

---

## De la mesure au modèle pour la maîtrise de la charge thermique d'un studio dans une résidence

---

François Devillard<sup>1</sup>  
[francois.devillard@univ-lorraine.fr](mailto:francois.devillard@univ-lorraine.fr)

Bernard Heit<sup>2</sup>  
[bernard.heit@univ-lorraine.fr](mailto:bernard.heit@univ-lorraine.fr)

Armelle Piegle<sup>3</sup>  
[Armelle.Piegle@ac-nancy-metz.fr](mailto:Armelle.Piegle@ac-nancy-metz.fr)

Olivier Caspary<sup>4</sup>  
[Olivier.caspary@univ-lorraine.fr](mailto:Olivier.caspary@univ-lorraine.fr)

<sup>1-4</sup> IUT Saint Dié des Vosges

Laboratoire de Conception, Optimisation et Modélisation des Systèmes  
EA 7306, Université de Lorraine UFR MIM Ile du Saulcy 30309 57000 METZ Cedex 1, France

<sup>2</sup> IUT Nancy-Brabois

Centre de Recherche en Automatique de Nancy, Université de Lorraine, France

<sup>3</sup> Lycée Général et Technologique LORITZ

Enseignante BTS Métiers du géomètre topographe et de la modélisation numérique

**Thèmes** – *Énergie - Environnement - Autre*

**Résumé** – *Les travaux présentés portent sur une démarche de recherche de stratégies d'actions sur le plan énergétique pour assurer la rénovation thermique d'un bâtiment en phase d'exploitation. Nous évaluons les performances du bâti dans son environnement pour déterminer et phaser les actions à mener. Pour mieux comprendre les échanges d'énergie, il est nécessaire de maîtriser les ordres de grandeur des différents apports et consommations. Nous avons ainsi équipé les bâtiments existants d'une instrumentation peu intrusive et géolocalisée, en modifiant à minima les installations existantes. Des modèles multiphysiques de comportement thermique et les simulations associées, en préalable, permettent de tester et valider des stratégies.*

**Mots-Clés** – efficacité énergétique, architecture distribuée, Node-Red, modélisation/simulation multiphysique.

## 1 Introduction

La rénovation thermique de bâtiments existants est difficilement adaptable aux exigences des normes actuelles. Pour notre projet, la présence d'occupants conditionne les actions à réaliser telles que le développement de l'ANR-10-HABISOL-00 [1].

L'ensemble locatif de test s'appuie sur un chauffage collectif à température fixe pour 245 studios, complété d'un chauffage électrique individuel. Notre approche, pour réduire cette consommation énergétique est que, dans chaque studio, le locataire ajuste la température en agissant sur son chauffage individuel, Juge-Hubert [2].

Les travaux présentés visent à développer des solutions de collectes, d'analyses et de visualisations directes des variables thermiques mesurées, de construire des modèles puis les embarquer dans des microcontrôleurs. Les résultats des simulations permettent, par comparaison avec les mesures réelles, de valider nos modèles.

D'un modèle de studio fonctionnel, instrumenté, complété des informations sur son comportement thermique, orienteront nos choix de rénovation.

## 2 L'instrumentation

Pour instrumenter les bâtiments, les constituants du dispositif d'acquisition et d'exploitation réalisés s'inscrivent dans une durée d'activité qui est représentative du fonctionnement du bâtiment durant les différentes saisons. Complémentairement sera mis en place un système de communication pour informer individuellement l'utilisateur de ses consommations.

Cette instrumentation permanente nous fournit des indicateurs énergétiques dont l'exploitation doit aussi nous permettre d'améliorer les performances du bâti.

Pour piloter le bâtiment en temps réel nous avons dédié, à ce projet, un VLAN du réseau Ethernet IP du bâtiment. Le système de pilotage du réseau de capteurs et actionneurs développé s'appuie sur l'environnement Open Source Node-Red.

La modélisation/simulation utilise le logiciel Open Modelica qui permet de décrire, en Modelica, le comportement de systèmes dynamiques réels, naturellement multiphysiques, par un langage acausal et orienté objet. Les modèles thermiques sont décrits par des équations différentielles.

Les modèles autres que ceux de la modélisation thermique du bâtiment, sont écrits en langage Python sur Raspberry et en langage Julia sur le superviseur NAS dont les services sont architecturés en Docker. Les données sont gérées et enregistrées sur le NAS.

Pour notre projet, à la vue de l'étendue des bâtiments, les données spatio-temporelles issues des capteurs doivent être cartographiées pour construire une architecture du système d'information, plus adaptée, à son

développement. Pour cela une complémentarité entre la modélisation des informations du bâtiment (BIM) et de son environnement par un Système d'Information Géographique (SIG), est mise en place (Figure 1).

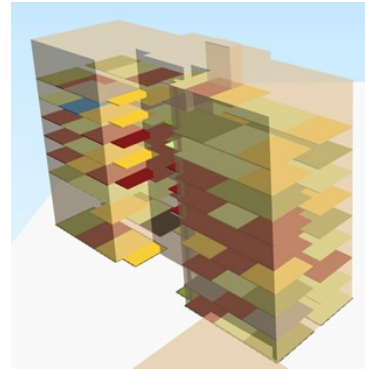


Figure 1 - Carte thématique des différents étages avec l'emprise du bâtiment sur laquelle vont être placés les capteurs existants.

## 3 Architecture du système développé

La présence de stations de mesures de l'environnement (Figure 2) sur le site quantifie les variations climatiques locales de la température et du rayonnement solaire avec redondance de l'information.

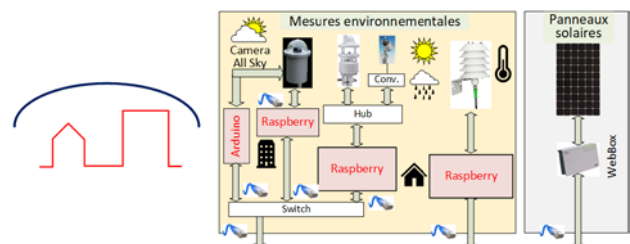


Figure 2 - Acquisition de données par le sur-système bâtiment. Une redondance est réalisée sur les données météorologiques et le rayonnement global.

Les murs des bâtiments sont un filtre thermique permettant de créer un microclimat intérieur atténuant les perturbations extérieures (Figure 3). Complété du chauffage central, ils forment le système bâtiment.

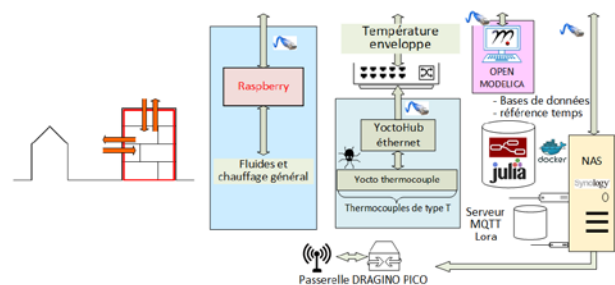


Figure 3 - Le système bâtiment et le système d'information

Le studio avec ses apports et déperditions thermiques complété à des mesures intérieures locales, constitue le sous-système bâtiment. Il est actuellement en rénovation et sera prochainement occupé par des locataires.

## 4 Résultats obtenus

La Figure 4 illustre le Dashboard qui nous permet de visualiser directement le contenu des bases de données. Ces données sont utilisées en temps réel par les modèles thermiques et solaires.



Figure 4 - Téléchargement et affichage des mesures par le « dashboard » de Node-Red.

Le rayonnement solaire global sur les murs, est dépendant du déplacement du soleil ce que montre la Figure 5.

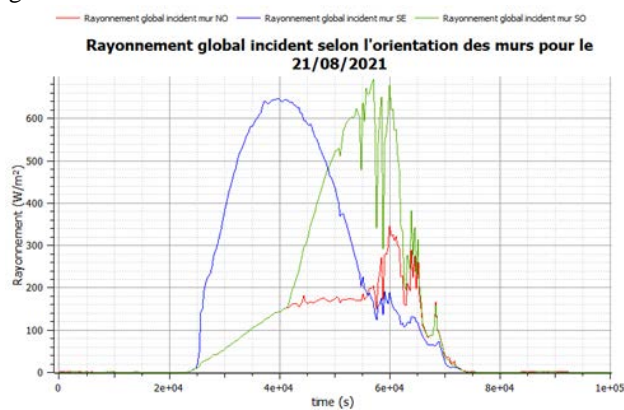


Figure 5 - Mesure et calcul du rayonnement solaire au cours la journée sur les 3 murs (SE, SO et NO) d'un studio.

Le modèle numérique du sous-système bâtiment, en développement, permet la comparaison de ses résultats avec ceux des capteurs intérieurs (Figure 6).

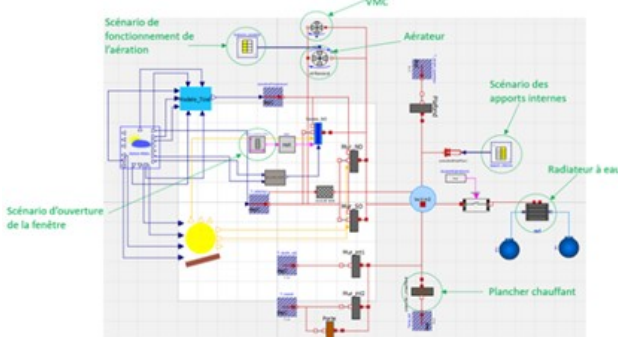


Figure 6 - Modélisation Open Modelica des échanges thermiques dans un studio (sous-système)

## 5 Poursuite des travaux

La Figure 7 décrit les fonctions de l'instrumentation installée dans le studio. Pour la supervision locale, il sera équipé de capteurs thermiques, de qualité de l'air et de consommations énergétiques.

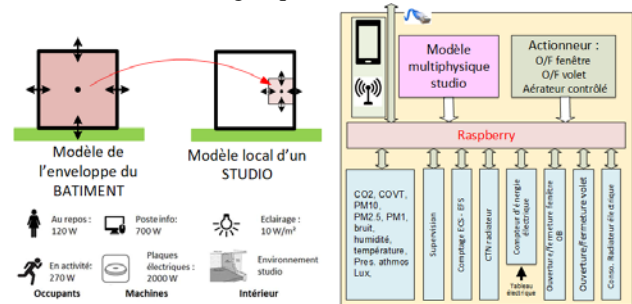


Figure 7 - instrumentation du studio en cours de réalisation

La variabilité du rayonnement solaire reçu est liée à la densité de la couverture nuageuse locale et son évolution. Pour quantifier la nébulosité, nous développons un système équipé d'une caméra all-sky (Figure 8) qui segmentera les régions nuageuses dans le pavage Malkin [3].

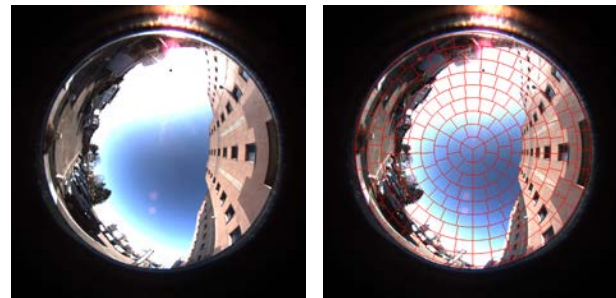


Figure 8 - Pavage ou tessellation de la voûte céleste

## 6 Conclusion

Les travaux menés pour maîtriser la charge thermique des studios, nous conduisent à garder l'usager au cœur de cette rénovation complexe. L'objectif est de lui faire adapter son « comportement » aux enjeux énergétiques à travers l'utilisation des nouvelles technologies sans les rendre contraignantes ni restrictives.

## 7 Remerciements

Nous remercions l'Association pour l'hébergement des Etudiants de Nancy (APHEEN) pour le prêt de ses locaux et la mise à disposition de ses équipements.

## 8 Références

- [1] ANR-10-HABISOL-006 Mesure Enrichie par la MODélisation pour une conception Intelligente en Rénovation Energétique : 2013
- [2] Didier Juge-Hubert, Lala Rajaoarisoa, Stéphane Lecoecue, Modélisation thermique du bâtiment et responsabilisation des usagers, IA, Mines Douai, France, Conférence IBPSA France-Arras-2014
- [3] Zinovy Malkin, A new Equal-area Isolatitudinal grid on a sperical surface.