Projet FIABILITE 2011-2014

Laurent MORA

Université de la chaire Eco-Conception - VINCI, Paris

24/09/2015

Le Projet

AAP HABISOL

- **Jan. 2011 – Déc. 2014**
- **Aide ANR : 1,07 M€; Coût complet : 2M€**
- **Le partenariat :**

Motivations/Contexte

- **Contexte : bâtiments à basse/très basse consommation**

- **Validité/biais issus d'hypothèses/approximations faites dans un autre contexte ?**
- **Quel niveau de précision des résultats de STD ? Peut-on garantir un résultat ?**
- **Importance des incertitudes sur le processus de décision en phase de conception/rénovation ?**

2 plateformes expérimentales

- **Plateforme INCAS**
  - 3 variantes constructive

- **Laboratoire BESTLAB**

Les 4 axes du projet

- **Identification, classement et évaluation des sources de biais et d'incertitudes dans les simulations**

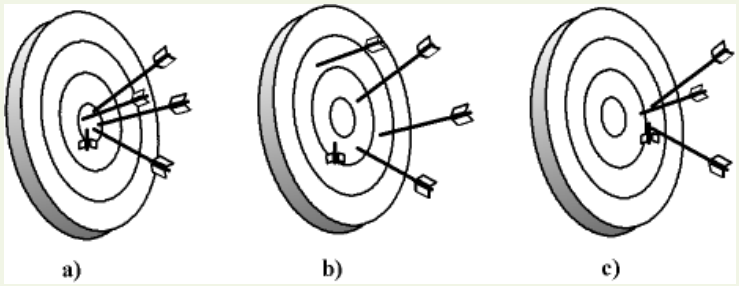
- **Incertitude sur les résultats de simulations**
  - Consommation d'énergie, indicateurs de confort…

- **Validation expérimentale de modèles**

- **Valorisation et dissémination des résultats**

1. Identification, classement et évaluation des sources de biais et d'incertitude dans les simulations

- **Hypothèses et approximations**
  - Identification des hypothèses
  - Définition de cas tests numériques
  - Caractérisation des biais : Comparaison modèles « standards » / modèles améliorés (ordre de grandeur du biais, signature statique et dynamique cf. validation de modèle)
- **Incertitudes aléatoires et subjectives**
  - Incertitudes sur les mesures (dispositifs expérimentaux)
  - Incertitudes sur les données de simulation



1. Identification, classement et évaluation des sources de biais et d'incertitude dans les simulations

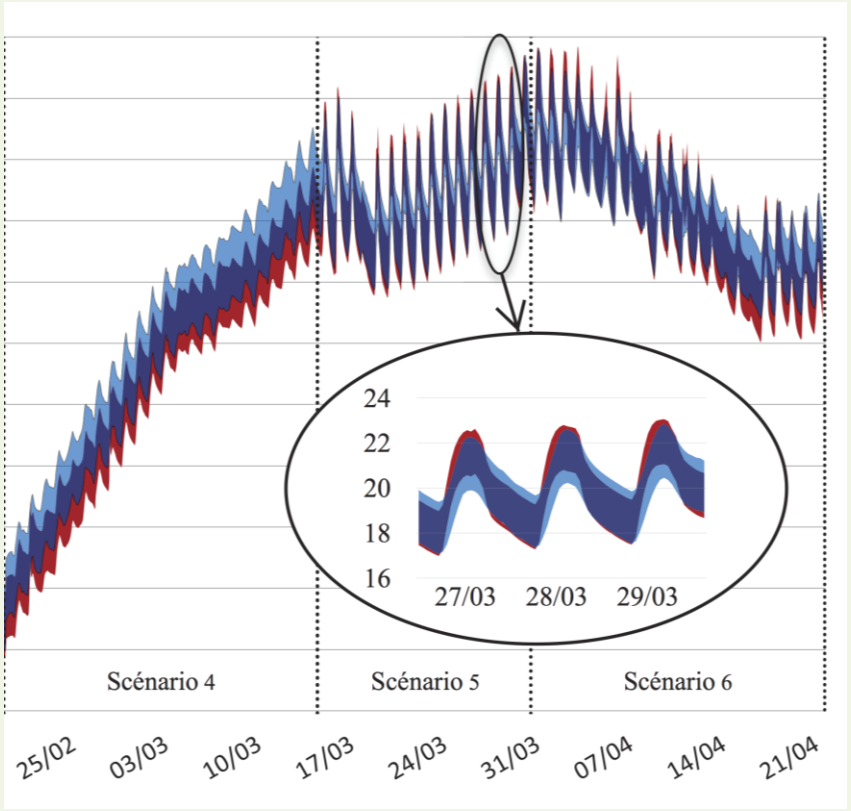
- **Résultat important en terme de description et structuration des hypothèses de modélisation**
- **Quelques conclusions des études menées**
  - Importance du zonage sur l'évolution des température et donc l'appréciation du confort
  - Nécessité de disposer de modèles détaillés pour l'évaluation des ponts thermiques (murs à ossature bois)
  - Faible impact du pas de temps < 20 min
- **Incertitudes**
  - Encore un effort de recherche nécessaire pour caractériser et quantifier les incertitudes sur les paramètres de simulation

2. Incertitude sur la réponse simulée

➔Rendre la propagation d'incertitudes praticable avec des faibles coûts de calcul

➔Quelles méthodes mettre en œuvre ?

➔Quelles spécificités des problèmes de notre domaine d'application ?



Recht, T.; Peuportier., B.

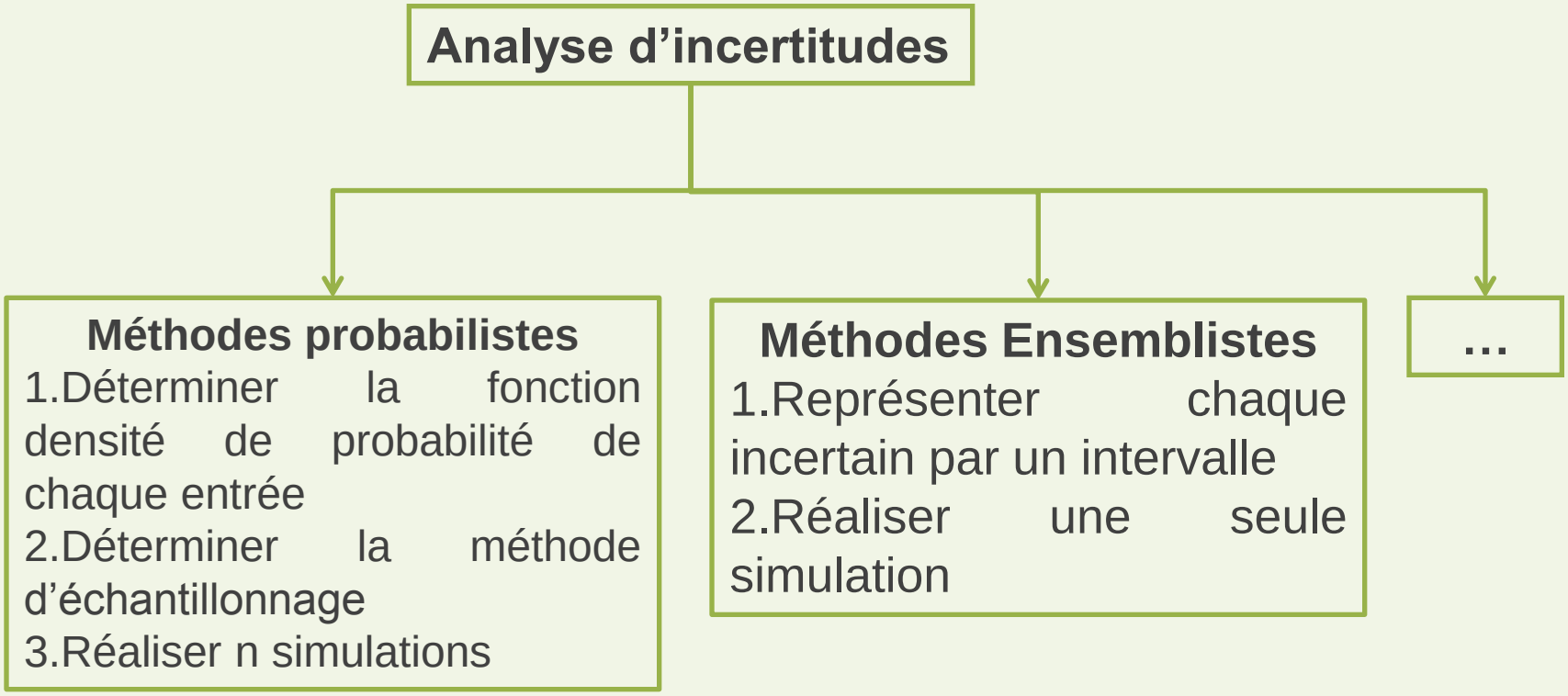
MINES ParisTech ARMINES

2. Incertitude sur la réponse simulée

- **Spécificité des problèmes rencontrés**
  - Pour un bâtiment : plusieurs centaines de paramètres
  - Quelques observable (résultats de simulation) : consommation d'énergie, indicateur de confort…

- **Des données de nature différente**
  - Paramètres statiques : ex. propriétés des matériaux
  - La météo : grandeurs dynamiques corrélées en temps et entre-elles
  - L'occupant : présence, activité, interaction avec le bâtiment, les systèmes, etc.

2. Incertitude sur la réponse simulée



- **Adapter les méthodes** à la nature des entrées incertaines
- Plus **faciles à implémenter** avec des outils de simulation ad-hoc
- Plusieurs **milliers** de simulations

- Nécessité de **ré-écriture** complète des modèles
- Limitées à l'étude de composants

2. Incertitude sur la réponse simulée

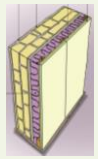
- **Méthodes probabilistes**
  - Identifier les paramètres les plus influents
  - Quantifier les incertitudes sur les grandeurs d'intérêt
  - Quels paramètres contribuent le plus à ces incertitudes ?

  - Comment réduire le temps de simulation ?
    - Réduction de modèle (comfie)
    - Construction de méta-modèles

2. Incertitude sur la réponse simulée

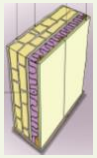
- **Démarche**

Paramètres incertains :



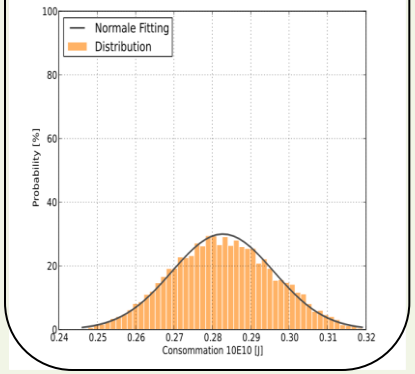
NP=X

Paramètres influents:



NP<<X

Variable d'intérêt

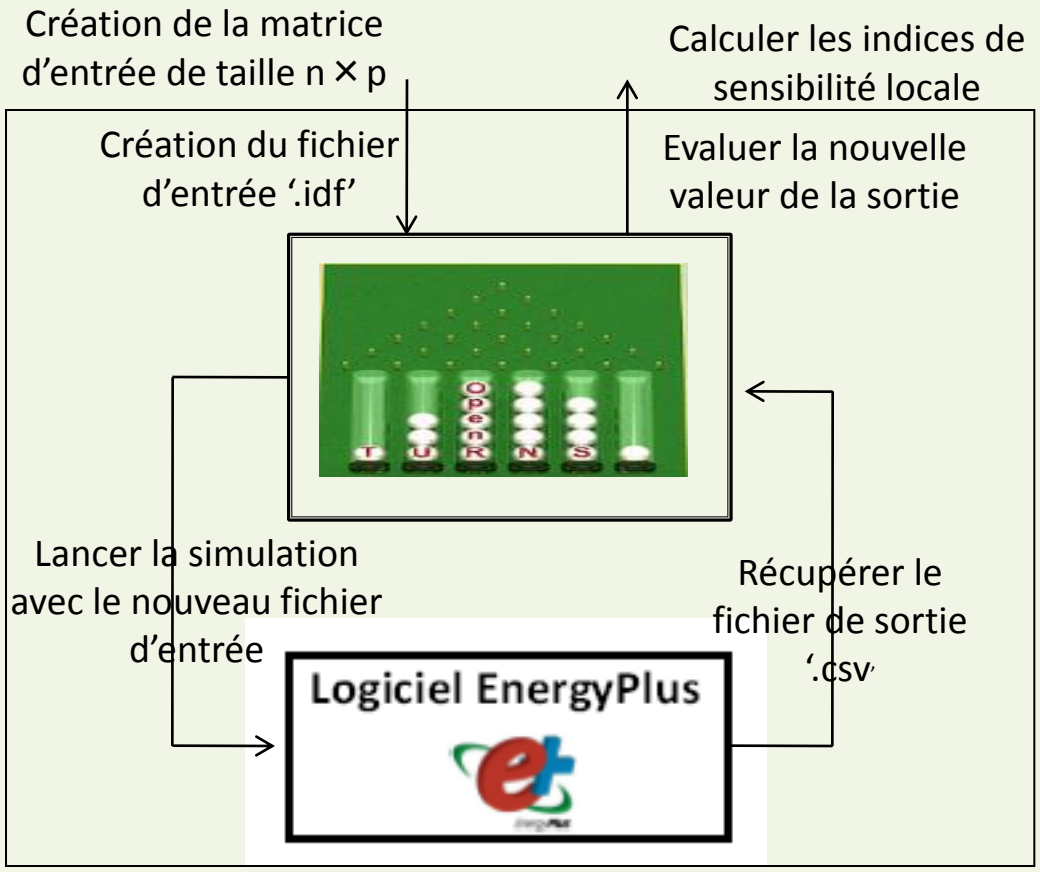


Analyse de sensibilité

Propagation d'incertitude

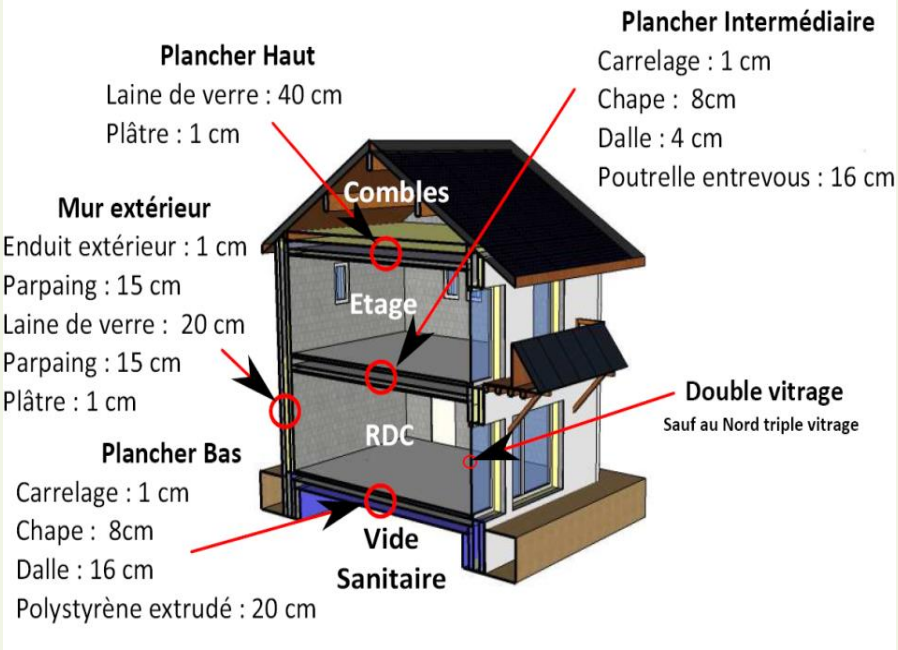
2. Incertitude sur la réponse simulée

- **Plateforme de calcul**



2. Incertitude sur la réponse simulée

Cas test: Maison INCAS-DM



- Un scénario répétitif pour une famille de 4 personnes économes en énergie
- Fichier météo typique de Chambéry
- Sorties examinées:

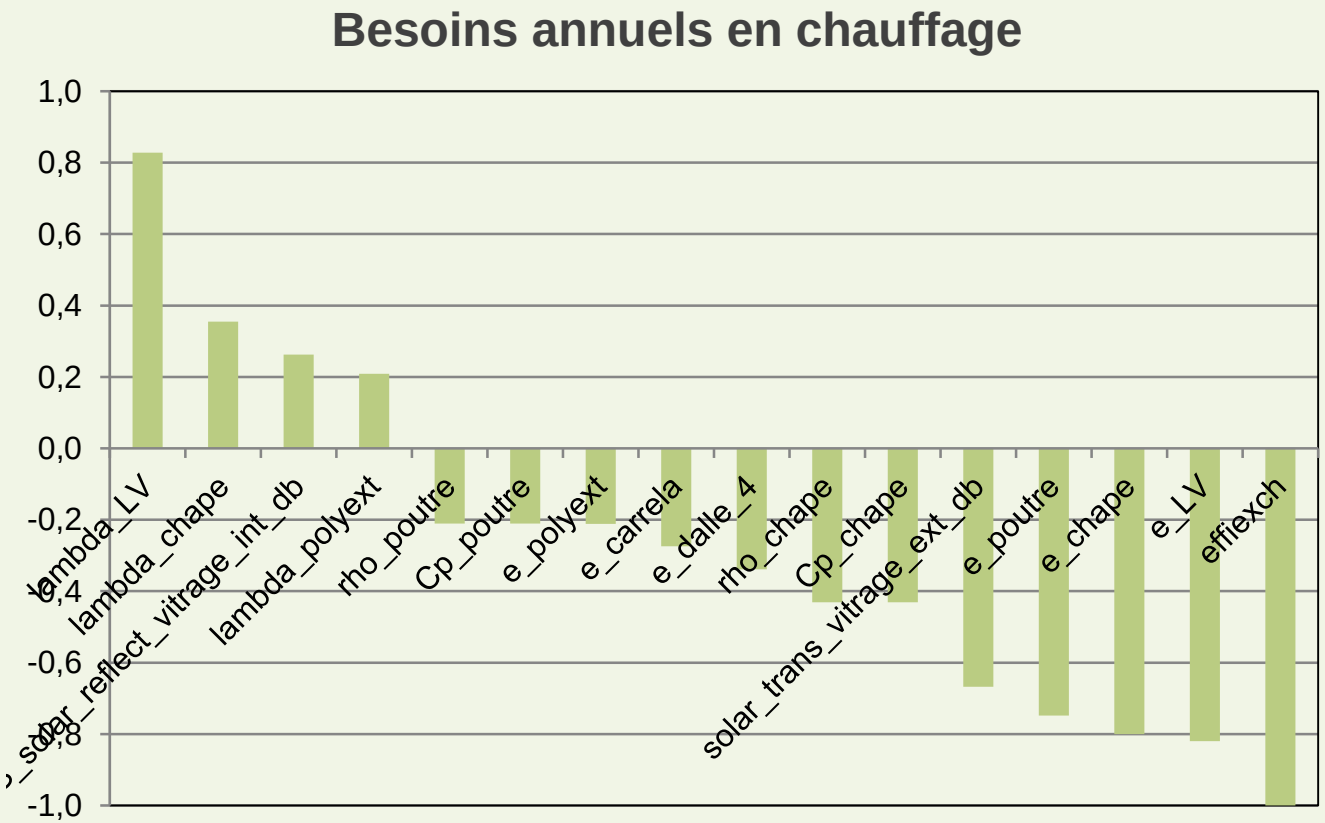
1.Besoins annuels en chauffage
2.Indicateur d'inconfort d'été

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 sa répartition entre les 2 zones (RDC et étage)
8.Le débit d'infiltration
9.Les coefficients de convection

2. Incertitude sur la réponse simulée

1ère étape: Analyse de sensibilité locale



16 paramètres sélectionnés

2. Incertitude sur la réponse simulée

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

Besoins annuels en chauffage

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

Indicateur d'inconfort d'été

Paramètres	Loi de distribution	Incertitude
épaisseur de la chape	Normale	±10%
épaisseur de la poutrelle entrevous du plancher intermédiaire	Normale	±10%
épaisseur de la dalle du plancher intermédiaire	Normale	±10%
masse volumique de la chape	Normale	±10%
chaleur spécifique de la chape	Normale	±10%
épaisseur du carrelage	Normale	±5%
transmission du vitrage extérieur double	Normale	±5%
masse volumique de la dalle du plancher intermédiaire	Normale	±10%
chaleur spécifique de la dalle du plancher intermédiaire	Normale	±10%
épaisseur de la laine de verre	Normale	±10%
masse volumique de la poutrelle entrevous du plancher intermédiaire	Normale	±10%
chaleur spécifique de la poutrelle entrevous du plancher intermédiaire	Normale	±10%
conductivité de la chape	Normale	±5%

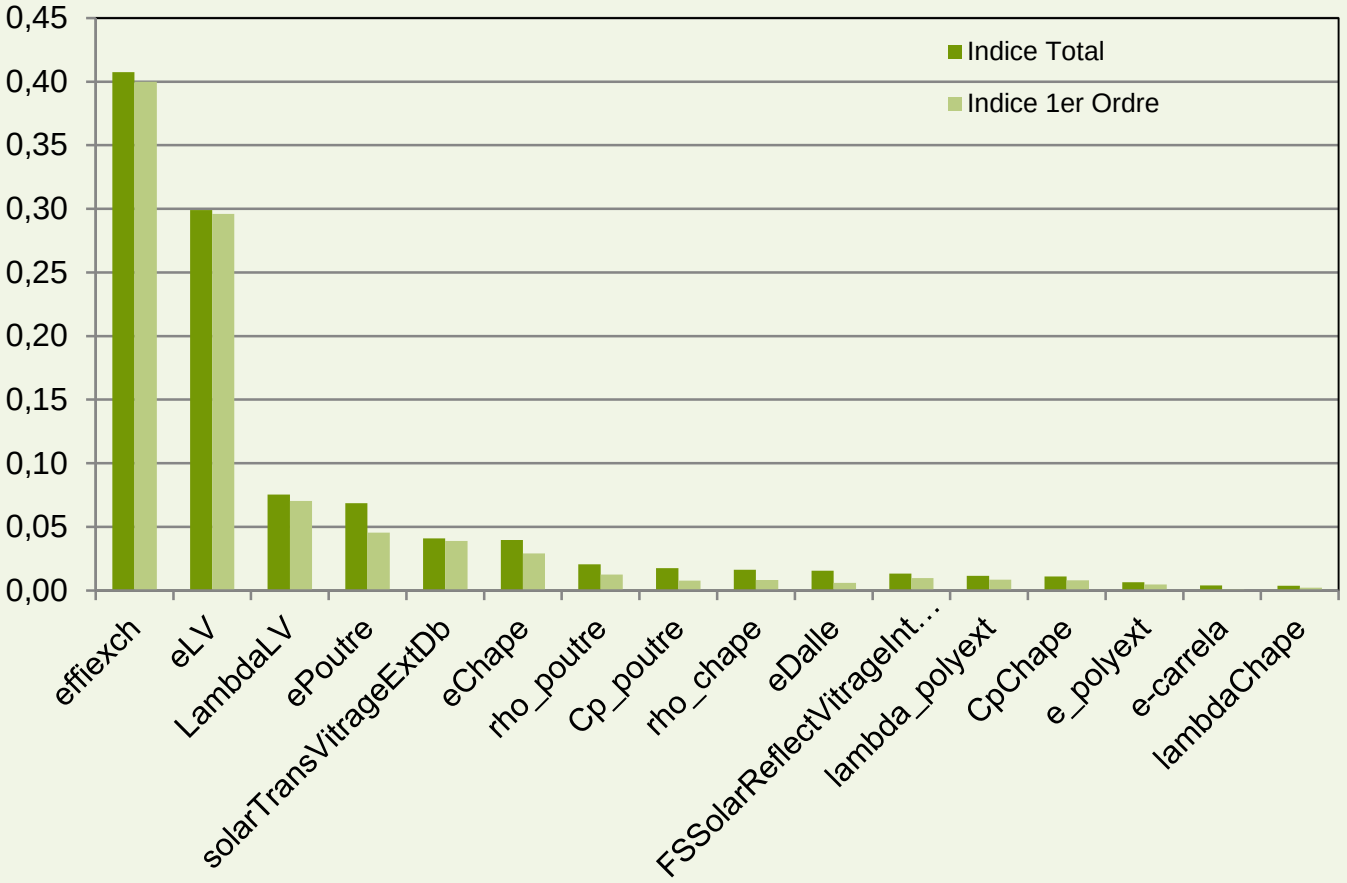
2. Incertitude sur la réponse simulée

Résultats de la propagation d'incertitudes

Sortie	Moyenne	Incertitude absolue (2 fois l'écart-type)	Incertitude relative (%)
Besoins annuels de chauffage [KWh/m^2.an]	9,6	± 2,27	23%

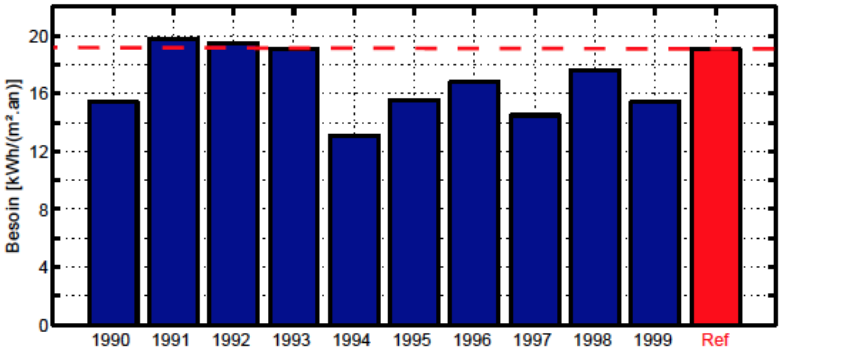
2. Incertitude sur la réponse simulée

Résultats de l'analyse de sensibilité

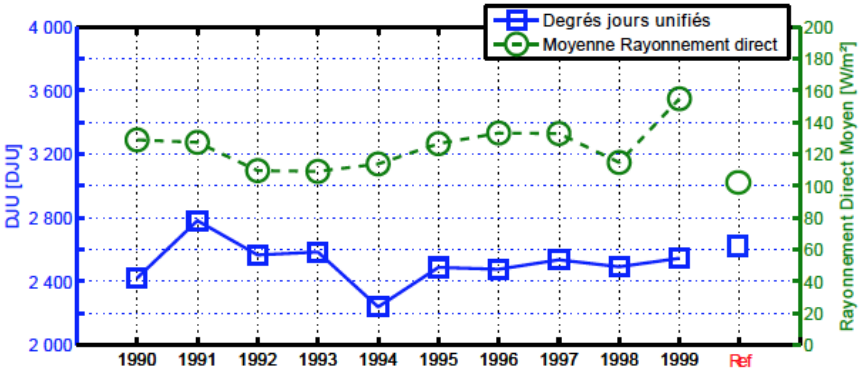


2. Incertitude sur la réponse simulée

- **Influence des données météo**
  - Variabilité climatique / Données typiques insuffisantes



(a) Besoins de chauffage



(b) Degrés jours unifiés et rayonnement direct moyen annuel

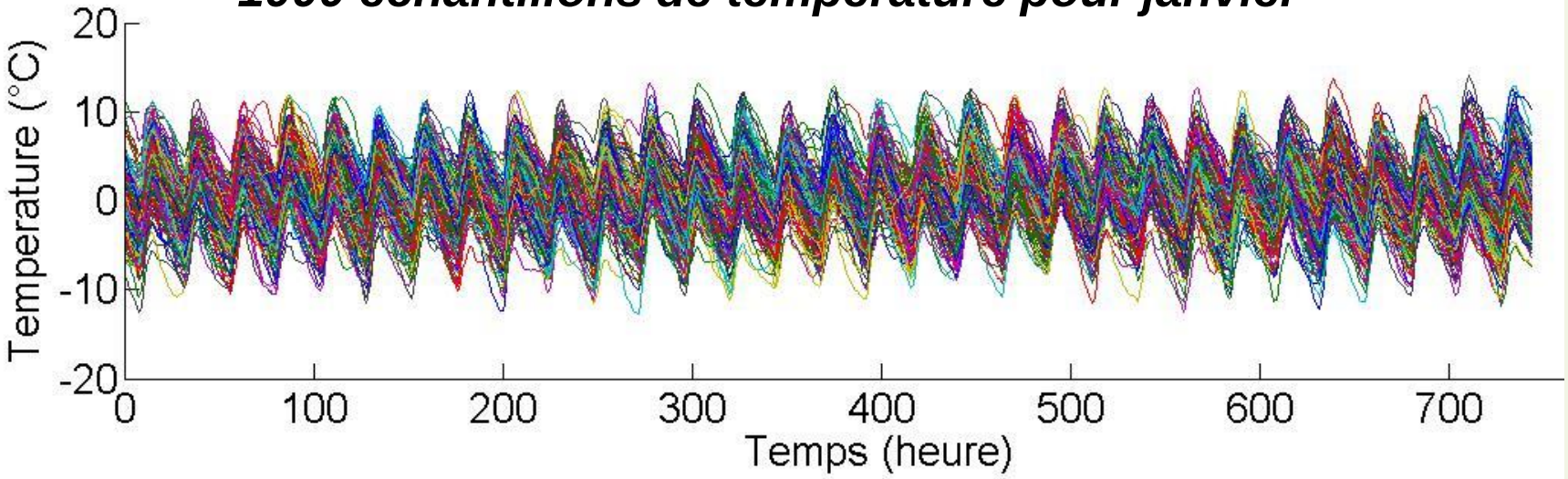
Jusqu'à 30% d'écart entre 1994 et la référence

C. SPITZ, 2012

2. Incertitude sur la réponse simulée

Thèse J. Goffart (LOCIE)
Reconstruction du signal: création des échantillons
On « tire » de manière aléatoire des jours de janvier en se basant sur les info. stat. Extraites, pour construire des séries de mois cohérents avec le fichier source

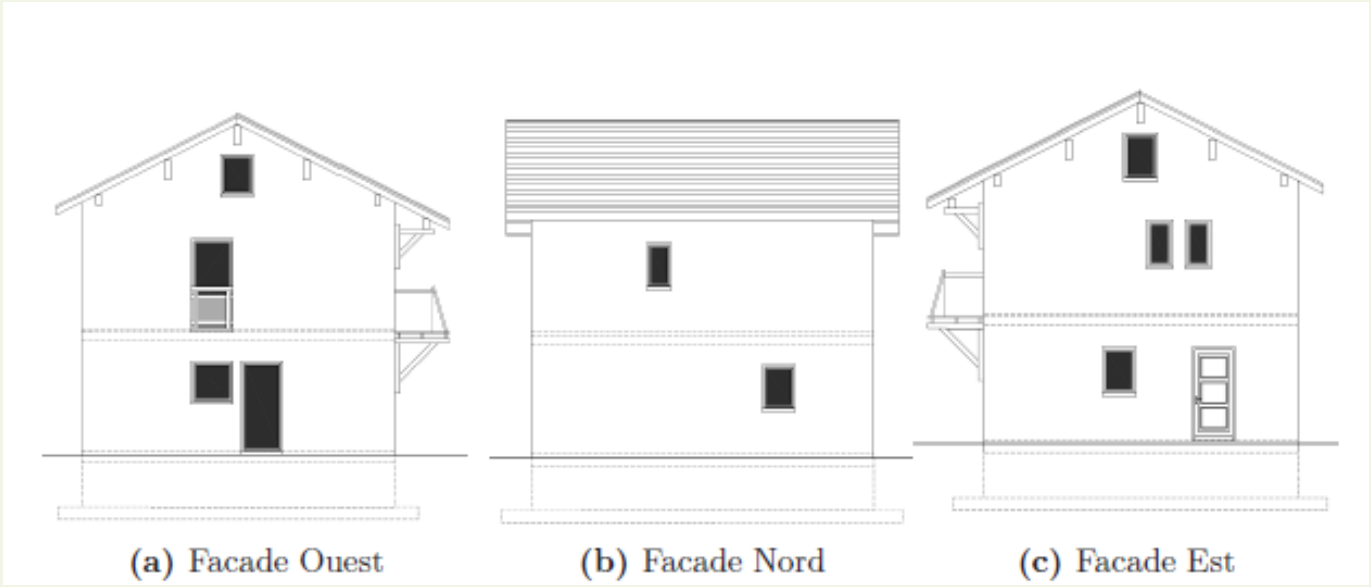
1000 échantillons de température pour janvier



- **Variations caractérisées**
- De même pour Direct, diffus, humidité, vitesse de vent et direction de vent : **6 variables**
- **2000 simulations**

2. Incertitude sur la réponse simulée

Propagation des échantillons dans le modèle maison INCAS DM

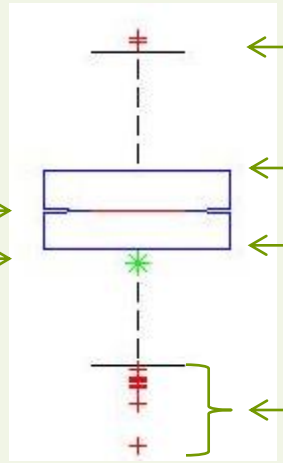


Sorties de simulation étudiées: (2000 pts)

•Consommation par zone: RDJ et Etage

2. Incertitude sur la réponse simulée

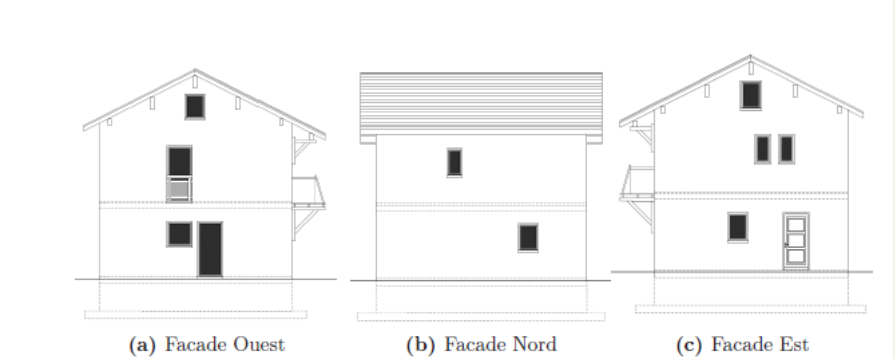
Représentation de la dispersion de sortie: Boxplot (boite à moustache)



Pas d'hypothèse sur la loi de distribution des données de sortie

2. Incertitudes

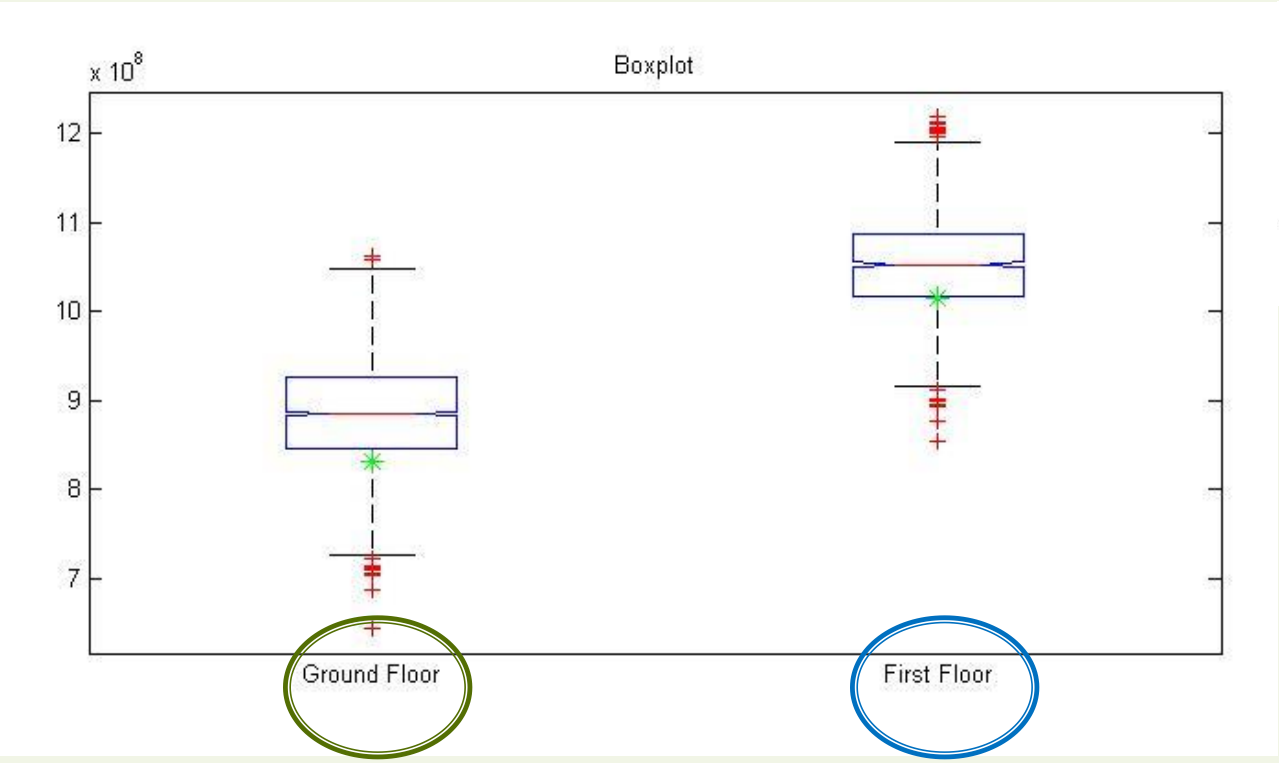
- **Besoins de Chauffage (Joule)**

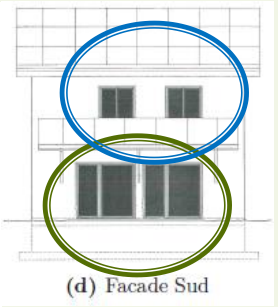


Incertitude:

•RDJ : 5,1 kWh/(m^2.jan)±0,8 (16%)

•ETAGE : 6,28 kWh/(m^2.jan)±0,66 (10%)





3. Validation expérimentale de modèles

➔**Bâtir une méthodologie basée sur des plateformes expérimentales de qualité**

➔Les questions posées :

- La fiabilité des résultats de simulation est-elle suffisante pour entamer la validation ?
- Quelles parties du modèle peuvent être validées ?
- Peut-on dégager des pistes d'amélioration du modèle ?

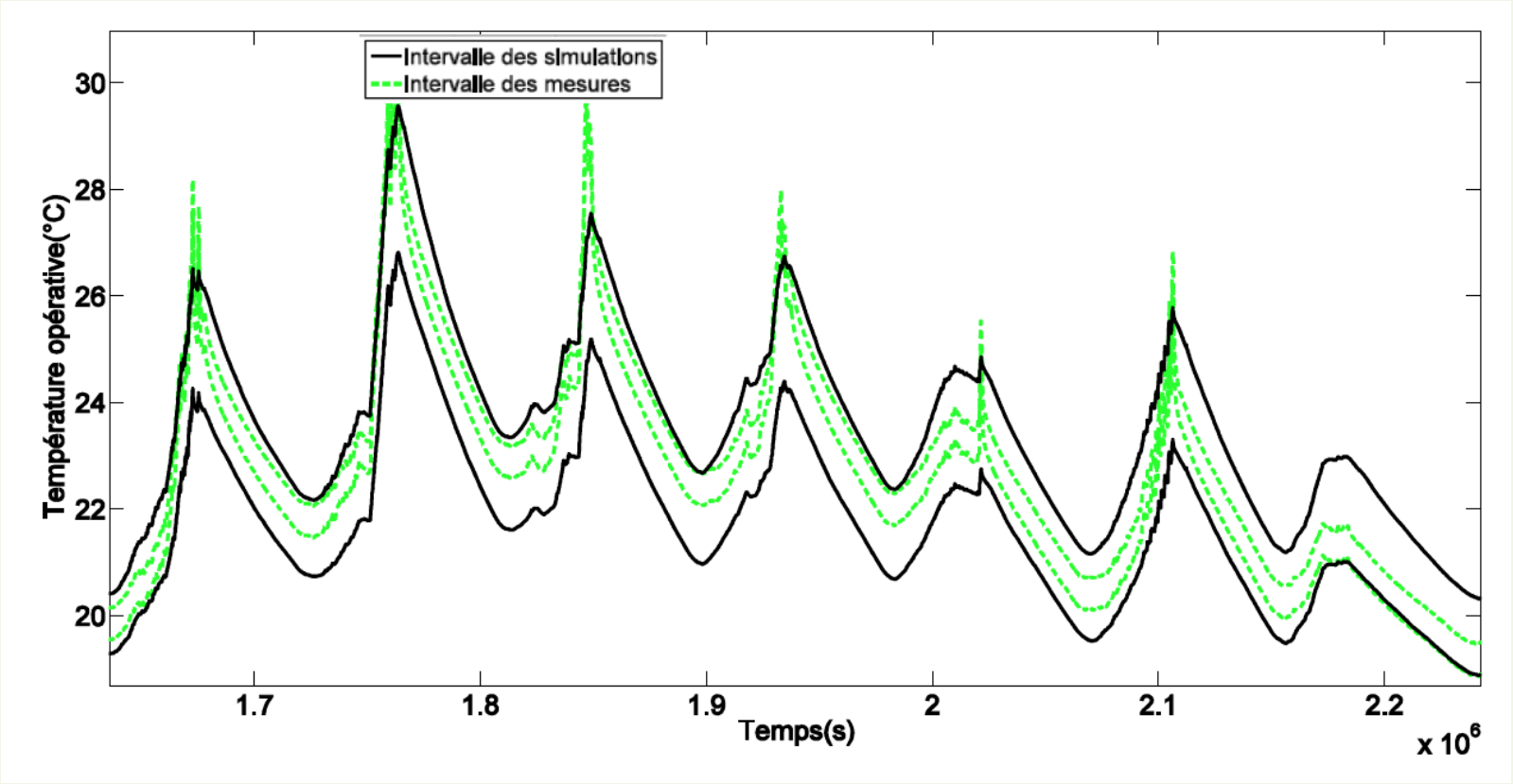
3. Validation expérimentale de modèles

- **Conception et réalisation des expériences**

- **Analyse de la validité des modèles**
  - **Cohérence entre mesures et simulations**
  - **Diagnostic**
  - **Amélioration des modèles**

3. Validation expérimentale de modèles

- **Un cas d'étude sur la plateforme BESTLAB**
  - Différents scénarios de fonctionnement
  - Modèle sous Dymola/Modelica



4. Valorisation et dissémination des résultats

- **Valorisation des résultats à destination de la communauté scientifique (Suite CADES)**

- **Valorisation des résultats à destination des utilisateurs finaux (BET sous-traitants)**
  - Calcul d'incertitudes avec Comfie/Pleiades (composant logiciel dédié)
  - Calcul d'incertitudes avec EnergyPlus
  - Processus de décision : implication de BET (STD) et CSTB (Cometh RT2012)
  - Incertitudes liées à l'utilisateur : analyse comparée d'interfaces utilisateur

Conclusions/Perspectives

- **Résultats importants**
  - Des modèles dont les hypothèses ne sont pas fondamentalement remises en cause pour évaluer les performances de bâtiments à **très basses consommations**
  - Mise en œuvre d'outils **opérationnels** pour rendre compte des incertitudes sur les résultats de simulations ➔ Conséquences pratiques sur le processus de conception
  - Capacité de calculer un seuil de **garantie de performance**
- **Perspectives (travaux en cours)**
  - Appréciation des **incertitudes** sur les paramètres d'entrée pour la garantie de performance (CPE)
  - Meilleure prise en compte des **occupants**
  - Incertitude sur les performances des **systèmes énergétiques** et de la gestion