

Evaluation du confort d'été dans les bâtiments (cas réels) : discussion sur la mesure d'un indicateur degrés-heures

Eric François, Amandine Piot, Arnaud Jay, Etienne Wurtz

Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, Campus Ines, 73375 Le Bourget du Lac, France

eric.francois@cea.fr

RESUME. Le niveau d'inconfort chaud d'un bâtiment dépend des conditions météorologiques qui évoluent au cours du temps dans le contexte du réchauffement climatique, des usages réels (ouverture de fenêtres, gestion des protections solaires, périodes d'occupation) et de la mise en œuvre (qualité de l'isolation thermique, étanchéité à l'air...). De manière similaire à l'analyse du « performance gap », différence entre consommations calculées à la conception et mesurées sur le bâtiment occupé, nous nous intéressons aux performances en phase d'exploitation en termes de confort d'été et de ressenti des occupants. Nous avons testé différentes approches pour élaborer un indicateur d'inconfort chaud sur la base des degrés-heures définis dans la réglementation RE2020 mais à partir de données enregistrées sur des bâtiments existants instrumentés. Les résultats ont été rapprochés des enquêtes sociologiques qui ont pu être menées.

MOTS-CLÉS : Confort d'été, indicateurs d'inconfort chaud, scénario d'occupation.

ABSTRACT. The level of hot discomfort of a building depends on the weather conditions which evolve over time, in the context of global warming, on the real uses (opening of windows, management of solar protections, periods of occupation) and on the implementation (quality of the thermal insulation, air tightness...). In a similar way to the analysis of the "performance gap", the difference between consumption calculated at the design stage and measured in the occupied building, we are interested in the performance during the operating phase in terms of summer comfort and the occupants' feelings. We have tested different approaches to develop an indicator of hot discomfort based on the degree-hours defined in the RE2020 regulation but from data recorded on existing instrumented buildings. The results were compared with sociological surveys that could be retrieved.

KEYWORDS : Summer comfort, hot discomfort indicators, occupancy profiles.

1. INTRODUCTION

Les chaleurs estivales, de plus en plus fréquentes et prégnantes ces dernières années, participent à la prise de conscience collective du réchauffement climatique. Et la tendance à l'augmentation des épisodes caniculaires en durée comme en intensité à l'horizon de la fin de ce siècle, renforce la nécessité d'adapter nos lieux de vie et d'activités.

La nouvelle réglementation énergétique RE2020 du code de la construction et de l'habitation s'efforce de prendre en compte le confort d'été dans la conception des nouvelles constructions. Cette réglementation définit de nouveaux indicateurs de performance, tels que les degrés-heures, les nombres d'heures d'inconfort chaud et précise la méthode de calcul Th-D à appliquer en simulation thermique dynamique. Les futurs bâtiments supporteront probablement mieux les surchauffes estivales mais la question de l'amélioration du confort d'été reste posée pour l'ensemble du parc existant.

Afin d'évaluer la pertinence de ces indicateurs d'inconfort chaud et le niveau de confort d'été dans l'existant, nous nous sommes exercés à appliquer la méthode Th-D RE2020 aux données mesurées dans des bâtiments réels, de conception récente et occupés. Ces bâtiments sont principalement des maisons individuelles instrumentées, suivies dans le cadre du projet COMEPOS et répartis sur les régions : Grand-Est, Occitanie, Provence-Alpes-Côte-D'azur, Île-de-France, Auvergne-Rhône-Alpes. L'une des maisons situées en Île-de-France est utilisée comme maison d'exposition par le fabricant « Maison Pierre ». Enfin, le bâtiment HELIOS (Auvergne-Rhône-Alpes), de conception RT2005, suivi depuis plusieurs années, représente environ 6000 m² de bureaux et laboratoires hébergeant des chercheurs au sein de différents organismes de recherche œuvrant dans le domaine de l'énergétique du bâtiment.

Cependant, ces indicateurs d'inconfort chaud sont définis à partir de scénarii d'usage réglementaires, dit conventionnels, définissant notamment le profil d'occupation. Or, ce dernier conditionne la gestion des protections solaires et des systèmes de ventilation passifs ou actifs. Un scénario trop éloigné d'une occupation réelle sera nécessairement source d'erreurs en termes de performances réelles du bâtiment et de confort ressenti. Nous avons donc cherché à étudier l'influence de l'occupation sur les résultats, en proposant un scénario d'occupation différencié Jour-Nuit et une occupation reconstruite à partir des données CO₂.

2. METHODOLOGIE

2.1. TYPOLOGIES DES BATIMENTS ETUDIES

Les maisons COMEPOS et le bâtiment HELIOS étudiés sont dotés d'une forte inertie et d'une bonne isolation. Ils sont conformes à la réglementation RT2012. L'instrumentation regroupe des capteurs de température (DELTADORE TYBOX 5101), de CO₂ (NanoSense E4000-NG), répartis dans différentes pièces, et des mesures de température extérieure (THIES WSC11 et/ou DELTADORE STE 2000).

2.2. TEMPERATURE OPERATIVE OU D'AIR INTERIEUR ?

La méthode de calcul Th-D RE2020 s'appuie sur la notion de température opérative qui est définie dans la norme NF EN ISO 7726. Cette température tient compte à la fois du rayonnement thermique des parois environnantes et de la convection avec l'air ambiant. Elle traduit mieux le ressenti thermique des occupants que la température d'air intérieur.

Dans les bâtiments existants, en l'absence de capteur de température de type globe noir ou de contact fixé au mur, il est difficile d'évaluer la température opérative ressentie par les occupants. Ces capteurs sont relativement intrusifs et donc difficilement acceptables dans des espaces habités. De plus, il est admis que la température moyenne radiative et la température d'air en milieu intérieur sont voisines (N. Walikewitz & al. 2015) pour des bâtiments performants, bien isolés. L'erreur commise avec cette approximation sur la température opérative reste inférieure à 1°C, ce qui est proche des incertitudes de mesure (C. Spitz & al. 2012). Nous avons donc utilisé les températures d'air intérieur enregistrées dans les différentes pièces des bâtiments étudiés, pour calculer les indicateurs d'inconfort chaud.

2.3. PERIODE DE CONFORT ADAPTATIF

La période de confort adaptatif définie dans la méthode de calcul Th-D RE2020 est la période annuelle commençant par le premier jour de l'année où la température extérieure moyenne glissante est supérieure ou égale à 16°C et finissant par le dernier jour de la même année répondant à la même

condition. Nous avons calculé les indicateurs d'inconfort chaud sur les années 2018, 2019 et 2020 entre le 1^{er} avril et le 31 octobre décalé au 30 novembre pour le climat plus chaud de MAS_PROVENCE.

2.4. TEMPERATURE LIMITE DE CONFORT CHAUD

La température limite de confort chaud dépend de la température extérieure moyenne journalière glissante et de la catégorie d'ambiance, définie dans la norme NF EN ISO 16798-1 §6. Cette catégorie est représentative de la sensibilité des occupants aux déséquilibres thermiques. L'indicateur d'inconfort chaud réglementaire est calculé suivant la Th-D RE2020 pour la catégorie d'ambiance la plus exigeante : C1, correspondant à un taux d'insatisfaits PPD < 6% suivant NF EN ISO 7730. Mais un autre calcul peut être effectué pour différents publics fonction de leur activité métabolique, de la vêtue et de leur âge. La catégorie d'ambiance fixe à la fois, la température de consigne de refroidissement ainsi que l'écart de température admis pour satisfaire aux attentes des occupants ou du public choisis (cf. NF EN ISO 16798-1 Tab. B.2).

2.5. DISPONIBILITE DES MESURES

L'indicateur d'inconfort chaud degrés-heures se calcule comme une somme au pas de temps horaire, en période de confort adaptatif et en situation d'occupation, des écarts entre la température intérieure mesurée (pour des cas réels) et la température limite de confort chaud.

L'instrumentation sur site distant souffre toujours de trous de données et d'erreurs de mesure. Nous avons filtré les valeurs enregistrées pour en supprimer les bornes hautes et basses correspondant aux différents capteurs ainsi que les informations répétitives sur deux pas de temps consécutifs. A partir des données lissées et filtrées, nous avons reconstruit les données manquantes par interpolations linéaires sur des pas de temps courts (≤ 4 heures).

Après ces traitements, il reste encore des trous de données. Il n'est pas possible de reconstruire toutes les mesures manquantes de façon fiable. Or, plus la donnée est manquante, plus les indicateurs risquent d'être sous-estimés. Nous avons donc écarté tous les capteurs et années pour lesquels la disponibilité des mesures n'était pas jugée suffisante. Les limites de disponibilité des données de température intérieure ont été fixées sur l'année complète et sur les mois de juillet et août à 80%. Les taux de disponibilité des mesures de CO₂ pour la reconstruction de l'occupation ont été fixés à 70%.

2.6. RECONSTRUCTION DE LA TEMPERATURE EXTERIEURE

L'absence de capteur de température extérieure sur une partie des sites instrumentés et des mesures de températures en façade Nord pas toujours exploitables parce qu'influencées par le rayonnement solaire matinal, sont autant de raisons qui nous ont contraints à reconstruire la donnée manquante ou erronée. Les températures extérieures ont été téléchargées depuis le serveur MERRA sur le site www.soda-pro.com, puis corrigées en tenant compte de l'altitude des bâtiments étudiés.

2.7. SCENARIO D'OCCUPATION

2.7.1. Scénario d'occupation différencié Jour-Nuit

Les différentes pièces d'un logement au même titre que les bureaux d'un bâtiment tertiaire ont des usages spécifiques qui ne justifient pas forcément de considérer une seule zone d'occupation. Il nous est apparu judicieux d'observer l'effet d'un scénario d'occupation différencié : zone Jour / zone Nuit (réservée aux chambres) sur le calcul des indicateurs d'inconfort chaud. Pour construire ce nouveau scénario, nous avons reconduit les indices d'occupation du scénario conventionnel sur les créneaux

horaires de Jour (07H à 22H) et de Nuit (23H à 06H), mais affectés à chaque pièce suivant son usage principal. Le Tableau 1 indique les occupations ($i_{occup,jour/nuit}=1$) en fonction des créneaux horaires respectivement pour la zone Jour et pour la zone Nuit.

scénario d'occupation horaire jour : occupation=1 ; inoccupation=0																								
jour / heure>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

scénario d'occupation horaire nuit : occupation=1 ; inoccupation=0																								
jour / heure>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tableau 1 : Occupation en zones Jour (en h.) et Nuit (en b.), construite avec les scénarii d'usage RE2020

2.7.2. Scénario d’occupation reconstruit

Afin d’améliorer l’évaluation des indicateurs d’inconfort d’été dans le cas de bâtiments réels occupés, une autre approche a été tentée. Nous avons cherché à reconstruire une occupation plus réaliste avec les taux de CO₂ enregistrés. Dans un brevet déposé le 27/04/2017 (réf. EP 3 239 791 B1 [1]), Jean-Michel Daignan et Arnaud Jay avaient déjà théorisé sur la reconstruction de l’occupation à partir des mesures CO₂. Une nouvelle méthode a été développée pour obtenir des résultats d’occupation satisfaisants dans chacune des pièces instrumentées en capteur CO₂. Puis, nous avons effectué la synthèse de l’occupation des pièces jugées représentatives de l’occupation pour les bâtiments résidentiels : Chambres / Cuisine / Séjour / Salon / Salles de Bains.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

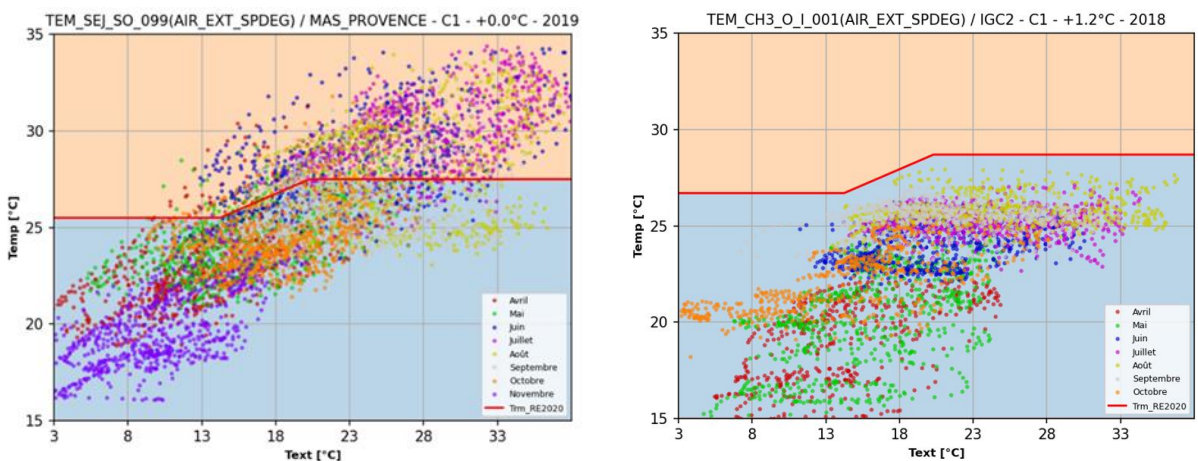


Figure 1 : T°C int. / t°C ext. (colorées / mois) : séj. MAS_PRO. (2019) – Ch3 IGC2 (2018)

La Figure 1 montre deux répartitions différentes de température d’air intérieur en fonction des températures extérieures avec le tracé des limites de confort adaptatif dépendant de la catégorie d’ambiance et d’un éventuel système d’amélioration du confort d’été.

3.1. DEGRES-HEURES CALCULES

Le Tableau 2 fournit les degrés-heures d'inconfort chaud DH_{RE2020} calculés suivant la méthode Th-D 2020 (catégorie d'ambiance C1 et sans brassage d'air) pour les bureaux et les maisons individuelles COMEPOS. Les indicateurs affichés sont ceux calculés dans la pièce de vie des logements, « séjour » : SEJ ou « salon » : SAL sinon dans la « cuisine » : CU lorsque les données enregistrées sont insuffisantes ou dans le bureau considéré pour les bâtiments tertiaires. L'exposition de chacune des pièces de vie est également mentionnée.

2018	Région AURA HELIOS_B3033 (E)	Région AURA HELIOS_B3071 (ATRIUM - N)	Région AURA HELIOS_B3072 (S)	Région AURA Helios_B3105 (O)	Région IDF Pierre2 (SEJ_S)
DH_RE2020	419,2	272,9	503,9	876,6	331,5

2018	Région Grand-Est Hanau1 (SAL_NO)	Région Occitanie IGC2 (SEJ_E)	Région PACA MAS_PROVENCE (SEJ_SO)	Région IDF Pierre1 (SEJ_S)	Région IDF Pierre5 (CU_SE)	Région AURA Tradimaisons1 (SAL_S_2)
DH_RE2020	140,3	93,6	4941,5	761,1	2412,6	428,3

Tableau 2 : DH_{RE2020} bureaux et maisons / catégorie d'ambiance C1 sans brassage d'air – 2018

L'ensemble des indicateurs d'inconfort calculés sur les années 2018, 2019 et 2020 montrent que seuls deux bâtiments parmi les douze cas réels étudiés, pourraient être considérés comme présentant un niveau de confort chaud satisfaisant ($< 350^{\circ}\text{C.h}$) au sens de la nouvelle réglementation énergétique RE2020 pour une catégorie d'ambiance C1 sans système d'amélioration du confort d'été : maison IGC2 ($93,6^{\circ}\text{C.h}$ en 2018, $74,5^{\circ}\text{C.h}$ en 2019 et $165,4^{\circ}\text{C.h}$ en 2020 calculé dans le séjour exposé Est) et maison Hanau1 ($140,3^{\circ}\text{C.h}$ en 2018, $72,5^{\circ}\text{C.h}$ en 2020 calculés dans le salon exposé Nord-Ouest). Mais, le premier est climatisé par une PAC triple services et le second présente un niveau d'inconfort dépassant les 350°C.h dans les chambres ($809,2^{\circ}\text{C.h}$ en 2018, $403,5^{\circ}\text{C.h}$ en 2020 calculés dans la chambre CH3 exposée Nord-Ouest) dont l'essentiel des contributions aux degrés-heures est due aux nuits d'été de juillet à août.

Une maison apparaît particulièrement inconfortable, MAS_PROVENCE. L'ajout d'un système d'amélioration du confort d'été jusqu'au taux de brassage de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ ($+2,2^{\circ}\text{C}$ de compensation thermique ressentie) ne suffirait pas à ramener les degrés-heures d'inconfort sous le seuil limite. Tous les autres bâtiments étudiés nécessiteraient un système de brassage plus ou moins puissant pour rafraîchir l'ambiance et abaisser les degrés-heures d'inconfort sous les seuils réglementaires.

3.2. INFLUENCE DE L'OCCUPATION SUR LES DH_{RE2020}

Les résultats obtenus avec les scénarii d'occupation différenciés zone Jour et zone Nuit montrent la contribution des heures du jour ou de la nuit sur les indicateurs d'inconfort chaud calculés comparativement aux DH_{RE2020} calculés avec les scénarii d'occupation conventionnels.

La Figure 2 montre notamment la différence de degrés-heures d'inconfort chaud pour le bâtiment résidentiel Pierre1, calculés avec un scénario d'occupation conventionnel DH_{RE2020} et avec les scénarii d'occupation différencié Jour-Nuit DH_{jr_nt} . Cette comparaison permet d'observer que l'essentiel des degrés-heures de la maison Pierre1 est dû aux horaires nocturnes : 22H à 6H. Ceci peut orienter le choix vers une solution d'adaptation capable d'améliorer le confort d'été, comme la ventilation naturelle traversante nocturne par exemple. Nous avons fait la même observation pour les maisons Hanau1, Pierre1, Tradimaisons1 et dans une moindre mesure, Pierre5.

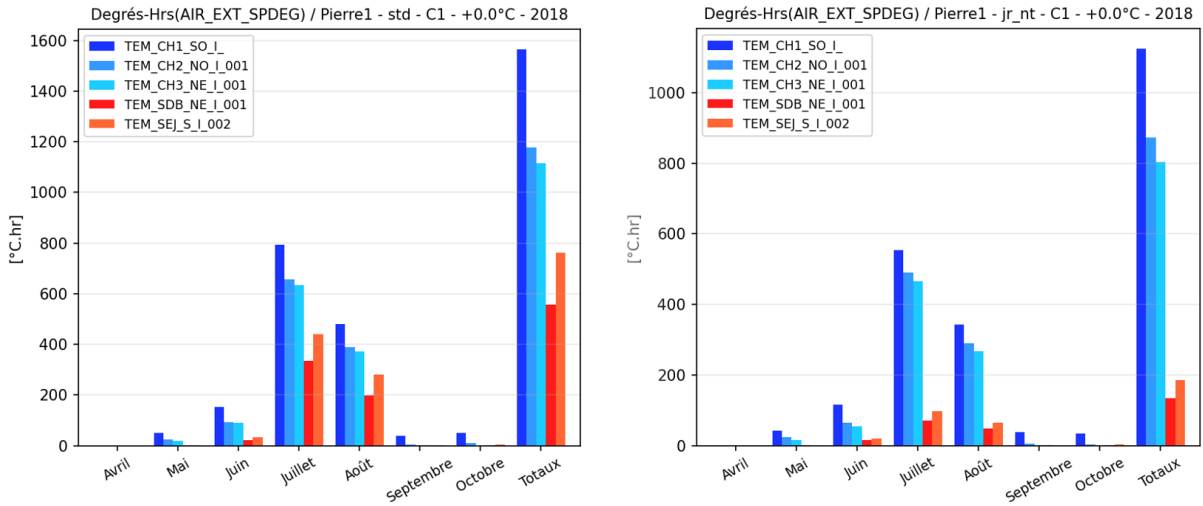


Figure 2 : DH_{RE2020} (à g.) et DH calculés / occupation différ. Jour-Nuit (à dr.) – Pierre1 – 2018

La reconstruction de l’occupation réelle à partir des mesures de CO_2 (cf. §2.7.2) a permis de mesurer l’influence du scénario d’occupation sur les indicateurs d’inconfort chaud calculés lorsque les données étaient suffisantes : Hanau1 (2018), IGC2 (2020) et Pierre1 (2018).

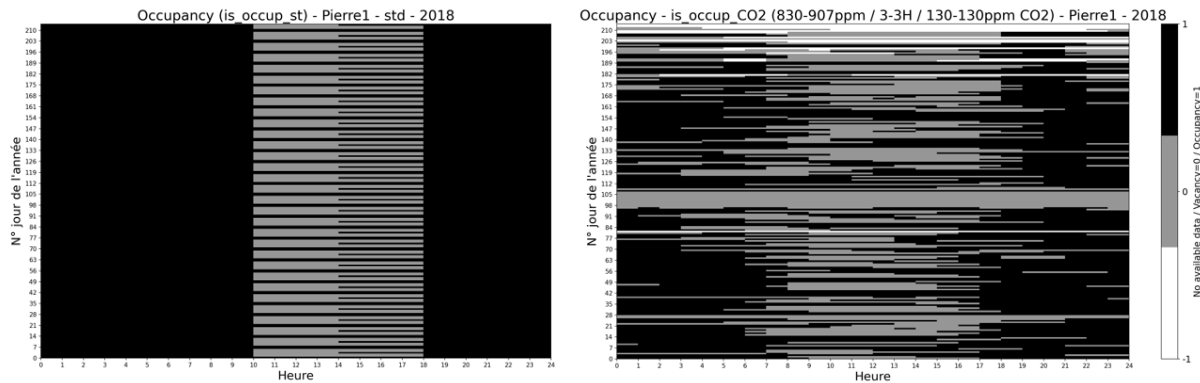


Figure 3 : Scénario d’occupation conventionnel (à g.) et reconstruit (à dr.) – Pierre1 – 2018

La Figure 3 montre une occupation reconstruite pour la maison Pierre1 sur l’année 2018 (à dr.). Les périodes correspondant au logement vacant laissent voir plus d’absences (0, en gris) que dans le scénario conventionnel (présence =1, en noir). Le blanc est utilisé lorsque les données sont manquantes.

La Figure 4 montre les $DH_{occ_réel}$ calculés pour la maison Pierre1 sur l’année 2018 avec le scénario d’occupation reconstruit (587,3°C.h). Celui-ci diffère de -23% par rapport au même indicateur DH_{RE2020} calculé avec le scénario d’occupation conventionnel (761,1°C.h, Figure 2, à g.) et de +217% par rapport aux DH_{jr_nt} obtenus avec le scénario d’occupation Jour – Nuit (185,1°C.h, figure 3, à dr.). On constate donc l’importance du scénario d’occupation réel sur les indicateurs d’inconfort chaud.

L’occupation est une donnée très spécifique à chaque situation, liée au mode de vie et à l’activité des occupants. Le calcul des DH_{occ_reel} dans les chambres avec l’occupation reconstruite sur la maison Hanau1 en 2018 présentent des écarts d’environ -10% et jusqu’à +23% respectivement par rapport aux DH_{RE2020} et aux DH_{jr_nt} .

L'approche DH_{jr_nt} introduit logiquement plus d'écart car le calcul des degrés-heures est effectué sur une seule plage horaire jour (07H-22H) ou nuit (23H-06H) en fonction de la pièce considérée, mais elle permet de cibler les heures chaudes à traiter. Les $DH_{occup_réel}$ calculés sur le scénario d'occupation reconstruite sont plus représentatif du confort ressenti par les occupants puisque comptabilisant les dépassements de température pendant les horaires d'occupation effective, lorsque les habitants ou salariés peuvent agir sur les protections solaires, la ventilation naturelle ou active du bâtiment.

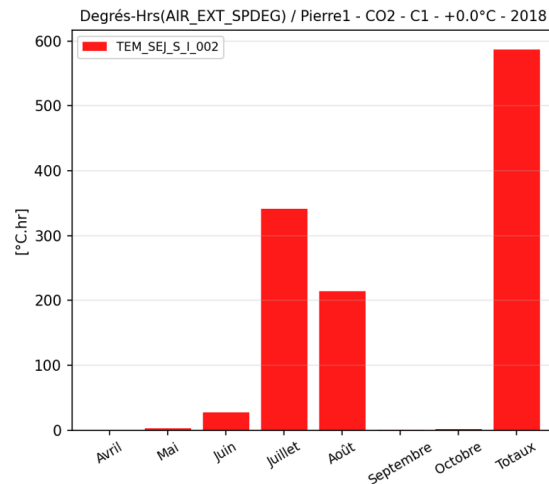


Figure 4 : $DH_{occup_réel}$ – Pierre1 – 2018

4. RESENTI DES OCCUPANTS

Les indicateurs d'inconfort chaud ont été confrontés à des résultats d'enquêtes réalisées par le CSTB sur les maisons COMEPOS et par les équipes CEA sur le bureau HELIOS B3105. Il ressort de cet exercice que ces indicateurs mesurés traduisent assez fidèlement le ressenti des occupants. A titre d'exemples, les occupants de la maison Hanau1 ont témoigné de leur inconfort chaud en période nocturne. Les maisons Pierre1 et Pierre5 sont ressenties comme relativement confortables alors que présentant des DH_{RE2020} élevés voire hors réglementaires mais principalement en période nocturne. On relève également que les occupants de maison individuelle en milieu urbain ou péri-urbain dense, ont tendance à mieux supporter un inconfort intérieur relatif par comparaison avec les logements collectifs alentours. Les occupants regrettent certains choix de conception, tels que les stores mécanisés préférés aux protections solaires passives correctement dimensionnées, l'absence de systèmes de ventilation naturelle garantissant un bon niveau de sécurité contre les effractions et protégeant efficacement contre les pollutions sonores et particulaires. Ils expriment des attentes en termes de confort global intégrant la luminosité, la vue, l'organisation spatiale, les aménagements extérieurs (végétalisation).

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Si l'on dispose de données de température et taux de CO_2 en quantité suffisante, il est possible de mesurer le niveau d'inconfort d'été dans les bâtiments existants. L'application de la méthode de calcul Th-D RE2020 génère des degrés-heures DH_{RE2020} relativement élevés, sur trois années chaudes 2018, 2019 et 2020. Notre étude a surtout montré que l'occupation des bâtiments, considérée dans le calcul des indicateurs d'inconfort chaud, était déterminante et influençait sensiblement les résultats. Nous avons calculé les indicateurs inédits suivants, DH_{jr_nt} et $DH_{occup_réel}$, respectivement, à partir d'un scénario d'occupation différencié Jour-Nuit en fonction de l'usage des pièces et d'une occupation plus réaliste reconstruite avec les taux de CO_2 enregistrés. Les indicateurs d'inconfort chaud mesurés vérifient le ressenti des occupants, lorsque l'information a pu être récupérée. L'habitat non climatisé, situé en région Provence-Alpes-Côte-D'azur est particulièrement affecté par l'inconfort chaud, alors que plusieurs des logements étudiés et répartis sous différents climats, sont plutôt sujets à des surchauffes nocturnes.

Le fait de détailler le calcul des indicateurs d'inconfort chaud entre la zone Jour et la zone Nuit permet d'identifier les heures qui contribuent le plus à la situation d'inconfort. Le déséquilibre constaté

sur les degrés d'inconfort chaud entre les heures du jour et de la nuit nous conduit à penser qu'un indicateur mesuré sur une seule pièce de vie n'est pas suffisant pour traduire le confort d'été dans l'ensemble d'un logement. Ainsi, un nouvel indicateur d'inconfort chaud, qui serait mesuré, pourrait être constitué d'un double degrés-heures calculé d'une part, sur une pièce représentative de la zone de jour, DH_{jr} , les pièces d'eau à usage très spécifique devant être écartées, et d'autre part, pour une chambre occupée, DH_{nt} . Le scénario d'occupation différencié Jour-Nuit peut être construit à partir des scénarii conventionnels réglementaires, ou à l'aide d'un scénario d'occupation plus réaliste, reconstruit à partir des mesures de CO_2 enregistrées.

Dans l'optique d'améliorer le confort de l'habitat existant, ce type d'indicateur offrirait l'intérêt d'orienter les occupants vers des solutions adaptatives efficaces pour limiter les surchauffes intérieures. Son calcul pourrait s'étendre aux simulations thermiques pour la conception des nouvelles constructions, à partir de scénarii d'occupation différenciée Jour-Nuit conventionnels. Enfin, il pourrait être utilisé pour l'estimation des performances réelles à des fins de garantie de performance énergétique.

Ainsi, dans le prolongement de la réglementation énergétique RE2020 du code de la construction et de l'habitation en vigueur, nous pourrions nous doter d'outils d'évaluation de l'inconfort chaud pour améliorer la résilience de nos habitats existants et futurs.

6. REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des partenaires du projet RESILIANCE soutenu par l'ADEME : Armines ParisTech, CNRM, Izuba Energies, Resalliance (Vinci).

7. BIBLIOGRAPHIE

Arrêté ministériel du 4 août 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du code de la construction et de l'habitation.

C. Spitz, L. Mora, E. Wurtz, et A. Jay, (2012) Practical application of uncertainty analysis and sensitivity analysis on an experimental house, *Energy and Buildings*, vol. 55, p. 459-470, doi: [10.1016/j.enbuild.2012.08.013](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.013)

Daignan JM et Jay A 2019, brevet n°EP 3 239 791 B1 « Procédé et système de pilotage automatique d'au moins un système pilotable équipant un local » publié au bulletin 2019/12.

Décret n°2021-1004 du 29 juillet 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine.

N. Walikewitz, B. Jänicke, M. Langner, F. Meier, et W. Endlicher (2015) The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoor environments: A case study during summer conditions, *Building and Environment*, vol. 84, p. 151-161, doi: [10.1016/j.buildenv.2014.11.004](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.004).

Scénarios d'usage RE2020 (<http://www.batiment-energiecarbone.fr/projet-de-documents-methode-pour-la-reglementation-a126.html>)