

Système de mesure et d'information d'un bâtiment dédié à la rénovation thermique de ses studios

FRANÇOIS DEVILLARD¹, BERNARD HEIT² ET ARMELLE PIEGLE³

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

² Centre de Recherche en Automatique de Nancy,
Faculté des Sciences et Technologies Vandœuvre-lès-Nancy, Université de Lorraine, France

³ Enseignante BTS Métiers du géomètre topographe et de la modélisation numérique
Lycée Général et Technologique LORITZ

¹ francois.devillard@univ-lorraine.fr

² bernard.heit@univ-lorraine.fr

³ Armelle.Piegle@ac-nancy-metz.fr

Résumé : Cet article présente une démarche de recherche de stratégies d'actions sur le plan énergétique pour assurer la rénovation thermique d'un bâtiment en phase d'exploitation. En évaluant les performances du bâti dans son environnement, nous pourrions déterminer et phaser les actions à mener. Pour cette évaluation, nous proposons une approche systémique qui consiste à décomposer un bâtiment en sous-systèmes qui échangent de l'énergie. Pour mieux comprendre ces échanges d'énergie, il est nécessaire de maîtriser les ordres de grandeur des différents apports et consommations. Nous avons ainsi équipé un bâtiment existant d'une instrumentation peu intrusive, géolocalisée, en modifiant à minima les installations existantes. Des modèles multiphysiques de comportement thermique et les simulations associées, sont un préalable pour tester et valider des stratégies.

Abstract: This article presents an approach to researching energy action strategies to ensure the thermal renovation of a building in the operational phase. By assessing the performance of the building in its environment, we can determine and phase the actions to be taken. For this assessment, we propose a systemic approach which consists of breaking down a building into sub-systems that exchange energy. To better understand these energy exchanges, it is necessary to manage the orders of magnitude of the various inputs and consumptions. We have thus equipped an existing building with minimally intrusive, geolocated instrumentation, by modifying the existing installations as little as possible. Multiphysical models of thermal behaviour and associated simulations are a prerequisite for testing and validating strategies.

1 Introduction

La rénovation thermique de bâtiment est plus complexe que d'appliquer des contraintes ou des normes sur des bâtiments neufs. Les configurations des bâtiments existants sont difficilement adaptables aux exigences des normes actuelles et pour notre projet, la présence d'occupants conditionne les décisions à prendre. Les coûts des énergies augmentant, les technologies numériques ouvrent à de nouvelles perspectives pour optimiser les consommations tout en améliorant le confort des occupants.

D'un point de vue énergétique, nous pouvons définir la consommation d'un bâtiment comme « l'écart à combler entre le fonctionnement naturel de l'enveloppe et les exigences d'usage » [1].

L'ensemble locatif de test s'appuie sur un chauffage collectif complété, pour chaque studio, d'un chauffage individuel. Notre approche, pour réduire cette consommation énergétique est que son usage, dans chaque studio, soit négociable par le locataire en agissant sur son chauffage individuel.

Quel est alors le compromis à établir entre une température maximale garantie fournie par le chauffage

collectif relativement aux apports extérieurs ? Comment informer l'utilisateur et le rendre acteur de son confort [2] ?

Les travaux présentés visent à développer des solutions de collectes, d'analyses et de visualisations directes des variables mesurées puis construire des modèles de complexité adaptés [3], pour les embarquer dans des microcontrôleurs [4]. Les résultats des simulations vont nous permettre, par comparaison avec les mesures réelles, de valider nos modèles.

Sur la base d'un modèle de studio fonctionnel, instrumenté avec peu de capteurs, nous obtenons les informations sur son comportement thermique. Notre objectif est de construire un modèle générique de studio pour permettre, sans trop de modifications, de suivre les évolutions thermiques du studio en fonction de la vie du locataire. L'ensemble du travail présenté est obtenu en 3 étapes :

- 1) Mise en place des stations météorologiques pour une connaissance de l'environnement local du site ;
- 2) Caractériser l'enveloppe du bâtiment avec une instrumentation adaptée pour relever précisément les températures et flux thermiques qui l'influencent ;
- 3) Construire un modèle générique de studio équipé d'une instrumentation minimale.

Le plan propose, en première partie, de résumer les orientations choisies pour notre bâtiment numérique, de décrire l'approche modèle que nous avons utilisée, puis de détailler les architectures matérielle et logicielle développées ; Nous terminerons sur des exemples de mesures obtenues. La conclusion s'ouvrira sur les perspectives de ce travail.

2 Technologies pour objectiver les consommations et les paramètres du confort

Aujourd'hui, pour instrumenter les bâtiments, des solutions techniques « clé en main » se développent sur le marché mais sont très diversifiées en fonction des besoins, souvent sous forme de modules autonomes, et leurs coûts restent relativement élevés. Nous présentons les constituants du dispositif d'acquisition et d'exploitation réalisé. Cet outil s'inscrit 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, voire sensibiliser, individuellement l'utilisateur à ses consommations.

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

Le besoin d'un usage flexible lié à la destination de l'immeuble nous conduit vers un pilotage « intelligent » qui utilise les objets connectés (IoT) pour simplifier la maintenance des bâtiments.

Pour piloter ce suivi du bâtiment en temps réel nous avons dédié, à ce projet, un réseau local virtuel IP.

L'IoT nous permet de collecter des données opérationnelles à grande échelle suivant la granularité voulue et de les analyser pour déterminer l'évolution de notre système [5].

Le système de pilotage du réseau des capteurs et actionneurs développés 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 élémentaires sont décrits par des équations différentielles. Les modèles obtenus sont exportables sur des cibles de type microcontrôleurs.

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. Nous nous assurons de la qualité des données dans le temps par redondance de certaines informations [6].

Nos travaux portent parallèlement sur une centralisation des données techniques par la création un partage d'informations sur le bâtiment existant (BIM) et sur son environnement local urbain par un Système d'Information Géographique (SIG). Nos modèles vont pouvoir prendre en compte les différents paramètres

internes et externes au bâtiment donc une vision globale de tous les mécanismes interagissant sur notre projet [7].

3 Architecture du système proposé

3.1 Le sur-système bâtiment

L'impact du microclimat sur les performances énergétiques des bâtiments est fonction de de l'environnement d'implantation. L'ensoleillement est l'un des facteurs influents.

Pour connaître l'influence des caractéristiques météorologiques sur les surfaces des murs des bâtiments contenant des studios, il est nécessaire de la quantifier (Figure 1). En particulier, l'influence du rayonnement solaire, nécessite un traitement plus complexe.

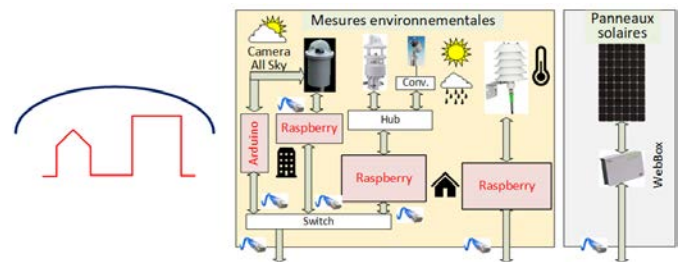


FIG. 1 : Acquisition de données par le sur-système bâtiment. Une redondance sur les mesures des données météorologiques et de rayonnement global est réalisée.

Le rôle des capteurs météorologiques et d'ensoleillement est de permettre de quantifier l'énergie provenant des sources naturelles provenant du soleil (la source primaire ponctuelle), et de l'ensemble de la voûte céleste (la source secondaire diffuse).

Ces deux aspects sont les constituants du modèle d'éclairage (énergétique ou lumineux). Cependant, les apports solaires varient tout au long de l'année en fonction de la situation géographique, des saisons, de l'heure de la journée et de la couverture nuageuse. Nos travaux nous permettent de rendre compte de la répartition dans le ciel de la luminosité en fonction de la couverture nuageuse éventuelle.

3.2 Le système bâtiment

Les murs du bâtiment jouent un rôle de filtre thermique permettant de créer un microclimat intérieur atténuant les perturbations extérieures.

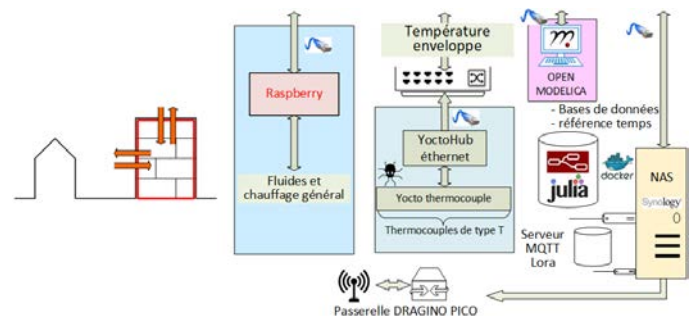


FIG. 2 : Le système bâtiment, ses capteurs, son système de modélisation et de stockage dans le système d'information

Ce filtrage est réalisé par un ensemble composite de matériaux formant l'enveloppe du bâtiment. La forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre.

Une pièce prototype (Figure 2) a été équipée pour caractériser l'impact de l'environnement (sur-système) sur une pièce (sous-système), en ne s'intéressant qu'à l'enveloppe. Des capteurs intérieurs et extérieurs en vis-à-vis sont placés sur les murs et les valeurs sont enregistrées régulièrement. Des capteurs prennent aussi la température du sol et du plafond. La figure 3 modélise la thermique d'une paroi opaque du studio.

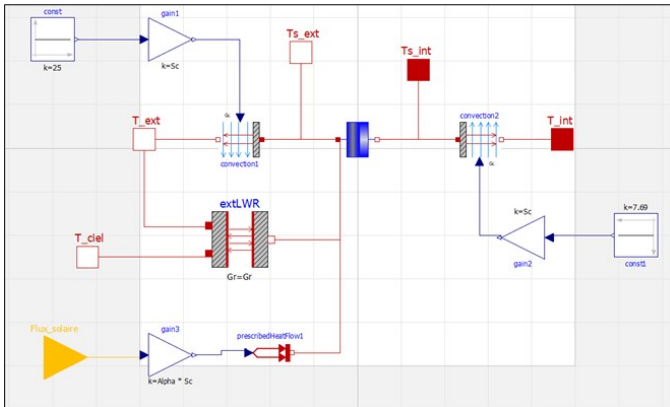


FIG. 3 : Modélisation OpenModelica des échanges thermiques du mur extérieur par conduction, convection et rayonnement.

Notre modélisation / simulation thermique dynamique (Figure 4) étudie pour différentes saisons, le comportement thermique de cette pièce prototype.

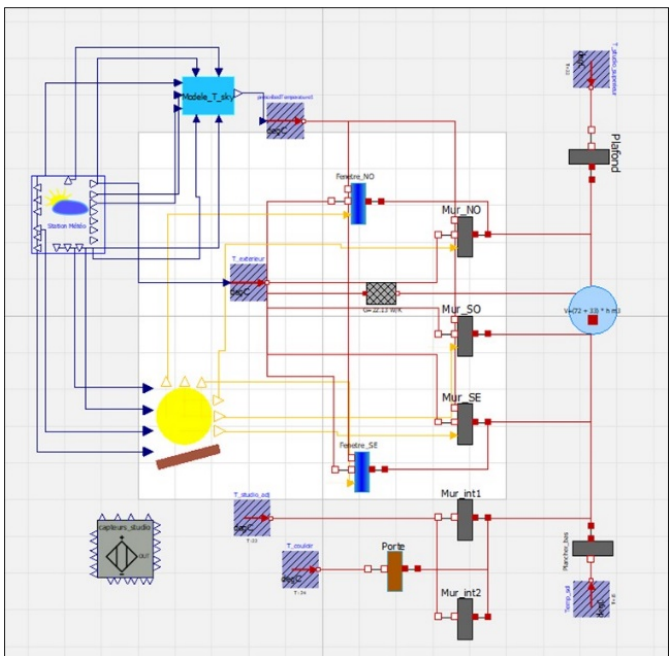


FIG. 4 : Modèle thermique OpenModelica d'une salle prototype pour l'étude de l'enveloppe du bâtiment.

L'objectif est de caractériser thermiquement les matériaux de construction et modéliser les transferts de chaleur d'une paroi pour une parfaite connaissance des

échanges énergétiques extérieurs / intérieurs quelque-soit la localisation d'un studio dans le bâtiment.

3.3 Le sous-système bâtiment

Il est constitué d'un modèle de studio avec ses apports et déperditions thermiques associés à des mesures locales. Il est actuellement en rénovation et sera prochainement occupé par des locataires.

Ce modèle numérique, en cours de finalisation (Figure 5), sera implémenté dans un Raspberry. Ce dernier aura également en charge de collecter les données des capteurs intérieurs et de les exploiter pour informer le locataire.

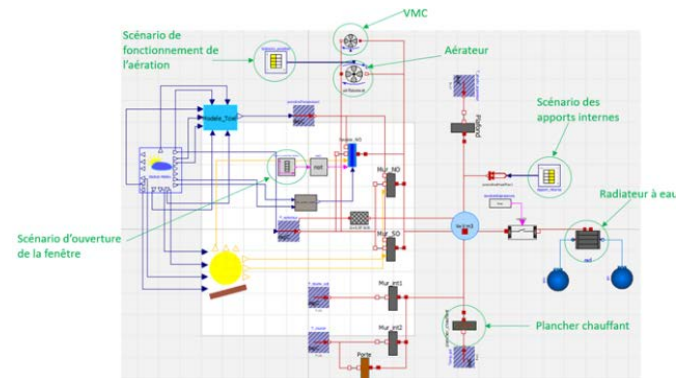


FIG. 5 : Modélisation préparatoire des échanges thermiques dans un studio (sous-système)

Par ailleurs, ces données renseigneront le Système d'Information du bâtiment pour servir au gestionnaire.

4 Exemples de mesures obtenues

Le « dashboard » de Node-Red (Figure 6), nous permet d'afficher et transmettre toutes les données issues des capteurs ou des modèles numériques mais également autoriser des réglages. L'accès aux différentes bases de données permet d'alimenter les modèles en temps réel.

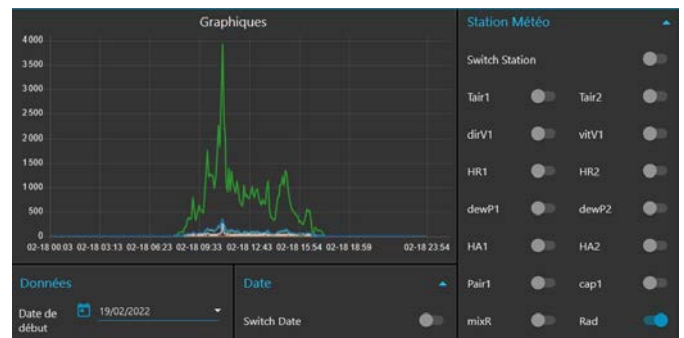


FIG. 6 : Affichage partiel des mesures datées par le « dashboard » de Node-Red.

La Figure 7 illustre partiellement l'extraction des données que l'on peut obtenir à partir du Dashboard. Celui-ci nous permet de visualiser directement le contenu des Bases de données avant de les exporter pour un traitement ultérieur.

Dans cet exemple, des journées estivales ensoleillées se caractérisent par un rayonnement direct important et un rayonnement diffus relativement faible dus à la clarté du ciel (faible couverture nuageuse).

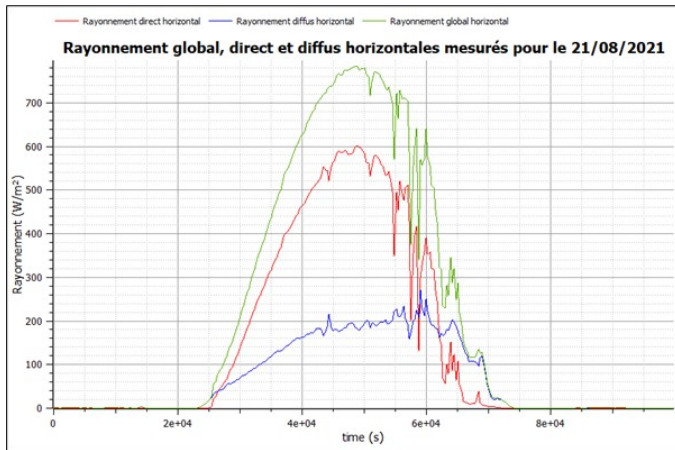


FIG. 7 : Variation du rayonnement global, direct et diffus sur un plan horizontal pour la journée du 21/08/2021

La Figure 8 montre le résultat cohérent de la modélisation de la température d'ambiance de la pièce sur 2 jours.

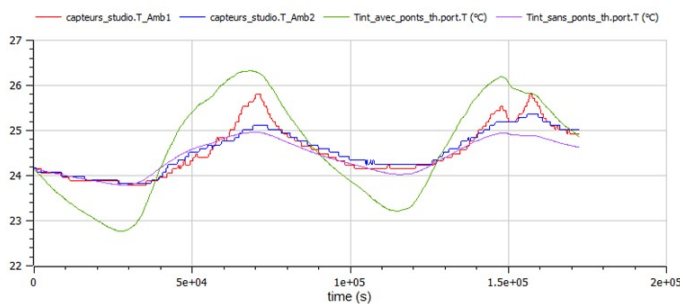


FIG. 8 : Système Bâtiment - Variations de la température intérieure (estimée et mesurée) et extérieure du 14/08/2021 et 15/08/2021

5 Réalisations en cours

Le travail accompli, nous conduit maintenant à instrumenter et implémenter le modèle dans un studio puis l'interfacer au système d'information (Figure 9). Pour cela, des capteurs et une sonde de qualité de l'air l'équiperont. Les actionneurs permettront d'agir sur la qualité de l'air ambiant. Les mesures seront réalisées à une fréquence identique à celle des autres mesures.

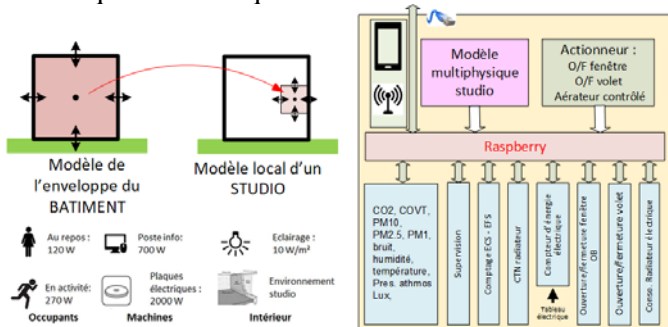


FIG. 9 : instrumentation du studio en cours de réalisation

Le modèle dynamique obtenu va alors être soumis aux différents modes de vie des locataires.

L'analyse des mesures du studio occupé, couplé aux données météorologiques du lieu, nous permettront d'évaluer l'efficacité du dispositif mis en place et de corréler les résultats du modèle avec les activités du

locataire et ainsi de déterminer leurs effets sur le comportement énergétique du studio.

Le bâtiment étudié dans son ensemble impose que les modèles du sous-système étudié, soient simples et implémentables dans chaque studio. Interconnectés, ces modèles doivent nous permettre de faire émerger une vision énergétique à la fois locale et globale du bâtiment sans avoir à instrumenter de manière importante.

6 Conclusion

Les travaux menés nous conduisent à garder l'utilisateur au cœur de cette rénovation complexe. L'apport du numérique va rendre le bâtiment communicant. Dans les studios, l'objectif est de faire adapter les « comportements » aux enjeux énergétiques à travers l'utilisation des nouvelles technologies sans les rendre contraignantes ni restrictives pour l'utilisateur.

Le travail en cours est la validation de la modélisation pour un studio générique. Les résultats obtenus vont nous permettre, dans un second temps, de déployer la solution en s'appuyant sur le système d'information du bâtiment.

Les résultats obtenus vont conduire à une participation active du locataire et une supervision rendue possible pour le gestionnaire.

7 Références

- [1] Du bâtiment performant au bâtiment habitable, Pascal Lenormand, Mars 2017, <https://www.incub.net>
- [2] Didier Juge-Hubert, Lala Rajaoarisoa, Stéphane Lecoeuche, Modélisation thermique du bâtiment et responsabilisation des usagers, IA, Mines Douai, France, Conférence IBPSA France-Arras-2014
- [3] Jean-Pierre Levy, Fateh Belaid, Les modèles de consommation énergétique des bâtiments Limites et perspectives Rapport final, Laboratoire LATTs, Mars 2018
- [4] ANR-10-HABISOL-006 Mesure Enrichie par la MODélisation pour une conception Intelligente en Rénovation Énergétique : 2013
- [5] IOT Internet des Objets, Pôle SCS axes stratégiques 2021, www.pole-scs.org
- [6] B. Saha and D. Srivastava, "Data quality: The other face of Big Data," *2014 IEEE 30th International Conference on Data Engineering*, 2014, pp. 1294-1297, doi: 10.1109/ICDE.2014.6816764.
- [7] Antonino Mannino, Mario Claudio Dejaco and Fulvio Re Cecconi, Building Information Modelling and Internet of Things Integration for Facility Management, - Literature Review and Future Needs, *Appl. Sci.* 2021, 11, 3062. <https://doi.org/10.3390/app11073062>

Note : 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.