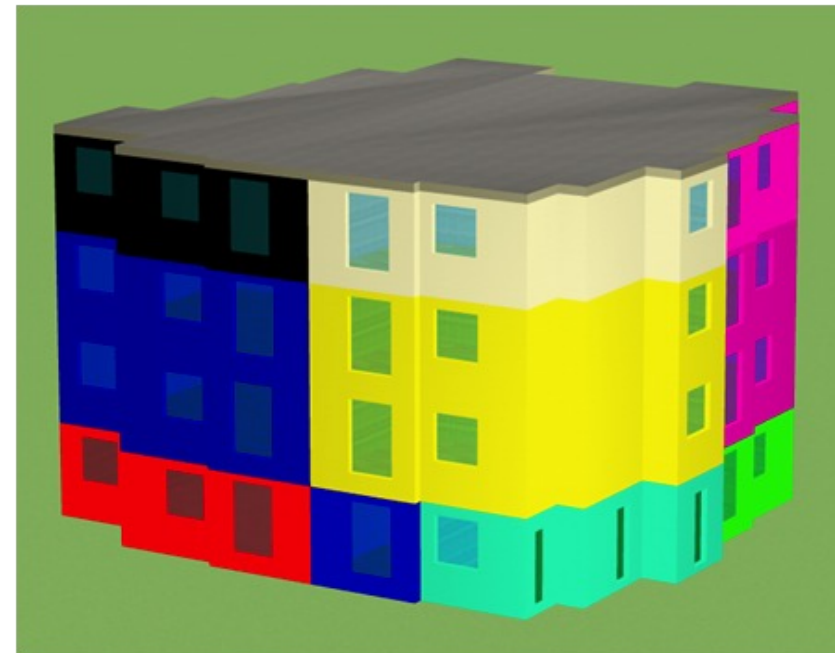
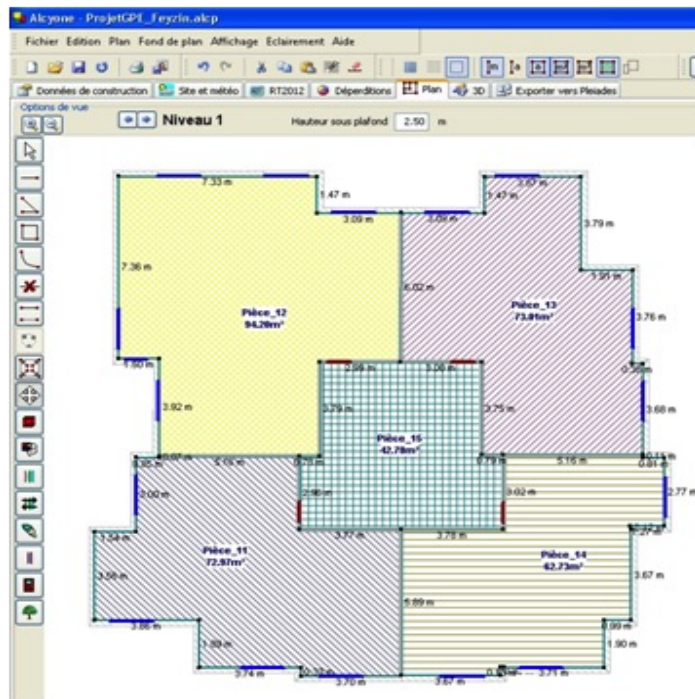
- Caractériser les paramètres incertains :
 - Identification *a priori* des paramètres pouvant être incertains
 - Distinction des paramètres entre :
 - Valeur technique et/ou de conception
 - Valeur liée au climat
 - Valeur liée aux comportements des occupants
 - Définition des plages d'incertitudes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

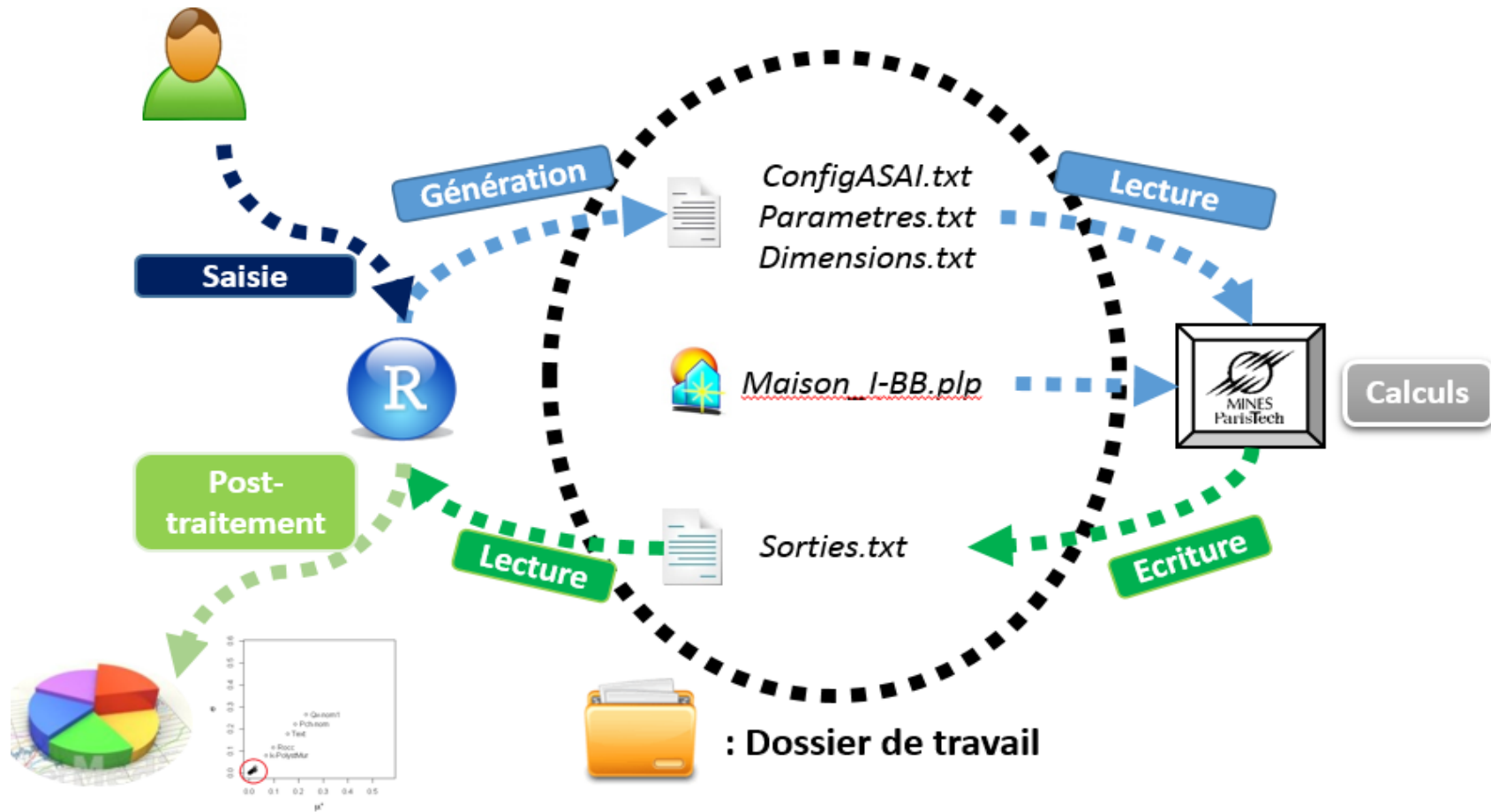
Immeuble de 16 logements à Feyzin (69), bâtiment E
Zones thermiques (RdC, étages courants, dernier niveau / orientations)



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^{er} 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

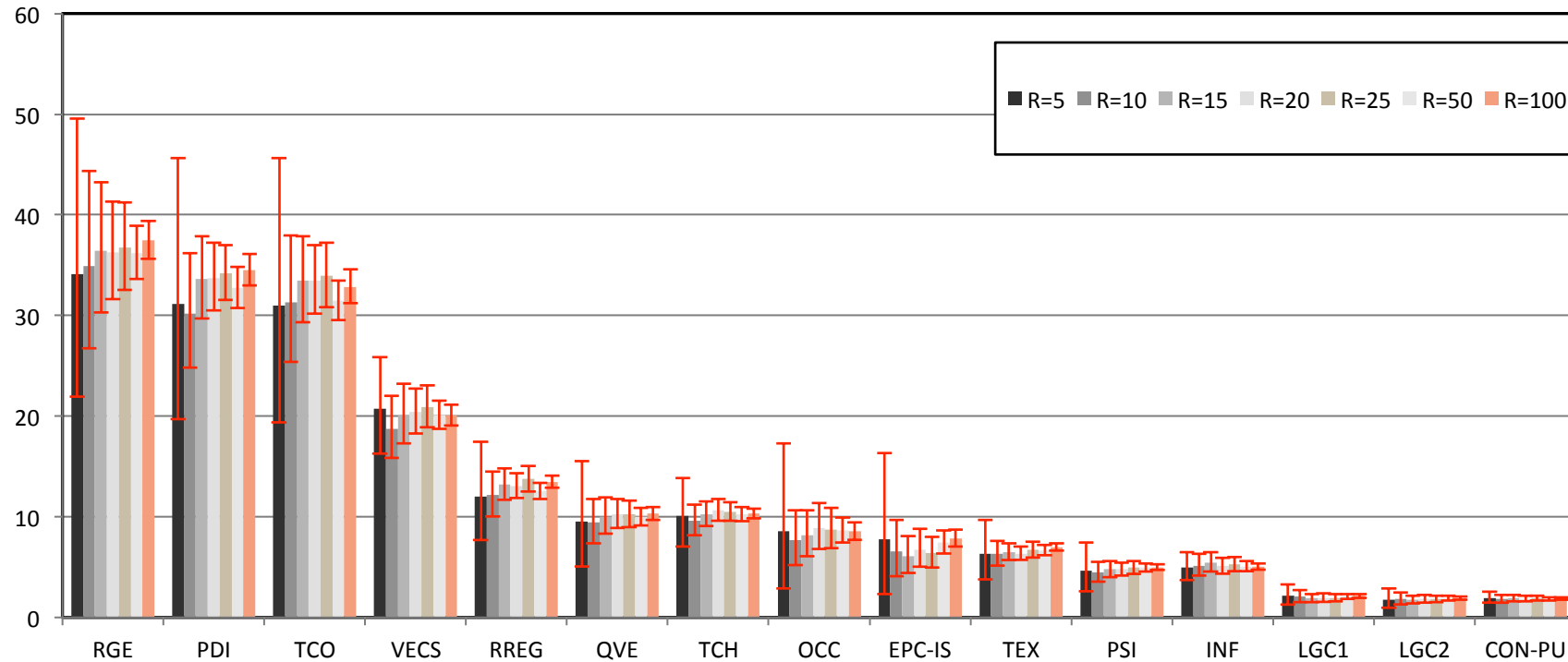
Intervalle de confiance à 95% défini de la manière suivante :

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

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

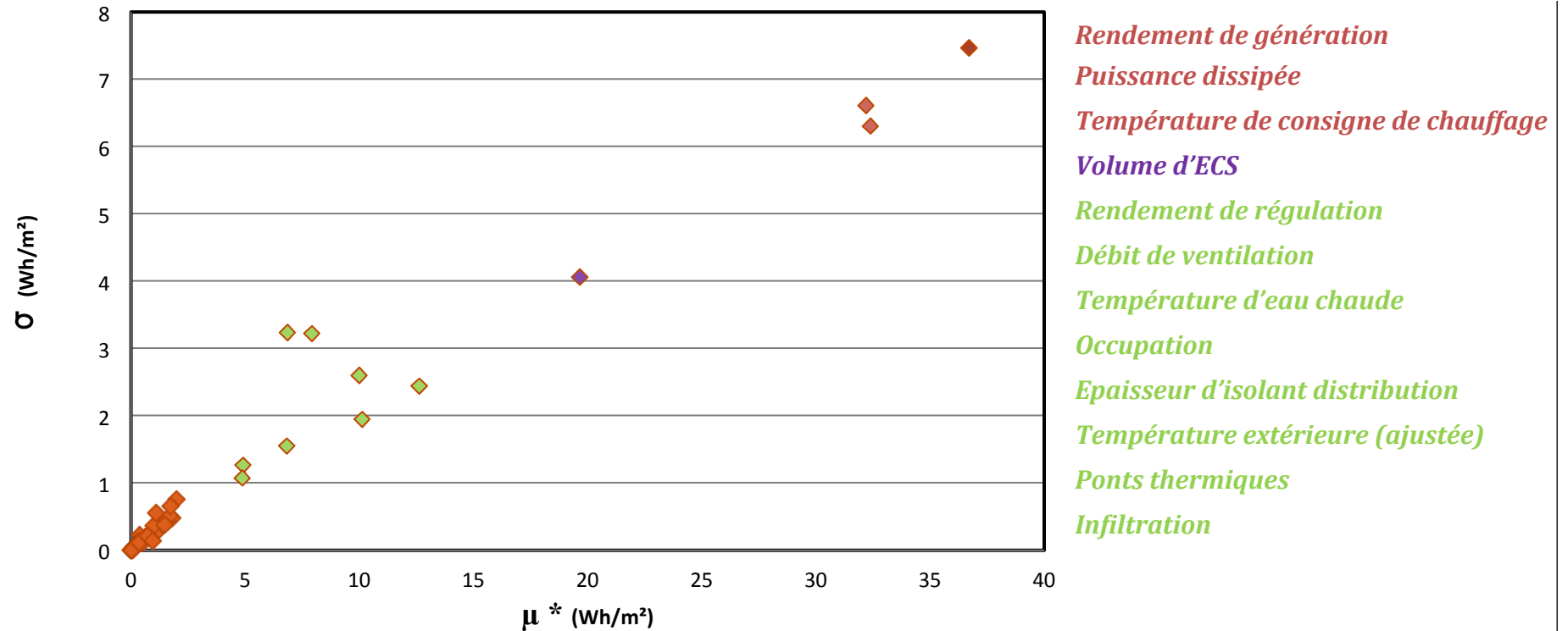
Intervalle de confiance pour la méthode de Morris



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

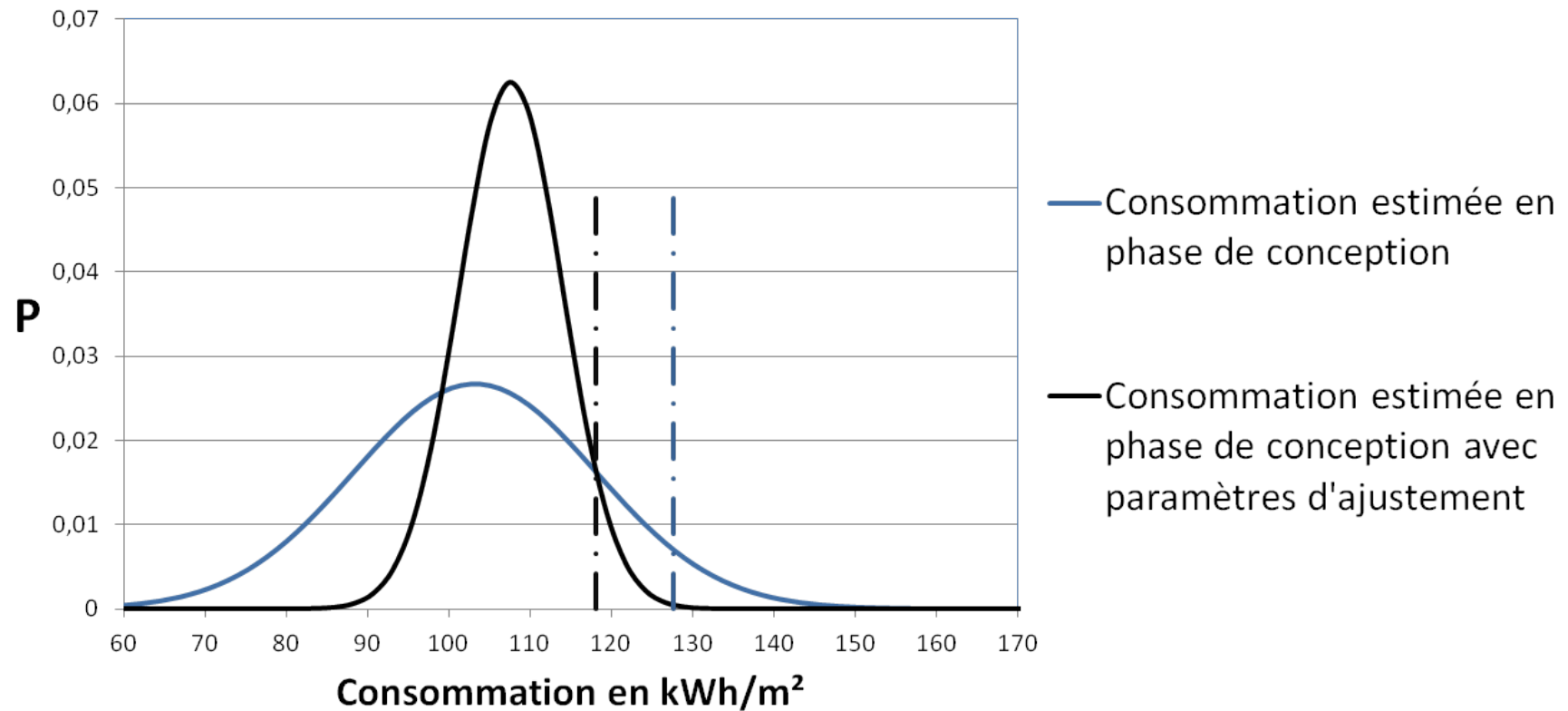
- Définition de lois de probabilité *a priori* :
 - Valeurs techniques et/ou conception : loi normale
 - Valeurs liées aux comportements : loi normale
 - Valeurs climatiques : loi normale

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

- Méthode de quasi Monte-Carlo avec séquences de Sobol

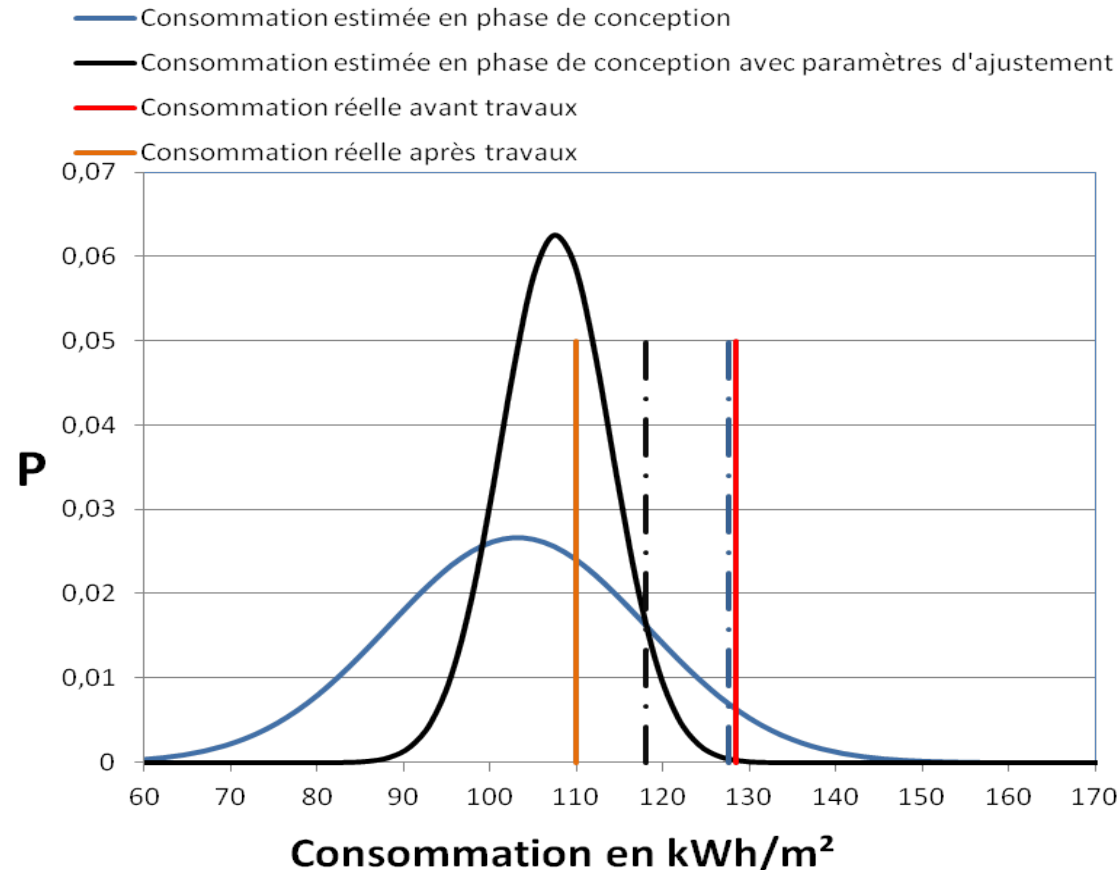
Propagation d'incertitude

- 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

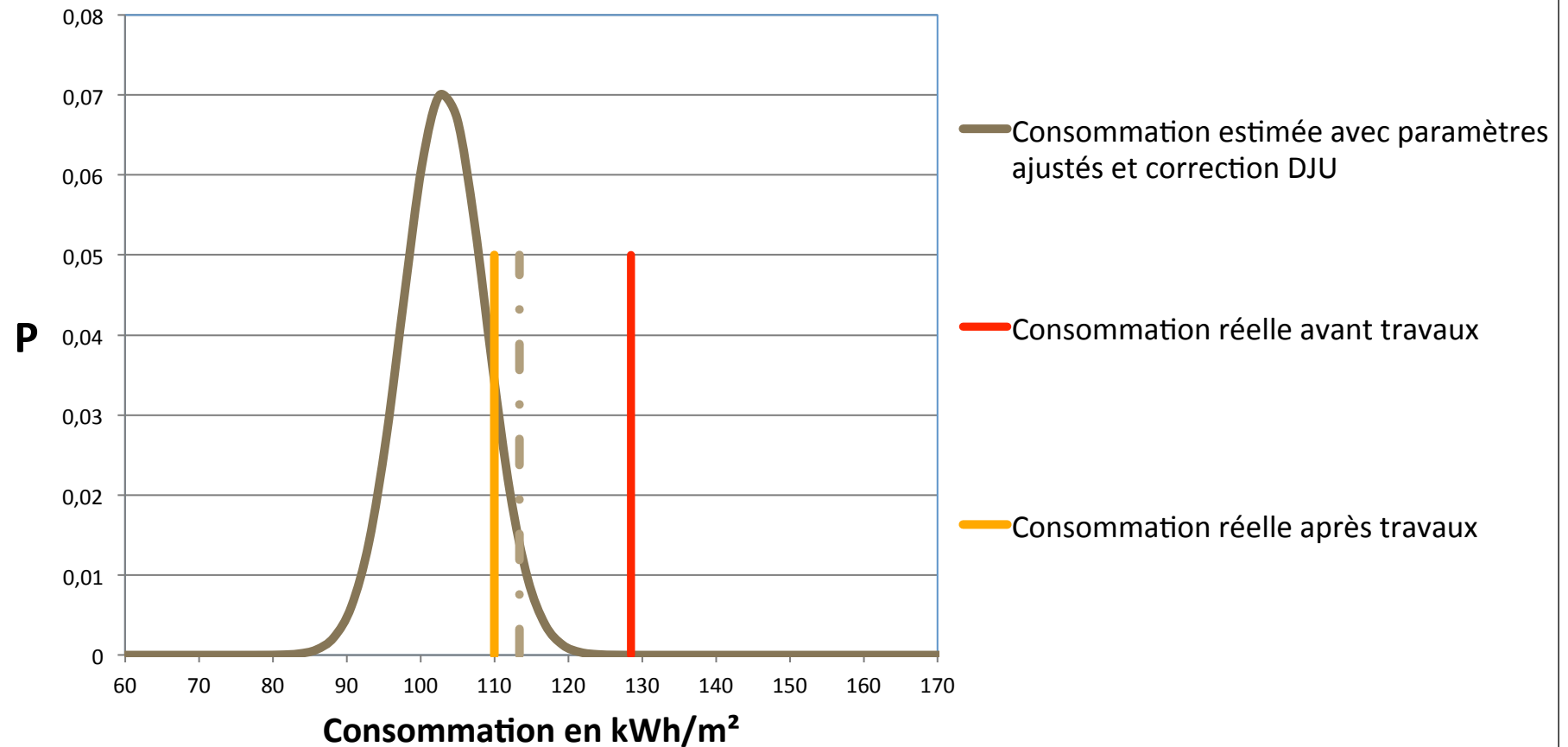
Propagation d'incertitude

- 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

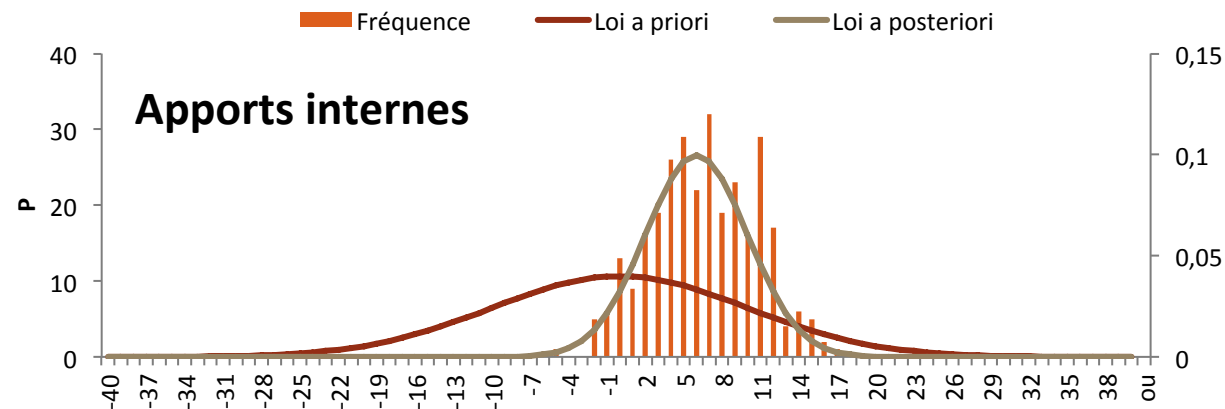
⇒ En première approche, on construira le polynôme sous la forme suivante :

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

... 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 !