

Stage Master 2/ Ingénieur : Modélisation de l'effet de la variation de température sur les transferts thermiques à travers les parois multicouches

Domaines scientifiques : Génie thermique et énergie, Thermique du bâtiment, Sciences de l'Ingénieur.

Mots clés : matériaux d'isolation, performance énergétique, équations de transfert, modélisation, enveloppe du bâtiment.

1 Contexte

Avec près de 45 % de la consommation énergétique finale, le secteur du bâtiment est le secteur qui consomme le plus d'énergie en France¹. De plus, il constitue une source importante d'émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, essayant de relever les défis liés à la réduction de l'empreinte environnementale et l'amélioration de la performance énergétique dans le secteur de la construction, environ 50 % des bâtiments ont fait l'objet des travaux de rénovation thermique, incluant, entre autres, l'isolation des parois de l'enveloppe et le remplacement des fenêtres².

Le facteur principal issu des paramètres physiques décrivant la qualité d'une enveloppe du point de vue de l'isolation thermique est la maîtrise des propriétés thermiques (ex. conductivité thermique, chaleur spécifique, diffusivité thermique) des matériaux de construction. En effet, l'efficacité thermique de l'enveloppe du bâtiment est essentiellement liée à sa résistance thermique totale, qui dépend elle-même de la conductivité thermique. En effet, cette dernière dépend de plusieurs paramètres, tel que la température, la porosité, la teneur en humidité et la densité [1–3]. En pratique, la valeur de conductivité thermique est généralement mesurée dans des conditions de laboratoires, à savoir, 24°C selon les normes ASTM [4]. Cependant, lorsqu'ils sont utilisés dans l'enveloppe du bâtiment, les matériaux d'isolation peuvent être exposés à des variations importantes de température, notamment en période estivale [5–7]. De plus, pour une période donnée, les conditions environnementales varient de façon importante d'une zone géographique à une autre. De nombreux travaux de recherche ont été réalisés, ces dernières années, sur la dépendance en température de la conductivité thermique des matériaux isolants [1, 4–6, 8]. Des lois linéaires dépendant de la température ont été construites pour de nombreux matériaux fibreux inorganiques présentant une conductivité thermique réduite à des températures plus basses. Néanmoins, certains matériaux isolants, en particulier les isolants en mousse pétrochimiques tels que le polyisocyanurate, présente un comportement moins régulier avec des performances moins bonnes à basse température [4]. A travers les travaux de littérature, il a été remarqué que, jusqu'à présent, les efforts se sont concentrés essentiellement sur la modélisation des problèmes de transfert thermique en considérant des propriétés thermiques constantes [5, 6, 9, 10],

1. <https://www.ecologie.gouv.fr/construction-et-performance-environnementale-du-batiment>

2. <https://www.assemblee-nationale.fr/rapport-d-information-au-nom-de-la-commission-du-developpement-durable-et-de-l'aménagement-du-territoire>

malgré la grande variation que peuvent présenter ces dernières en fonction des conditions météorologiques.

2 Objectif du stage

Compte-tenu de la dépendance en température des paramètres physiques, les équations de transfert thermique sont par nature non-linéaires. Ce serait donc fort intéressant de développer des solutions innovantes afin d'augmenter l'optimisation énergétique des bâtiments pour différents types de climat (ex. continental, océanique). L'effet de la température doit être pris en compte dans l'estimation des propriétés thermiques. Dans ce projet, l'accent sera particulièrement mis sur la résolution numérique et analytique des équations de transfert thermique non-linéaires afin de contrôler la transmission de chaleur à travers différentes parois multicouches. L'objectif du stage est donc de comprendre, par simulation numérique, les effets des paramètres environnementaux (température et humidité) sur les transferts thermiques à travers des parois de bâtiments multicouches ainsi que l'impact sur les performances énergétiques du bâtiment.

3 Etapes du projet

- Recherche bibliographique sur les différents isolants disponibles ainsi que leurs propriétés thermiques,
- Résolution numérique des équations de transfert appliquées aux murs multicouches,
- Analyses de sensibilité (différents climats; différents systèmes constructifs),
- Synthèse et interprétation des résultats,
- Rédaction du rapport de master et d'un papier scientifique.

4 Profil

Étudiant(e) en école d'ingénieur ou en Master 2 dans le domaine de génie civil, énergétique, thermique ou expérience équivalente avec des connaissances en programmation (Phyton, Matlab) et en simulation numérique thermique en utilisant le logiciel **COMSOL Multiphysics**.
Esprit d'initiative, curiosité et bon relationnel. Compréhension en anglais requise.

Le travail sera supervisé par :

- Kamal ALAILI (kalaili@cesi.fr ; 07 88 93 13 67), enseignant-chercheur – LINEACT CESI.
- Ahmed Kamel TEDJDITI (aktedjditi@cesi.fr ; 07 89 41 43 38), Enseignant-Chercheur – LINEACT CESI.

5 Présentation du laboratoire

LINEACT CESI (EA 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" travaille principalement sur 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 par cette équipe 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" travaille principalement sur des Sciences du Numérique et de l'Ingénierie. Les principaux objectifs scientifiques de cette équipe portent sur la modélisation, la simulation, l'optimisation et l'analyse de données de systèmes industriels ou urbains. Les travaux de recherche portent également sur les outils d'aide à la décision associés et sur l'étude des 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.

6 Positionnement dans les axes de recherche du laboratoire

Le sujet de stage est en adéquation avec les travaux de recherche de l'équipe 2 "**Ingénierie et Outils Numériques**" de CESI LINEACT et en particulier la thématique Bâtiment et quartiers urbains durables.

7 Durée & Contacts

Durée du stage : 6 mois à partir de fin janvier 2024.

Localisation : CESI campus de Nancy.

Merci d'adresser votre candidature à Kamal Alaili et Ahmed-Kamel Tedjditi {kalaili ; aktedjditi}@cesi.fr, avec pour objet de mail :

«[Candidature] Modélisation des transferts thermiques dans une paroi multicouche».

Votre candidature devra comporter :

- Un Curriculum-Vitae détaillé. En cas de rupture dans le cursus universitaire, merci de donner une explication ;
- Une lettre de motivation explicitant ses motivations à poursuivre une thèse de doctorat ;
- Les résultats du MASTER 1 et 2 et les bulletins de notes correspondant ;
- Toute autre pièce que vous jugerez utile .

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

Références

- [1] Zoltán Pásztor et al. An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *Journal of Building Engineering*, 44 :102604, 2021.
- [2] Gang Huang, Ariane Abou-Chakra, Sandrine Geoffroy, and Joseph Absi. A multiscale homogenization model on thermal conductivity of bio-based building composite considering anisotropy, imperfect interface and moisture. *Construction and Building Materials*, 377 :131156, 2023.
- [3] A Charaka, J Berger, F Benmahiddine, and Rafik Belarbi. Experimental assessment of the similarity law for a one-dimensional coupled heat and water vapor diffusion in hemp concrete. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 209 :124122, 2023.
- [4] Umberto Berardi. The impact of temperature dependency of the building insulation thermal conductivity in the canadian climate. *Energy Procedia*, 132 :237–242, 2017.
- [5] Yingying Wang, Kang Liu, Yanfeng Liu, Dengjia Wang, and Jiaping Liu. The impact of temperature and relative humidity dependent thermal conductivity of insulation materials on heat transfer through the building envelope. *Journal of Building Engineering*, 46 :103700, 2022.
- [6] Y Yousefi and F Tariku. Thermal conductivity and specific heat capacity of insulation materials at different mean temperatures. In *Journal of Physics : Conference Series*, volume 2069, page 012090. IOP Publishing, 2021.
- [7] Manel Boulmaali and Azeddine Belhamri. Investigation of thermal inertia and hydric properties of an eco-building material : compressed stabilized earth blocks. *Heat and Mass Transfer*, 59(4) :713–727, 2023.
- [8] Brahim Ismail, Naima Belayachi, Dashnor Hoxha, and Laurent Arbaret. Modelling of thermal conductivity and nonlinear mechanical behavior of straw insulation composite by a numerical homogenization approach. *Journal of Building Engineering*, 43 :103144, 2021.
- [9] Maatouk Khoukhi. The combined effect of heat and moisture transfer dependent thermal conductivity of polystyrene insulation material : Impact on building energy performance. *Energy and buildings*, 169 :228–235, 2018.
- [10] Thi-Thao Ngo, Jin-Huang Huang, and Chi-Chang Wang. Inverse simulation and experimental verification of temperature-dependent thermophysical properties. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 71 :137–147, 2016.