

Bâtiment expérimental de l'IUT de Nîmes – Influence de l'occupant sur son confort et sur le comportement énergétique du bâtiment

ABBAS Abbas

LMGC - Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, Université de Montpellier, abbas.abbas@umontpellier.fr

RESUME Le secteur du bâtiment représente le plus grand consommateur d'énergie en France et le deuxième producteur de gaz à effet de serre après le secteur des transports. Dans ce contexte, au sein de l'IUT de Nîmes, un bâtiment expérimental largement instrumenté a été conçu à des fins d'enseignement et de recherche. Plusieurs techniques et protocoles sont utilisés pour contrôler l'équipement et acquérir des données. L'analyse des données recueillies doit permettre de comprendre les facteurs qui contribuent à l'efficacité énergétique du bâtiment mais aussi d'identifier la performance énergétique des équipements au regard du confort des occupants.

La simulation de l'occupant se concentre sur trois actions principales : le contrôle des volets, régulation de la température intérieure de consigne et la consommation d'eau chaude sanitaire (ECS). Sur quatre semaines en saison hivernale de l'année 2020, quatre scénarios d'usage du bâtiment par l'occupant sont simulés afin d'identifier leur impact sur le comportement énergétique du bâtiment. Le chauffage et le refroidissement sont assurés par une pompe à chaleur air-eau réversible, la production d'ECS est assurée par un système électro solaire. Six panneaux photovoltaïques alimentent le bâtiment. La ventilation est assurée par un système contrôlé de ventilation mécanique à double flux, couplé à un échangeur de chaleur sol-air.

Mots-clefs Énergétique du bâtiment, échange thermique, pompe à chaleur air/eau, mesures expérimentales, analyse énergétique.

I. INTRODUCTION

En 2017, en France, le secteur du bâtiment, composé de deux tiers de résidentiel et d'un tiers de tertiaire, a dépensé 44% de la consommation finale d'énergie, loin devant le secteur des transports (31,3%). Il a émis dans l'atmosphère plus de 123 millions de tonnes de CO₂, près de 16,5 % des gaz à effet de serre (Ministère de la transition écologique et solidaire).

Les objectifs globaux de la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte, publiée en août 2015, sont multiples : réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40% en 2030 par rapport à 1990, porter la part des énergies renouvelables à un tiers de la consommation finale d'énergie, réduire de 30% de la consommation d'énergies fossiles en 2030 par rapport à 2012, diversifier la production d'électricité en baissant à 50% la part du nucléaire à l'horizon 2025 et réduire de moitié la consommation d'énergie d'ici 2050. La loi attribue des objectifs spécifiques au secteur de la construction : une mise au standard « Basse consommation » de l'ensemble du parc d'ici 2050,

une rénovation annuelle de 500 000 logements à partir de 2017, une réduction de 15% de la précarité énergétique d'ici 2020 et une rénovation énergétique des logements d'une consommation d'énergie primaire supérieure à 330 kWh/m².an avant 2025. Dans le même temps, l'amélioration globale du secteur est tirée par des exigences énergétiques et environnementales plus élevées pour les nouveaux bâtiments, y compris la construction de bâtiments à énergie positive et à faible émission de carbone, propulsée par les réglementations RT 2012 et RE 2020.

En novembre 2016, la région Occitanie s'engage dans un projet dont l'objectif est de devenir la première région à énergie positive d'Europe en 2050. Elle vise à réduire les consommations d'énergie au maximum par la sobriété et l'efficacité énergétiques et couvrir 100% des consommations par la production d'énergies renouvelables locales. Dans le secteur du bâtiment des objectifs sont fixés : réduire de 26% les consommations d'énergie et rénover énergétiquement 52 000 logements par an jusqu'en 2030, puis 75 000 logements par an. Depuis 2019, la région Occitanie finance un projet de recherche intitulé Optimisation Énergétique de l'Habitat Méditerranéen (OEHM). Le but de ce projet est d'aller vers une minimisation des coûts énergétiques de l'habitat méditerranéen. Il repose sur quatre axes : les aspects expérimentaux des matériaux, la modélisation physique et numérique, les essais sur structures et habitats instrumentés et la typologie et morphologie adaptées au climat méditerranéen.

Cet article, qui concerne le troisième axe du projet OEHM, porte sur l'étude énergétique d'un bâtiment expérimental au sein de l'Institut Universitaire de Technologie de Nîmes.

Aujourd'hui, la communauté scientifique admet que les occupants ont un impact significatif sur le confort thermique et la consommation d'énergie (Yu, 2011 ; De Meester, 2013). Dans la région méditerranéenne, la consommation d'énergie pour la climatisation en été peut être égale à la consommation d'énergie pour le chauffage en hiver. Avec le réchauffement climatique, on s'attend à ce que cette situation s'aggrave.

Les systèmes de chauffage et de refroidissement ont été développés pour offrir de meilleures conditions de vie aux occupants en compensant le climat extérieur. Aujourd'hui, les occupants sont coupés de leur environnement extérieur et des gestes simples comme ouvrir une fenêtre ou fermer un volet ont une importance qui peut dépasser le confort intérieur : ces actions impactent inévitablement la consommation d'énergie. Pour compenser ces actions contre-productives, deux études sont envisagées et visent à :

- aider à modifier les comportements des occupants
- proposer des solutions architecturales adaptées aux comportements des occupants.

Aider à changer les comportements des occupants est une action nécessaire mais les solutions doivent être développées par une politique volontariste aidée des acteurs des sciences sociales. Si plusieurs actions sont menées dans ce sens aujourd'hui (Yu, 2011 ; De Meester, 2013), l'objectif final pour les architectes ou les ingénieurs thermiciens est de comprendre quelles sont les possibilités de limiter les comportements défavorables des occupants (en termes de confort ou de consommation d'énergie). Aujourd'hui, des simulations thermiques dynamiques sont réalisées par des ingénieurs thermiciens et des architectes pour prévoir la consommation d'énergie et la température intérieure d'un bâtiment. Cela aide à choisir les conceptions et les systèmes architecturaux pour réaliser des bâtiments efficaces sur le plan énergétique. Il existe de véritables

outils d'aide à la décision qui incluent des paramètres nécessaires comme la modélisation du bâtiment, les données météorologiques et les utilisations du bâtiment par les occupants. Les deux premiers paramètres sont maintenant assez bien maîtrisés par les architectes et les ingénieurs. L'utilisation du bâtiment par les occupants l'est moins et peut être établie par des scénarios à pas horaire.

De nombreuses études ont mis en évidence la relation entre l'utilisation des fenêtres (Andersen, 2013 ; Bonte, 2014) ou des volets (Herkel, 2008 ; Fabi, 2012) et différents paramètres comme la température extérieure, la température intérieure. Dans la plupart des cas, ces études concernent des immeubles de bureaux. Mais dans les immeubles d'habitation, les usages sont différents et les occupants peuvent supporter une situation d'inconfort avant de modifier leur environnement (Frontczak, 2011).

L'étude présentée s'inscrit dans un travail de thèse qui a consisté à concevoir et réaliser l'instrumentation des équipements d'un bâtiment expérimental de l'IUT de Nîmes dans un but d'analyse énergétique globale du bâtiment, des systèmes qui le constituent, selon différents scénarios météorologiques et d'usage simulé par pilotage des équipements.

II. BATIMENT EXPERIMENTAL DE L'IUT de NIMES

A. Caractéristiques du bâtiment

Le bâtiment expérimental de l'IUT de Nîmes (Fig. 1) est une structure à ossature bois, accessible aux personnes à mobilité réduite, de surface totale de 20 m², répartie en deux pièces : une pièce de vie et un local technique qui accueille les équipements tels que la VMC double flux, le ballon d'eau chaude solaire. Les murs et le plafond sont isolés par du Métisse®, isolant biosourcé, conçu à partir de laine de coton recyclée. Le bâtiment est réalisé sur un média sable + chaux contenant un échangeur sol-air permettant la récupération des émissions basses du plancher du bâtiment. Le chauffage et le rafraîchissement s'effectuent exclusivement par le plancher.



FIGURE 1. Le bâtiment expérimental de l'IUT de Nîmes

B. Systèmes : Equipements techniques et instrumentation

Le chauffage et le rafraîchissement du bâtiment expérimental sont assurés par une pompe à chaleur (PAC) air/eau monobloc réversible GENIA AIR 6 - SAUNIER DUVAL, une bouteille de

stockage de 50ℓ qui alimente le plancher chauffant/rafraîchissant bi-zones contrôlé par un module hydraulique.

Une installation photovoltaïque YL250P-29b de puissance crête 1,5 kWc est installée en toiture et sur une structure porteuse à proximité du bâtiment expérimental. L'énergie produite est mise aux normes du réseau par un onduleur SUNNY-BOY, puis autoconsommée ou reversée sur le réseau électrique de l'IUT.

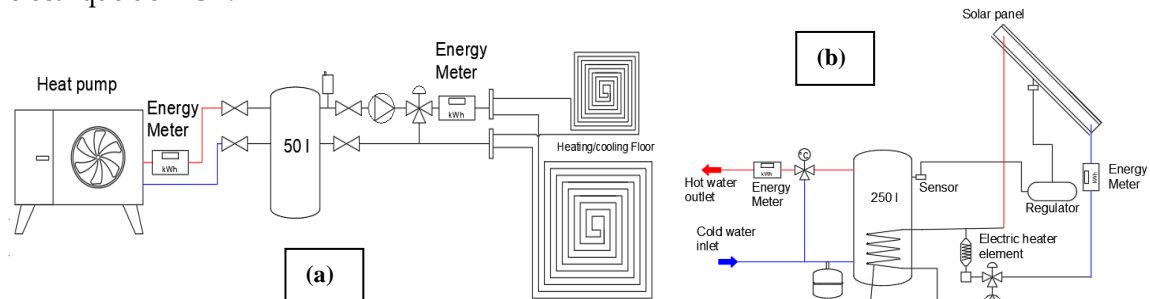


FIGURE 2. Installation technique du système de chauffage/rafraîchissement (a) et du système de production d'eau chaude sanitaire (b) du bâtiment expérimental

Le traitement de l'air extérieur est effectué par un puits thermique en sous-face du bâtiment couplé à une VMC double flux de modèle DOMEO DF. La production d'ECS est assurée par un ballon électro-solaire de 250ℓ installé dans le local technique.

Deux fenêtres PVC de surface 0,8 m x 1 m équipent la façade sud du bâtiment et sont protégées par des volets roulants à fermeture programmable. Pour l'acquisition des données et le pilotage, plusieurs techniques et protocoles sont utilisés afin d'offrir aux étudiants une information complète sur ces systèmes. Le système KNX permet de piloter les différents composants tels que l'éclairage, les volets et les prises de courant, grâce à des capteurs (énergies électriques, humidité, taux de CO₂, températures et luminosités extérieures et intérieures). Une interface numérique (Node-Red – InfluxDB – Grafana) reliée au système KNX permet un affichage des données et leur stockage pour analyse à destination des étudiants à but pédagogique ou à vocation de recherche expérimentale.

Chacun des équipements (PAC, panneau solaire thermique, ballon ECS et bouteille de stockage) est muni d'un compteur d'énergie hydraulique de type SHARKY dont les mesures peuvent être lues et transférées par le système MBus pour une analyse journalière, hebdomadaire, mensuelle ou annuelle. 120 thermocouples sont installés dans l'ensemble des parois, plancher et plafond du bâtiment pour permettre l'acquisition des températures et leurs fluctuations selon la journée et les saisons. Ils sont reliés directement à un système d'acquisition de marque Graphtec midi logger GL820 pour le traitement des données. Les différents systèmes d'instrumentation et d'acquisition permettent de caractériser énergétiquement le bâtiment dans sa globalité mais aussi au niveau de chaque équipement de production d'ECS, d'éclairage, de chauffage ou de rafraîchissement et de ventilation (Abbas, 2019). Des bilans énergétiques basés sur les consommations et les productions d'énergie seront entrepris sur différentes périodes météorologiques et pour différents scénarios de comportements humains simulés (Batier, 2015) de façon à en évaluer l'importance vis à vis du scénario idéal et conventionnel de la RT2012.

III. SCENARIOS ET MESURES

La pompe à chaleur est réglée par la consigne de température intérieure de la pièce que fixe l’occupant selon le confort personnel souhaité et une loi d’eau (définie par l’installateur de la PAC selon le comportement thermique du bâtiment). Deux niveaux de température intérieure de consigne sont ici traités : 18°C et 21°C, (Fig.3-b), maintenus tant en période diurne que nocturne. Pour chacun de ces niveaux, deux scénarios de gestion de volets sont considérés pour évaluer le confort thermique de l’occupant pendant le jour et la nuit (Fig.3-a). Le volume journalier d’ECS consommée à 55°C est fixé à 50 litres réparti sur trois puisages à 7h, 12h et 19h par le biais d’une électrovanne connectée.

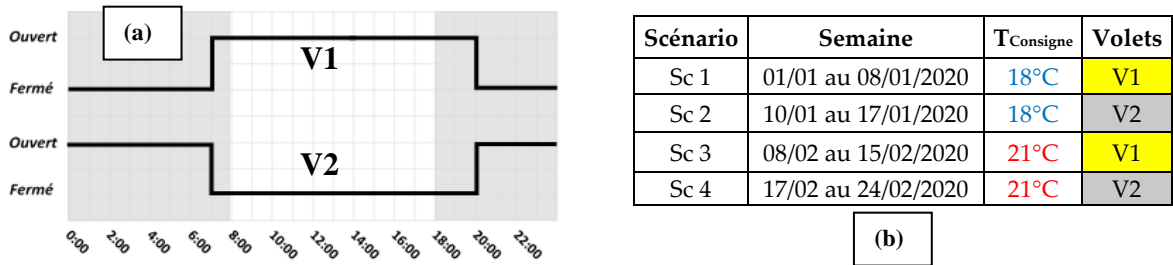


FIGURE 3. 2 modes de gestion des volets : V1 et V2 (a) et description des 4 scénarios (b)

Les modes de gestion des volets et de la température intérieure permettent de définir 4 scénarios (Sc1 à Sc4) décrits par la Fig.3-a, dont chacun est attribué à une semaine spécifique. L’examen (Fig. 4-a) des énergies consommées et fournies par la PAC pour chacun des scénarios justifie d’une consommation énergétique fortement impactée par la température intérieure de consigne et par la climatologie du lieu (pour la semaine correspondante) définie par les degrés heures DHe base 18 ou 21 selon le scénario.

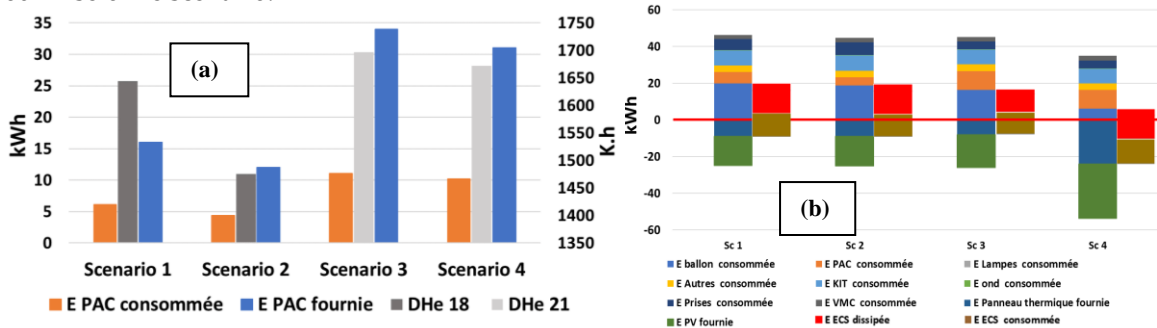


FIGURE 4. Énergie électrique consommée, énergie thermique fournie par la pompe à chaleur aux DHe pour chaque scénario (a) et des échanges d’énergie du bâtiment expérimental pour chaque scénario (b)

L’énergie fournie par la PAC selon le scénario est fortement liée aux degré-heures à combattre (DHe) et complète les apports internes (onduleur, ballon ECS, etc) et solaires. La Fig. 4-b présente l’énergie consommée par chaque équipement du bâtiment ainsi que les énergies produites (panneaux solaires photovoltaïques et thermique) pour la semaine associée à chacun des 4 scénarios. La variation de l’énergie stockée par le ballon ECS étant peu significative sur une semaine, l’énergie dissipée par ce ballon se déduit de l’énergie reçue et de l’énergie relative à l’ECS consommée. Cette énergie dissipée par le ballon (dans le volume chauffé du bâtiment) qui

apparaît supérieure à l'énergie thermique d'ECS consommée par l'utilisateur du fait des scénarios définis et du type de ballon ECS, contribue à réduire la consommation de la PAC. De plus, on remarque, paradoxalement, que le scénario 4, à priori le plus contreproductif des 4, est l'objet d'une production importante d'énergie associée à une faible consommation énergétique, témoignant d'une semaine très ensoleillée pour laquelle le bâtiment devient à énergie positive.

Les énergies reçues par le bâtiment doivent permettre d'assurer le confort de l'occupant. La température optimale de confort T_c d'une ambiance intérieure peut être définie à partir des températures extérieures de 7 jours antérieurs (Afnor, 2007). Le confort thermique se définit par une température intérieure comprise dans la zone de ± 3 degrés par rapport à la température optimale de confort.

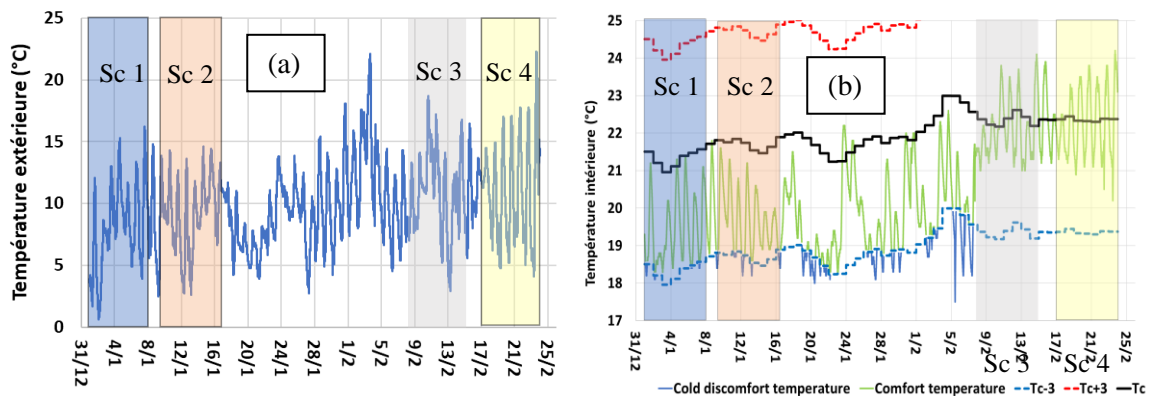


FIGURE 5. Variations en janvier et février 2020 de la température extérieure (a), de la température intérieure et du confort intérieur (b)

Les variations de la température extérieure pour chacun des scénarios sont présentées sur la Fig. 5-a. La Fig. 5-b présente les périodes pendant lesquelles la température intérieure descend en dessous de T_c-3 (en bleu) et celles où elle se trouve entre T_c-3 et T_c+3 (en vert). La consigne de température intérieure fixée à 18°C permet un confort thermique de l'occupant assuré à 93% du temps du scénario 1 et 85% du temps pour le scénario 2. La consigne à 21°C conduit à assurer le confort thermique sur la durée totale d'étude mais induit une surconsommation énergétique. La gestion des ouvrants semble être un paramètre intéressant à considérer.

Afin de quantifier l'impact sur la température visée des apports internes dus aux équipements et solaires dus aux vitrages, on quantifie les gains sur la consigne (Fig. 6) pour chaque journée de chacun des scénarios, en fonction de l'irradiation journalière (mesurée par une station météo installée sur le site) par les Degrés Heures « DHi/Cons » par l'intégrale sur la durée considérée de l'écart de la température intérieure mesurée à la température de consigne (18 ou 21°C).

Les graphes (a) et (c) de la Fig. 6 laissent apparaître un bénéfice journalier sensiblement proportionnel à l'irradiation solaire, puisque les volets sont ouverts en journée. Les graphes (b) et (d), pour lesquels les volets sont en position fermée en journée, montrent une quasi-indépendance des bénéfices (sur le confort intérieur) avec l'irradiation et témoignent des apports et déperditions

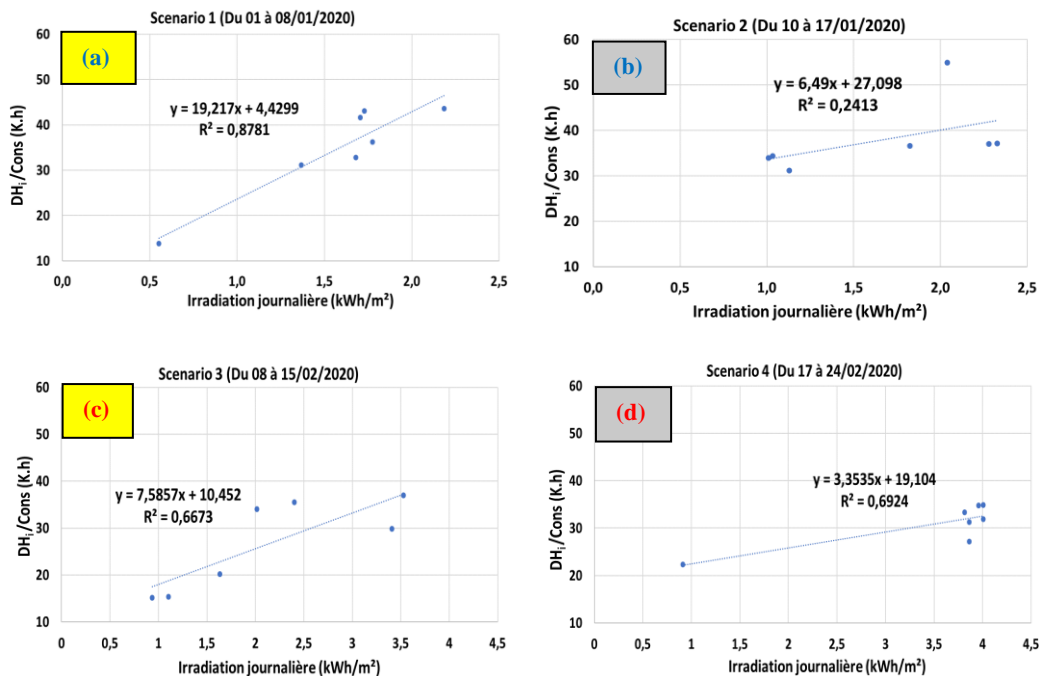


FIGURE 6. DHi/Cons journalier en fonction de l'irradiation journalière pour chacun des scénarios : (a) Scénario 1, (b) Scénario 2, (c) Scénario 3, (d) Scénario 4

internes sensiblement constants sur la semaine considérée (à l'exception d'une journée de la semaine 2 (Fig. 6-b) pour laquelle la température nocturne est restée élevée).

Les pentes des droites de corrélation linéaire du DHi/Cons en fonction de l'irradiation solaire journalière pour les scénarios 1 et 3 sont plus fortes que celles des scénarios 2 et 4, ce qui met en évidence l'importance des apports solaires sur la température intérieure du bâtiment lorsque les volets sont ouverts. Si la consigne de la température intérieure à 21°C se traduit par un confort thermique assuré, il faut noter que l'énergie consommée par la PAC est doublée par rapport à celle de la consigne à 18°C (Fig. 4-a). Dans les scénarios des volets ouverts en journée, la consigne à 18°C permet un bénéfice sur la température intérieure plus important que celle à 21°C (Fig. 6-a, 6-c).

IV. CONCLUSION

Cette étude présente un bâtiment sur le site de l'IUT de Nîmes dont l'enveloppe et les systèmes sont largement instrumentés et équipés d'un système de pilotage pour simuler le comportement de l'occupant. Cet outil permet ainsi l'acquisition de données pour une analyse énergétique des systèmes et donc du bâtiment selon la période souhaitée (hebdomadaire, mensuelle, annuelle).

L'effet du comportement de l'occupant sur le confort thermique du bâtiment est évalué, mais également sur la consommation énergétique du bâtiment, à travers 4 scénarios différents (température intérieure de consigne et gestion des volets) en période hivernale de l'année 2020 : une gestion des volets adaptée induit une économie d'énergie et un gain en confort de l'occupant, tandis qu'une consigne élevée de la température intérieure induit des surconsommations

énergétiques. La dissipation énergétique des différents équipements du bâtiment contribue également au confort du bâtiment en saison hivernale faisant apparaître un bilan énergétique positif sur une semaine particulière. Cette étude, dans le cadre de la thèse préparée, sera étendue sur des durées plus longues, sera menée en période estivale dont la rigueur est réputée en milieu méditerranéen et permettra l'analyse annuelle de l'efficacité des systèmes installés. Les données recueillies sont accessibles à la fois aux chercheurs du laboratoire pour les confronter aux modèles théoriques qu'ils développent, et aux étudiants du département d'enseignement pour affiner leur compréhension dans le domaine de l'énergie des bâtiments. Ces moyens expérimentaux permettront d'évaluer, sur une année complète, les écarts de consommation dans le bâtiment pour des scénarios simulés avec ceux de la Réglementation Thermique et les outils de simulation thermique dynamique.

V. REFERENCES

- C. BATER. (2015). Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen : d'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales, p. 291.
- A. ABBAS, F. CEVAER, J.F. DUBE. (2019). Bâtiment expérimental de l'IUT de Nîmes - Étude énergétique de la pompe à chaleur, 37èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil de l'AUGC, Sophia Antipolis, FR
- Z. YU, B.C.M. FUNG, F. HAGHIGHAT, H. YOSHINO, E. MOROFSKY. (2011). A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption, *Energy and Buildings*. 43, 1409–1417. doi:10.1016/j.enbuild.2011.02.002.
- T. DE MEESTER, A.-F. MARIQUE, A. DE HERDE, S. REITER. (2013). Impacts of occupant behaviours on residential heating consumption for detached houses in a temperate climate in the northern part of Europe, *Energy and Buildings*. 57, 313–323. doi:10.1016/j.enbuild.2012.11.005.
- S. HERKEL, U. KNAPP, J. PFAFFEROTT, Towards a model of user behaviour regarding the manual control of windows in office buildings, *Building and Environment*. 43 (2008) 588–600. doi:10.1016/j.buildenv.2006.06.031.
- V. FABI, R.V. ANDERSEN, S. CORGNATI, B.W. OLESEN. (2012). Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models, *Building and Environment*. 58, 188–198. doi:10.1016/j.buildenv.2012.07.009.
- R. ANDERSEN, V. FABI, J. TOFTUM, S.P. CORGNATI, B.W. OLESEN. (2013). Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings, *Building and Environment*. 69, 101–113. doi:10.1016/j.buildenv.2013.07.005.
- M. BONTE, F. THELLIER, B. LARTIGUE. (2014). Impact of occupant's actions on energy building performance and thermal sensation, *Energy and Buildings*. 76, 219–227. doi:10.1016/j.enbuild.2014.02.068.
- M. FRONTCZAK, P. WARGOCKI. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments, *Building and Environment*. 46, 922–937. doi:10.1016/j.buildenv.2010.10.021.
- AFNOR. (2007). NF EN 15251 Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique.