

Vérification de la performance et ajustement des consommations

Journée thématique IBPSA

Mesure des performances énergétiques des bâtiments

23/05/2019 – Simon LIGIER



SOMMAIRE

- **Objectifs et problématiques**
- **Le cadre de l' IPMVP**
- **Ajustement des consommations**
- **Différentes approches : statistique, simulation, hybride**
- **Vers la Garantie de Performance Energétique (GPE)**
- **Challenges et perspectives**

Objectifs et problématiques

- **Performance globale** des bâtiments en **exploitation** : factures énergétiques
- Objectifs : Vérifier une performance ou un gain de performance prévu
 - *Compréhension des écarts : usages, défauts de réglages, malfaçons ...*
 - *Engagement contractuel : garantie de performance énergétique (GPE)*
- Problématiques :
 - **Mesures** : PMV, optimisation économique
 - **Incertitudes** : Chaine d'incertitudes
 - **Contextualisation** : Ajustement des consommations, neutralisation de différents paramètres externes, comparabilité

Cadres méthodologiques de la M&V

- Normes et protocoles qui encadrent les pratiques du management de l'énergie

ISO 50001 → ISO 500015, FD X30-148, guideline 14 ASHRAE

- **IPMVP** (*International Performance Measurement and Verification Protocol*, EVO)

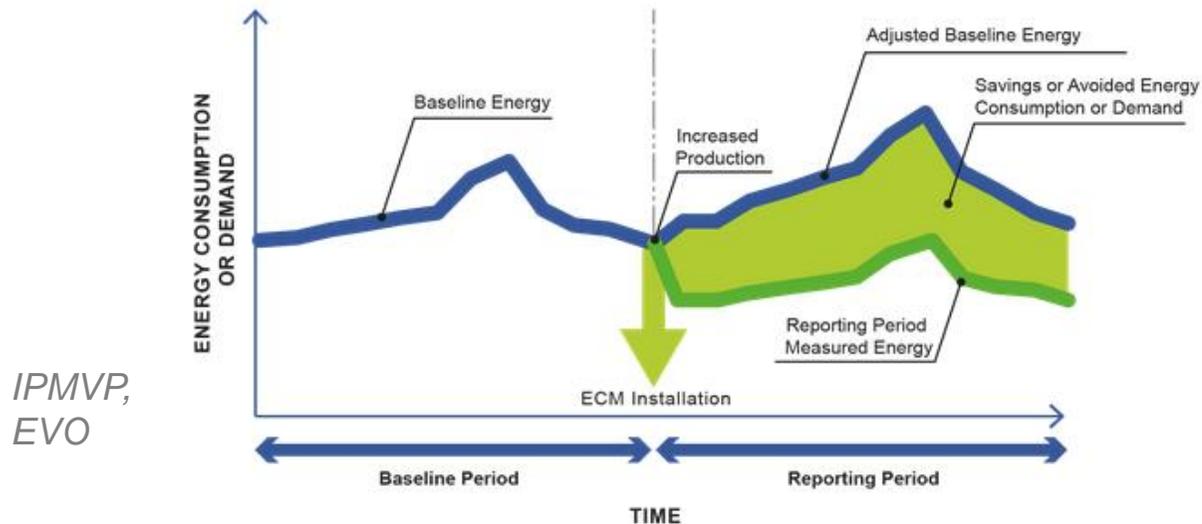
Cadre et bonnes pratiques de la mesure et vérification (M&V)

Précision, exhaustivité des plans de mesure. Principes de l'ajustement, définition et justification des choix. Approche appliquée et concrète.

- Options liées à l'échelle du bâtiment
 - **C : option centrale. Comparaison des performances du bâtiment rénové à des mesures ou factures avant travaux**
 - **D : option marginale. Modélisation/simulation du bâtiment servant de référence**

Ajustement des consommations

- Contextualisation des consommations d'énergie → Comparabilité
- / conditions externes non liées à la performance du bâtiment



- Ajustement des consommations de base dans les conditions réelles après travaux

$$Conso_{aj} = F_{aj}(Conditions_{mes})$$

- Éventuellement autour de situations de référence

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=0}^n \beta_1 \cdot \frac{FA_i - FA_{i-ref}}{FA_{i-ref}}$$

Ajustement des consommations

▪ Grandeurs d'ajustement

- ✓ Conditions climatiques : température extérieure, rayonnement solaire
- ✓ Comportement des usagers : occupation, consignes, périodes de fonctionnement, Puisages ECS, électricité spécifique, ...
- ✓ Autres facteurs catégoriels ou dénombrables : surfaces utilisées, usages, ...

▪ Facteurs d'ajustement (FA)

Ex : Température extérieure : DJU , DH , Te_{moy} , $Te_{moy.sc}$, $DH_{Tc.sc}$

- Plusieurs niveaux d'information, formes des modèles liés aux FA choisis (ex: occupation bureaux). Indépendance des variables

Analyse des informations de consommation énergétique et de contextualisation avant et après des travaux de rénovation

- Estimation de la réduction des consommations
- Impose l'acquisition de données avant travaux
- Défis : qualité des données, complétude, chaines d'acquisitions et de traitement
- CSTB : Méthodes REPERE

Définition des plans de mesure

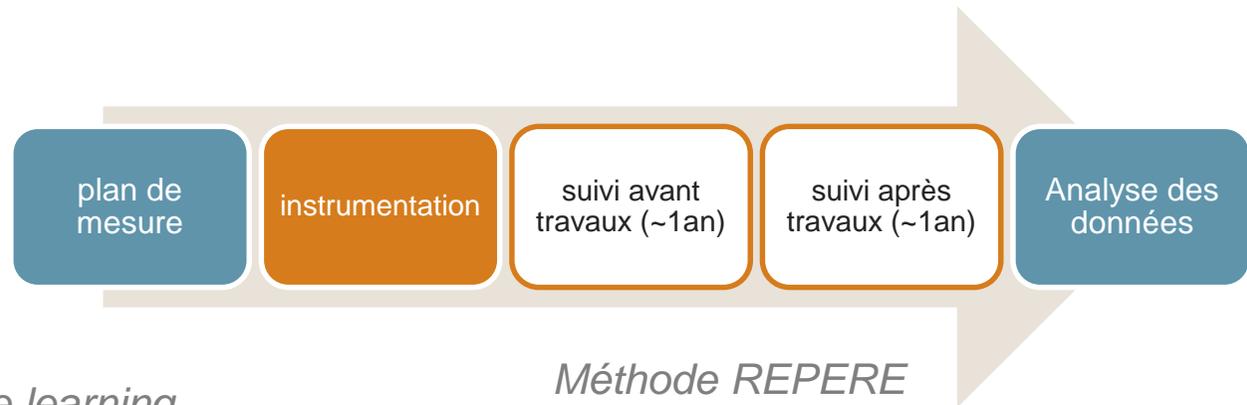
Traitement des erreurs de mesure

Station météo virtuelle

Analyses statistiques

Ajustement/normalisation

Modélisation thermique par machine learning



Méthodes d'ajustement mathématiques/statistiques

- Modèles d'ajustement multiformes : $\text{Conso.} = f(\text{FA})$

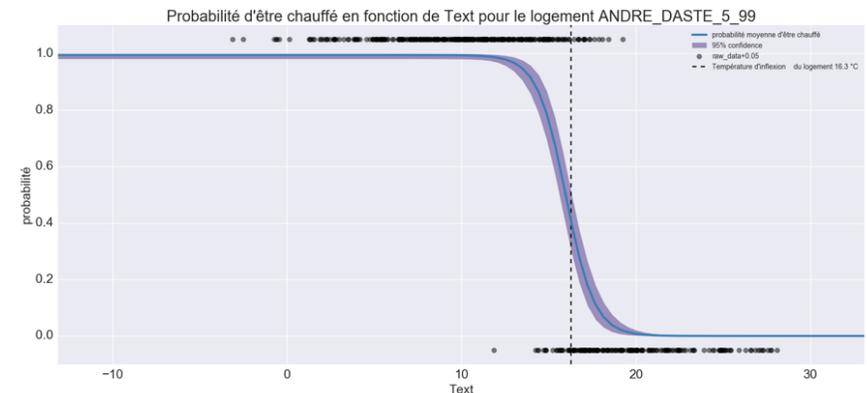
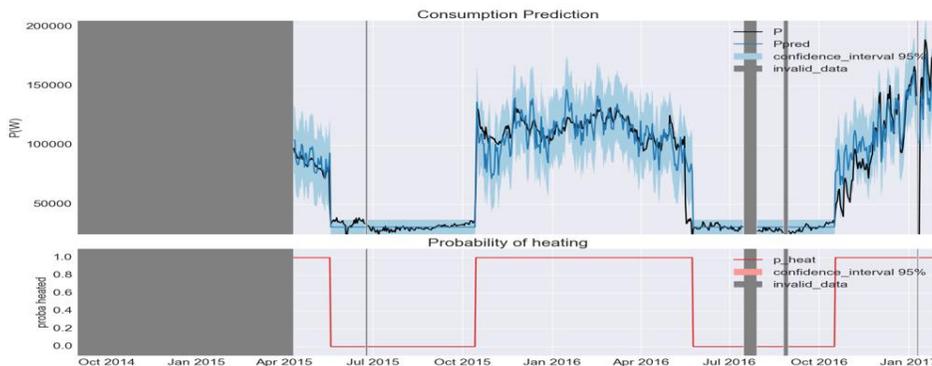
Régressions linéaires simples ou multiples, modèles non linéaires, machine learning, classification...

- Pas de temps d'étude : jour, mois, (année) → *Variabilité statistique*
- Estimation des incertitudes statistiques

Recherche/R&D : exploitation des données

- Construction de métamodèles, machine learning
- Caractérisation des usages

*Prédiction des puissances
de chauffage,
REPERE*



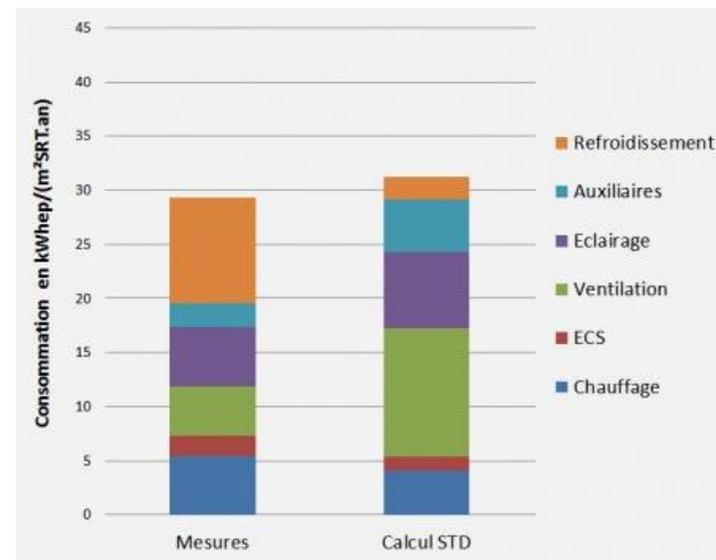
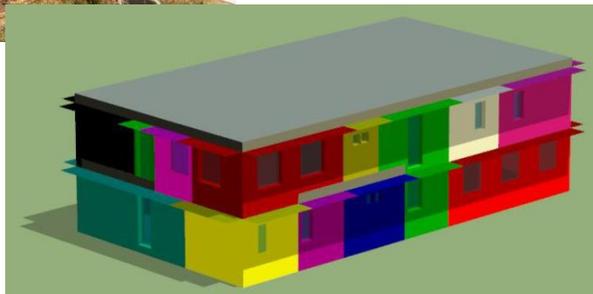
Approche orientée Simulation : IPMVP Option D

Modèle de simulation énergétique dynamique (SED) servant de référence

- Bâtiments neufs ou rénovation lourde (+ calibrage de modèle avant travaux)
- Mesures en exploitation, absence de données en amont
- Vérification des performances absolues
- Commissioning. Suivi des travaux pour maximiser l'adéquation modèle/bâtiment réel



Bâtiment de bureaux
Izuba



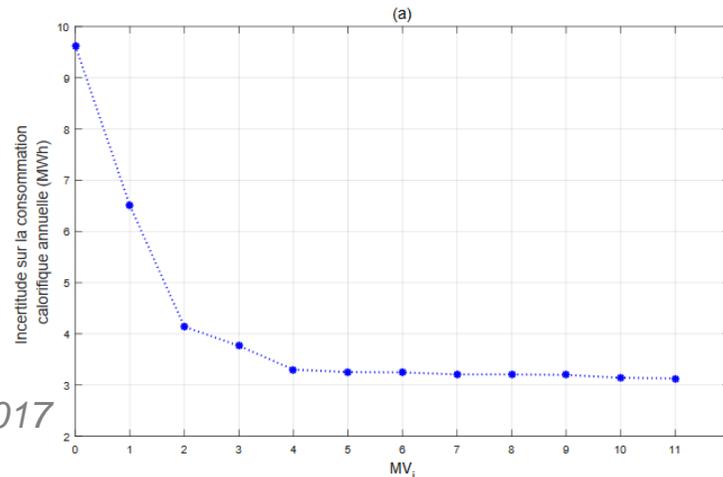
Méthodes d'ajustement - Mise à jour du modèle SED

Modifications des paramètres d'entrée du modèle SED en fonction des conditions mesurées sur la période d'étude

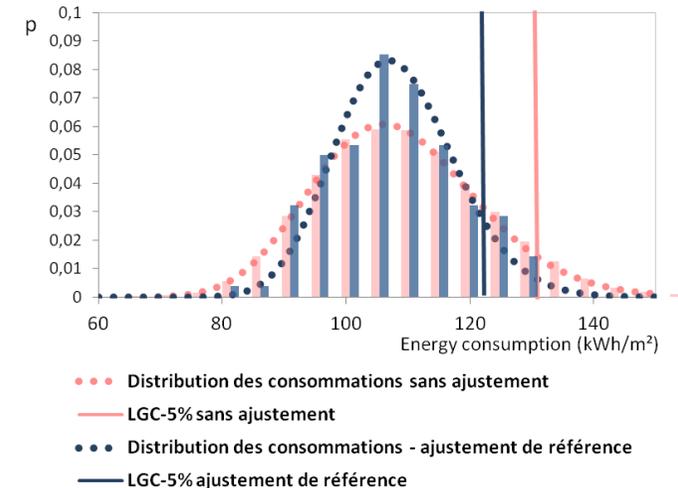
- ✓ Démarche globale, clone virtuel du bâtiment, optimisation de la gestion énergétique
- ✗ Etude plus lourde et coûteuse, manque de transparence sur le processus d'ajustement

Recherche/R&D : approches probabilistes

- Modélisation des incertitudes sur les paramètres et de la variabilité des sollicitations
- Optimisation des plans de mesure



Titikpina, 2017

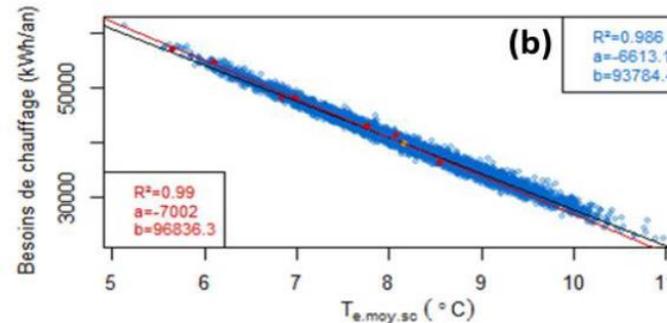
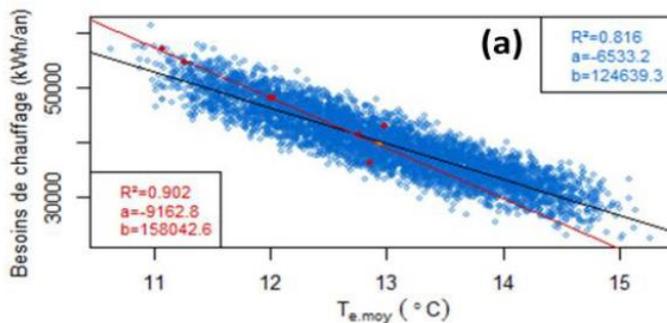


Ligier, 2018

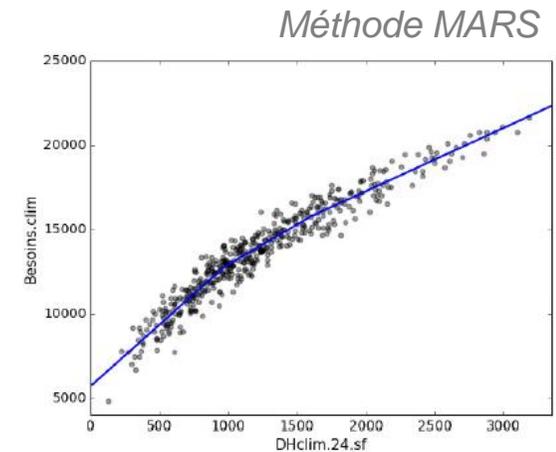
Modèle SED détaillé et approche probabiliste / modèles statistiques

Recherche/R&D

- Data mining : modèles statistiques entraînés sur des échantillons de résultats de simulation (expériences virtuelles).
- Echantillon statistique permettant étude pdt annuel



Régressions linéaires sur données réelles et synthétiques

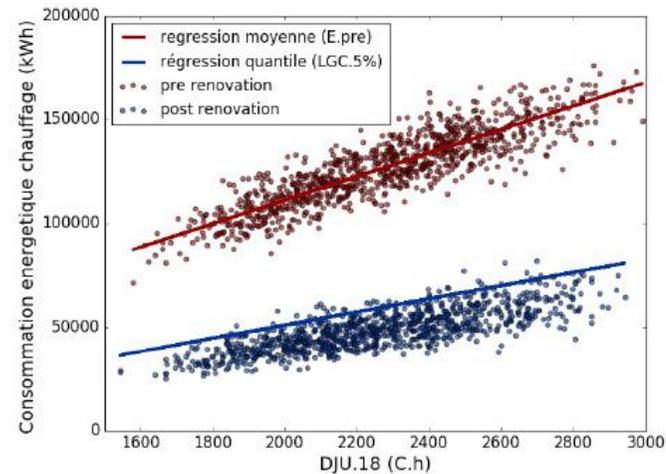
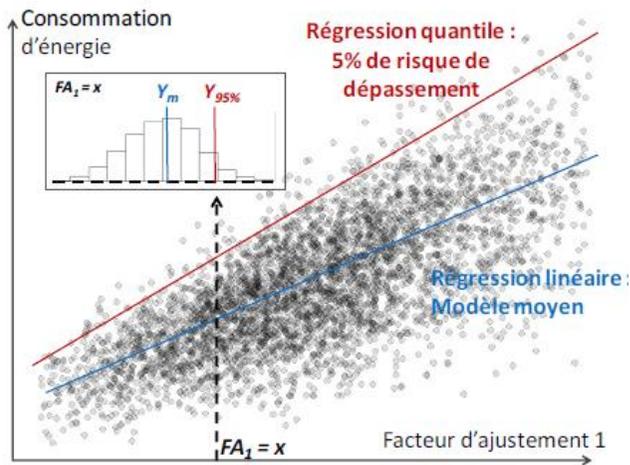


Vers la garantie de performance énergétique

Prévision fiable et M&V robuste

→ SED probabiliste, intégration du risque, modèles d'ajustement statistiques et PMV

- Modèle ajustable de limite garantie de consommation pour un risque α (LGC_α)
- Choix des FA et anticipation de la M&V
- Régression quantile
- Intégration des incertitudes de mesure



$$C_{pre} = 8,850 \cdot 10^4 - 1,486 \cdot 10^4 * (T_{m.ext.sc} - T_{m.ext.sc-ref})$$

$$+ 8,253 \cdot 10^3 * (T_{mp.int.sc} - T_{mp.int.sc-ref})$$

$$- 2,005 \cdot 10^4 * \left(\frac{E_{elec}}{E_{elec.sc-ref}} - 1 \right)$$

$$LGC_{5\%} = 5,701 \cdot 10^4 - 9,472 \cdot 10^3 * (T_{m.ext.sc} - T_{m.ext.sc-ref})$$

$$+ 6,670 \cdot 10^3 * (T_{mp.int.sc} - T_{mp.int.sc-ref})$$

$$- 2,967 \cdot 10^4 * \left(\frac{E_{elec.sc}}{E_{elec.sc-ref}} - 1 \right)$$

Ligier, 2018

Challenges et perspectives

- Optimisation technico-économique des méthodologies et plans de mesure
- Déploiement des objets connectés
- Identification des causes des écarts

Analyse de dérives en temps réel, calibrage bayésien

- Spécifications d'incertitudes standards en lien avec les pratiques actuelles
- Consolidation et tests des processus complets de M&V et GPE. Intégration aux projets



CSTB
le futur en construction