



HAL
open science

Collecte de données multi-paramètres dans des logements : une base de données exhaustive pour l'évaluation du confort intérieur

Valentin Hoyet, M Robillart, Marie-Lise Pannier

► To cite this version:

Valentin Hoyet, M Robillart, Marie-Lise Pannier. Collecte de données multi-paramètres dans des logements : une base de données exhaustive pour l'évaluation du confort intérieur. IBPSA France 2024, May 2024, La Rochelle - Ile d'Oléron, France. hal-04593142

HAL Id: hal-04593142

<https://univ-angers.hal.science/hal-04593142>

Submitted on 29 May 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Collecte de données multi-paramètres dans des logements : une base de données exhaustive pour l'évaluation du confort intérieur

Valentin Hoyet^{1,2*}, Maxime Robillart^{2,3,4}, Marie-Lise Pannier^{1*}

¹ Univ Angers, LARIS, SFR MATHSTIC, F-49000 Angers, France

² Kocliko, 74 cours Aristide Briand, 33000 Bordeaux, France

³ Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, I2M, UMR 5295, F-33400, Talence, France

⁴ Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, Bordeaux INP, Hesam Université, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France

*marie-lise.pannier@univ-angers.fr

RESUME. L'évaluation du confort intérieur dans les logements revêt une importance croissante pour garantir des environnements sains et agréables. Toutefois, ce type d'évaluation dépend de la disponibilité de données collectées en situation réelle. Cet article présente une base de données, recueillie depuis juin 2022, dans trois maisons et six appartements de participants volontaires, situés dans deux zones géographiques françaises. La base de données offre un aperçu détaillé des paramètres environnementaux (température, humidité, taux de CO₂, niveau sonore) et du comportement des occupants (gestion des ouvertures de fenêtres) sur une période étendue. Le ressenti thermique a aussi été collecté pendant une courte période. Les possibilités offertes par cette base sont multiples et l'article expose son intérêt pour l'étude du confort au travers d'exemples. Les conclusions visent à identifier les usages actuels, éclairer sur les pratiques plus ou moins optimales et à formuler des recommandations pour un confort intérieur amélioré, tenant compte des préférences des occupants et de la qualité environnementale.

MOTS-CLÉS : Base de données, Confort intérieur, Logement.

ABSTRACT. Assessing indoor comfort in housing is becoming increasingly important to ensure healthy and pleasant environments. However, data collected in real-life situations are required to perform such assessment. This article presents a database, collected since June 2022, in three houses and six apartments of volunteer participants, located in two French geographical areas. The database provides a detailed overview of environmental parameters (temperature, humidity, CO₂ and noise levels) and occupant behavior (management of window openings) over an extended period. Thermal feedback was also collected over a short period. The possibilities offered by this database are manifold, and the article uses examples to illustrate its relevance to the study of indoor comfort. The conclusions are aimed at identifying current practices, shedding light on more or less optimal ventilation practices and formulating recommendations for improved indoor comfort, taking into account occupant preferences and environmental quality.

KEYWORDS : Database, Indoor comfort, House.

1. INTRODUCTION

Plus de 80 % de notre temps est occupé par des activités en intérieur (Diffey 2011). Pour assurer bien-être et santé aux individus, les ambiances intérieures doivent alors être saines et confortables, aussi bien sur les plans hygrothermiques, que lumineux, acoustique ou encore de la qualité de l'air intérieur. Cet article s'inscrit dans le cadre de travaux en lien avec le maintien du confort thermique estival dans des logements sociaux, sans utilisation de systèmes de rafraîchissement actif. L'objectif global du projet est de mieux comprendre le ressenti thermique des occupants, d'identifier les pratiques ayant une

influence sur le confort thermique et de fournir des conseils aux occupants et aux bailleurs pour leur suggérer une gestion thermique plus optimale. Pour cela, des études en lien avec la prédiction individualisée du ressenti thermique (Hoyet et al. 2022) et avec la gestion des ouvertures de fenêtres (Hoyet et al. 2023) sont en cours. Avant de déployer les modèles et méthodes développés à l'échelle du parc de logements sociaux, de premières analyses sont menées sur quelques logements. Pour cela, une base de données de confort thermique est nécessaire. Des bases de données contenant des données de confort thermique mondiales – telle que la très utilisée base ASHRAE (Földvary Licina et al. 2018) – régionales (Du et al. 2022), ou plus locales (Oze Energies 2016) existent déjà. Les données disponibles dans ces bases concernent peu les logements situes en France et ne permettent pas de réaliser l'ensemble des analyses envisagées. Il a donc été choisi de développer une base de données spécifique au projet, en demandant à des participants volontaires d'installer des équipements connectés à leurs domiciles pour mesurer des données d'ambiance et des événements d'ouverture ou de fermeture des fenêtres.

Cet article présente la base de données actuellement constituée pour étudier le confort thermique dans des logements en été. Après une description des équipements de mesures du confort et des logements instrumentés, quatre exemples d'analyse des résultats sont traites ; ils visent notamment à mieux comprendre les ressentis et comportements lies au confort thermique.

2. METHODOLOGIE DE COLLECTE DES DONNEES

La création de la base de données s'inscrit dans un contexte de sciences participatives. Des équipements connectés permettant d'évaluer le confort intérieur sont fournis à des participants volontaires, accompagnes de fiches expliquant comment les installer et les mettre en fonctionnement. Au besoin, des informations complémentaires sont transmises par mail ou téléphone aux participants. Deux types d'équipements de mesure (references au Tableau 1) sont fournis : d'une part une station connectée Netatmo permettant d'enregistrer plusieurs paramètres du confort intérieur, et d'autre part des capteurs d'ouverture de fenêtre enregistrant chaque evenement d'ouverture ou de fermeture.




	Équipements	Grandeurs mesurées
Données d'ambiance		Station Météo Netatmo (à gauche) / Capteur de la qualité de l'air intérieur Netatmo (à droite)
		<u>Intérieur</u> : température [C], humidité [%], taux de CO ₂ [ppm], niveau sonore [dB], pression [hPa] <u>Extérieur</u> : température [C], humidité [%]
Ouvertures des fenêtres		Aqara Door and Windows Sensor (en haut) / Philio PST02-C (en bas)
Transmission des données d'ouverture		Box domotique eedomus / Passerelle ZiGate

Tableau 1 : Equipements connectés utilises pour la collecte de données.

Les capteurs Netatmo mesurent toutes les 5 min des paramètres d'ambiance intérieure : la température, l'humidité relative, le taux de CO₂, le niveau sonore et la pression. Les capteurs de type « Station Météo » sont fournis avec un module extérieur enregistrant la température et l'humidité relative. La transmission des données se fait en Wifi via la box internet des participants. Les données mesurées sont stockées par Netatmo et peuvent être extraites à différents pas de temps via une API. En cas d'absence de connexion à internet, une carte de stockage permet d'enregistrer les données mesurées pendant une semaine.

Des capteurs d'ouverture de fenêtres sont également mis à disposition. Ils permettent d'enregistrer chaque événement d'ouverture ou de fermeture de fenêtre. Pour des raisons de complexité d'approvisionnement en capteurs, deux technologies ont été fournies aux participants. Certains ont reçu des capteurs Aqara, transmettant les données en Zigbee ; d'autres ont reçu des capteurs Philio, transmettant les données en Z-Wave. Pour s'assurer de la cohérence des informations transmises par ces deux types de capteurs, deux logements ont été équipés des deux technologies. Les données sont collectées par une box domotique eedomus, communicant nativement via le protocole Z-Wave, mais pouvant communiquer en Zigbee après ajout d'une passerelle. La box domotique transmet ensuite les informations en passant par la box internet du logement. En l'absence de connexion à internet, les événements d'ouvertures ou de fermetures ne peuvent être enregistrés. Les données sont stockées temporairement par eedomus et sont extraites quotidiennement grâce à une API.

En complément, des questionnaires sont envoyés aux participants volontaires pour collecter des informations complémentaires sur leurs logements (surface, année de construction, ...) et sur leurs modes de vie (nombre d'occupants du foyer, période de congés, habitudes et raisons d'ouvertures des fenêtres, pratiques sportives, ...), pouvant éclairer les analyses sur la base de données. Pendant une courte période, des questionnaires ont également été transmis pour recenser des informations sur le ressenti des participants en termes de confort thermique. Il s'agissait pour les participants de renseigner quotidiennement une note correspondant à leur confort thermique à différents moments de la journée lorsqu'ils étaient chez eux.

Lors du déploiement à plus grande échelle de la base de données de confort, l'instrumentation sera simplifiée. Seuls des capteurs de température et d'humidité seront déployés pour limiter les coûts tout en permettant d'identifier des comportements et de donner des conseils d'amélioration du confort thermique, comme cela sera présenté au §4.3.

3. BASE DE DONNEES DE CONFORT EN LOGEMENTS

Un résumé des informations sur les logements des participants volontaires est disponible dans le Tableau 2. Neuf familles ont accepté d'installer des capteurs à leurs domiciles. Les caractéristiques des neuf logements sont assez variables, ce qui apporte de la diversité à la base de données. Six d'entre elles vivent en appartement et trois habitent des maisons. Les participants volontaires se trouvent majoritairement en Anjou. Deux participants habitent également en région Bordelaise. Les logements vont du studio au T6 de 140 m². Les années de construction sont variables et s'étalent des années 1970, aux années 2020 avec deux constructions récentes conformes à la RT2012. Sur les six appartements, deux sont traversants, mais les autres correspondent à des logements ne possédant des ouvertures que sur une façade ou deux façades adjacentes. Les appartements sont situés à différents étages allant du rez-de-chaussée au 3^{ème} étage. Notons qu'aucun appartement n'est situé au dernier niveau d'un

immeuble et qu'aucun n'est climatisé. Les participants ont tous déclaré avoir la possibilité d'occulter certaines de leurs fenêtres, que ce soit avec des stores ou avec des volets. En revanche l'ouverture des fenêtres les nuits d'été n'est pas toujours possible en raison du bruit de la rue, de questions de sécurité, pour éviter de faire entrer des insectes nuisibles, ou pour éviter une détérioration de la qualité de l'air intérieur lorsque les vignes sont traitées. Un à cinq occupants habitent les logements instrumentés. Les capteurs d'ambiance ont principalement été placés dans les pièces de vie, à l'exception d'un capteur qui a été placé dans le hall d'entrée. Le nombre de capteurs d'ouverture de fenêtre installés ne correspond pas au nombre de fenêtres dans les maisons. Des problèmes de communication entre la box domotique et des capteurs les plus éloignés de la box ont été rencontrés dans le logement H qui possède des murs épais. Dans les deux autres maisons, certaines pièces servent moins souvent et les occupants n'en ouvrent pas les fenêtres pour rafraîchir le logement ; ces fenêtres n'ont donc pas été équipées. Pour quatre participants, la collecte de données a débuté au cours de l'été 2022 avec l'enregistrement des données d'ambiance uniquement. Pendant quelques semaines de juillet et d'août 2022, les participants ont été invité à partager leur ressenti thermique en complétant quotidiennement un questionnaire. Des capteurs à placer sur les fenêtres et des box domotiques ont été remis aux participants au cours de l'été 2023 pour enregistrer les événements d'ouverture et de fermeture en plus des données d'ambiance.

Logement	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Type	Appt.	Appt.	Appt.	Appt.	Appt.	Appt.	Maison	Maison	Maison
Lieu	Angers	Angers	Angers	Angers	Bordeaux	Bordeaux	Proche Angers	Proche Angers	Proche Angers
Surface	32 m ²	40 m ²	70 m ²	73 m ²	42 m ²	65 m ²	105 m ²	120 m ²	140 m ²
Const. (et réno.)	2014	2022	2014	1963	1985	2018	1971 (2000)	1860 (2019)	2023
Trav.	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Étage	RdC	3 ^{ème}	2 nd	2 nd	2 nd	2 nd	-	-	-
Nb. occ.	2	1	2	4	1	1	4	5	1
Pièce	Pièce	Pièce	Pièce	Pièce	Pièce de	Pièce de	Hall	Pièce de	Pièce de
Temp.	de vie	de vie	de vie	de vie	de vie	de vie		de vie	de vie
Capteurs / Nb. fen.	3 / 3	4 / 4	7 / 7	7 / 7	3 / 3	3 / 3	6 / 8	4 / 12	7 / 11
Période	2023	2022 2023	2023	2022 2023	2023	2022 2023	2022 2023	2023	2023

Tableau 2 : Informations sur les logements de la base de données.

4. EXEMPLES D'UTILISATION DES DONNEES

Les possibilités offertes par la base sont multiples. L'étude des séries temporelles brutes donne de premières informations sur le confort. Elles peuvent être complétées par des études statistiques, ou en créant des modèles basés sur la physique ou de type boîtes noires. Des méthodes statistiques avancées, basées sur l'apprentissage automatique peuvent aussi être utilisées, par exemple pour détecter des anomalies (de Rautlin de la Roy et al. 2023). Dans la suite, de premiers exemples d'analyses des données simples sont présentés. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres analyses sont envisageables.

4.1. PREFERENCES DES OCCUPANTS EN TERMES DE CONFORT THERMIQUE

Disposant pour l'été 2022 de données quantitatives (mesures d'ambiance), et qualitatives (ressenti), une étude a été menée pour identifier des préférences en termes de confort estival. Une meilleure connaissance des préférences peut permettre : d'améliorer la précision des diagnostics du confort ; de

développer des modèles prédictifs du confort pouvant être intégrés dans des stratégies de gestion individualisées ; ou encore d'aider à la décision dans les logiciels de simulation thermique dynamique.

Pour le logement C, l'évolution de la température au cours de l'été 2022 est présentée à la Figure 1. Le ressenti est représenté sur le même graphique par un rond coloré. Les questionnaires sur le confort thermique ont débuté mi-juillet, ce qui explique l'absence de données au début juillet. L'absence de données de fin juillet à mi-août s'explique soit par l'absence de l'occupant, soit par l'oubli de compléter le questionnaire. D'après ce graphique, la température n'est clairement pas le seul paramètre explicatif du confort thermique. En effet, l'occupant peut déclarer avoir « très chaud » pour des niveaux de température inférieurs à ceux pour lesquels il déclare avoir un ressenti thermique « neutre ».

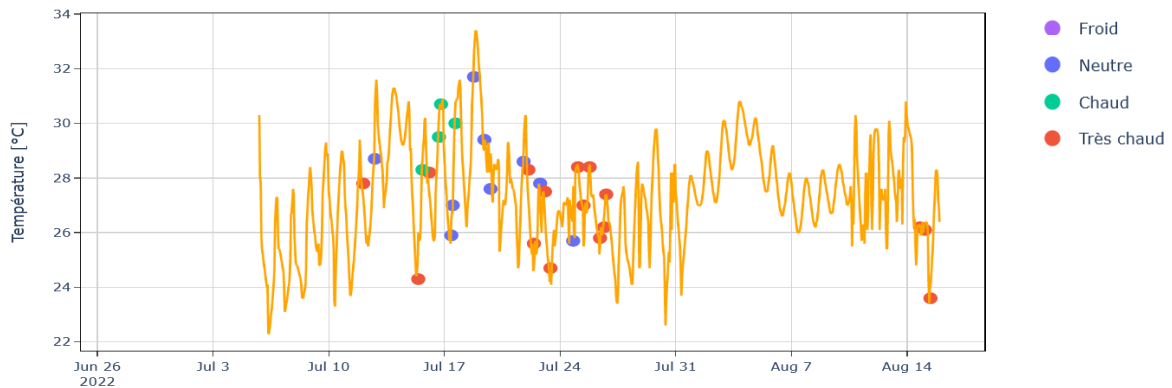


Figure 1 : Température et ressenti thermique de l'occupant du **logement C** pendant l'été 2022.

Afin de mieux comprendre quels autres paramètres peuvent expliquer la variabilité du ressenti, la corrélation de Spearman (1904) a été utilisée. Les corrélations entre le ressenti et les autres paramètres connus sont présentés à la Figure 2. Bien que les coefficients de corrélation soient relativement faibles, les paramètres les plus corrélés au ressenti sont la température, l'humidité, le taux de CO₂.

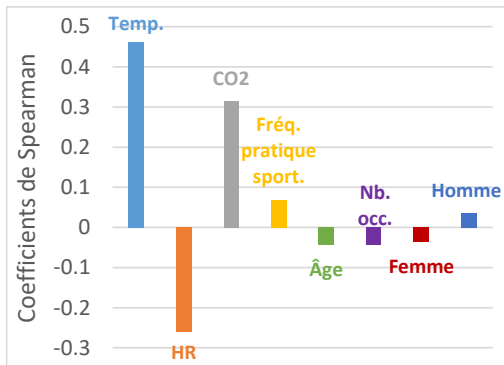


Figure 2: Corrélation de Spearman entre le ressenti et les autres paramètres connus, **tous logements confondus**.

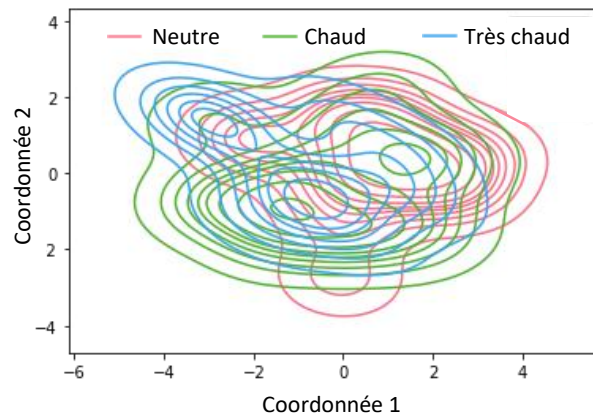


Figure 3: ADL pour le **logement B**.

En complément, des analyses discriminantes linéaires (ADL – équivalent des analyses en composantes principales mais applicables pour nos données discrètes et ordonnées) ont été réalisées par logement pour réduire la dimension et identifier si des combinaisons des paramètres permettent de séparer les trois classes de ressenti. L'outil Ordinalysis a été utilisé pour cela (Zine-El-Abidine et al., 2023). Le recouvrement important des lignes rose, verte et bleue dans l'ADL de la Figure 3, pour le logement B, montre que les paramètres à disposition ne sont pas suffisants pour bien prédire le ressenti.

Afin d’approfondir ces analyses, des paramètres supplémentaires seraient nécessaires (temps passé dans le logement par rapport aux temps passés en extérieur ou dans d’autres ambiances, état de santé, état de fatigue, paramètres physiologiques, etc.). De plus, pour pouvoir développer des modèles prédictifs du confort, basés sur l’apprentissage automatique, il faudrait collecter les ressentis à intervalle plus régulier et sur une période plus longue ; ce qui peut être très contraignant pour les participants.

4.2. ÉTUDE DU COMPORTEMENT EN PERIODE ESTIVALE

Le confort thermique peut être largement impacté par l’usage de la ventilation, surtout en été. Une autre analyse a consisté à étudier les pratiques des occupants en termes d’aération en période estivale. Des usages différents sont observés d’un logement à l’autre. Certains occupants aèrent toute la nuit ou très tôt le matin pour rafraîchir le logement (expl : logement I de la Figure 4). D’autres réalisent de nombreuses ouvertures ponctuelles en journée, qui contribuent parfois à faire augmenter la température intérieure (expl : logement A de la Figure 4). Ces événements inattendus ont été expliqués par les occupants : ils ouvrent leurs portes fenêtres pour accéder à leur terrasse arborée, donnant une sensation de fraîcheur. Dans un autre logement (D), il a été observé qu’une fenêtre reste ouverte en permanence, y compris en période caniculaire. Il s’est avéré, après échange avec les occupants, qu’il s’agit de la fenêtre de la cuisine, qui est maintenue en oscillo-battant pour évacuer les odeurs de cuisson.

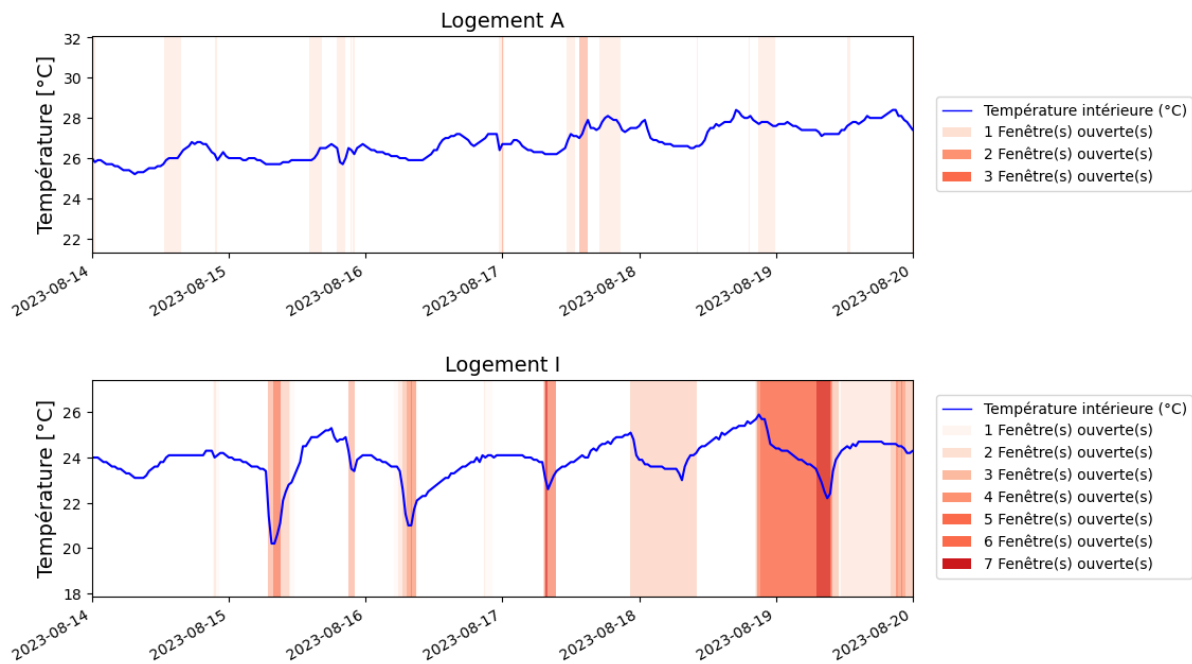


Figure 4 : Évolution de la température et du nombre de fenêtres ouvertes dans les **logements A et I**.

Si des comportements non optimaux sont observés (e.g. : pas d’ouvertures nocturnes pour rafraîchir, et de longues ouvertures en journée qui réchauffent le logement), des conseils sont apportés aux occupants afin d’améliorer la gestion de leurs ouvertures, et de limiter l’inconfort estival. Pour conseiller davantage les occupants, la gestion des occultations pourrait être observée en plaçant d’autres capteurs.

4.3. MODELE DE DETECTION DES OUVERTURES DE FENETRES

Dans la section précédente, les conseils sont fournis aux occupants après analyse des données enregistrées par les capteurs d’ouverture. Une étude complémentaire a consisté à détecter si une fenêtre

est ouverte en analysant uniquement les séries temporelles de température intérieure et extérieure. Cela permet d'évaluer le comportement en termes d'aération sans avoir recours à des capteurs d'ouvertures de fenêtre, ce qui sera utile lors du déploiement de l'instrumentation à plus grande échelle. Des conseils pour l'amélioration du confort d'été peuvent alors être fournis aux occupants à moindre coût, en installant uniquement des capteurs de température dans les logements.

L'étude de la détection des ouvertures est décrite dans l'article de Hoyet et al. (2023). Un modèle basé sur la physique permet de détecter les ouvertures nocturnes en fonction, respectivement, d'une baisse ou d'une hausse de la température intérieure entre deux pas de temps consécutifs. Le modèle développé a montré de bonnes performances (écart de -15 à +13 % sur le nombre d'heures d'ouverture prédites) dans la détection d'ouvertures longues (de plus de 30 min), particulièrement en période caniculaire. Les performances du modèle, obtenues par comparaison avec les données labellisées sont affichées à la Figure 5, pour un logement ne faisant pas partie de la présente base de données. Des études sont en cours pour valider le modèle sur les logements A à I.

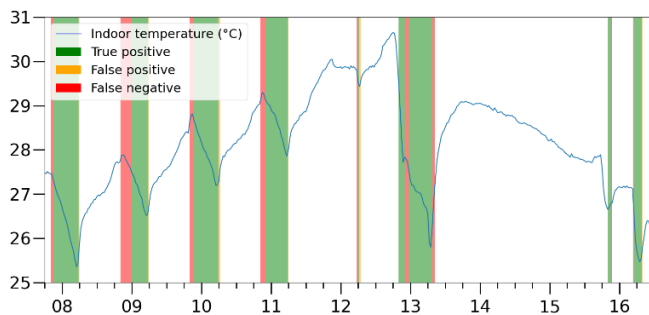


Figure 5: Qualité de la prédiction d'ouvertures dans le salon d'un appartement – figure issue de (Hoyet et al. 2023).

Dans la Figure 5, les zones en vert indiquent que l'algorithme identifie correctement une fenêtre comme étant ouverte. En jaune, la fenêtre est fermée mais l'algorithme la considère ouverte. Enfin, en rouge, l'algorithme prédit fermée une fenêtre en réalité ouverte.

Les imprécisions sur la prédiction ont deux principales origines. D'abord, les prédictions ont tendance à être décalées dans le temps par rapport aux événements réels (ouverture manquée sur le premier pas de temps, et détectée à tort après la fermeture). Ensuite, il existe également un risque de contagion par convection : l'ouverture d'une fenêtre dans une autre pièce peut faire baisser la température de la pièce étudiée, ce qui conduit l'algorithme à conclure à tort à l'ouverture des fenêtres de la pièce.

Pour aller plus loin, et inciter davantage les occupants à suivre les conseils fournis, des indicateurs complémentaires pourraient être affichés, tels que le nombre de degrés perdus (resp. gagnés) en ouvrant une fenêtre à un moment opportun (resp. en aérant à une période non optimale).

5. GESTION DE LA BASE DE DONNEES

Cette base de données a vocation à être développée, en intégrant d'autres participants ou en proposant d'autres capteurs connectés qui transmettraient leurs données via la passerelle domotique. Pour les futurs participants, un kit standard de capteurs sera proposé et un protocole sera mis en place pour le recueil du consentement. Il est prévu de mettre à disposition des participants un tableau de bord, reprenant les principales données mesurées, pour faciliter le suivi du confort (qui se fait actuellement en consultant plusieurs applications en parallèle). Concernant la diffusion des données, il est envisagé à terme de stocker les données, une fois rendues anonymes, sur les serveurs de l'université d'Angers et de les mettre à disposition pour qu'elles soient utilisées dans le cadre d'autres études. Les données ne seront toutefois pas mises à disposition en *open access* en temps réel, mais après un délai de quelques mois.

6. CONCLUSION

Cet article a présenté une base de données permettant d'évaluer le confort thermique dans des logements de participants volontaires, en particulier en période estivale. Pour chaque logement, des données d'ambiances sont enregistrées. Des événements d'ouverture ou de fermeture des fenêtres sont aussi collectés. De plus, le ressenti thermique des occupants a été recueilli sur une courte période. Actuellement, les données contenues dans cette base de données peuvent être transmises sur demande.

Les possibilités offertes par cette base sont multiples et quelques exemples d'exploitation ont été présentés. Premièrement, une exploration des préférences thermiques des occupants a été menée et a permis de mettre en évidence des améliorations possibles dans la collecte des données pour de futures études. Dans un second temps, la base de données a servi à mettre en évidence des comportements vis-à-vis de la gestion des ouvertures. Cela peut être fait en étudiant les événements d'ouvertures de fenêtres, ou en utilisant un modèle de prédiction des ouvertures se basant sur les séries temporelles de température. Connaissant les pratiques des occupants, des conseils peuvent leur être fournis pour les aider à améliorer leur confort estival, sans recourir à des systèmes de climatisation actifs. En complément de l'étude de la gestion des ouvertures de fenêtres, la gestion des occultations pourrait être étudiée pour améliorer la qualité des recommandations fournies.

D'autres exploitations des données sont envisageables, sur le confort d'hiver en particulier. De plus, certaines analyses pourraient être approfondies en utilisant par exemple des algorithmes d'apprentissage automatique. Finalement, cette base de données a vocation à être étendue pour tirer des conclusions plus générales sur le confort, à l'échelle d'immeubles ou de parcs de bâtiments.

7. REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet ANR CoLoC (Confort des Logements Connectés) du Plan de Relance, visant la préservation de l'emploi en R&D. Les auteurs remercient toutes les personnes qui se sont portées volontaires pour participer à l'étude en installant des capteurs à leur domicile.

8. BIBLIOGRAPHIE

- Diffey, B.L. 2011. « An overview analysis of the time people spend outdoors ». *British Journal of Dermatology* 164 (4): 848-54. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2010.10165.x>.
- Du, Heng, Zhiwei Lian, Dayi Lai, Lin Duanmu, Yongchao Zhai, Bin Cao, Yufeng Zhang, et al. 2022. « Evaluation of the accuracy of PMV and its several revised models using the Chinese thermal comfort Database ». *Energy and Buildings* 271 (septembre): 112334. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112334>.
- Földváry Ličina, Veronika, Toby Cheung, Hui Zhang, Richard de Dear, Thomas Parkinson, Edward Arens, Chungyoon Chun, et al. 2018. « Development of the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II ». *Building and Environment* 142 (septembre): 502-12. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.022>.
- Hoyet, Valentin, Mathieu Bouvillle, Maxime Robillart, et Marie-Lise Pannier. 2023. « Detecting night opening of windows in summer: a case study ». In *Congress on Measurement, Quality and Data Science (MQDS 2023)*, 12. Bordeaux. <https://www.proceedings.com/content/070/070984webtoc.pdf>.
- Hoyet, Valentin, Marie-Lise Pannier, Maxime Robillart, et David Rousseau. 2022. « Vers le développement de modèles prédictifs individualisés du confort thermique pour les logements connectés ». In *Conférence IBPSA France 2022*, 8. Châlons en Champagne, France. <https://univ-angers.hal.science/LARIS/hal-03687637v1>.
- Oze Energies. 2016. « challenge data - Challenge: Oze Energies - Optimiser la consommation d'énergies ». 2016. https://challengedata2.ens.fr/fr/challenge/18/oze_energies_-_optimiser_la_consommation_denergies.html.
- Rautlin de la Roy, Enguerrand de, Thomas Recht, Akka Zemhari, Pierre Bourreau, et Laurent Mora. 2023. « Deep learning models for building window-openings detection in heating season ». *Building and Environment* 231 (mars): 110019. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110019>.
- Spearman, C. 1904. « The Proof and Measurement of Association between Two Things ». *The American Journal of Psychology* 15 (1): 72-101.
- Zine-El-Abidine, Mouad, Helin Dutagaci, et David Rousseau. 2023. « Ordinalis: Interpretability of multidimensional ordinal data ». *SoftwareX* 22 (mai): 101343. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101343>.