

Titre : Calibration des modèles énergétiques du bâtiment : étude de l'influence de l'analyse de sensibilité sur le choix des paramètres à calibrer

Domaines scientifiques : Statistiques, Traitement des données, Modélisation du bâtiment

Mots clés : *Smart Building, Analyse de sensibilité, Building Energy Models (BEMs), métamodèles*

Encadrement

Encadrant:

Quentin LAPORTE-CHABASSE, enseignant chercheur

Travaux de Recherche

Sujet du stage (résumé)

L'analyse de sensibilité est une étape préalable à la calibration des modèles énergétiques du bâtiment, car elle permet de réduire le nombre de paramètres à calibrer et donc de diminuer considérablement le temps de calcul. Ce stage vise à comparer différentes méthodes d'analyse de sensibilité qui peuvent avoir un impact sur l'identification des paramètres influents du modèle. Cette étude sera réalisée sur le modèle énergétique du Smart Building Nanterre 3.

Projet de stage

Contexte scientifique

Le secteur du bâtiment compte pour près d'un tiers de la consommation énergétique mondiale et 40% des émissions de CO_2 . Pour optimiser les performances énergétiques des bâtiments, et donc réduire leur impact environnemental, des systèmes de contrôle d'énergie ont été mis au point. Ces systèmes utilisent des modèles physiques et énergétiques ou Building Energy Models (BEMs) pour prédire la consommation énergétique. Ces modèles doivent être calibrés, c'est-à-dire ajustés numériquement, afin de produire la prédiction la plus juste par rapport aux observations qui sont réalisées. Les méthodes de calibration automatiques, privilégiées dans la littérature, permettent de calibrer ces modèles en utilisant des outils mathématiques et informatiques.

Les BEMs sont composés d'un nombre important de paramètres qui rendent leur calibration très coûteuse en temps de calcul. Une étape préalable à la calibration du modèle est l'analyse de sensibilité, qui permet d'identifier les paramètres du modèle les plus influents. La calibration sera ainsi réalisée sur ce sous-ensemble de paramètres et non l'intégralité des paramètres.

Sujet de stage

Plusieurs méthodes figurent dans l'état de l'art pour réaliser l'analyse de sensibilité (Tian, 2013). La méthode Sobol (Saltelli *et al.*, 2010), basée sur la variance, fait figure de référence. Elle ne dépend pas du modèle étudié et prend en compte l'effet des interactions entre les paramètres. Elle est cependant plus coûteuse en temps de calcul, comparée à d'autres méthodes comme celle de Morris (Campiongo, Cariboni and Saltelli, 2007), qui offre un bon compromis entre temps de calcul et qualité des résultats. Plus récemment, Goffart *et al.* ont montré que la méthode EASI RDB-FAST (aussi basée

sur la variance) était applicable aux simulations des performances du bâtiment (Goffart and Woloszyn, 2021). Cette méthode combine la fiabilité de la méthode Sobol, tout en diminuant le temps de calcul.

L'objectif de ce stage est d'étudier les méthodes Morris et EASI RDB-FAST et de les comparer à la méthode Sobol. Une discussion devra être menée sur l'identification des paramètres influents du modèle. Le stagiaire pourra aussi proposer d'autres méthodes en fonction des conclusions qu'il tirera de sa revue de la littérature.

Dans un second temps, en fonction de l'avancement, le stagiaire pourra travailler sur le développement de la méthode de calibration bayésienne du modèle énergétique du bâtiment, et étudier l'effet combiné des méthodes d'analyse de sensibilité citées précédemment et le nombre de paramètres sélectionnés sur la qualité de la calibration (Chong and Menberg, 2018).

Cette étude sera réalisée sur le modèle énergétique du Smart Building Nanterre 3 (NR3), situé sur le campus CESI de Nanterre. Ce bâtiment est un démonstrateur technologique et une plateforme qui collecte en temps réel les paramètres physiques du bâtiment et contribue activement aux activités de recherche sur la thématique du bâtiment du futur.

Antériorité du sujet dans le laboratoire

La calibration du modèle énergétique du Smart Building NR3 fait actuellement l'objet d'une thèse. Dans ce cadre, un modèle énergétique a déjà été réalisé et implémenté avec le logiciel EnergyPlus. Une étude préliminaire du modèle a mis en évidence les paramètres à analyser, ainsi que leur plage de variation. La méthode de Sobol est en cours d'implémentation sur ce modèle.

Programme de travail

1. Étude bibliographique sur l'analyse de sensibilité et la calibration bayésienne des BEMs
2. Appropriation du modèle énergétique du bâtiment NR3 (paramètres du modèle, simulateur EnergyPlus, ...)
3. Réalisation de l'analyse de sensibilité avec les méthodes suivantes : Morris et EASI RDB-FAST
4. Interprétation et discussion sur les résultats

En fonction de l'avancement :

5. Participer au développement de la calibration bayésienne du modèle énergétique
6. Étude de l'effet des paramètres sélectionnés (nature et nombre) sur la qualité de la calibration

Production scientifique/technique attendue

- *Un rapport final du stage*
- *Une présentation orale à l'ensemble de l'équipe*

Contexte

Présentation du laboratoire

CESI LINEACT (UR 7527), Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires, anticipe et accompagne les mutations technologiques des secteurs et des services liés à l'industrie et au BTP. La proximité historique de CESI avec les entreprises est un élément déterminant pour nos activités de recherche, et a conduit à concentrer les efforts sur une recherche appliquée proche de l'entreprise et en partenariat avec elles. Une approche centrée sur l'humain et couplée à l'utilisation des technologies, ainsi que le maillage territorial et les liens avec la formation, ont permis de construire une recherche transversale

; elle met l'humain, ses besoins et ses usages, au centre de ses problématiques et aborde l'angle technologique au travers de ces apports.

Sa recherche est organisée selon deux équipes scientifiques interdisciplinaires et deux domaines applicatifs.

- L'équipe 1 "Apprendre et Innover" relève principalement des Sciences cognitives, Sciences sociales et Sciences de gestion, Sciences et techniques de la formation et celles de l'innovation. Les principaux objectifs scientifiques visés sont la compréhension des effets de l'environnement, et plus particulièrement des situations instrumentées par des objets techniques (plateformes, ateliers de prototypage, systèmes immersifs...) sur les processus d'apprentissage, de créativité et d'innovation.
- L'équipe 2 "Ingénierie et Outils Numériques" relève principalement des Sciences du Numérique et de l'Ingénierie. Les principaux objectifs scientifiques portent sur la modélisation, la simulation, l'optimisation et l'analyse de données de systèmes cyber physiques. Les travaux de recherche portent également sur les outils d'aide à la décision associés et sur l'étude des interactions humains-systèmes notamment à travers les jumeaux numériques couplés à des environnements virtuels ou augmentés.

Ces deux équipes développent et croisent leurs recherches dans les deux domaines applicatifs de l'Industrie du Futur et de la Ville du Futur, soutenues par des plateformes de recherche, principalement celle de Rouen dédiée à l'Usine du Futur et celles de Nanterre dédiée à l'Usine et au Bâtiment du Futur.

Positionnement dans les thématiques de recherche du laboratoire

Le travail de recherche proposé par ce sujet de stage s'inscrit dans la suite des travaux menés par CESI LINEACT dans le domaine du bâtiment intelligent. Il viendra en support des travaux déjà en cours sur la région Ile de France Centre portant sur la modélisation physique du bâtiment et la maintenance prédictive.

Organisation du stage

Financement : *stage rémunéré*

Lieu de travail : *Laboratoire CESI LINEACT – Campus d'Orléans*

Date de démarrage : *Février – mars 2023*

Durée : *6 mois*

Recrutement

Modalités : sur dossier et entretien.

Merci d'adresser votre candidature à Quentin LAPORTE-CHABASSE (qlaportechabasse@cesi.fr) avec pour objet de mail :

« [Candidature] Titre présent en page 1 »

Votre candidature devra comporter :

- **un Curriculum-Vitae détaillé du candidat.** En cas de rupture dans le cursus universitaire, merci de donner une explication ;
- **une lettre de motivation**

- les résultats des années précédentes
- toute autre pièce que vous jugerez utile.

Merci de transmettre l'ensemble des documents au sein d'un fichier zip intitulé **NOM prénom.zip**.

Vos compétences :

Compétences scientifiques et techniques :

- [Maîtrise] Programmation en Python : Scipy, Scikit-Learn (SALib est un plus)
- [Connaissance] Analyse statistique
- [Connaissance] Modélisation statistique et métamodèles
- [Connaissance] Inférence bayésienne

Compétences relationnelles :

- être autonome, avoir un esprit d'initiative et de curiosité,
- savoir travailler en équipe et avoir un bon relationnel,
- être rigoureux

Références.

Campolongo, F., Cariboni, J. and Saltelli, A. (2007) 'An effective screening design for sensitivity analysis of large models', *Environmental Modelling & Software*, 22(10), pp. 1509–1518. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.10.004>.

Chong, A. and Menberg, K. (2018) 'Guidelines for the Bayesian calibration of building energy models', *Energy and Buildings*, 174, pp. 527–547. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.028>.

Goffart, J. and Woloszyn, M. (2021) 'EASI RBD-FAST: An efficient method of global sensitivity analysis for present and future challenges in building performance simulation', *Journal of Building Engineering*, 43, p. 103129. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103129>.

Saltelli, A. *et al.* (2010) 'Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index', *Computer Physics Communications*, 181(2), pp. 259–270. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2009.09.018>.

Tian, W. (2013) 'A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, pp. 411–419. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.014>.