

---

# Sujet de thèse de doctorat

Analyse probabiliste de la performance thermique et de l'impact environnemental des enveloppes de bâtiments

**Encadrants :**

Dr. Hassen RIAHI  
hassen.riahi@univ-angers.fr  
Dr. Thierry LEMENAND  
thierry.lemenand@univ-angers.fr

**Structure d'accueil :**

Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes (LARIS)  
Polytech Angers  
Université d'Angers, France

---

## **Table des matières**

1. Contexte et problématique.....	4
2. Objectifs de recherche et approche .....	4
3. Qualifications et compétences requises.....	5
4. Plan de travail .....	5
5. Références bibliographiques .....	5

## 1. Contexte et problématique

Le secteur des bâtiments est responsable d'environ 40 % de la consommation finale d'énergie dans l'Union européenne (UE) [1]. D'année en année cette valeur tend à augmenter, accentuant ainsi la demande d'énergie primaire et par conséquent les émissions de gaz à effet de serre comme le CO<sub>2</sub>. Pour cette raison, les 27 États membres de l'UE se sont fixés un objectif d'économie d'énergie de 32,5 % d'ici 2030. Parmi les principales solutions pour atteindre cet objectif, les experts s'accordent à dire que l'isolation des bâtiments est la moins coûteuse pour réduire la consommation d'énergie. Dans ce contexte, la détermination de l'épaisseur optimale des matériaux d'isolation attire plus d'attention dans la communauté scientifique au cours des dernières années [2]. L'épaisseur d'isolation optimale dépend de nombreux paramètres. Parmi eux, les propriétés thermo-physiques des matériaux constitutifs et les paramètres climatiques tels que la température et l'humidité. La conception de l'enveloppe du bâtiment est basée sur des résultats de simulation, qui utilisent principalement, d'une part, des modèles de calcul simples incapables de reproduire les phénomènes physiques réels liés au processus de transfert thermique, et d'autre part, certains paramètres sont considérés comme déterministes, en les représentant par des valeurs "de conception" ou "extrêmes" issues des codes de conception [3-6], malgré leur comportement probabiliste, comme la conductivité thermique [7]. Cela peut conduire à une mauvaise prise de décision lors de la phase de conception, et par conséquent, un écart important pourrait être observé entre la consommation d'énergie réelle et celle donnée par les résultats de simulation. Dans la littérature, de nombreuses études [8-12] se sont intéressées à l'analyse probabiliste des performances des enveloppes de bâtiments en tenant compte de l'incertitude observée sur certains paramètres d'entrée. Cette variabilité est généralement représentée par un modèle probabiliste simple, du type variable aléatoire, incapable de modéliser la variabilité spatiale de la conductivité thermique des matériaux isolants et la variabilité dans le temps des paramètres climatiques. C'est le premier problème à résoudre dans le cadre de cette thèse. L'idée est d'utiliser des champs et des processus aléatoires au lieu de variables aléatoires. Malheureusement, ces modèles probabilistes induisent la plupart du temps une augmentation significative de la dimension probabiliste du problème, ce qui conduit à des calculs inabornables lors de l'utilisation de méthodes classiques de propagation d'incertitude telles que les simulations de Monte-Carlo. Ainsi, le deuxième objectif de la thèse est de développer une méthode efficace de propagation de l'incertitude basée sur des techniques de métamodélisation capables de traiter des problèmes à grande dimension probabiliste.

## 2. Objectifs de recherche et approche

L'objectif principal de cette thèse de doctorat est de développer une approche numérique capable d'évaluer l'effet de la variabilité spatiale des propriétés thermo-physiques des matériaux isolants et de la variabilité en fonction du temps des paramètres climatiques sur la performance thermique ainsi que sur l'impact environnemental de l'enveloppe du bâtiment. Le travail de recherche suivra les étapes suivantes :

- **Etape 1** : Mise en place d'un dispositif expérimental capable d'évaluer l'incertitude associée aux propriétés thermo-physiques de certains matériaux isolants.
- **Etape 2** : Développement d'un Modèle Eléments Finis (MEF) déterministe 2D d'une enveloppe de bâtiment sur le logiciel Castem, et sa validation grâce aux données disponibles dans la littérature et aux données fournies par les expérimentations menées dans l'étape 1.
- **Etape 3** : Modélisation de la variabilité des paramètres incertains à l'aide de modèles probabilistes adéquats.

- **Etape 4** : Développement d'une approche de couplage probabiliste efficace, capable d'effectuer de la propagation d'incertitude à travers le MEF développé dans l'étape 2.
- **Etape 5** : Application de l'approche de couplage probabiliste pour étudier l'effet des paramètres incertains sur l'économie d'énergie et l'impact environnemental de l'enveloppe du bâtiment.

### 3. Qualifications et compétences requises

Le candidat doit être titulaire d'un master en génie civil, en génie mécanique, en génie thermique ou, alternativement, en mathématiques appliquées. Les candidats ayant des connaissances préalables dans les domaines des simulations thermiques, des calculs stochastiques et des méthodes numériques seront appréciés. De plus, le candidat doit être persévérant et doit avoir la capacité de travailler de manière autonome.

### 4. Plan de travail

Un plan de travail détaillé pour la réalisation de la thèse est donné dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Plan de travail de la thèse

	1 <sup>ère</sup> année												2 <sup>ème</sup> année												3 <sup>ème</sup> année												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Revue bibliographique	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cadrage du sujet	■	■	■																																		
Dispositif expérimental		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																									
MEF de l'enveloppe					■	■	■	■	■	■	■	■					■	■																			
Modélisation des incertitudes																	■	■	■	■	■	■	■	■													
Méthode de couplage																	■	■	■	■	■	■	■	■													
Validation et analyses																																					
Rédaction (rapport et publications)																																					
Envoi du manuscrit																																					

### 5. Références bibliographiques

[1] Building Performance Institute Europe, Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings. 2011.

[2] Barrau J, Ibanez M, Badia F. Impact of optimization criteria on the determination of the insulation thickness. Energy and Buildings. 76:459–469, 2014.

[3] EN 12524, Building Materials and Products – Hygrothermal Properties – Tabulated Design Values, European Committee for Standardization, Brussels, 2000 (Now withdrawn, superseded by ISO 10456:2007).

[4] ISO 10456, Building Materials and Products – Tabulated Design Values and Procedures for Determining Declared and Design Thermal Values, International Organization for Standardisation, Geneva, 2007.

[5] Heat, air and moisture control in building assemblies – material properties, in: SI (Ed.), ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2009 (Chapter 26).

- [6] Thermal properties of building structures, in: CIBSE Guide A – Environmental Design, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2007 (Chapter 3).
- [7] Domínguez-Munoz F, Anderson B, Cejudo-López J, Carrillo-Andrés A. Uncertainty in the thermal conductivity of insulation materials. *Energy and Buildings*. 42:2159–2168, 2010.
- [8] Aissani A, Chateaufneuf A, Fontaine JP J, Audebert Ph. Cost model for optimum thicknesses of insulated walls considering indirect impacts and uncertainties. *Energy and Buildings*. 84:21–32, 2014.
- [9] Pasek J, Kesl P. Probabilistic assessment of failure risk of the building envelope. *Applied Mathematics and Computation*. 267:108–118, 2015.
- [10] Marincioni V, Marra G, Altamirano-Medina H. Development of predictive models for probabilistic moisture risk assessment of internal wall insulation. *Building and Environment*. 137:257–267, 2018.
- [11] Ekstrom T, Sundling R, Burke S, Harderup L. Probabilistic risk analysis and building performance simulations – Building design optimization and quantifying stakeholder consequences. *Energy and Buildings*. 252:111434, 2021.
- [12] Scarpa F, Tagliafico L, Bianco V. Financial and energy performance analysis of efficiency measures in residential buildings. A probabilistic approach. *Energy*. 236:121491, 2021.