



**HAL**  
open science

# De la simulation thermique dynamique à la simulation comportementale de l'occupant

Cécile Batier

► **To cite this version:**

Cécile Batier. De la simulation thermique dynamique à la simulation comportementale de l'occupant. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. hal-01167741

**HAL Id: hal-01167741**

**<https://hal.science/hal-01167741>**

Submitted on 24 Jun 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# De la simulation thermique dynamique à la simulation comportementale de l'occupant

Batier Cécile<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> LMGC, UMR CNRS 5508, Université de Montpellier, cc048, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5, France ([cecile.batier@univ-montp2.fr](mailto:cecile.batier@univ-montp2.fr))

<sup>2</sup> LIFAM, École Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier, 179 rue de l'Espérou, 34093 Montpellier cedex 5, France

Prix Jeunes Chercheurs « René Houpert »

---

*RÉSUMÉ. L'objectif de cette étude est de proposer une amélioration des simulations thermiques dynamiques dans le domaine du bâtiment par l'introduction de scénarios dynamiques de comportement d'occupant, issus de relevés réels. Pour cela, nous avons analysé l'évolution thermique réelle de treize appartements occupés à partir d'enquêtes et d'instrumentations in-situ. Les mesures permettent d'identifier plusieurs ambiances thermiques (définies par le confort thermique des occupants) correspondant à plusieurs profils de comportement réels. Afin de réaliser une simulation de thermique dynamique au plus proche de la réalité, les profils de comportements sont convertis en scénarios qui servent de données d'entrée au logiciel Pleiades+Comfie pour l'occultation des vitrages et la ventilation en période d'été. À partir d'hypothèses sur les débits de ventilation, nous parvenons à un modèle numérique basé sur les comportements réels qui coïncide avec les données mesurées, permettant ainsi de valider le modèle.*

*ABSTRACT. The aim of this study is to propose an improvement of thermal dynamical simulations in buildings by introducing occupant's behavioural dynamical scenarios based on real data. We analyse the real thermal evolution of thirteen social housings with surveys and in-situ measurements. This permits to identify several thermal environments defined by thermal comfort. It corresponds to several behaviour profiles. To make a dynamical thermal simulation more realistic for the summer season, we convert the behavioural profiles in ventilation and occultation scenarios which can be used by Pleiades+Comfie software. With hypothesis on ventilation rate, we create a numerical model based on real human behaviour which coincides with the measured data. This allows to validate the proposed model.*

*MOTS-CLÉS : habitat social, réhabilitation, confort thermique, comportement individuel, performances énergétiques, milieu méditerranéen.*

*KEY WORDS: social housing, refurbishment, thermal comfort, behaviour, energy performances, Mediterranean area.*

---

## 1. Introduction

Le plan de rénovation énergétique de l'habitat (PREH), lancé le 21 mars 2013, fixe comme objectif la rénovation de 500 000 logements par an d'ici 2017 [ADE 14]. Nombre de ces rénovations consistent à la seule pose d'une isolation thermique par l'extérieur afin de limiter la précarité énergétique en hiver. Cependant, en milieu méditerranéen, se pose également la question du confort d'été. En effet, la chaleur accumulée au cours de la journée peut être difficile à évacuer si l'occupant n'agit pas sur son environnement direct. Couplé avec des épisodes caniculaires cela peut devenir fatal pour les personnes fragiles.

Premiers acteurs concernés par cette mesure, les bailleurs sociaux décident de rénovations basées sur les prédictions de consommation et de confort souvent faites à l'aide de logiciels de thermique dynamique. Après rénovation, les choix effectués conduisent à un changement de l'ambiance thermique du bâtiment. Le nouvel équilibre thermique créé engendre des modifications de consommations énergétiques et de sensations thermiques. Si pour certains, ces améliorations sont bénéfiques, pour d'autres, elles peuvent conduire à une dégradation de leur confort notamment en été.

L'objectif de cette étude est donc d'analyser, par l'instrumentation d'appartements occupés, l'évolution thermique de deux résidences issues d'un même programme immobilier (réalisé en 1970) mais dont les rénovations diffèrent. Ces mesures permettent d'établir un modèle de comportement prédictif de l'occupant afin de quantifier l'impact des modifications architecturales et comportementales sur le confort thermique et les performances énergétiques des bâtiments.

## 2. Méthode

La sélection des appartements à équiper, s'est effectuée par une enquête au porte à porte, qui nous a permis d'identifier des appartements dont les locataires, volontaires pour participer à cette étude sur une année complète, avaient, d'après leurs déclarations, des comportements similaires (ouverture/fermeture des fenêtres, des volets...). L'ambiance thermique in-situ des logements est mesurée, ainsi que les comportements spécifiques (ouverture/fermeture des fenêtres et des volets) impactant l'ambiance thermique. De ces mesures, réalisées par l'intermédiaire de capteurs spécialement confectionnés pour cette étude, sont déduits des scénarios de comportement conduisant aux situations de confort/inconfort. Ceux-ci permettent de modéliser plus finement les paramètres nécessaires aux simulations de thermique dynamique. Nous créons ainsi un modèle amélioré de scénarios basés sur une réalité mesurée et non sur des comportements conventionnels traditionnellement utilisés lors de la réalisation de simulations thermiques réglementaires. Le relevé des consommations énergétiques est également effectué pour permettre d'affiner l'analyse du confort d'hiver qui ne fait pas l'objet de cet article.

La connaissance des caractéristiques constructives des logements et des données climatiques du lieu d'étude, nous permet d'identifier les données nécessaires à la réalisation d'un modèle de thermique dynamique au plus proche de la réalité. Par l'intermédiaire du logiciel Pleiades+Comfie, nous pourrions alors proposer des solutions architecturales et comportementales afin d'améliorer le confort tout en diminuant les consommations énergétiques des bâtiments.

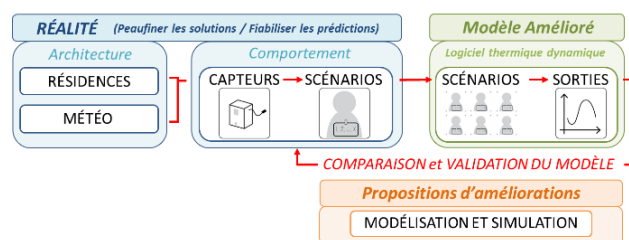


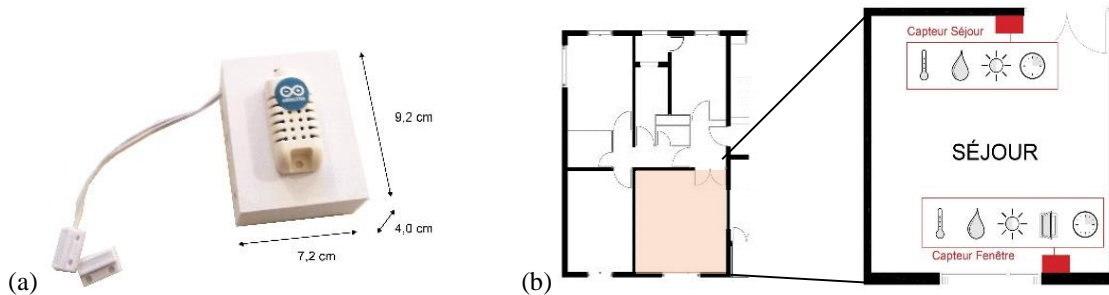
Figure 1. Schématisation du processus de validation du modèle

## 3. Instrumentation

Notre objet d'étude est un ensemble de deux résidences situées sur la commune de Vauvert (Gard). De caractéristiques constructives identiques et suite à des rénovations similaires (VMC<sup>1</sup>, Chaudières, Fenêtres), l'une d'entre elles a été récemment isolée thermiquement par l'extérieur. Sont instrumentés 5 appartements orientés Sud/Nord (SN) et 1 appartement Est/Ouest (EO) dans chacune des résidences, et un appartement orienté Ouest/Est (OE) dans la résidence isolée.

<sup>1</sup> Ventilation Mécanique Contrôlée

Chacun des 13 appartements est instrumentés par l'intermédiaire de deux boîtiers de capteurs autonomes développés avec la technologie Arduino pour des raisons d'encombrement, de coût et d'autonomie (Figure 2a). Le premier boîtier, nommé « capteur séjour », est positionné près de la porte d'entrée du séjour et stocke sur carte SD les mesures de la température ambiante, de l'humidité relative et de la luminosité toutes les 15 minutes. Placé au cœur de l'appartement, il est protégé de l'ensoleillement direct ou des mouvements d'air qui peuvent engendrer des variations inattendues. Le second boîtier, le « capteur fenêtre », enregistre à la même fréquence les mêmes données que le précédent ainsi que l'état ouvert/fermé de la fenêtre. Il se déclenche aussi lorsque l'utilisateur agit sur son ouvrant (Figure 2b). Sur une durée de 14 mois (décembre 2013 – février 2015), les données des deux capteurs permettent ainsi de comprendre les variations thermiques qui peuvent être source d'inconfort au sein d'un même espace. Tous les deux mois, nous venons sur place pour sauvegarder les données et effectuer des mesures des températures des parois et des débits d'air aux bouches d'extraction des pièces humides.



**Figure 2.** (a) Photo du « capteur fenêtre », (b) Positionnement des capteurs dans le séjour d'un appartement

Les mesures effectuées et les enquêtes permettent d'identifier des scénarios annuels de comportement des différents locataires basés sur les éléments suivants : la consigne de température en hiver, l'ouverture/fermeture de la fenêtre, l'ouverture/fermeture des volets (basées sur la luminosité à l'intérieur de l'appartement et les déclarations pour la position des volets la nuit), l'estimation des débits d'extraction d'air (basée sur les mesures ponctuelles), l'estimation des températures des parois, la position On/Off de la lumière la nuit et l'occupation de l'appartement (nombre de personnes dans le logement).

#### 4. Comportements

Au sein d'un logement, la modification de la position des volets ou de celle des fenêtres peut être engendrée par une habitude, une réaction comme le départ/arrivée de l'occupant, ou à un inconfort thermique, olfactif, visuel, acoustique...

##### 4.1. Étude du confort

L'étude du confort thermique est à l'origine de nombreuses recherches démarrées dans les années soixante-dix. Fanger, l'un des pionniers dans ce domaine, a déterminé un indice permettant d'estimer la sensation thermique d'un individu ainsi que le pourcentage d'insatisfaits en se basant sur une étude statistique de 1300 personnes [FAN 73]. Cet indice, basé sur le bilan thermique de l'être humain, peut être calculé grâce aux paramètres classiques de l'ambiance thermique (température de l'air, température moyenne de rayonnement, humidité de l'air et vitesse de l'air), l'activité et la vêtue des individus. D'un usage limité à des ambiances restreintes, cet indice surestime la sensation de chaleur en été et la sous-estime en hiver dans les bâtiments à ventilation naturelle mais reste valide pour les bâtiments climatisés [DED 02] [MOU 07].

Les bâtiments étudiés, malgré la présence d'une VMC, peuvent être considérés comme des bâtiments à ventilation naturelle dans le sens où, en été, ils ne sont pas rafraîchis par un climatiseur, mais par l'action des occupants sur leurs fenêtres et volets. Pour améliorer les prédictions, d'autres modèles plus complexes existent [GAG 67] [BON 14]. Ils prennent en compte des informations détaillées sur la vêtue, le métabolisme de l'individu... Cependant, les mesures que nous avons effectuées ne nous permettent pas de les utiliser. Nous utiliserons alors une méthode dite adaptative.

À la différence des méthodes analytiques réalisées en chambres climatiques, les méthodes adaptatives se basent sur le fait que l'être humain n'est jamais passif face à un environnement thermique donné. Nicol et Humphreys définissent le confort adaptatif par : « *If a change occurs such as to produce discomfort, people react in ways which tend to restore their comfort* », [NIC 02]. L'être humain, de lui-même, tente de s'adapter à son environnement thermique pour retrouver un confort optimal. Pour cela, il peut agir de manière consciente sur plusieurs critères : son degré de vêtue, sa posture, son niveau d'activité, la répartition de ses activités dans la journée, la ventilation, le chauffage... et, de manière inconsciente, sur son afflux sanguin, sa transpiration...

En constatant que les individus adaptent leur v ture ou leur perception de l'environnement en fonction des saisons, De Dear et Brager, [DED 98] ont développé un modèle permettant de caractériser la température de confort de l'habitant ( $T_c$ ) en fonction de la température extérieure journalière moyenne glissante ( $Trm7$ ). Adapté à l'Europe par McCartney et Fergus Nicol [MCC 02], il est aujourd'hui repris dans la réglementation européenne [AFN 07] et utilisé dans cette étude.

La température de confort ( $T_c$ ) peut être calculée avec les équations suivantes :

$$\text{Pour } Trm7 \leq 10 \text{ }^\circ\text{C} : \quad T_c = 0,049 * Trm7 + 22,58 \quad [1]$$

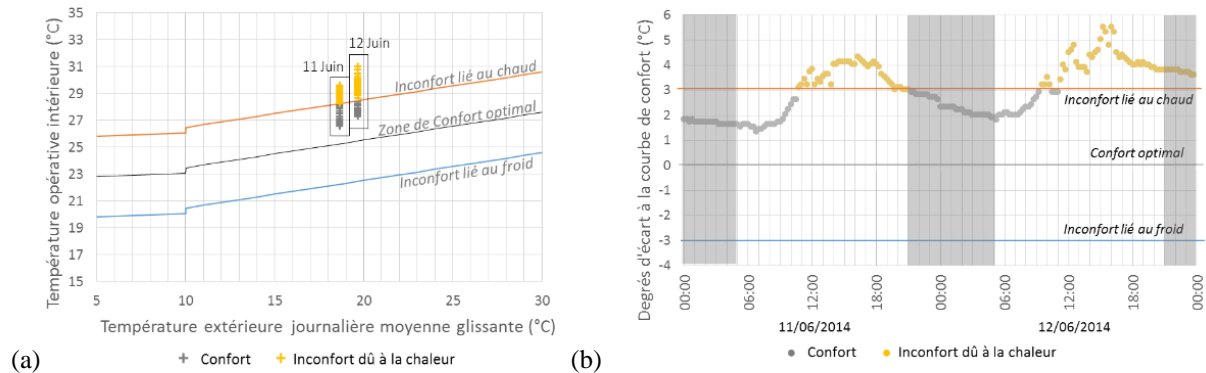
$$\text{Pour } Trm7 > 10 \text{ }^\circ\text{C} : \quad T_c = 0,206 * Trm7 + 21,42 \quad [2]$$

$Trm7$  est la température journalière moyenne glissante sur 7 jours dont la valeur est approchée par :

$$Trm7 = \frac{\theta_{-1} + 0,8 * \theta_{-2} + 0,6 * \theta_{-3} + 0,5 * \theta_{-4} + 0,4 * \theta_{-5} + 0,3 * \theta_{-6} + 0,2 * \theta_{-7}}{3,8} \quad [3]$$

$\theta_{-1}$  à  $\theta_{-7}$  sont les températures moyennes journalières des jours J-1   J-7, en  $^\circ\text{C}$ .

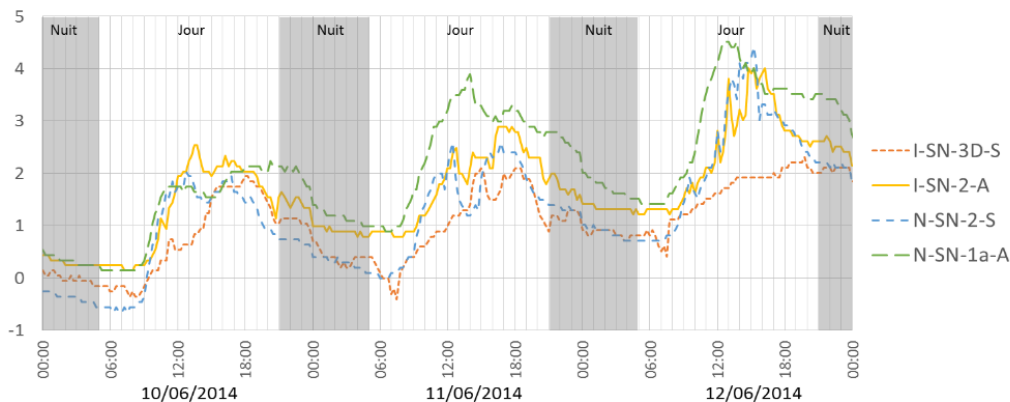
Pour être acceptable par près de 90% de la population, la température opérative intérieure doit se situer dans une zone de -3 et +3 degrés par rapport à la température de confort (Figure 3a). L'évolution temporelle du confort au cours du temps est caractérisée par l'écart de température opérative à la courbe de confort en fonction du temps (Figure 3b).



**Figure 3.** Calcul du confort et de l'inconfort pour un appartement les 11 et 12 juin 2014 : (a) Température opérative intérieure en fonction de la température extérieure journalière moyenne glissante, (b)  cart de température opérative à la courbe de confort en fonction du temps.

#### 4.2. Analyse des actions

En hiver, les ambiances thermiques sont régulées par des thermostats d'ambiance permettant d'atteindre le confort dans les bâtiments thermiquement isolés. En été, les bâtiments étudiés n'étant pas rafraîchis, l'occupant a un rôle majeur dans le maintien de son confort (ou dans sa dégradation). Dans cet article, l'étude du confort et du comportement se concentre sur les trois jours consécutifs les plus chauds de l'année 2014, à savoir du 10 au 12 juin.



**Figure 4.**  volution des écarts à la température de confort des quatre appartements sur trois jours.

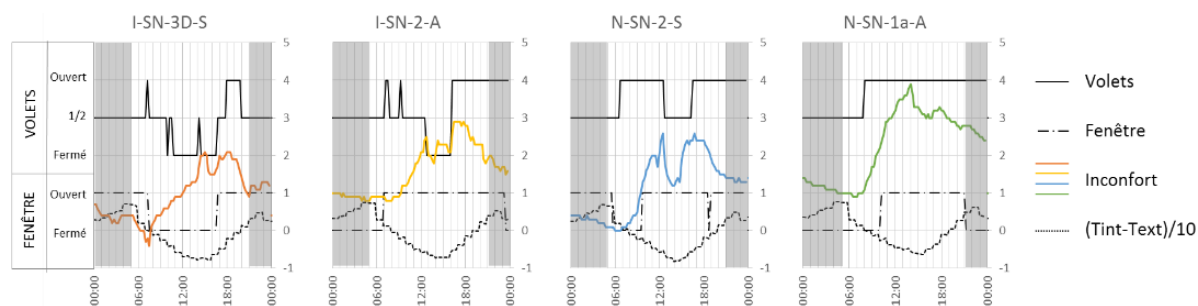
La Figure 4 montre l'évolution du confort (optimal autour de 0 et critique au-delà de  $+3^{\circ}\text{C}$  et en deçà de  $-3^{\circ}\text{C}$ ) de quatre locataires sur les trois jours étudiés. Deux sont dans la résidence isolée (I) et les deux autres dans la résidence non-isolée (N). Nous constatons des évolutions très différentes du confort en fonction des appartements. La nuit, N-SN-2-S<sup>2</sup> et I-SN-3D-S<sup>3</sup> ont des niveaux de confort très proches, de même pour N-SN-1a-A<sup>4</sup> et I-SN-2-A<sup>5</sup>. Le jour, par contre, N-SN-2-S et I-SN-2-A ont un profil similaire alors que pour les deux autres, le premier possède un confort dégradé et le second un relatif confort. Nous partons donc de l'hypothèse que ce sont les actions des locataires qui conduisent à ces différences. Afin de comprendre leurs comportements, nous étudions l'origine de l'action/inaction et son influence sur le confort/inconfort.

Les mesures des capteurs nous permettent d'identifier quatre actions impliquant une amélioration du confort en été : l'ouverture et la fermeture de la fenêtre et celles des volets. D'autres actions comme la mise en place d'un ventilateur, le changement de vêtue, la réduction de son activité physique ou la consommation d'une boisson fraîche ne sont pas considérées ici mais peuvent également faire partie des actions réalisables par les occupants afin d'améliorer leur confort thermique. Les actions étudiées sont celles qui permettront par la suite de proposer des solutions architecturales d'amélioration du confort.

Chacune des actions réalisées au quotidien peut avoir différentes influences sur le confort en fonction de l'heure de sa réalisation et de sa durée. L'action peut alors avoir une influence immédiate sur le confort et/ou une influence à plus long terme.

#### 4.2.1. Influence de l'action

L'analyse des courbes de confort (Figure 4) montre une dégradation du confort à partir de 7h le matin pour atteindre un maximum entre 12h et 18h. Ensuite nous assistons à une amélioration. Ce confort évolue avec les conditions météorologiques extérieures. Nous constatons également des variations ponctuelles franches.



**Figure 5.** Évolution le 11 juin de l'inconfort et position des fenêtres et des volets des quatre appartements.

La figure 5 met en avant deux actions qui semblent avoir un impact immédiat sur le confort :

- La fermeture des volets en début d'après-midi :

Nous constatons chez certains habitants une stabilisation ou une amélioration ponctuelle du confort au cours de la journée. C'est notamment le cas des locataires des appartements I-SN-2-A et N-SN-2-S entre 12h30 et 16h. L'analyse des actions (Figure 5), montre que, la fenêtre étant restée ouverte, le premier a fermé totalement son volet et le second ne l'a fermé qu'à moitié. Dans ce cas, l'impact sur l'amélioration du confort est immédiat. À la réouverture des volets, l'inconfort croît de nouveau.

- L'ouverture de la fenêtre en fin d'après-midi :

Dans l'appartement I-SN-3D-S, nous observons deux pics d'inconfort. Le deuxième coïncide avec l'ouverture de la fenêtre et celle des volets en fin de journée (Figure 5). L'analyse des écarts de températures entre l'intérieur et l'extérieur montre que la fenêtre a été ouverte alors que la température extérieure était encore supérieure à la température intérieure. Cette ouverture prématurée engendre une remontée des températures à l'intérieur de l'appartement et donc une augmentation de l'inconfort en fin de journée.

Nous identifions également des actions dont l'influence est à plus long terme. Les similitudes de confort que nous avons constatées plus haut entre les différents appartements peuvent ici être expliquées. En effet les locataires

<sup>2</sup> N-SN-2-S : Résidence Non-isolée, Séjour orienté au Sud, Deuxième étage avec Senior

<sup>3</sup> I-SN-3D-S : Résidence Isolée, Séjour orienté au Sud, Troisième et Dernier étage avec Senior

<sup>4</sup> N-SN-1a-A : Résidence Non-isolée, Séjour orienté au Sud, Premier étage (« a » pour le différencier d'un autre appartement avec les mêmes caractéristiques) avec Adulte

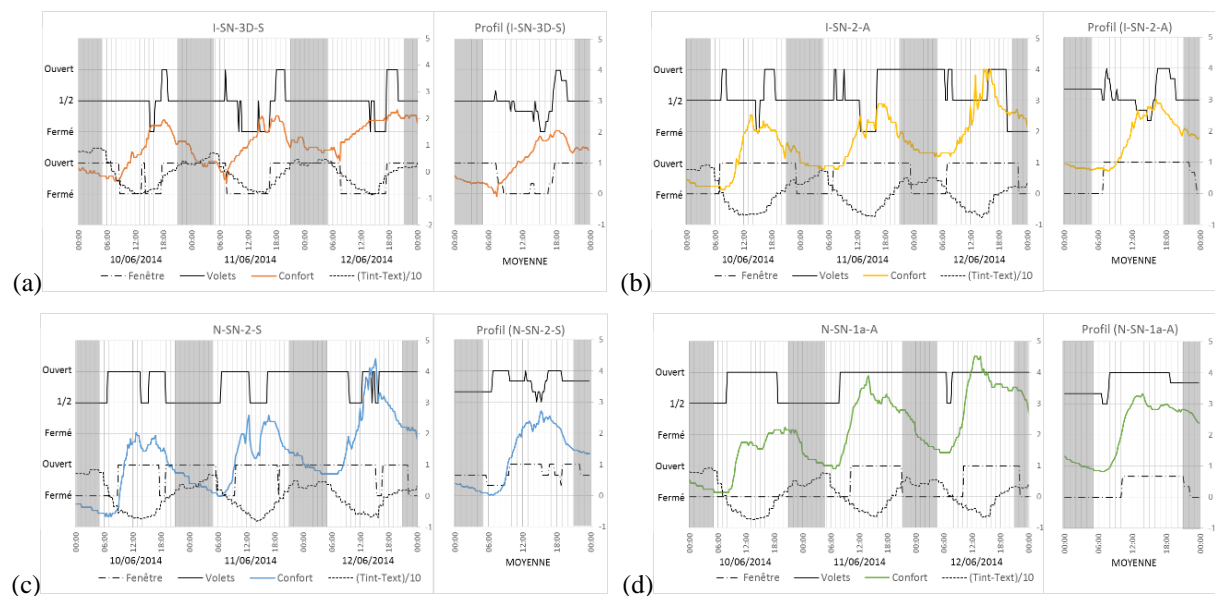
<sup>5</sup> I-SN-2-A : Résidence Isolée, Séjour orienté au Sud, Deuxième étage avec Adulte

des appartements I-SN-2-A et N-SN-2-S effectuent les mêmes actions au cours de la journée pour se protéger du soleil : la fenêtre est ouverte et les volets sont laissés fermés. Celui qui ne se protège pas des apports solaires la journée, voit son inconfort augmenter de manière considérable. À l’opposé, celui qui s’en protège arrive à maintenir un niveau de confort acceptable. La nuit, les occupants qui laissent leur fenêtre ouverte (N-SN-2-S et I-SN-3D-S) arrivent à obtenir un niveau de confort optimal quelle que soit la typologie des résidences. Au contraire, les deux locataires fermant leurs fenêtres (N-SN-1a-A et I-SN-2-A) voient leur confort se dégrader. Nous remarquons aussi que la mise en place d’une protection solaire en journée, dans l’appartement thermiquement isolé, non couplée avec une ouverture des fenêtres la nuit conduit au même inconfort que dans la résidence non-isolée sans protection solaire.

Les actions entreprises par les locataires n’apportent pas toujours du confort de manière immédiate, mais si elles peuvent apporter temporairement un inconfort elles peuvent aussi sur le long terme être bénéfiques. Nous constatons qu’une même action pénalisante répétée sur plusieurs jours peut engendrer un inconfort majeur. L’étude de l’influence des actions permet d’identifier les actions améliorant le confort (fenêtre ouverte la nuit, volets fermés en journée), le détériorant (fenêtre fermée la nuit, volets ouverts la nuit) ou n’ayant aucun effet (fenêtre ouverte 24h/24, volets ouverts ou fermés la nuit). Par la suite nous identifions alors plusieurs profils-types de comportement.

#### 4.2.2. Réaction à un inconfort ou habitude ?

L’identification d’actions pouvant améliorer le confort à un moment donné pourrait laisser penser que l’homme agit sur son environnement pour rétablir son confort. L’analyse des actions sur les trois jours étudiés met en avant des comportements avec un profil similaire jour après jour. Il semble que l’ouverture et la fermeture des volets et des fenêtres répondent davantage à une habitude quotidienne qu’à une réaction à un inconfort.



**Figure 6.** Écart à la température de confort et position des fenêtres et des volets de quatre appartements sur trois jours du 10 au 12 juin 2014 et profils du comportement moyen de l’occupant sur les trois jours étudiés.

Sur la base de l’influence des actions menées, sont identifiés trois profils de comportements quotidiens :

- L’occupant « contre-productif » (N-SN-1a-A)

Figure 6d, on observe peu d’actions au cours de la journée : l’occupant ouvre ses fenêtres à 10h et les ferme vers 21-22h, les volets quant à eux sont laissés ouverts à tout moment de la journée.

L’occupant « contre-productif » actionne ses fenêtres et ses volets en dehors des plages horaires « optimales » du point de vue thermique (22-6h, plage horaire où la température extérieure est inférieure à la température intérieure), laissant entrer la chaleur à l’intérieur de l’appartement et ne se protégeant pas des apports solaires : la température intérieure du logement augmente ce qui conduit dès le deuxième jour à un inconfort majeur. La nuit, les fenêtres étant fermées, la chaleur stockée au cours de la journée n’est pas évacuée. L’inconfort devient alors de plus en plus important les jours suivants.

- L'occupant « actif » qui se protège des apports solaires en journée (N-SN-2-S) ou (I-SN-2-A)

Figure 6b et 6c, plusieurs actions sur les volets sont effectuées au cours de la journée. Ils sont laissés ouverts jusqu'à 8h le matin puis mi-ouverts jusqu'à 13h. Au moment où les apports solaires sont les plus importants, les volets sont maintenus totalement fermés (jusqu'à 16h) puis laissés grands ouverts toute la nuit. La fenêtre, quant à elle, est laissée ouverte la journée complète (7h à 23h correspondant à la plage horaire du levé au couché de l'occupant).

L'occupant « actif » agit au quotidien sur les éléments (volets et fenêtre), pour maintenir un confort admissible au sein de son logement. Nous identifions clairement sur la Figure 6b, que la fermeture totale du volet permet de réduire l'inconfort. Dès que les volets sont ré-ouverts, l'inconfort augmente de façon significative. Pour un confort optimal, il eût fallu les maintenir fermés plus longtemps.

- L'occupant « expert » (I-SN-3D-S)

Figure 6a, la fenêtre est ouverte la nuit (de 17h à 7h30), moment de la journée où la température extérieure est plus faible que la température intérieure. Les volets sont la plupart du temps mi-ouverts. En milieu d'après-midi (15h-18h), ils sont généralement complètement fermés, et grands ouverts le soir (entre 18h et 20h).

L'occupant « expert » a acquis une connaissance des actions bénéfiques pour son confort. Il anticipe les actions à mener en se protégeant en journée des apports solaires et en ouvrant les volets et les fenêtres le soir et la nuit pour évacuer la chaleur accumulée tout au long de la journée au moment où les écarts de température intérieure/extérieure s'inversent.

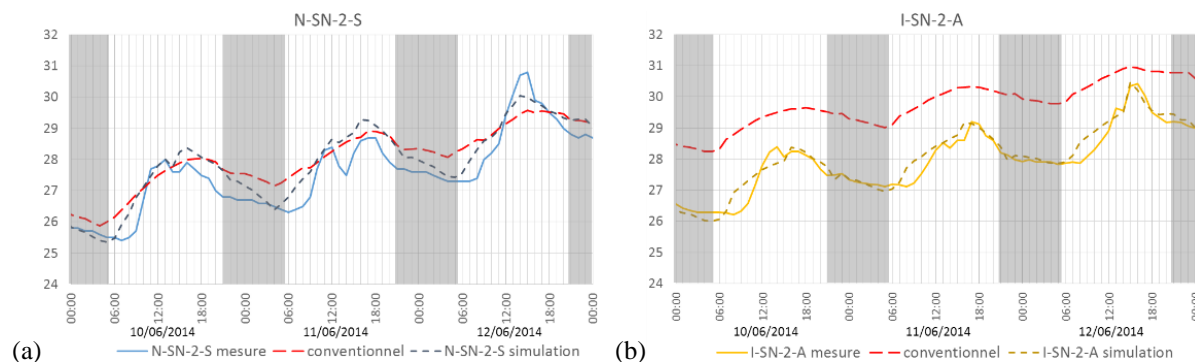
Les mesures ont été faites sur l'année 2014, année plus chaude en moyenne que les années précédentes [MET 14]. Cependant, la période d'été n'a pas été particulièrement chaude avec seulement 15 (et 4) jours de température extérieures maximales supérieures à 32°C (et 35°C respectivement). Nous n'identifions donc que peu d'inconfort lié au chaud, dans la durée et l'intensité, à l'intérieur des appartements. En l'absence de comparaison avec d'autres périodes similaires de chaleur, et au vu de la répétitivité des actions identifiées sur les trois jours étudiés, il semble que cela corresponde à une habitude quotidienne plus qu'à une réaction à un inconfort même si l'inconfort apparaît aux mêmes heures.

## 5. Simulations

Les données constructives (issues des archives), les données météo (obtenues par l'intermédiaire de Météo-France) et les scénarios comportementaux sont les éléments nécessaires au fonctionnement du logiciel de thermique dynamique Pleiades+Comfie.

L'ouverture et la fermeture des volets ont un impact important sur la protection solaire. Cependant, le couplage avec l'ouverture ou la fermeture de la fenêtre modifie considérablement les débits de ventilation. La définition de ces débits a donc été faite avec les hypothèses suivantes :

- Fenêtre ouverte / Volets ouverts : VMC + 2 vol/h (débit maximal de ventilation)
- Fenêtre ouverte / Volets fermés : VMC + 0,2 vol/h



**Figure 7.** Comparaison des évolutions de température intérieure entre les mesures et les simulations avec Pleiades+Comfie : (a) Résidence non-isolée (b) Résidence isolée.

La simulation de thermique dynamique de l'appartement avec les scénarios conventionnels atténue les creux et pics de température intérieure de chaque bâtiment. En moyenne, elle reflète bien l'évolution croissante des



températures sur les trois jours dans le cas du bâtiment non-isolé (Figure 7a), par contre, une surestimation de +2°C est observée avec le bâtiment isolé (Figure 7b). Les différences observées avec la simulation conventionnelle vis-à-vis de la réalité et du modèle comportemental proposé peuvent s'expliquer par une ventilation naturelle inexistante (ouverture des fenêtres).

La simulation du comportement réel, avec la prise en compte des hypothèses précédentes, nous permet d'obtenir, dans les deux appartements (isolé et non-isolé), une bonne adéquation entre les mesures et les simulations faites avec notre modèle comportemental. Dans la Figure 7a, pour le 12 juin, l'augmentation du débit de ventilation à 4 vol/h pendant les 3 heures de début d'après-midi nous permettrait une meilleure corrélation avec les mesures. Toute la difficulté réside alors dans la définition du scénario de ventilation. Dans les simulations, la montée en température plus rapide en début de journée que celle observée par les mesures semble être propre à l'outil utilisé et à sa manière de prendre en compte les apports solaires.

## 6. Conclusions et perspectives

Dans l'habitat, une action peut avoir plusieurs origines : l'arrivée/le départ de l'occupant, une nuisance sonore extérieure, une nuisance olfactive intérieure, une habitude quotidienne ancrée dans une routine journalière... ce qui complexifie l'analyse des comportements réels. Cependant, l'analyse des mesures a permis d'identifier plusieurs profils de comportements. Ces gestes traduisent une histoire, une culture, une habitude personnelle, propres à chacun des locataires. L'objectif n'est pas de juger les comportements mais d'identifier des réactions face à certaines situations de confort ou météorologiques. Grâce à l'implémentation de ces profils de comportements réels dans les simulations de thermique dynamique, nous obtenons des résultats proches de la réalité mesurée. Par la suite, les simulations permettront la proposition de solutions architecturales dont l'objectif est de palier les comportements des individus pour minimiser l'inconfort d'été des logements, problématique majeure du milieu méditerranéen.

## 7. Remerciements

Je remercie l'agglomération de Nîmes-Métropole pour le cofinancement de ce travail, les sociétés d'HLM SEMIGA et Un Toit Pour Tous ainsi que leurs locataires pour leur participation et leur accueil chaleureux. Je remercie également MÉTÉO-FRANCE pour l'accès aux données météorologiques locales, à la base des simulations de thermique dynamique effectuées.

## 8. Bibliographie

- [ADE 14] ADEME, « Le plan de rénovation énergétique de l'habitat (PREH) », 2014, disponible sur : <http://www.ademe.fr>
- [AFN 07] AFNOR, 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, 2007
- [BON 14] BONTE M., THELLIER F., LARTIGUE B., « Impact of occupant's actions on energy building performance and thermal sensation », *Energy and Buildings*, vol. 76, 2014, p. 219-227
- [DED 98] DE DEAR R., BRAGER G., « Developing an adaptive model of thermal comfort and preference », *ASHRAE Transactions*, vol. 104, 1998, p. 145-167
- [DED 02] DE DEAR R., BRAGER G., « Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55 », *Energy and Buildings*, vol. 34, 2002, p. 549-561
- [FAN 73] FANGER, P. O., « Thermal Comfort » Mc Graw Hill Book Company, New York 1973
- [GAG 67] GAGGE A.P., STOLWIJK J.A.J., HARDY J.D., « Comfort and Thermal Sensation and Associated Physiological Responses at Various Ambient Temperatures ». *Environmental Research*, 1967, p. 1-20
- [MCC 02] McCARTNEY K., FERGUS NICOL J., « Developing an adaptive control algorithm for Europe », *Energy and Buildings*, vol.34, n°6, 2002, p.623-635
- [MOU 07] MOUJALLED B., Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, Thèse de doctorat, Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 2007
- [MET 14] METEO FRANCE, 2014 : année la plus chaude en France depuis 1900 ?, 2014, Disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/actualites/19501872-2014-annee-la-plus-chaude-en-france-depuis-1900>
- [NIC 02] NICOL J.F., HUMPHREYS M.A., « Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings », *Energy and Buildings*, vol.34, n°6, 2002, p.563-572