



HAL
open science

Bâtiments démonstrateurs Prébat : retour d'expérience et premiers enseignements sur le confort thermique hivernal et estival

Jean-Alain Bouchet, Bassam Moujalled, Constance Lancelle, Myriam Humbert

► To cite this version:

Jean-Alain Bouchet, Bassam Moujalled, Constance Lancelle, Myriam Humbert. Bâtiments démonstrateurs Prébat : retour d'expérience et premiers enseignements sur le confort thermique hivernal et estival. Conférence IBPSA France 2018, May 2018, Bordeaux, France. hal-02273331

HAL Id: hal-02273331

<https://hal.science/hal-02273331>

Submitted on 28 Aug 2019

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.

Bâtiments démonstrateurs Prébat : retour d'expérience et premiers enseignements sur le confort thermique hivernal et estival

Jean-Alain Bouchet^{*1}, Bassam Moujalled², Constance Lancelle³, Myriam Humbert⁴

¹ CEREMA, Direction Méditerranée, Aix-en-Provence F-13290, France

² CEREMA, Direction Centre-Est, l'Isle d'Abeau F-38081, France

³ CEREMA, Direction Ouest, Les Ponts-de-Cé F-49130, France

⁴ CEREMA, Direction Ouest, Saint Briec F-22015, France, France

[*jean-alain.bouchet@cerema.fr](mailto:jean-alain.bouchet@cerema.fr)

RESUME. Depuis 2009, le Cerema assure les suivis-évaluations de la performance énergétique et du confort thermique pour près de 140 bâtiments performants. Pour le confort thermique, 84 opérations ont été évaluées à travers plusieurs indicateurs en tenant compte de la rigueur climatique. Les résultats montrent que le confort thermique hivernal des bâtiments suivis est globalement jugé très satisfaisant par les occupants, en accord avec les mesures, du fait des niveaux d'isolation et la qualité des équipements de chauffage, mais cela se fait dans certains cas au détriment de la consommation de chauffage. Pour le confort thermique estival, les résultats sont plus mitigés. La forte isolation des bâtiments performants n'est pas nuisible au confort d'été mais le rend plus sensible à la qualité de la gestion thermique : l'utilisation des protections solaires et l'ouverture nocturne des fenêtres. Par ailleurs, il apparaît que la méthode de la norme NF EN 15251 sur le confort adaptatif permet une évaluation plus fine du confort thermique en saison chaude que le critère du nombre d'heure à plus de 28°C. Les résultats obtenus apparaissent davantage en phase avec le ressenti des occupants.

MOTS-CLÉS : bâtiment performant, mesure in-situ, confort thermique, confort adaptatif.

ABSTRACT. Since 2009, Cerema has been monitoring and evaluating energy performance and indoor thermal comfort for nearly 140 low energy buildings. Regarding thermal comfort, 84 buildings were evaluated through several indicators taking into account the climatic severity. The results show that the winter thermal comfort of the monitored buildings is generally considered very acceptable by the occupants, in accordance with the measurements results, because of the high insulation levels and the quality of the heating equipment. But this is done in some cases to the detriment of heating consumption. For summer thermal comfort, the results are mixed. The strong insulation of low-energy buildings is not detrimental to summer comfort, but makes it more sensitive to occupants' behaviors: the use of solar protection and the opening of windows at night. Furthermore, it appears that the method of the standard NF EN 15251 on adaptive comfort allows a more refined assessment of thermal comfort in the hot season than the criterion based on the number of hours at more than 28° C. The results obtained appear more in phase with the perception of the occupants.

KEYWORDS: low-energy buildings, in-situ measurements, thermal comfort, adaptive comfort.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT) lancé en 2005, plus de 200 bâtiments, lauréats des appels à projet Ademe-région « Bâtiments démonstrateurs », ont été instrumentés durant deux ans afin d'identifier leur performance réelle (performance énergétique et confort thermique). Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) assure les suivis-évaluations de près de 70 % des bâtiments instrumentés et assure la capitalisation des enseignements de l'ensemble des

200 suivis-évaluations (Cerema 2017). Les bâtiments suivis sont assez diversifiés, avec 70% d'opérations neuves et 56% de bâtiments résidentiels. Ils sont répartis sur tout le territoire métropolitain, et toutes les zones climatiques sont concernées. Tous ces bâtiments sont occupés.

L'évaluation de la performance des bâtiments ne peut se limiter à l'étude de leurs consommations d'énergie : le confort pour l'occupant - et plus largement la qualité d'usage - en constitue un élément important et très largement lié aux consommations. En effet, le confort constitue souvent le mode de perception principal du bâtiment par l'occupant. Or non seulement il peut être différent dans les bâtiments performants, mais il influence les arbitrages opérés pour l'assurer et peut impacter d'une manière plus ou moins importante les consommations d'énergie.

Les bâtiments performants se caractérisent par une enveloppe avec une forte isolation thermique et des surfaces vitrées favorisant les apports solaires avec des systèmes énergétiques sophistiqués faisant appel souvent à plusieurs sources d'énergie. La compréhension du confort thermique dans ces bâtiments est nécessaire à la fois pour la satisfaction des besoins des occupants, mais aussi pour l'atteinte des performances prévues.

En hiver, le confort thermique dans ces bâtiments est généralement assuré grâce aux systèmes de chauffage. Mais ces derniers demandent une attention particulière, car les apports internes et solaires dans des enveloppes fortement isolées conduisent à des besoins thermiques très faibles. L'inertie thermique joue aussi un rôle important dans la régulation des apports internes et solaires en particulier en mi-saison.

En revanche, la forte isolation thermique de ces bâtiments en été exige une attention particulière pour le confort d'été dans les bâtiments non-climatisés. En effet, celle-ci permet de réduire les échanges de chaleur avec l'extérieur pour garder la chaleur dans le bâtiment en hiver, et conserver la fraîcheur en été tant qu'il fait plus frais dedans. Cependant, en cas de forts apports internes et solaires non maîtrisés et d'une aération insuffisante du bâtiment, cela devient un inconvénient dès que la température intérieure devient importante et contribue à des situations de surchauffe portant préjudice au confort thermique dans le bâtiment.

Dans cet article, les résultats des campagnes d'évaluation du confort thermique sont présentés pour un panel de 84 bâtiments démonstrateurs. Dans un premier temps, la méthode d'évaluation est présentée en se focalisant sur les indicateurs de confort et de contrainte climatique retenus. Ensuite nous présentons les résultats sur le confort perçu par les usagers, le confort évalué par des indicateurs, la sensibilité des résultats à la contrainte climatique et à la gestion thermique d'été.

2. METHODOLOGIE

L'évaluation du confort thermique nécessite la prise en compte des différentes variables influant sur le confort. L'ambiance thermique est caractérisée par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, la température de rayonnement, l'humidité et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité et la vêtue du corps humain pour établir son état thermique et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement. Mais au-delà de ces variables, la perception thermique d'un environnement peut être influencée par des variables physiologiques, psychologiques et sociologiques ; l'acclimatation peut altérer les sensations

thermiques, ainsi que les comportements, l'accoutumance et les attentes des occupants dans leurs cadres de vie (Moujalled 2007).

Afin d'évaluer le confort thermique, les températures d'air et les humidités relatives ont été mesurées avec un pas de temps horaire dans plusieurs locaux de chaque bâtiment ainsi qu'à l'extérieur. Les mesures ont été réalisées sur une période d'un à deux ans. Elles sont accompagnées de questionnaires à destination des occupants. La température de globe n'a pas été mesurée. Cependant, compte tenu des performances élevées des parois opaques et vitrées, nous pouvons considérer que la température d'air mesurée est assez proche de la température opérative.

La méthode d'évaluation adoptée se base sur la norme NF EN 15251 (AFNOR 2007). Cette norme spécifie les critères de confort selon quatre catégories d'ambiance intérieure : la première catégorie (Catégorie I) correspond au niveau le plus élevé de confort pour les espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles. La deuxième catégorie (Catégorie II) correspond à un niveau normal de confort à utiliser pour les bâtiments neufs et les rénovations. La troisième catégorie correspond à un niveau modéré à utiliser pour les bâtiments existants. Les ambiances thermiques en dehors des critères des trois catégories précédentes sont classées en catégorie IV.

Pour notre étude, la catégorie de confort à privilégier est la catégorie II correspondant aux bâtiments neufs. La catégorie III peut également être tolérée, mais la catégorie IV doit être la plus évitée. La norme recommande de limiter le dépassement des limites de la catégorie à un seuil maximal de 5 % des heures d'occupation. Ainsi pour chaque bâtiment, nous avons calculé le nombre d'heures d'occupation dans chaque catégorie. La catégorie de confort du bâtiment est celle pour laquelle les mesures ne dépassent pas les limites de la catégorie pendant de plus de 5% des heures d'occupation.

2.1. EVALUATION DU CONFORT THERMIQUE HIVERNAL

Pour le confort hivernal, les critères de confort thermique des bâtiments chauffés de la norme NF EN 15251 ont été utilisés. Ils sont définis d'une manière similaire à ceux de la norme NF EN ISO 7730 (AFNOR 2006). En complément, une méthode a été développée pour estimer la température de consigne de chauffage pratiquée en se basant sur la mesure de la température intérieure pendant les heures de fonctionnement du chauffage et les heures d'occupation identifiées par enquête. Cette méthode n'est pas présentée dans cet article.

2.2. EVALUATION DU CONFORT THERMIQUE ESTIVAL

En été, la norme NF EN 15251 définit les conditions de confort pour les bâtiments non climatisés en se basant sur la notion du confort adaptatif pour tenir compte du phénomène d'adaptation des usagers aux conditions extérieures de la période météorologique vécues. Cette adaptation conduit en effet à la prise en compte des conditions climatiques des journées précédentes pour apprécier le niveau de confort d'un espace non climatisé dans lequel il y a peu de contraintes vestimentaires. Il est important de considérer les conditions de température extérieure pour apprécier de manière relative le confort d'un bâtiment non climatisé (AFNOR 2007). En effet, plus il fait chaud longtemps, plus les occupants s'habituent à une température élevée ; et plus la température extérieure est élevée durant les derniers jours, plus une température élevée est acceptée à l'intérieur des locaux. Cependant, l'adaptation à une séquence chaude a été plafonnée à 2°C, comme l'illustre la figure 1.

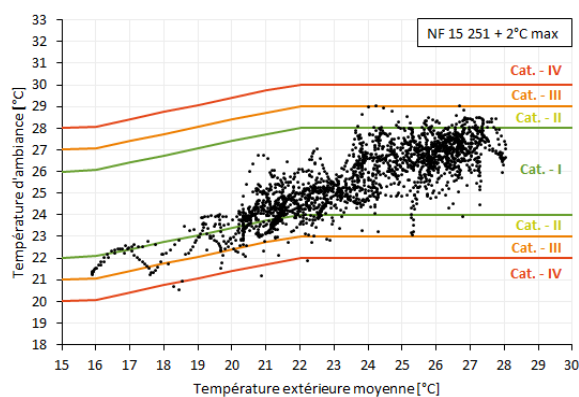


Figure 1 : Les plages de confort adaptatif selon les quatre catégories avec plafonnement à 2°C de l'adaptation à la température extérieure.

Ainsi pour chaque bâtiment, sa catégorie de confort adaptatif est déterminée comme décrit ci-avant. En complément, un deuxième indicateur a été calculé. Il s'agit de la fréquence cumulée des températures lorsque la température intérieure est supérieure à 28 °C (nombre d'heures à plus de 28 °C). Cet indicateur, plus répandu, est calculé à titre comparatif.

L'analyse du confort thermique estival est réalisée par zone climatique d'été définie dans la réglementation thermique française : zones a, b, c et d (Cerema 2017). La zone « a » est la zone moins chaude au nord de la France, et la zone « d » la plus chaude au sud de la France (le pourtour méditerranéen et la Corse).

Enfin, les Degrés-Jours base 24 (DJ24) ont été calculés pour tenir compte de la contrainte climatique. Cet indicateur est déterminé par le cumul sur l'ensemble de la saison estivale de l'écart entre la température extérieure moyenne journalière mesurée sur le site et 24°C lorsqu'il est positif.

3. RESULTATS

3.1. CONFORT HIVERNAL

Globalement, les mesures ainsi que les enquêtes réalisées auprès des occupants dans les bâtiments suivis montrent que le confort thermique en hiver est jugé très satisfaisant pour une large majorité des cas : 80 % de résidentiels (37 sur 46) et 74 % de non résidentiels (23 sur 31). Pour quelques bâtiments du panel (cinq logements collectifs en locatif social et sept non résidentiels, principalement des bâtiments publics), les avis varient en fonction des usagers de sorte que les témoignages unanimes d'inconfort sont rares (9 % des réponses en résidentiel, soit quatre opérations, principalement des maisons individuelles en locatif social, et une école en tertiaire). Cependant, dans certains bâtiments, les usagers font appel à des systèmes d'appoint pour atteindre le confort (10 opérations résidentielles sur 46, et seulement 3 opérations en tertiaire sur 30).

Il est important de noter que les températures de consigne pratiquées dans certains cas étaient plus élevées de 0 à 3 °C que la température de confort utilisée dans les calculs conventionnels de la réglementation thermique. Cela se traduit par des surconsommations de chauffage ; des augmentations de l'ordre de 0 à 11 kWh_{ep}/m².an pour l'habitat et de 0 à 5 kWh_{ep}/m².an pour les bureaux (Cerema, 2017).

3.2. CONFORT ESTIVAL

Nous présentons d'abord les retours des enquêtes obtenues sur 74 opérations (43 individuelles et 31 non résidentiels). Sur les 43 bâtiments résidentiels, le confort d'été est jugé agréable pour 25 bâtiments, soit près de 60% de l'échantillon. Dans sept autres bâtiments (16%), le ressenti des usagers est plus mitigé, certains jugeant l'ambiance confortable et d'autres plus inconfortable. Enfin pour onze bâtiments (26%), il existe un sentiment d'inconfort généralisé.

Pour les 31 bâtiments non résidentiels, le confort d'été est jugé agréable dans 19 bâtiments (61% de l'échantillon), alors que 4 bâtiments présentent un ressenti mitigé (13%), et enfin 8 bâtiments (26%) un sentiment d'inconfort généralisé.

3.2.1. Analyse du nombre d'heures à plus de 28 °C

La figure 2 présente la répartition des nombres d'heures à plus de 28 °C par zone climatique et par type de bâtiment. Nous observons d'abord que la répartition des bâtiments par zone climatique est disparate, avec dans les zones c et d moins de dix bâtiments, ce qui limite l'exploitation statistique des résultats.

Les bâtiments non résidentiels présentent globalement un niveau de confort satisfaisant avec moins 50 heures à plus de 28°C pour la quasi-totalité des bâtiments.

En résidentiel, près de la moitié des bâtiments présente moins de 50 heures à plus de 28 °C (27 bâtiments sur 55), et pour 80% des bâtiments le dépassement est limité à 5% des heures d'occupation (220 heures). Onze bâtiments résidentiels présentent un dépassement de plus de 5% des heures d'occupation, mais ces dépassements sont constatés dans toutes les zones climatiques. Par ailleurs les bâtiments résidentiels en zones a et b (avec 16 et 24 bâtiments respectivement), présentent des résultats très hétérogènes au sein de la même zone climatique avec des valeurs médianes proches des 1^{ers} quartiles, et des moyennes proches des 3^{èmes} quartiles, et des valeurs maximales comparables à celles des zones c et d. La problématique de l'inconfort thermique en saison chaude n'est pas spécifique à la zone méditerranéenne (zone d).

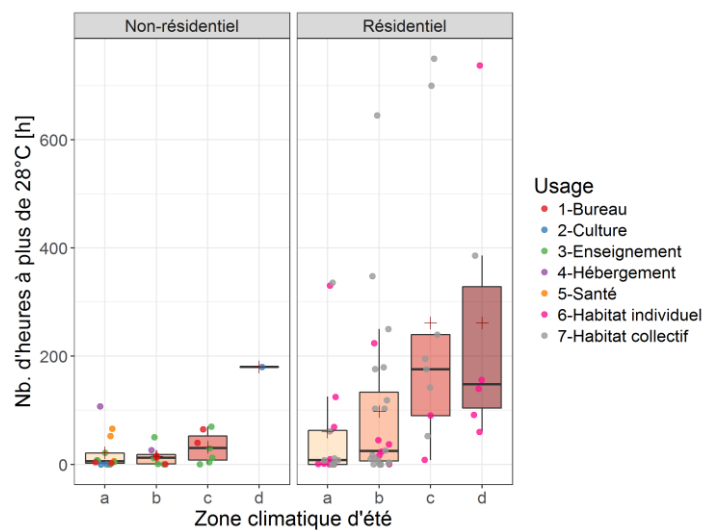


Figure 2 : Evaluation du confort d'été selon le nombre d'heures à plus de 28°C.

La figure 3 présente les résultats en tenant compte de la rigueur climatique caractérisée par les DJ24. Comme observé précédemment, la majorité des bâtiments sont en zones a et b.

Les DJ24 présentent des variations importantes pour une même zone climatique, hormis la zone méditerranéenne mais pour laquelle l'échantillon n'est que de cinq bâtiments. A l'instar des zones climatiques, les nombres d'heures à plus de 28 °C sont très hétérogènes pour le même niveau de rigueur climatiques avec des valeurs maximales comparables entre les différents niveaux de rigueur climatique.

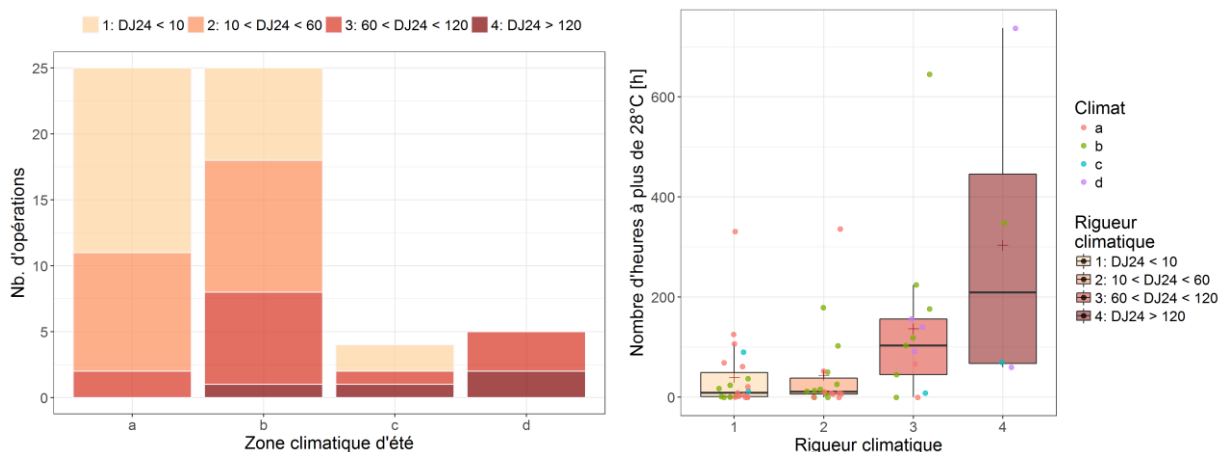


Figure 3 : Répartition des bâtiments par zone climatique selon la rigueur climatique (à gauche) et variations du nombre d'heures à plus de 28 °C selon la zone et la rigueur climatique (à droite).

3.2.2. Analyse selon les catégories du confort adaptatif

La figure 4 présente la répartition des classes de confort adaptatif des bâtiments par zone climatique et par type de bâtiment, ainsi qu'une comparaison entre catégories de confort et nombres d'heures à plus de 28 °C. Comme précédemment, la répartition des bâtiments par zone climatique est disparate, avec dans les zones c et d moins de dix bâtiments.

Les bâtiments non résidentiels présentent globalement un niveau de confort très satisfaisant avec la quasi-totalité des bâtiments en catégorie I correspondant au niveau le plus élevé de confort, et aucun bâtiment en catégorie IV (inconfort). Ces résultats sont cohérents avec ceux observés ci-avant moyennant le nombre d'heures à plus de 28 °C. Cependant, les deux indicateurs ne révèlent pas de situation d'inconfort thermique contrairement aux résultats des enquêtes.

Pour les bâtiments résidentiels, plus de la moitié sont en catégorie I (24 bâtiments sur 42), trois en catégorie II et six bâtiments en catégorie III. Enfin neuf bâtiments sont en catégorie IV correspondant à l'inconfort thermique. Comme précédemment, les bâtiments situés en catégorie IV sont répartis dans toutes les zones climatiques. Ces résultats confirment que la problématique de l'inconfort thermique en saison chaude n'est pas spécifique à la zone méditerranéenne.

La comparaison des catégories de confort adaptatif aux nombres d'heures à plus de 28 °C montre des résultats mitigés. Pour la catégorie I, tous les bâtiments quelle que soit leur destination d'usage présentent un nombre d'heures à plus de 28 °C inférieurs à 50. Le nombre de bâtiments dans les catégories II et III est relativement faible. Cependant le nombre d'heures à plus de 28 °C des bâtiments

deux catégories est assez proche et ne permet pas de les différencier. Enfin c'est pour les bâtiments de la catégorie d'inconfort IV que les résultats sont les plus disparates. Ils varient entre un minimum de 12 heures à plus de 28 °C pour un habitat collectif en zone b et un maximum de 737 heures pour un habitat individuel en zone d.

En cumulant les catégories I et II, 27 bâtiments résidentiels présentent un niveau satisfaisant de confort (64%). Six bâtiments se trouvent en catégorie III avec un niveau modéré de confort (14%) et neuf en catégories IV d'inconfort (22%). Pour une taille d'échantillon comparable, les résultats des enquêtes coïncident avec ces résultats. Les résultats obtenus par l'application de la norme NF EN 15 251 apparaissent donc davantage en phase avec le ressenti des occupants. Cette méthode adaptative du confort thermique en saison chaude est plus fine que le critère du nombre d'heures dont la température intérieure est supérieure à 28 °C car elle prend en compte les conditions extérieures.

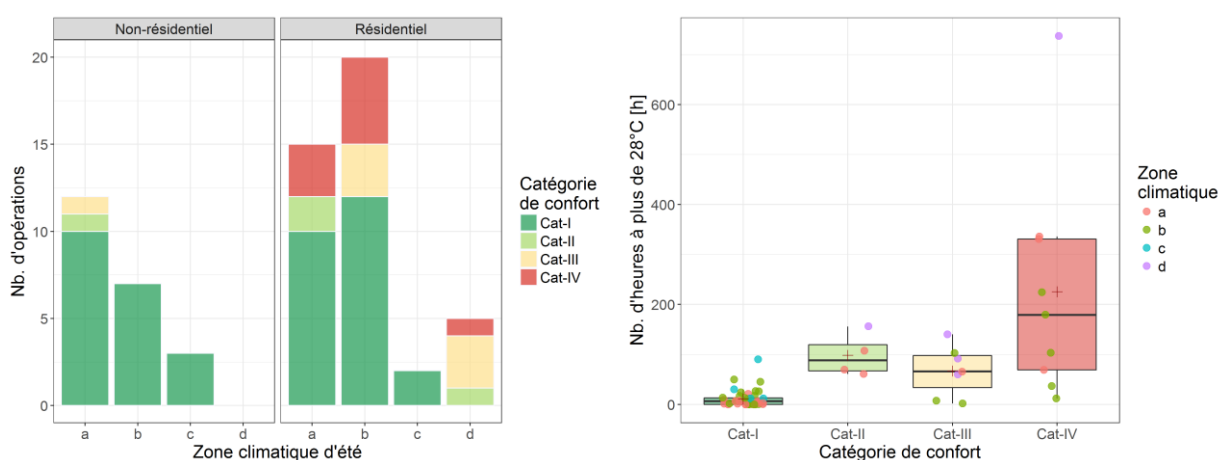


Figure 4 : Répartition des catégories de confort adaptatif par zone climatique et par type de bâtiment (à gauche), variation du nombre d'heures à plus de 28°C par catégorie de confort.

3.2.3. Variation du confort d'été selon la gestion thermique

Afin d'analyser la variation de la température au sein d'un même bâtiment, la figure 5 présente sur la gauche une comparaison du nombre d'heures maximal à plus 28 °C en fonction du nombre minimal dans plusieurs espaces d'un même bâtiment. Nous observons en particulier pour les habitats collectifs des variations importantes avec des valeurs maximales plus de deux fois plus élevées que les valeurs minimales, et donc des niveaux de confort variables au sein d'un même bâtiment. Ces différences peuvent s'expliquer par la position des logements dans le bâtiment et leur exposition, les moyens à disposition des occupants pour la gestion thermique de leurs logements, et surtout les pratiques des occupants (ouverture des fenêtres, utilisation des protections solaires, ...). En effet, dans les bâtiments performants, les logements sont plus sensibles à la gestion thermique d'été du fait du niveau de confinement des apports internes et solaires par les parois opaques plus isolées.

La figure de droite montre que les températures baissent peu la nuit. Elles sont relativement stables en été en particulier en bâtiment collectif d'habitation du fait de l'inertie, mais aussi d'une ventilation thermique d'été souvent faible en zones a et b.

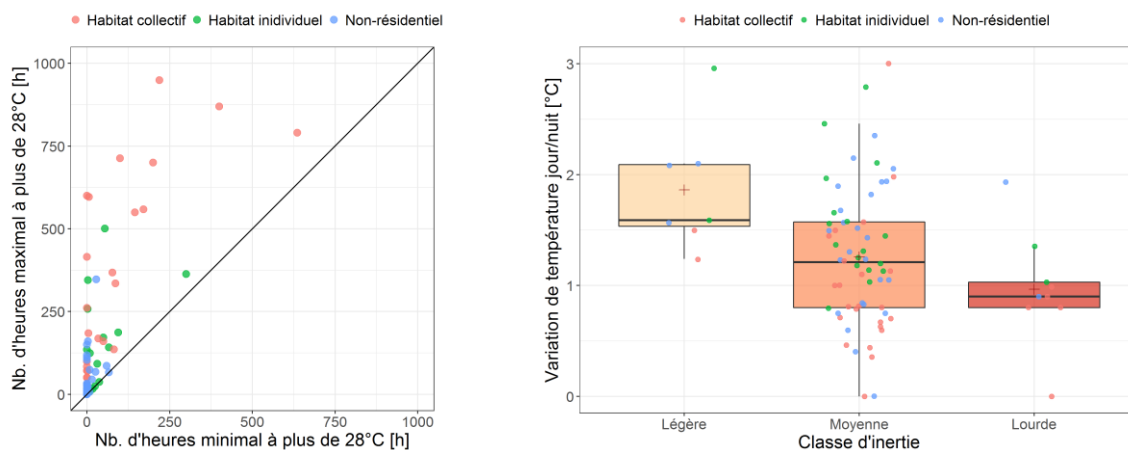


Figure 5 : Variation de la température au sein du même bâtiment moyennant le nombre d'heures à plus de 28°C (à gauche), et variation de température jour/nuit en fonction de l'inertie (à droite).

4. CONCLUSIONS

Pour le panel de 84 bâtiments performants suivis, les résultats montrent que le confort thermique hivernal est globalement jugé très satisfaisant par les occupants, en accord avec les mesures, du fait des niveaux d'isolation et la qualité des équipements de chauffage. Pour le confort thermique estival, les résultats sont plus mitigés. Les résultats des enquêtes montrent un inconfort généralisé ressenti dans près du quart des bâtiments résidentiels et non résidentiels. Concernant les indicateurs, en résidentiel, la méthode du confort adaptatif de la norme EN 15251 présente des résultats légèrement plus proches des enquêtes que le nombre d'heures à plus de 28°C. Cependant la comparaison entre les deux indicateurs montre des situations opposées pour un même bâtiment. D'une manière générale, les situations d'inconfort d'été sont observées dans les différentes zones climatiques sans que ça soit spécifique à la zone méditerranéenne. La forte isolation des bâtiments performants n'est pas nuisible au confort d'été mais le rend plus sensible à la qualité de la gestion thermique (l'utilisation des protections solaires et l'ouverture nocturne des fenêtres). Cette étude sera poursuivie l'année prochaine en élargissant le panel de bâtiment, et permettra ainsi d'approfondir l'analyse des indicateurs.

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ADEME et le ministère en charge de la construction pour leur soutien financier ainsi que tous ceux qui ont contribué à cette étude.

6. BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR. 2006. NF EN ISO 7730 - Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local.
- 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.
- Cerema. 2017. Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie PREBAT 2012-2016. France: Cerema.
- Moujalled, Bassam. 2007. « Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés ». Thèse de Doctorat, Villeurbanne, France: INSA de Lyon.