

Université 2021 – Construire et mesurer
la performance environnementale



Mesure et écoconception des bâtiments

| Patrick SCHALBART

30 novembre 2021

Contexte

- **Le bâtiment : secteur-clé pour la transition énergétique**

40 % des consommations d'énergie, 20 % des GES

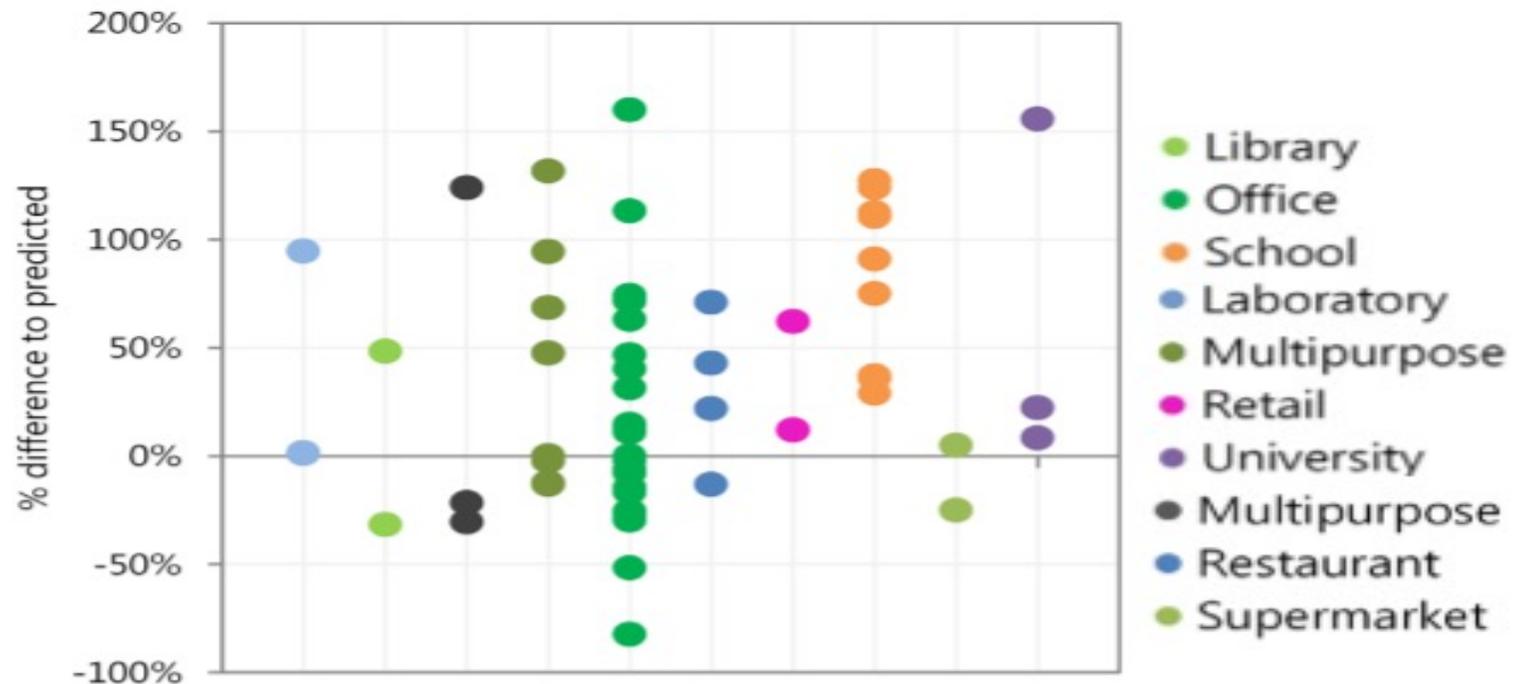
- **Ex décret tertiaire** : réduire les consommations en énergie finale de 40% en 2030, 50% en 2040 et 60% en 2060 par rapport à une référence établie en 2021

- **« Performance Gap »**

Prévisions / Exploitation

- **Performance « intrinsèque »**

Bâti / Occupants



Van Dronkelaar 2016

Exemple de mesure de performance intrinsèque, étanchéité à l'air



Source Énergie Positive

Porte ventilateur

Blower Door

Capacité d'extraction
jusqu'à 7700 m³/h

On crée une
différence de
pression avec le
ventilateur



On mesure le débit
d'air, ce qui caractérise
l'étanchéité du local

- Durée du test : 30 minutes pour un logement

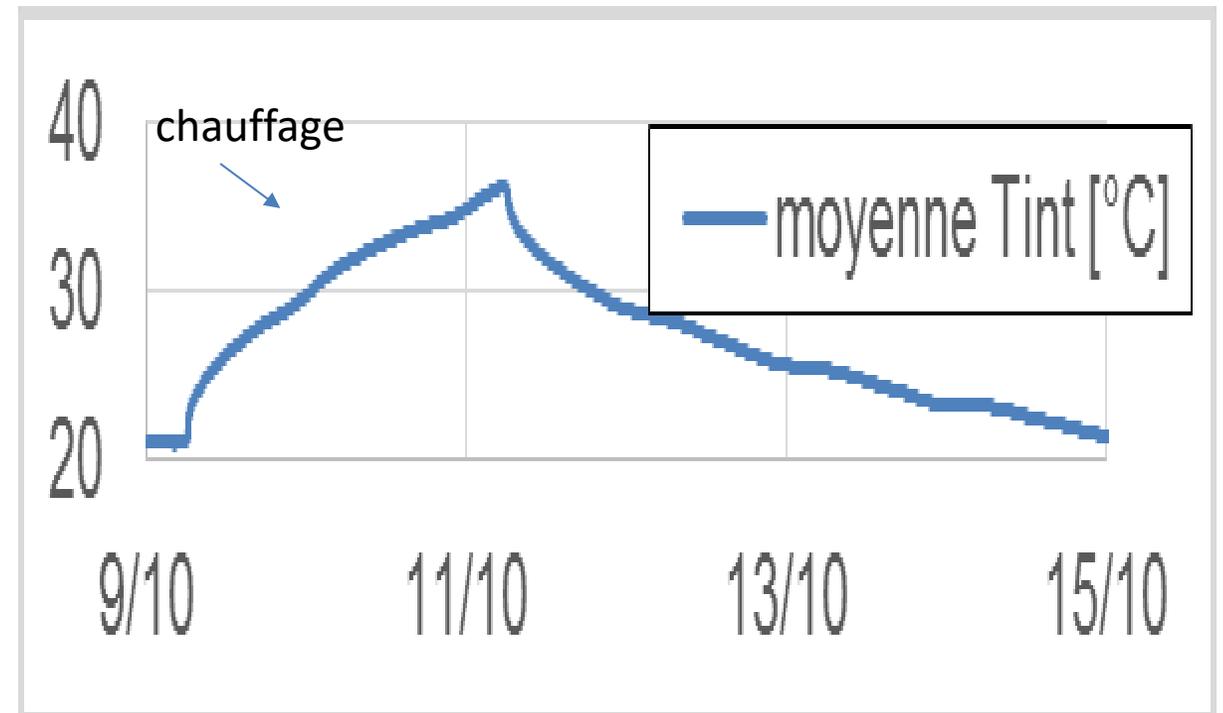
Mesure du coefficient de déperdition de l'enveloppe, noté H

- Intégrer l'ensemble des pertes de chaleur
- Puissance échangée par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur, en W/K
- Exemple d'une maison de de la plate-forme expérimentale INCAS de l'INES à Chambéry (90 m² de surface habitable)
- Maison très isolée : $H = 80 \text{ W/K}$
- Maison non isolée : $H = 600 \text{ W/K}$
- Htr : transmission seulement
- HLC : inclut les infiltrations d'air

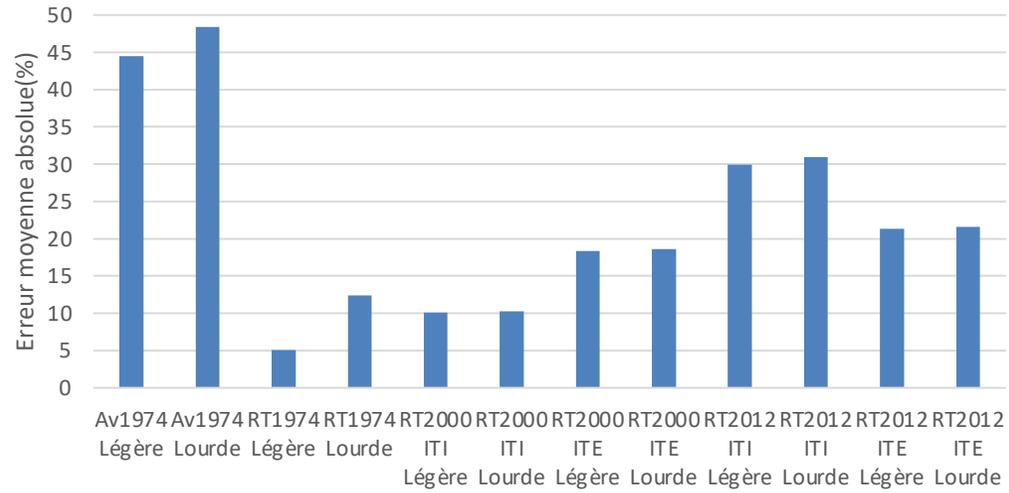


Exemple de protocole de mesure

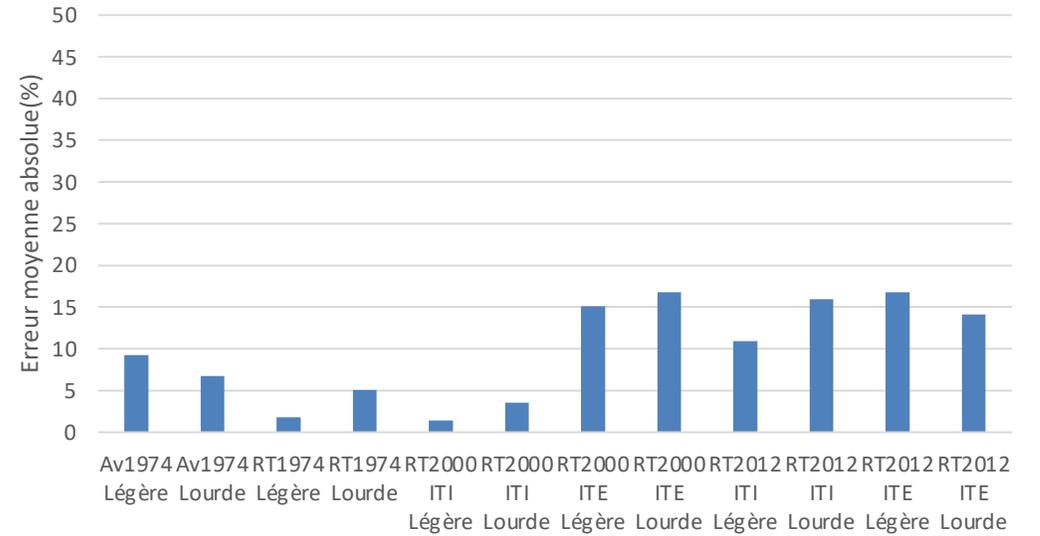
- Phase de chauffage et phase d'évolution libre
- Mesure de la température intérieure et extérieure
- Rapidité de la décroissance de la température intérieure
-> pertes thermiques
- Identification de ce paramètre d'après un modèle (minimisation de l'écart entre valeurs calculées et mesurées)
- Objectifs : améliorer la précision et réduire la durée du test



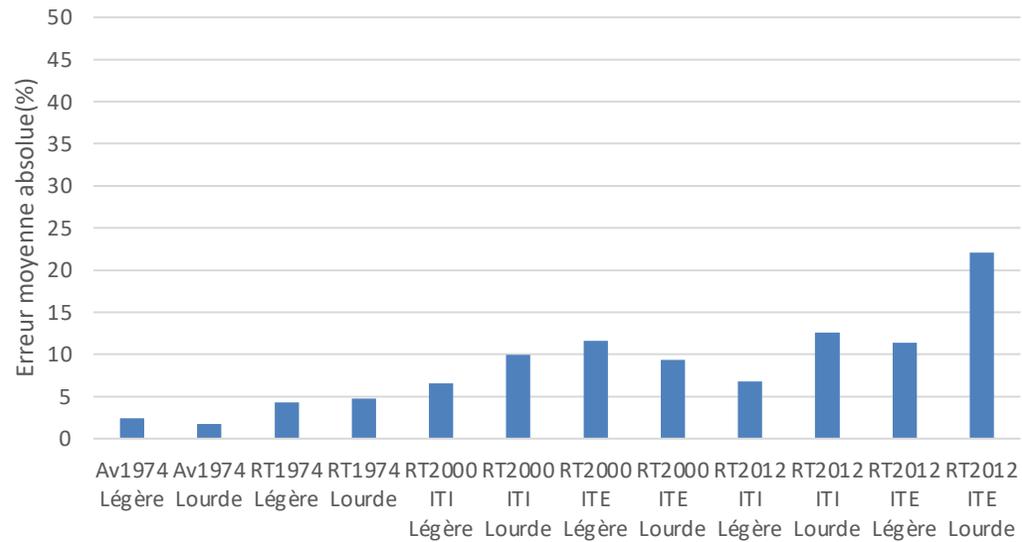
Méthode 1



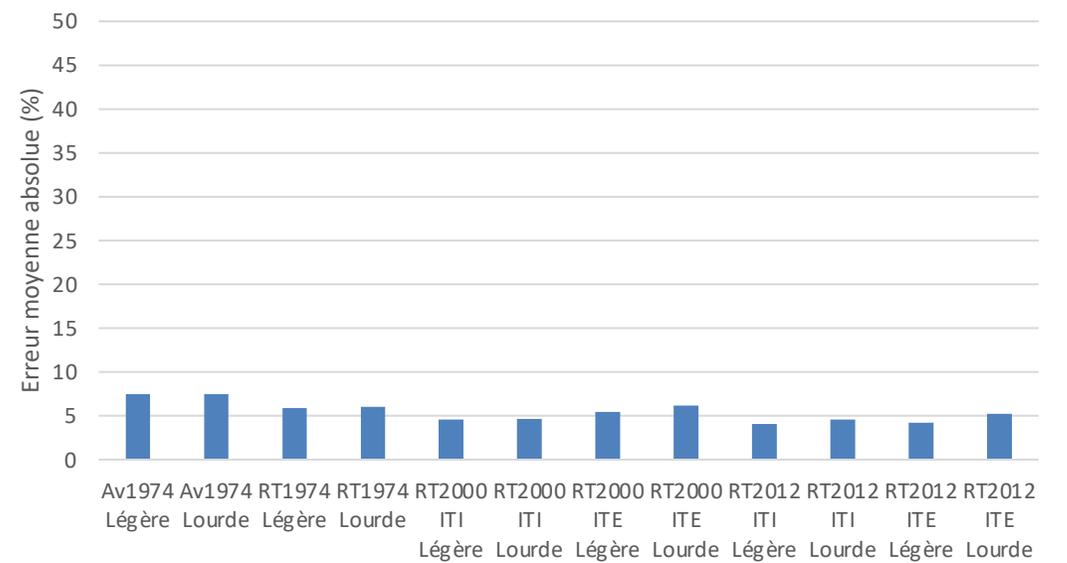
Méthode 2



Méthode 4



Méthode 5

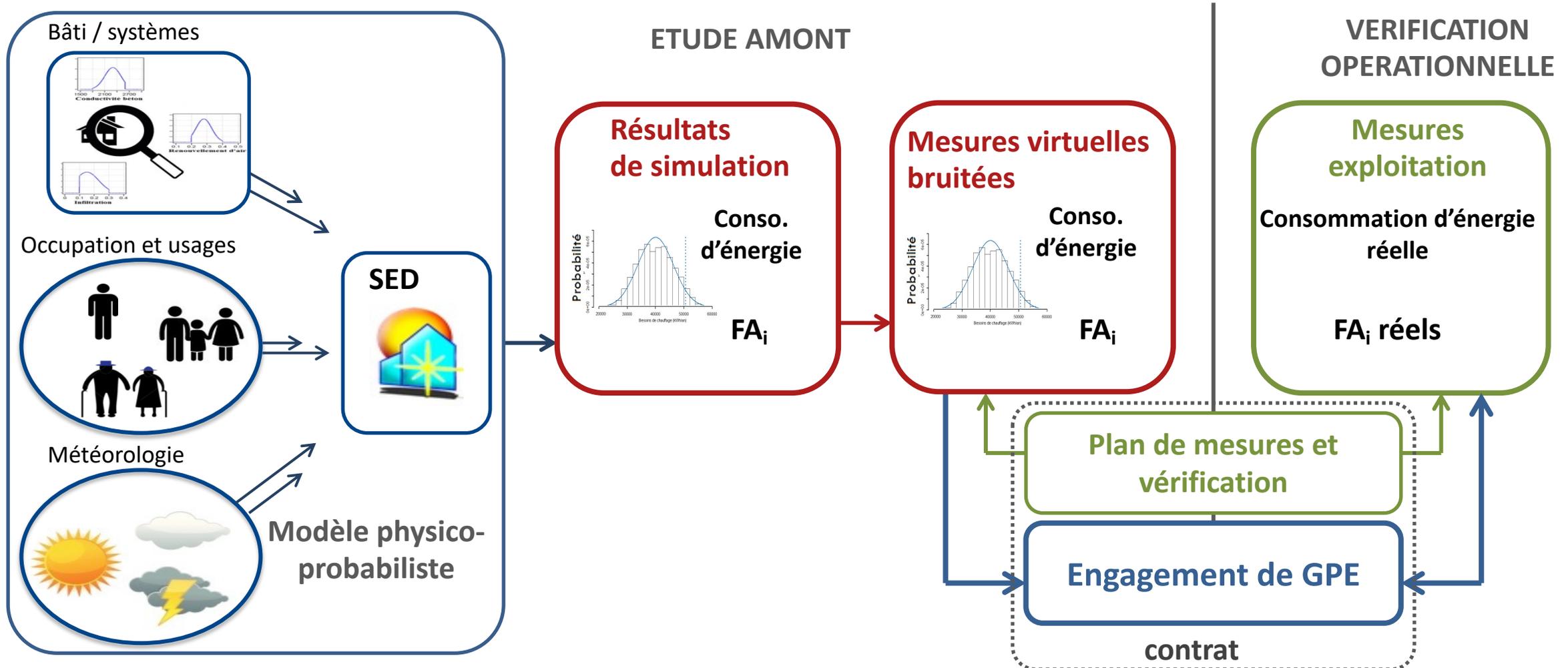


Contrat de performance énergétique

- Pénalités si la facture (mesure) dépasse la consommation garantie (calcul)
- Consommation et pas seulement déperditions : tenir compte aussi des apports solaires et internes, et de la performance des équipements
- La consommation garantie est ajustée en fonction des conditions climatiques et du scénario d'usage
- Risque de défaut supplémentaire dû aux incertitudes de mesure
 - **Utilisation de résultats de simulation bruités pour caler la performance garantie avant les travaux**

Méthodologie pour la garantie de performance

- Propagation des incertitudes et variabilités



Evaluation et ajustement de l'engagement

- Limite garantie de consommation (LGC_{α}) absolue selon le risque jugé acceptable

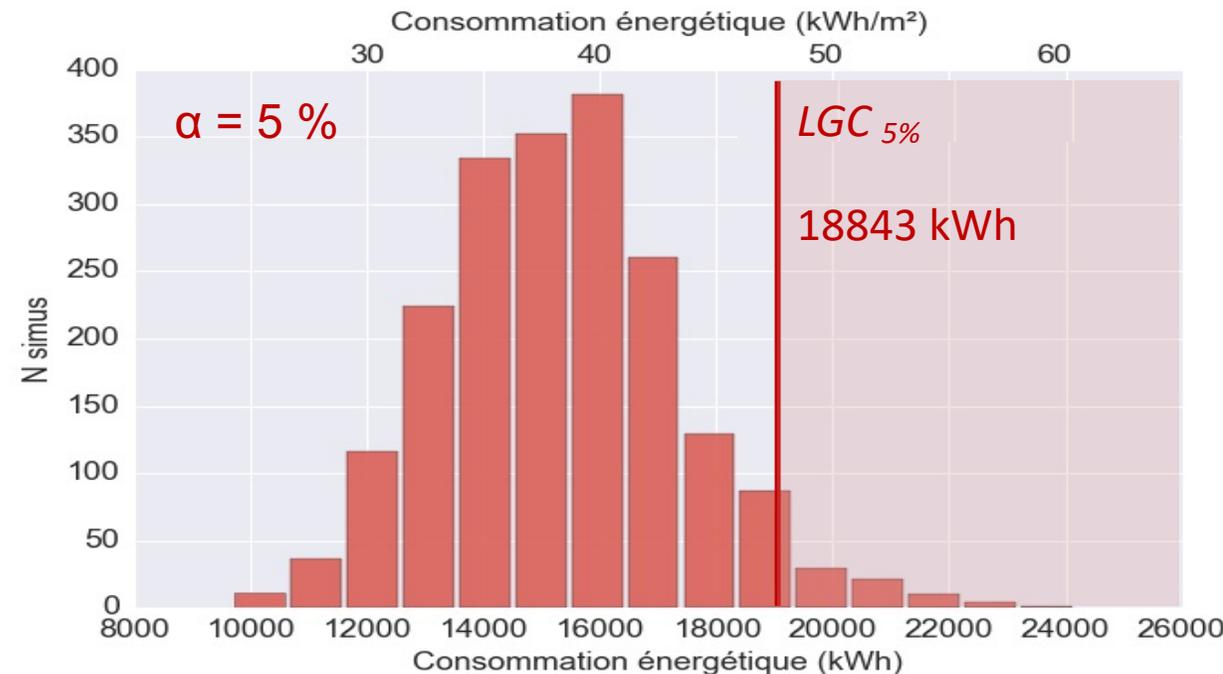
- Sollicitations hors responsabilité (climat...)

- Anticipation de la mesure de facteurs d'ajustement (FA)

→ LGC relative : modèle d'ajustement

ex : +10% par degré de plus de consigne de chauffage

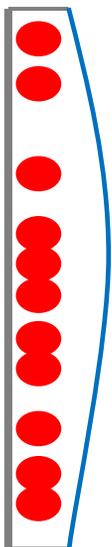
-> mesurer la consommation mais aussi les variables d'ajustement



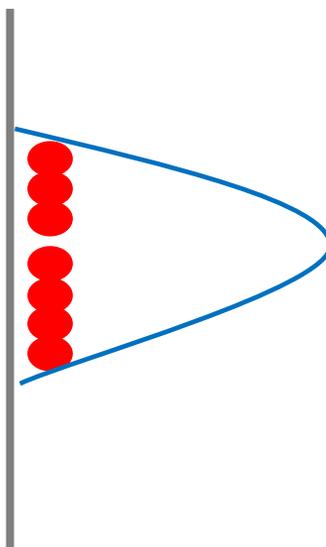
$$P(\text{Conso} > LGC_{5\%}) = 5\%$$

Calibrage de modèle

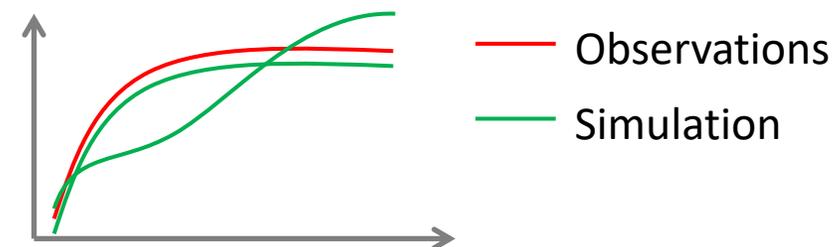
- Améliorer la précision d'un modèle de bâtiment existant pour étudier un projet de rénovation, une stratégie de gestion, analyser le gap de performance
- Principe général du calibrage (*Pritchard et al. 1999*)
 - tirer aléatoirement $\theta^* \sim p(\theta)$
 - simuler $D' \sim M(\theta^*)$
 - si $\rho(D, D') \leq \varepsilon_C$, accepter θ^* , sinon le rejeter
 - répéter jusqu'à ce qu'un échantillon de la taille désirée soit obtenu



Distribution *a priori*
 $p(\theta)$

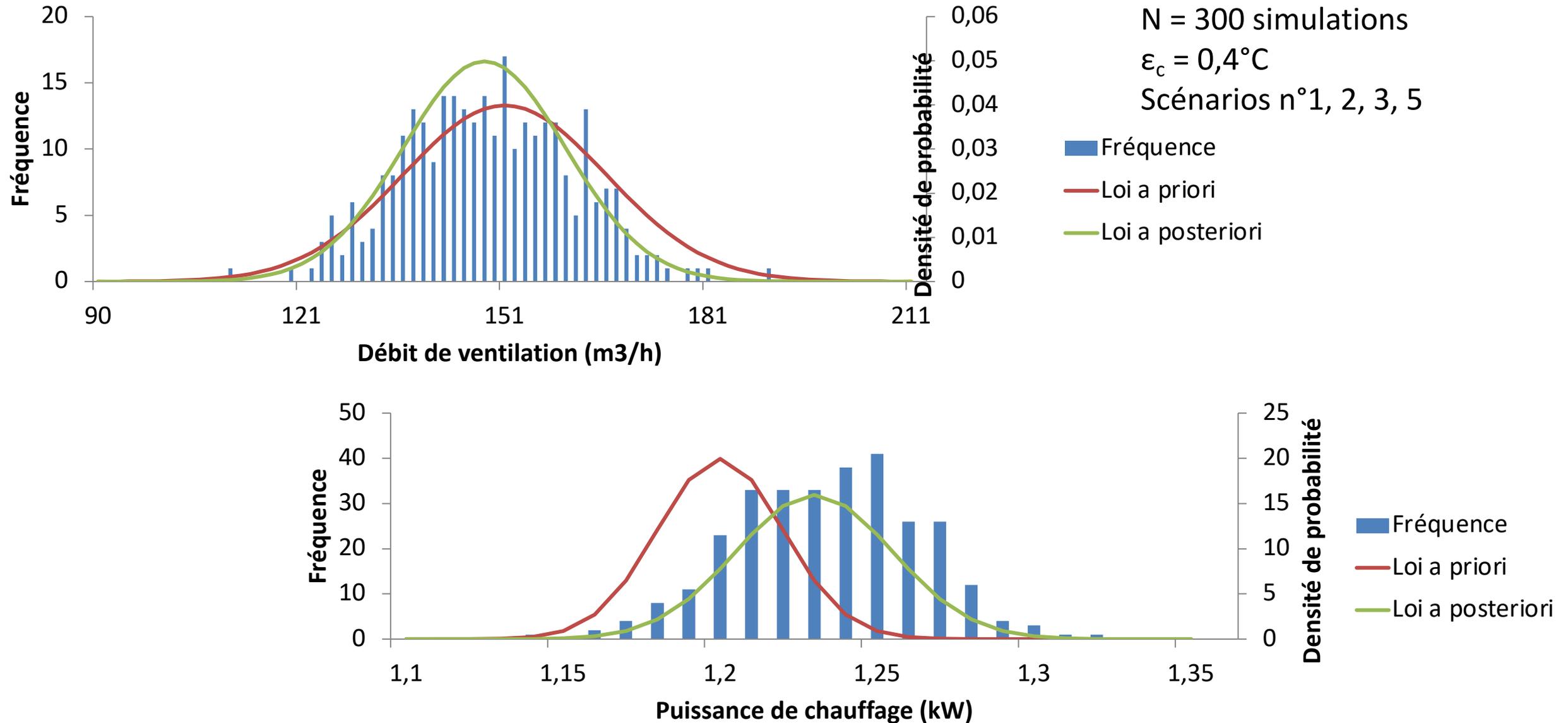


Distribution *a posteriori*
 $p(\theta | \rho(D, D') \leq \varepsilon_C)$

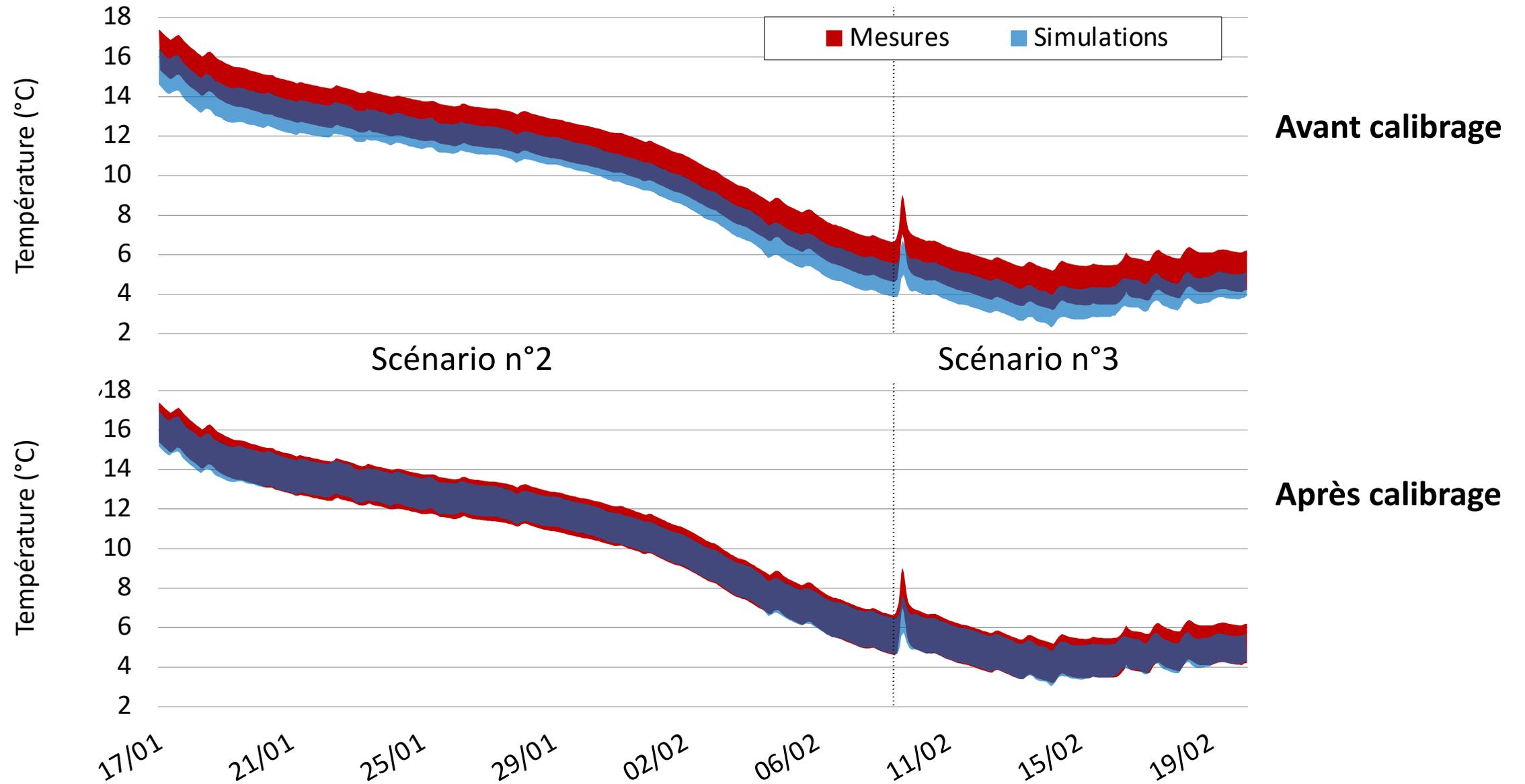


Adapté de *Lenormand (2012)*

Exemple sur les maisons INCAS (INES, Chambéry)



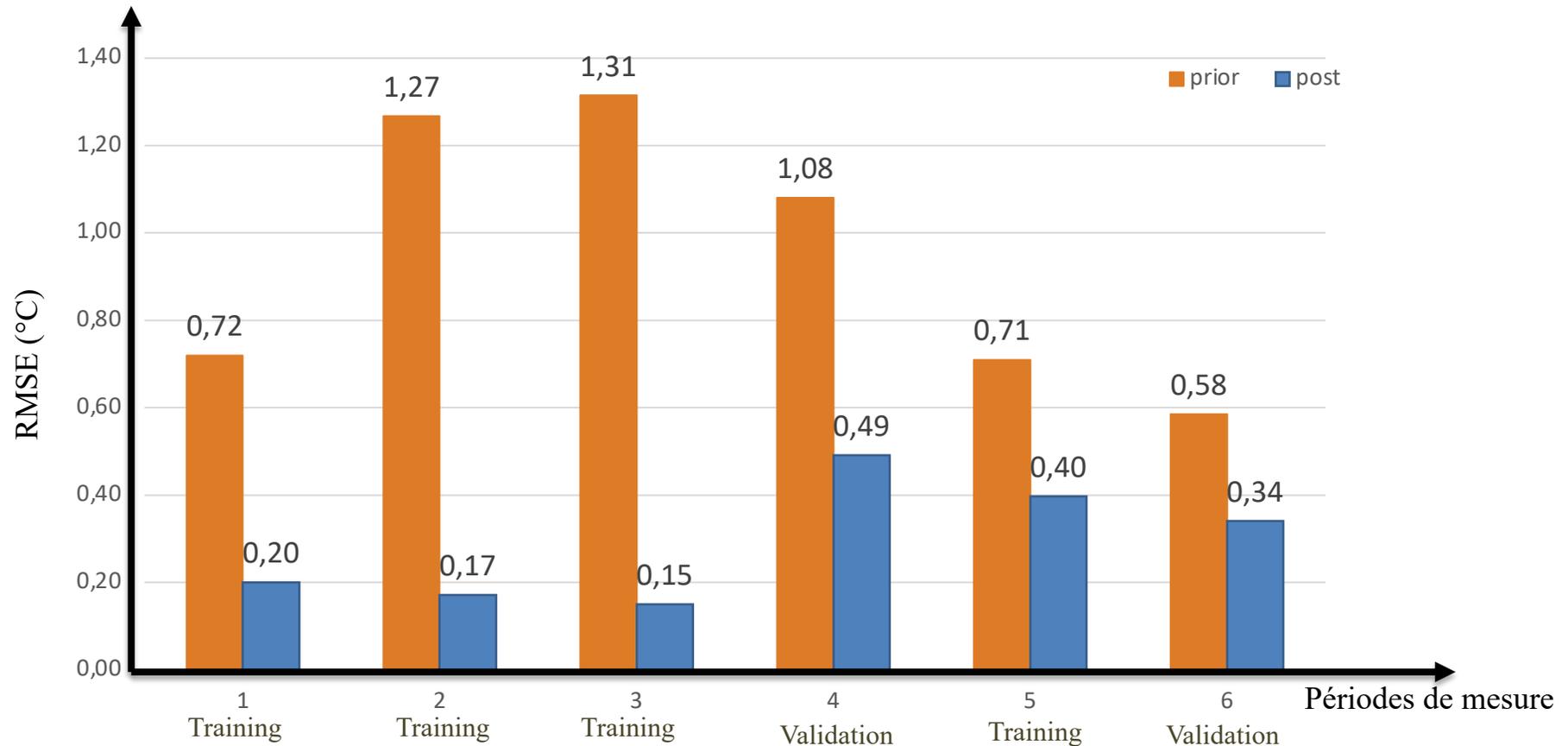
Évaluation des résultats du calibrage



Thèse de Samih Akkari

➤ Evaluation de la performance du modèle calibré

- Root mean square error (RMSE): écart type des résidus entre les mesures et les résultats de simulation numérique



Conclusions

- Objectifs de performance imposés aux maîtres d'ouvrage basés sur les consommations mesurées (décret tertiaire)
- Possibilités accrues d'autocontrôle basé sur la mesure (étanchéité, déperditions)
- Protocoles de mesure et de vérification de la performance
- Utilité de modèles calibrés (diagnostic, gestion, analyse de défauts...)
- Mesures exploitées dans des approches basées sur l'intelligence artificielle
- La mesure peut aussi aider à développer des modèles, cf. présentation de Rachna

Des questions ?

Patrick Schalbart
patrick.schalbart@mines-paristech.fr
lab-recherche-environnement.org