
ÉTUDE COMPARATIVE DES INDICATEURS DE CONFORT D'ÉTÉ, RÉGLEMENTAIRE ET MESURES IN SITU

Rapport Synthèse



Version 2

04 avril 2023

Table des matières

INTRODUCTION.....	3
I. METHODOLOGIE	4
II. DESCRIPTION DE L’ECHANTILLON.....	6
III. RETOURS SUR LES OUTILS ET METHODOLOGIE	7
1. AUDIT CONFORT	7
2. CAMPAGNES DE MESURE	10
3. SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	14
3.1. LA METHODOLOGIE DE LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	14
3.2. LES INDICATEURS ISSUS D’UNE SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	19
4. REGLEMENTATION THERMIQUE	20
5. PRINCIPAUX ENSEIGNEMENT ET AVIS SUR LES INDICATEURS ISSUS DE LA STD ET DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE	23
IV. RETOUR TECHNIQUE	26
V. CONCLUSIONS GENERALES	28

Introduction

L'association EnvirobatBDM a pour objectif d'améliorer la qualité globale des bâtiments en travaillant particulièrement sur le confort thermique en période estivale. Ayant des objectifs environnementaux et énergétiques forts, les actions menées par EnvirobatBDM visent à promouvoir les solutions passives de rafraîchissement.

Le confort d'été est pris en compte, notamment dans le cadre de la démarche BDM, dès la phase programmation. Les outils et méthodes utilisés en conception permettent en théorie de s'assurer que le confort peut être atteint.

La RE2020 ajoute de nouveaux indicateurs sur lesquelles les retours sont encore faibles et la question se pose sur la pertinence et l'efficacité de ces indicateurs pour concevoir un bâtiment confortable.

En effet, pour avoir un bâtiment confortable, des stratégies de confort d'été reposant sur la conception bioclimatique des bâtiments, l'isolation performante de l'enveloppe, la gestion de l'inertie, la ventilation, l'implication des usagers, ... sont mises en place. Mais en phase conception, de quelle manière et sous quelles conditions les indicateurs et les méthodes peuvent-ils permettre de bien concevoir ?

Et en phase usage, il se peut que le bâtiment construit, réhabilité ou restructuré n'assure pas aux usagers une ambiance confortable. Pourquoi ? Quels sont les paramètres qui ont évolués entre la conception et l'usage ? Comment remédier à l'inconfort ressenti ?

Surya Consultants a été missionné pour apporter des éléments de réponse à ces différentes questions.

Pour cela, 6 bâtiments ont été audités dans le courant de l'été 2022.

L'approche adoptée intègre trois grandes étapes : un audit confort, de la mesure de variables d'ambiance et des modélisations numériques (STD + réglementaire)

Le présent rapport correspond donc à la synthèse de l'ensemble des travaux et détaille les enseignements issus de ces travaux en anonymisant les projets.

I. Méthodologie

La méthodologie de la présente mission se décompose de la manière suivante :

Phase 0 : Sélection des bâtiments et recueil de données

Six bâtiments ont été sélectionnés pour réaliser ce retour d'expérience. Les bâtiments concernés ont été choisis dans le but d'avoir un échantillon suffisamment représentatif des bâtiments intégrant la démarche BDM. Ainsi les critères de choix des bâtiments retenus ont été : le typologie, le mode constructif, le traitement du confort d'été actif (climatisé ou non), le niveau BDM atteint (ce niveau donnant notamment une indication sur le traitement du confort d'été passif) et la situation géographique. Il a été pris en compte également la disponibilité de données projets, des acteurs de la conception et de l'exploitation.

Au total, 3 bâtiments tertiaires et 3 bâtiments de logements collectifs ont été audités. Leur description succincte est reprise à la partie suivante. Tous ces bâtiments sont des constructions neuves en exploitation depuis au moins de 2 ans.

Après la sélection des bâtiments, les données relatives aux différents projets ont été récoltées et analysées.

Phase 1 : Audit in-situ

L'audit in-situ a intégré les étapes suivantes :

- **Mesures (une quarantaine de capteurs déployés sur la période estivale)**

Cette étape a consisté à déployer des capteurs de mesure des conditions d'ambiance dans les bâtiments sélectionnés (cf. paragraphe III-2 du présent document).

Pour évaluer le confort estival d'un bâtiment, il est indispensable de réaliser le monitoring de conditions d'ambiance intérieure et extérieure durant la période estivale. Ce monitoring a été réalisé entre la mi-juin et la mi-septembre.

- **Visite**

La pose et la dépose des capteurs ont été l'occasion de réaliser deux visites de site. Ces visites permettent de vérifier que les données techniques fournies lors de la phase 0 sont conformes et de constater les éventuels écarts (détérioration, vieillissement, changement d'équipement, etc.). Ces visites permettent également de récolter à deux moments différents des informations sur l'usage du bâtiment (plannings d'occupation, fréquentation, etc.), sur les équipements en place, sur les masques aux alentours (bâtiments, état de la végétation après plusieurs mois/années d'exploitation) et tout autre élément nécessaire à une bonne évaluation des hypothèses de modélisation.

- **POE : audit confort**

L'évaluation du confort peut passer par les modèles numériques et les indicateurs associés mais il est primordial lorsqu'on audite des bâtiments existants de récolter l'avis des usagers. Cette consultation associée à la mesure et aux visites constitue un audit confort sociotechnique ou POE (Post Occupancy Evaluation).

En effet, celui-ci consiste à réaliser une évaluation du confort en site occupé, en croisant une vision "mesure", "qualité/satisfaction", "usages et comportements".

Pour cela, il a été déployé, en plus de la métrologie présentée précédemment, de la mesure subjective par questionnaire. Cette double approche permet de définir le confort des occupants et d'identifier les points d'inconfort s'ils existent. Cette partie est détaillée au paragraphe III-1 du présent document.

Phase 2 : Modélisation

La phase 2 de cette mission a consisté à étudier les différents projets numériquement à l'aide d'outils de conception et réglementaire. L'objectif étant d'étudier la qualité des indicateurs utilisés en amont de la construction puis de faire le parallèle entre 'indicateurs de conception' et 'indicateurs en exploitation'.

Les calculs réglementaires et les simulations ont été réalisés sur base de l'ensemble des éléments récoltés. Un modèle unique a été réalisé à l'aide du logiciel Pléiades. Ainsi la majorité des hypothèses sont partagés entre les différents modes de calculs : RE et STD.

Phase 3 : Synthèse

Les données ont été comparées et analysées pour en tirer des conclusions notamment sur la fiabilité des différents indicateurs, des outils et des méthodes. Le présent rapport est le livrable de cette phase.

II. Description de l'échantillon

Comme évoqué précédemment, 6 bâtiments ont été audités. Tous ces bâtiments ont été livrés et sont en exploitation. La liste de ces bâtiments est reprise au Tableau 1.

	Localisation	Typologie	Phase BDM/BDO	Niveau BDM
La Duranne - Art du temps	Aix-en-Provence	Logement	Usage	Or
Hameau Saint François	Draguignan	Logement	Usage	Argent
L'Espeli	Six-Fours les plages	Logement	Usage	Argent
Agence CAPCA Négadis	Draguignan	Tertiaire	Réalisation	Bronze
Siège d'Ecogia	Aubagne	Tertiaire	-	-
Maison Régional de la chasse et de la pêche	Montpellier	Tertiaire	Réalisation	Or

Tableau 1 : Liste des bâtiments audités



La Duranne – L'Art du temps

Agence Négadis



L'Espeli

Hameau St François



La Maison Régional de la chasse et de la pêche

Siège d'Ecogia



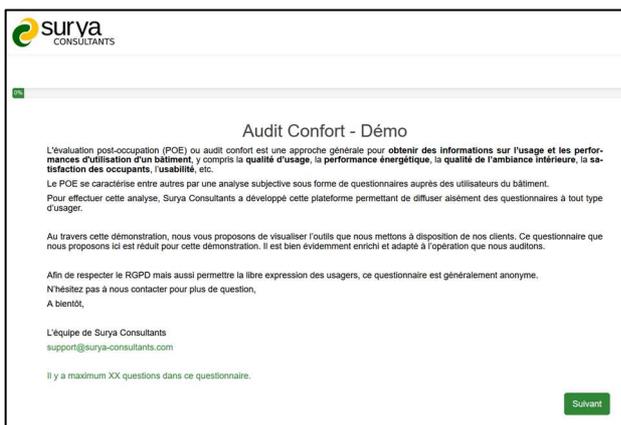
III. Retours sur les outils et méthodologie

1. Audit confort

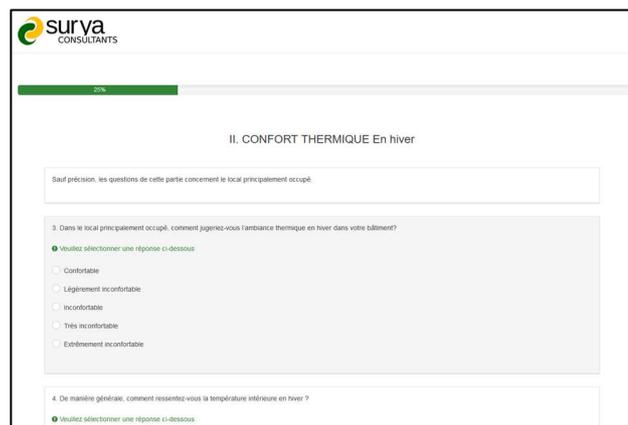
La méthodologie utilisée pour l'évaluation du confort en site occupé est la méthodologie dite POE pour Post Occupancy Evaluation. Cette évaluation post-occupation ou audit confort est une approche générale pour **obtenir des informations sur l'usage et les performances d'utilisation d'un bâtiment**, y compris la **qualité d'usage**, la **performance énergétique**, la **qualité de l'ambiance intérieure**, la **satisfaction des occupants**, l'**usabilité**, etc. Elle a été développée à partir du milieu des années 60 dans les pays anglosaxons (US + GB + Australie). Le POE s'intéresse particulièrement au ressenti des utilisateurs et à la mesure de différentes variables climatiques. Il permet de cibler les sources d'inconfort ainsi que les dérives d'usage afin de déduire des solutions d'amélioration du confort et des corrections des paramètres de régulation de l'ambiance.

La partie consultation des usagers a été réalisée à l'aide de questionnaire en ligne pour la majorité des projets (cf. Figure 1). Cet outil respecte en tout point la réglementation générale de la protection des données.

La diffusion a été réalisée par mail, affiches et/ou flyers. Pour les projets de logement, certains questionnaires ont été remplis par l'auditeur avec les usagers.



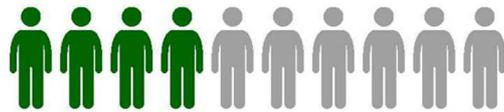
a- page d'accueil (accès depuis un ordinateur)



b- exemple de page de questions (accès depuis un ordinateur)

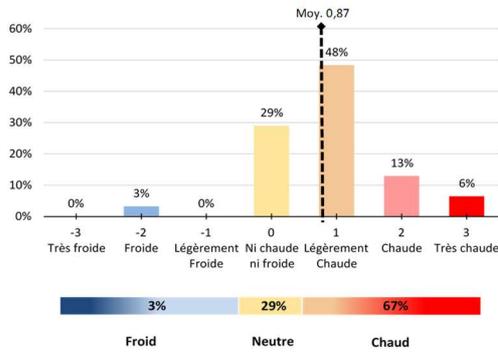
Figure 1 : Illustrations de l'outil de sondage mis en place

L'analyse a été réalisée en utilisant les indicateurs les plus pertinents en fonction des besoins. Vous trouverez ci-après différentes illustrations des indicateurs qui ont été utilisés.



40% de satisfaits

Ressenti en été et mi-saison



Jugement de l'ambiance thermique en été

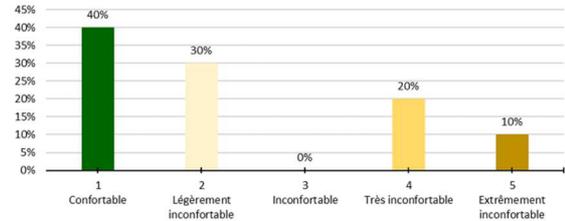


Figure 1 : De manière générale, comment jugeriez-vous l'ambiance thermique en été dans votre lieu de travail principal ? [% de répondants - 10 réponses]

Figure 1 : De manière générale, comment ressentez-vous la température intérieure en été et à la mi-saison ? [% de répondants - 31 réponses - médiane : légèrement chaude]

	Utilisent	N'utilisent pas	# de réponses
Occultation extérieure des fenêtres (stores extérieures orientables)	86%	14%	28
Variation de la température de consigne de la climatisation	85%	15%	26
Ouverture/fermeture des fenêtres	84%	16%	31
Marche/arrêt de la climatisation	69%	31%	26
Ventilateur portable s	54%	46%	28
Occultation intérieure des fenêtre	13%	87%	23
Appoint de rafraîchissement portable	12%	88%	26

Tableau 1 : Equipements utilisés pour influencer sur l'ambiance intérieure en été et mi-saison

Utilisation des stores extérieurs

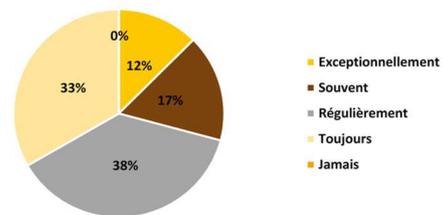


Figure 1 : Si votre bureau est équipé de stores extérieurs orientables, les utilisez-vous ? [% de répondants - 24 réponses]

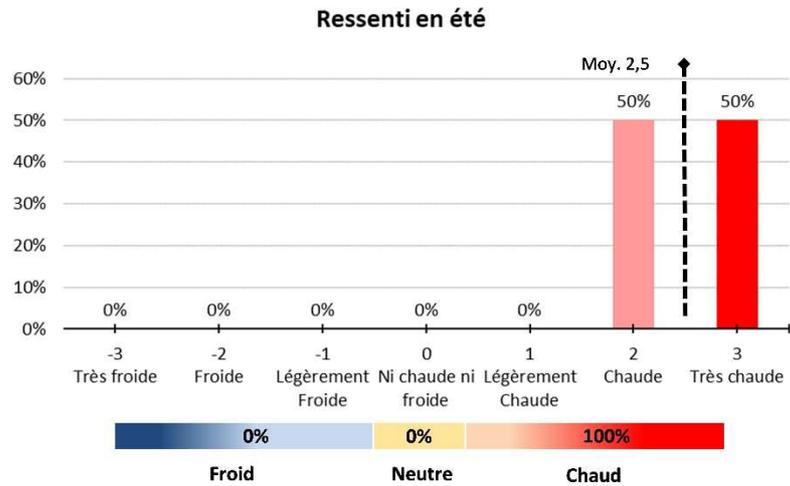
Figure 2 : Exemple d'indicateurs utilisés dans le cadre de l'analyse d'un POE

Plus de 40 personnes ont été interrogées, représentant suivant les bâtiments de 11% à 100% des usagers

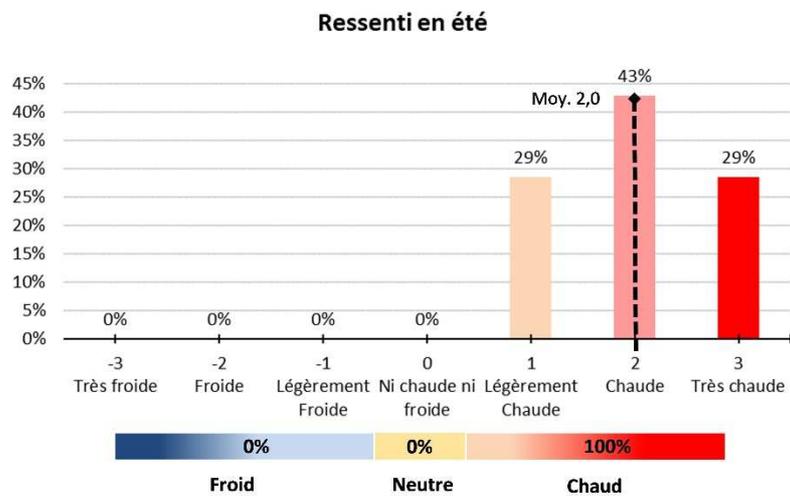
Principaux enseignements :

- Dans les logements, 100% d'utilisateurs-répondants se disent dans une situation d'inconfort sur 2 des projets audités. Pour le troisième, 60% d'utilisateurs-répondants sont en inconfort. Cet inconfort est un inconfort chaud à très chaud et est ressenti de couramment à fréquemment suivant les projet. Le Tableau 2 reprend la répartition des usagers suivant leurs ressentis thermiques pour les trois projets de logement.

a) *Projet logement 1*



b) *Projet logement 2*



c) *Projet logement 3*

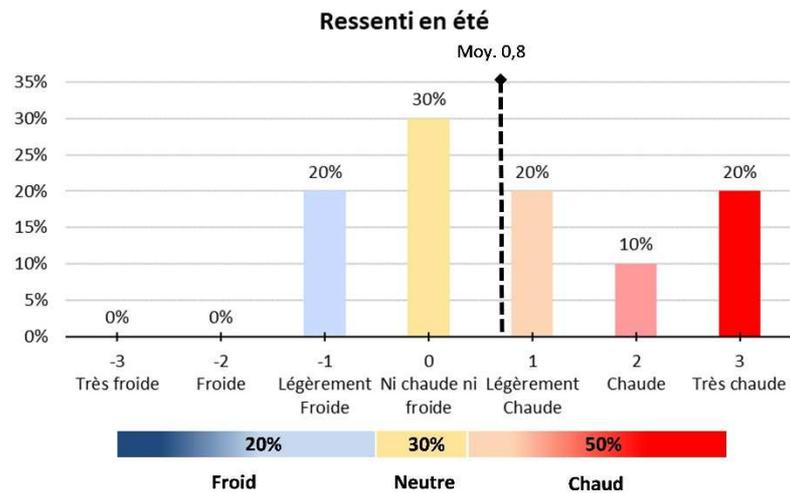


Tableau 2 : Répartitions des réponses à la question « De manière générale, comment ressentez-vous la température intérieure en été ? » [% des répondants par projet]

- Les retours sont différents dans les bâtiments tertiaires puisqu'ils sont climatisés ou rafraichis. Il est donc logique que 100% des usagers-répondants se déclarent dans des conditions de confort lorsque la climatisation est efficace, c'est-à-dire que celle-ci est en état de

fonctionnement et dimensionnée pour répondre aux besoins réels du bâtiment¹. **En revanche, une majorité de répondants déclare ressentir de l'inconfort thermique sur des courtes périodes (de l'ordre de quelques heures à plusieurs jours selon les cas)**. Cet inconfort peut être lié à :

- o un sous-dimensionnement de la climatisation comme expliqué précédemment,
- o des apports solaires directs sur des baies dont l'efficacité des protections solaires n'est pas optimum sur quelques heures de l'année,
- o une absence de contrôle de la température de consigne de la climatisation par l'utilisateur,

Sur les projets présentant de l'inconfort thermique, les usagers se plaignent de ne pas avoir de moyens à leur disposition pour palier aux manquements de l'équipement actif : impossibilité de ventiler en période nocturne, impossibilité de générer un flux d'air, etc.

Cette étape de l'audit confort a permis de qualifier la qualité des ambiances des bâtiments audités par la détermination d'indicateurs de confort adaptés à l'étude et d'identifier certains dysfonctionnements.

Cette analyse du ressenti a été couplée aux résultats du monitoring des conditions climatiques (intérieures et extérieures).

2. Campagnes de mesure

7 kits de capteurs Surya Monitoring® ont été déployés sur les différents sites sur l'été 2022.

Ces kits de mesure sont des kits autonomes et permettent d'enregistrer sur la période d'étude les conditions d'ambiance suivantes :

- Température [°C] et humidité de l'air intérieure [% et kg_{eau}/kg_{air}]
- Température [°C] et humidité de l'air extérieure [% et kg_{eau}/kg_{air}]



Figure 3 : Photo d'un capteur TH

Suivant les sites, un échantillonnage de locaux a été réalisé en fonction de l'orientation du local, de son activité, de sa position dans les étages, de sa typologie et de la présence des occupants. Des capteurs extérieurs ont également mis en place afin d'enregistrer les conditions météorologiques.

Par exemple pour l'un des projets étudiés comportant 39 logements et des locaux collectifs, 14 points de mesures ont été répartis entre les différents bâtiments avec au moins un point par niveau et orientation. De plus, pour ce cas particulier, deux points de mesure des conditions d'ambiance

¹ En effet, un cas de figure a été rencontré pour lequel la climatisation a été mise en place en cours de projet mais dimensionnée pour écrêter les pics de température. Or l'usage et l'évolution du projet font que la climatisation est aujourd'hui indispensable pour atteindre le confort et donc des puissances plus importantes sont nécessaires pour satisfaire le confort des usagers.

extérieures ont été mis en place afin d'évaluer l'impact des aménagements extérieurs sur le microclimat local. Ce choix de positionnement a été motivé par les retours des usagers au travers le questionnaire confort présenté ci-avant. Ainsi, il a pu être observé des différences de températures d'air extérieur allant jusqu'à 3°C sur le même site en journée. Les températures les plus élevées sont rencontrées le long d'une allée minérale non protégée du rayonnement solaire et ne présentant pas de végétation.

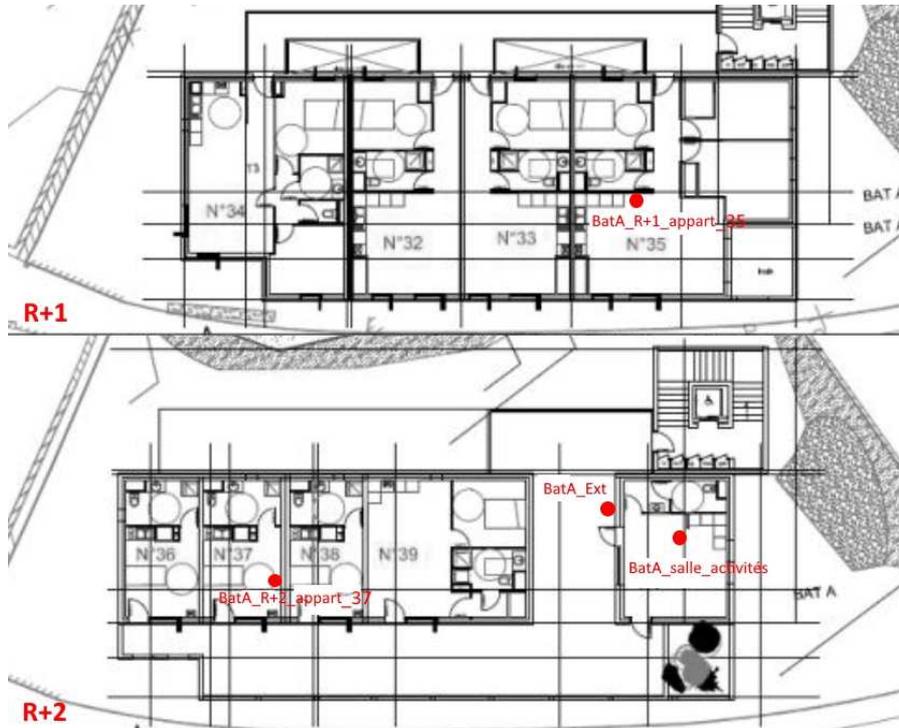


Figure 4 : Extrait du positionnement des capteurs sur un site étudié.

Au total, une quarantaine de points de mesures ont été déployés sur la période estivale.

Principaux enseignements :

- **Dans les logements, les habitudes des usagers diffèrent grandement d'un logement à l'autre. Pour une même conception et les mêmes règles d'usage théoriques, aucune évolution des conditions d'ambiance mesurées n'était similaire à une autre.** La Figure 5 illustre sur un bâtiment ce constat. Les trois évolutions des températures dans trois appartements montrent que l'usage de ceux-ci est très différent. Le premier appartement (courbe jaune) correspond à des usagers qui n'ouvrent pas les fenêtres en période nocturne pour décharger l'appartement, contrairement à ce qui avait été prévu. Les températures mesurées sont donc élevées, autour de 32°C sur la semaine d'observation. Le deuxième appartement (courbe vert foncé) correspond à des usagers ouvrant les fenêtres et utilisant les protections solaires mises à leur disposition. La température atteint certes des maximum proches des maximum de l'appartement jaune, mais elle descend très rapidement durant la nuit. Et enfin le troisième appartement (courbe vert clair) correspond à un appartement équipé d'une climatisation portable. Les températures dans cet appartement sont plus faibles que dans les deux autres. **L'analyse de la mesure permet donc comprendre les différents usages des locaux.** Dans ce cas précis, il est possible de conclure que la ventilation naturelle nocturne est possible et qu'elle permet de diminuer la température intérieure.

Toujours dans cet exemple, quelque soit l'usage de l'appartement concerné, les évolutions des températures restent élevées. Ceci confirme le retour des usagers par l'enquête confort, le bâtiment est en tant que tel 'inconfortable' en période chaude. **L'étude de la mesure permet de confirmer le retour des usagers (limitation des biais de consultation) et de qualifier (période, durée, etc.) et quantifier l'inconfort exprimé (amplitude, cumul, etc.).**

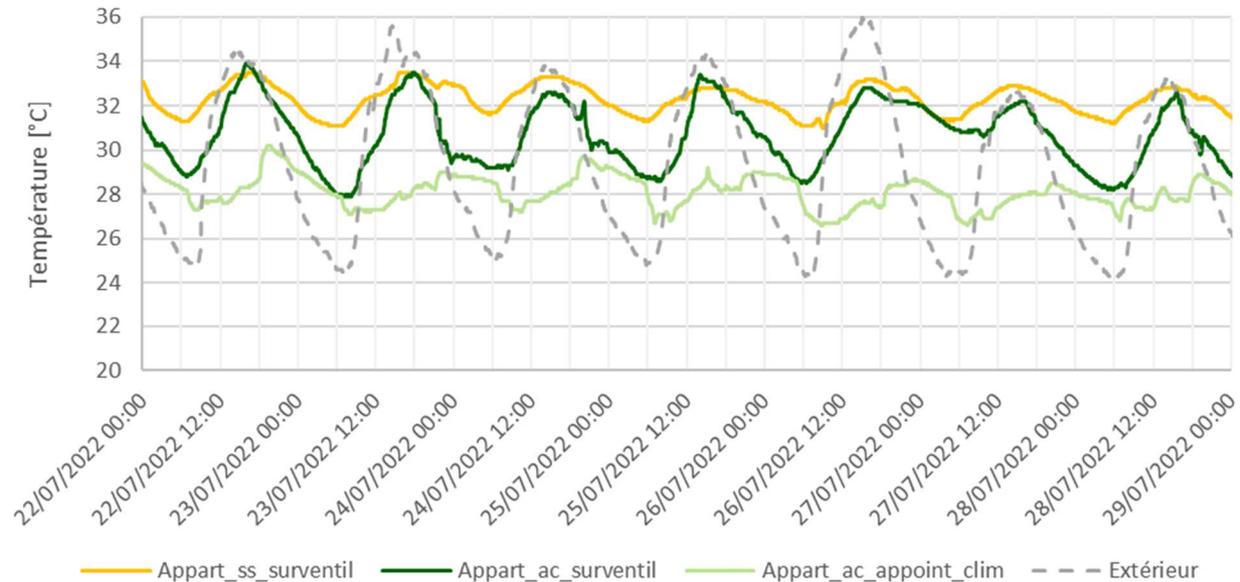


Figure 5 : Evolution des températures dans différents appartements d'un même bâtiment sur une semaine

- **Dans les bâtiments tertiaires climatisés et/ou rafraichis, l'étude des données de monitoring sera différente. En effet, les températures sont attendues stables. Les variabilités entre les espaces peuvent être expliquées par les causes suivantes :**
 - o **Étanchéité entre espace climatisé et non climatisé non optimum** (cf. point a- développé ci-après).,
 - o **Variabilité de la température de consigne (dans le cas d'un contrôle laissé à l'utilisateur)**
 - o **Ou encore l'impact des apports solaires dans les espaces non suffisamment protégés** (cf. point b- développé ci-après).

Le monitoring permet alors d'affiner l'exploitation du bâtiment évitant ainsi les variations de température liées à des contraintes externes à la climatisation et par ricochet limiter les consommations de climatisation.

- a- La Figure 6 illustre l'impact du manque d'étanchéité entre espace climatisé et non climatisé. Dans cet exemple, la courbe orange correspond à un espace ouvert sur l'extérieur, ici un espace d'accueil du public. Les portes extérieures de cet espace étant régulièrement ouvertes, la température constatée est proche de la température extérieure. La courbe verte correspond à un local climatisé éloigné de cet espace ouvert. L'évolution de la température dans ce local est maîtrisée par la mise en marche de la climatisation lorsque nécessaire et suivant le planning d'usage. La courbe jaune clair correspond à un espace climatisé proche de l'espace ouvert, orienté de la même manière que le local précédent. La comparaison des courbes jaune clair et verte permet de mesurer l'impact de la zone d'accueil sur les conditions d'ambiance des espaces. Une différence allant jusqu'à 2°C a pu être constatée en dehors des périodes de climatisation. Ce phénomène a été constaté dans les deux bâtiments accueillant du public.

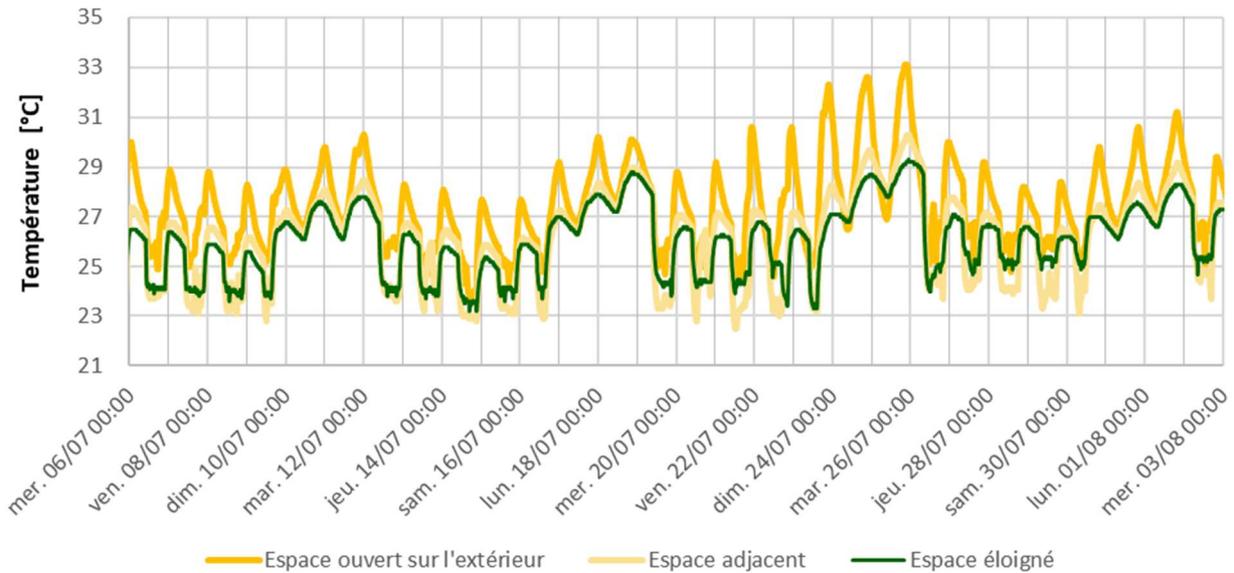


Figure 6 : Différences d'évolution des températures dans plusieurs locaux d'un même bâtiment suivant l'étanchéité de l'espace et sa proximité d'un espace ouvert sur l'extérieur

b- La Figure 7 illustre l'impact des apports solaires dans les espaces non suffisamment protégés. En effet, ce graphique représente d'une part l'évolution de la température dans une zone d'un local bien protégée des apports solaires (en jaune) et d'autre part l'évolution de la température dans une zone du même local mais non suffisamment protégée des apports solaires (en vert). Ces deux évolutions montrent des différences de température liées au rayonnement solaire direct capté par les baies. Comme le montre la représentation des ombres portées pour une heure estivale en début d'après-midi sur les baies de ce local (cf. Figure 8), la baie située à gauche de l'illustration n'est pas complètement protégée du rayonnement contrairement aux baies à droite. Le capteur dont les données sont représentées par la courbe verte se situe à proximité de la baie de gauche et celui dont les données sont représentées par la courbe jaune se situe à proximité des baies de droite. Dans ce cas et sur cette période, la différence de température constatée pour un même local peut atteindre 1,5°C.

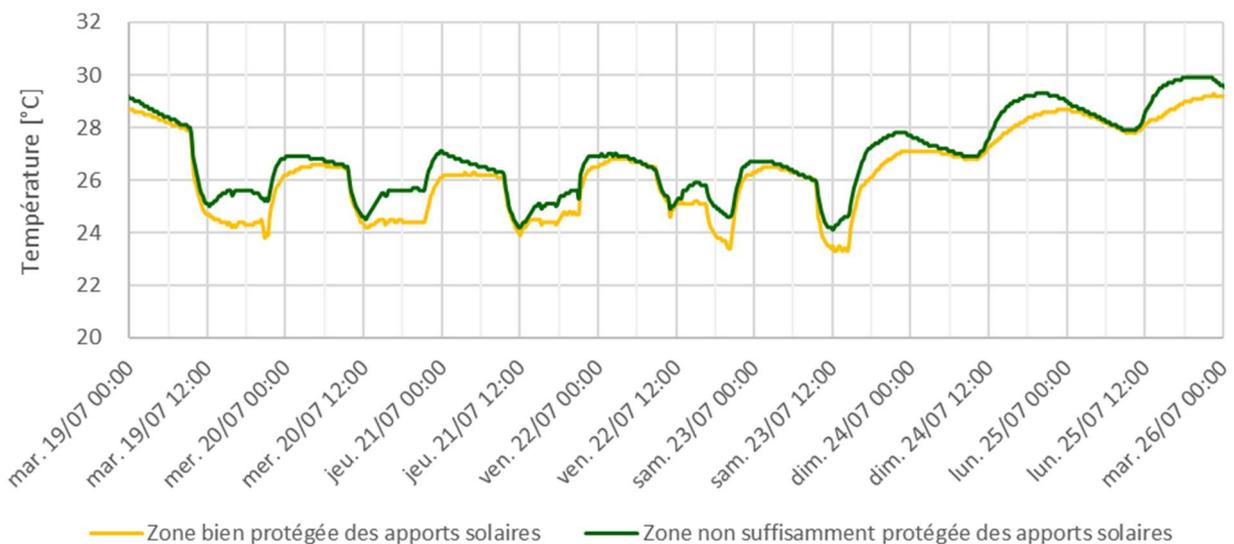


Figure 7 : Différences d'évolution des températures dans un même local suivant la protection solaire des baies de la zone

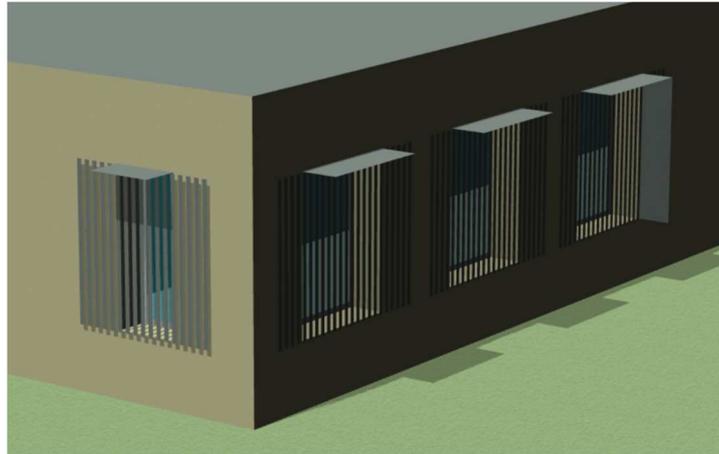


Figure 8 : Illustration de l'ombre portée en début d'après-midi sur différents vitrages d'un même espace.

Ces campagnes ont permis de comprendre les usages réels, de les analyser et de les formaliser. Couplées aux retours des usagers des bâtiments récoltés grâce aux POE, elles permettent d'évaluer et de quantifier l'impact de l'usage sur les conditions d'ambiance.

3. Simulation thermique dynamique

3.1. La méthodologie de la simulation thermique dynamique

L'un des objectifs de la présente mission est de comparer les résultats des études en termes de confort estival avec les ressentis des usagers en exploitation. Pour une majorité des projets, les modèles numériques de simulation thermique du bâtiment utilisés en conception ont été repris. Ces modèles correspondaient à des modèles réalisés à différentes phases des projets (soit en APS soit en APD). La mise à jour de ceux-ci a donc été la première étape. Cette mise à jour a consisté à valider le modèle à partir des observations réalisées sur site et des DOE. Les écarts constatés pouvaient aller d'une modification de taille de protections solaires jusqu'à la modification de la géométrie ou de la stratégie globale du confort estival (mise en place d'un équipement de rafraîchissement par exemple). Pour d'autre projet, le fichier de simulation n'était soit plus disponible ou inexistant, soit incompatible avec nos outils. Pour ces cas, un nouveau modèle a été créé.

Nota : Pour les modèles existants, il est à noter que les projets datant de plusieurs années, les logiciels de simulation et, de manière plus générale, les compétences et habitudes des opérateurs en bureaux d'études ont pu évoluer. Des mises à jour afférant à cette montée en compétence ont été nécessaires et ne seront pas nécessairement relevées dans cette présente synthèse.

Concernant les modèles existants, le premier constat que nous faisons de ce recueil de données est que les études thermiques ne sont généralement réalisées que pour les premières phases du projet. La réalisation de ces études durant ces phases est essentielle et peut être suffisante si les modifications apportées aux projets restent limitées. Dans le cas de modifications importantes apportées au projet, la performance de celui-ci peut clairement être revue et l'absence de vérification après modifications peut être dommageable en termes de confort mais aussi de consommations. Actuellement, l'économie des projets, la structuration des équipes de conception et la ventilation des honoraires ne permettent souvent pas la mise à jour de ces études en cours de projet. Ce constat questionne l'ensemble de l'acte de construire : **comment faire en sorte de se donner de la souplesse pour pouvoir s'adapter aux contraintes des projets en cours de conception ?**

Toujours pour les projets existants, dans un premier temps, les simulations ont été lancées sans modifier les modèles reçus (hormis les modifications liées aux évolutions des logiciels évoquées précédemment). Les niveaux des indicateurs issus de ces simulations ont présenté quelques différences avec les niveaux présentés dans les rapports de STD fournis par les équipes de conception. La principale cause identifiée de ces différences est le fichier météorologie pris en compte. En effet, suivant la source de ces fichiers et les caractéristiques prises en compte pour sa génération, des différences peuvent être observées. Dans le cadre de cette étude, des fichiers météorologiques représentant les conditions météorologiques locales ont été générés pour chaque projet. Mais cette approche n'est pas nécessairement commune. Il est courant d'utiliser des fichiers météorologiques disponibles dans les bases de données des logiciels qui sont alors des fichiers régionaux et/ou réglementaires, ne prenant alors pas en compte les particularités locales. Or ces particularités ont un impact important sur les climats présagés. A titre d'exemple, pour la ville de Marseille, trois zones climatiques peuvent être considérées, et si on ne considère que la température de l'air, des différences de 1°C peuvent être observées sur la température moyenne mensuelle (cf. Figure 9). **La présente étude met donc en avant l'importance des fichiers météorologiques sur les résultats des études et donc sur la conception.**

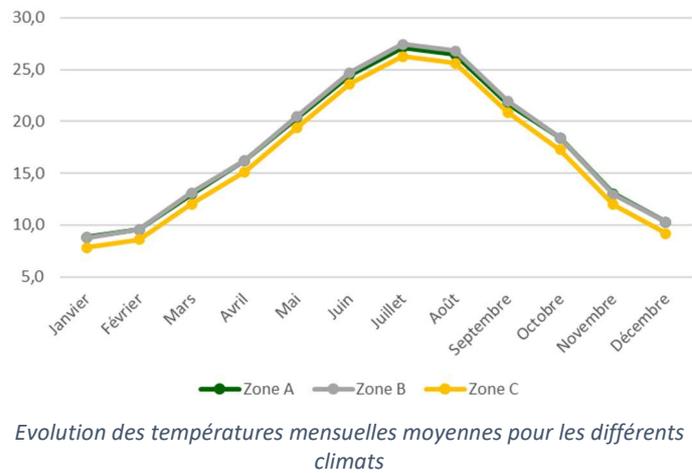
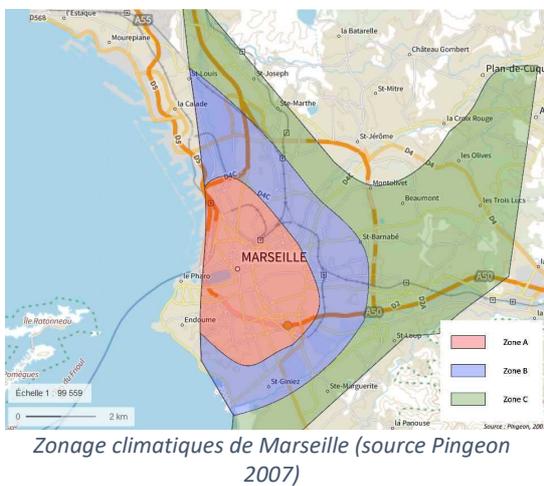


Figure 9 : Climats de la ville de Marseille

L'analyse des fichiers de modélisation existants a également montré l'importance de la bonne prise en compte des usagers et de leur action dans les étapes de conception. En effet, l'utilisateur est pris en compte à plusieurs niveaux dans les modèles :

- Au niveau des apports internes directs. L'utilisateur dégage de la chaleur dont la quantité est liée à son métabolisme, son activité, sa vêtue et les conditions d'ambiance.
- Au niveau des apports internes liés aux équipements. Les équipements dégagent également de la chaleur en quantité plus ou moins importante en fonction de leurs utilisations par les usagers.
- Au niveau de l'efficacité des dispositifs et équipements de régulation de l'ambiance mis à sa disposition. En effet, si une ventilation naturelle est prévue par l'aération, il est nécessaire que l'utilisateur soit présent et qu'il agisse pour la mettre en œuvre.

Pour les deux premiers points, plusieurs modèles et valeurs existent et font consensus dans le secteur.

Pour le troisième point, certaines stratégies, notamment de protection solaire et de décharge thermique par ventilation naturelle sont totalement dépendantes de l'utilisateur. Il faut donc bien le prendre en compte. **La présente étude a pointé du doigt deux causes d'écarts liés à cette prise en compte : la première est relative à la formation de l'utilisateur et la seconde à la modélisation de son action.**

En effet, dans tous les projets, il a été observé, grâce aux premières étapes de la mission, plusieurs cas de 'non-usage' des équipements prévus et mis à disposition. Ce point sera détaillé dans la dernière partie de ce présent rapport (partie IV).

La problématique de la modélisation de l'action de l'utilisateur est en revanche directement liée à la méthode de conception. Dans plusieurs modèles, l'action de l'utilisateur a fait l'objet d'une modélisation plus proche de l'action d'un automate que d'un humain. L'exemple le plus symptomatique concerne l'ouverture des baies vitrées permettant la décharge thermique du bâtiment. Celle-ci a été, dans plusieurs cas, modélisée à l'aide d'une loi de régulation fine que seul un automate peut assurer (cf. exemple de la Figure 10). La loi de régulation illustrée par la Figure 10 est proposée par les logiciels car elle correspond à la loi utilisée par la réglementation mais elle n'est pas représentative de l'usage. En effet, pour présenter qu'une seule action, elle estime que l'utilisateur va ouvrir la fenêtre à 100% pour décharger si la température opérative ressentie par l'utilisateur est supérieure à 26°C et que la température extérieure est inférieure à la température intérieure moins 6°C et supérieure à 16°C... Et ce, à chaque fois que ces conditions se retrouvent. Cette modélisation est trop précise pour représenter convenablement l'action d'un humain en intégrant ces contraintes individuelles, ces choix et ces souhaits ainsi que la variabilité et l'imprécision de sa perception des conditions d'ambiances intérieures et extérieures. **L'écart avec la réalité est donc important.**

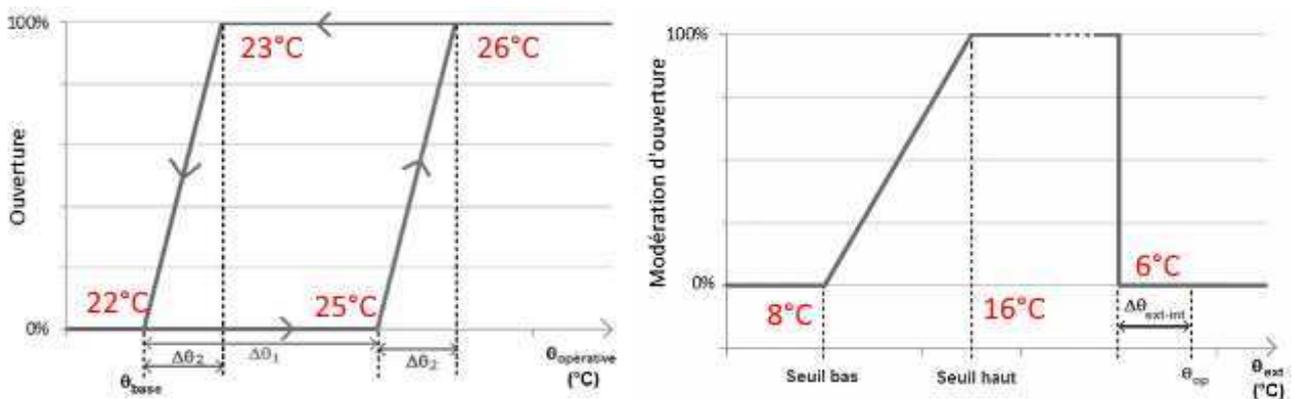


Figure 10 : Illustration de la loi de régulation des ouvrants en période estivale

Différentes solutions existent pour prendre en compte toute la diversité des occupants et de leurs actions. Il est par exemple plus pertinent d'utiliser des scénarios liés à la présence uniquement et/ou des scénarios probabilistes réduisant alors la marge d'erreur possible.

Pour bien prendre en compte l'utilisateur et son action, il est, dans tous les cas, nécessaire de bien estimer sa présence. Par exemple, dans le cadre des logements, la réglementation propose des scénarios d'occupation standards, correspondant à un usage classique de logement : absence des occupants les matins et les après-midis et présences en dehors de ces plages. Or cet usage peut ne pas correspondre à l'usage réel des logements étudiés. En effet, sur les différents projets de logements audités, des occupants étaient présents en journée lors des deux visites. Ces occupants étaient soit retraités, soit en situation de handicap induisant une présence prolongée dans les logements ou encore des personnes sans activité professionnelle. Or dans le cas d'une présence prolongée, les apports internes en journée sont logiquement plus importants et le confort doit être évalué sur une plus longue période. Ces situations n'ont pas été étudiées en conception. Autant pour certains projets, ces situations restent marginales et sont difficiles à anticiper ; autant pour certains projets, la population identifiée peut imposer naturellement l'étude du projet en prenant en compte, soit de base soit dans une étude de sensibilité, ces situations particulières. **La présente étude met donc en avant l'importance de la bonne de définition des hypothèses d'usage, validées par la maîtrise d'ouvrage et/ou les usagers si cela est possible.**

La prise en compte de l'humain est une réelle difficulté en conception. En effet, dans le cas de plusieurs études de conception étudiées dans le cadre de cette mission, l'usage avait été modélisé comme un usage qui peut être qualifié de 'parfait'. Dans ce cas, la simulation thermique dynamique permet d'obtenir des profils de températures similaires pour deux logements similaires. La Figure 11 l'illustre. Sur cette figure est présente les évolutions de températures obtenues par la simulation dans deux logements similaires. Elles correspondent aux courbes continues vertes.

Ces évolutions sont comparées aux évolutions de températures intérieures réelles mesurées lors d'une semaine similaire (amplitude de température extérieure semblable). Sur la Figure 11, l'évolution de la température extérieure du fichier météorologique de simulation correspond à la courbe pointillée verte et celle mesurée à la courbe pointillée jaune.

Les courbes continues jaunes correspondent aux évolutions de températures intérieures réelles mesurées dans deux logements d'un même projet.

Cette représentation permet de se rendre compte que le profil de températures mesurées dans un logement où l'usage correspond aux simulations (courbe jaune continue basse) est similaire à l'évolution des températures simulées. Mais que dans le cas d'un usage différent (courbe jaune continue haute), des différences de températures allant jusqu'à 6°C pour une même heure peuvent être observées. Les visites ont permis de constater que les appartements dans lesquels les capteurs ont été posés sont bien similaires aux appartements modélisés et que par conséquent la différence de profil est bien liée à l'usage qui est différent.

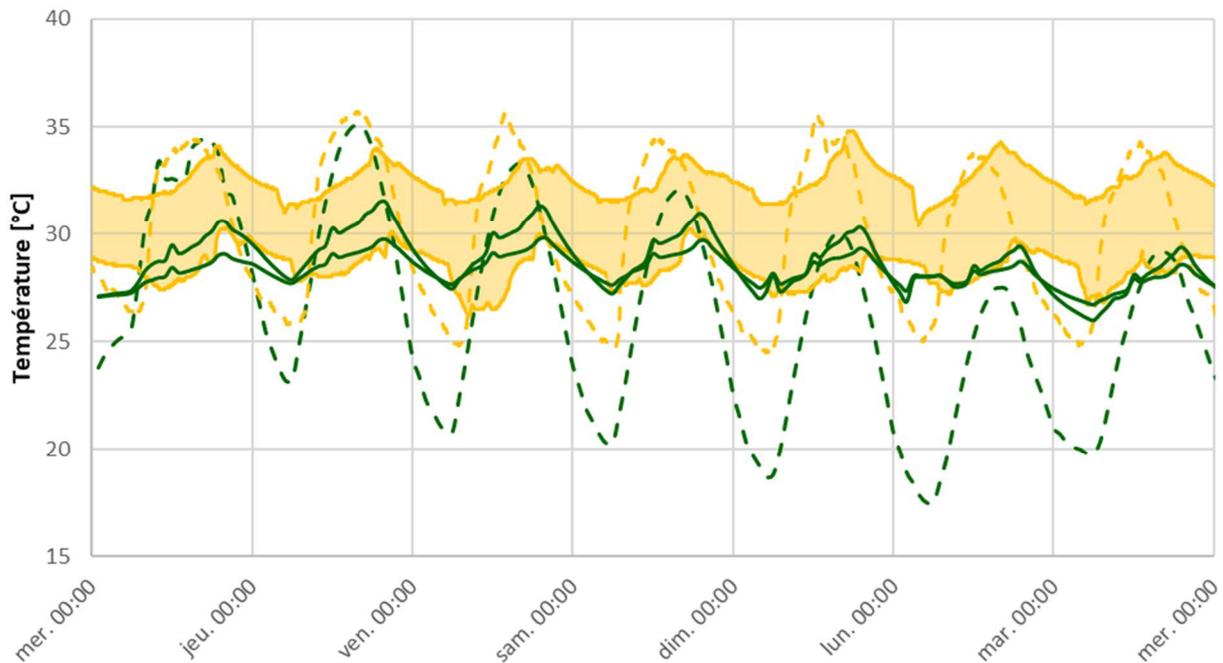


Figure 11 : Comparaison des évolutions des températures entre la STD et la mesure in-situ pour un bâtiment sur une semaine

Pour la présente mission, il a été nécessaire de calibrer les STD en fonction des DOE et des usagers (présence, nombre d'occupants et apports internes) en ayant pour objectif d'avoir une correspondance entre les évolutions de températures obtenues par simulation et celles obtenues lors du monitoring sur une période présentant des évolutions météorologiques proches. Dans cet objectif, au moins deux cas de figure ont été modélisés : le premier correspondait à une action de l'utilisateur 'parfait' comprenant le fonctionnement de l'équipement et son rôle dans son bon fonctionnement. Le second correspondait à l'attitude totalement inverse, un usager qui n'utilise pas l'équipement ou mal. Notons que ce cas de figure se rencontre régulièrement pour différentes raisons : mauvaise compréhension du fonctionnement de l'équipement par l'utilisateur, usage en décalé en raison d'absence ou de mauvaise appréhension des phénomènes ou bien encore impossibilité de le faire en

raison de contraintes extérieures (bruits ou risque d'intrusion pour l'ouverture des fenêtres ou bien encore crainte des moustiques en période estivale dans le cas d'ouverture des ouvrants, etc.).

Les évolutions des températures mesurées dans les différents locaux devant alors se situer alors entre l'évolution des températures avec un usage 'parfait' et celle des températures avec un usage 'dégradé'. La Figure 12 illustre cette approche. Toujours pour la même semaine qu'utilisée précédemment sur le même projet, les courbes jaunes continues correspondent à des évolutions de températures mesurées et les courbes vertes continues à des évolutions de températures issues de la STD avec un usage pouvant être qualifié de 'parfait' (courbe du bas) et un usage qualifié de 'dégradé' (courbe du haut). Dans ce cas, les évolutions réelles se situent, pour des locaux similaires, entre les deux courbes issues de la modélisation pour les même locaux mais avec des usages différents.

Ainsi, cette approche a permis pour chaque projet d'avoir une plage de concordance entre les résultats de l'audit confort, la mesure des conditions d'ambiance et de la modélisation numérique.

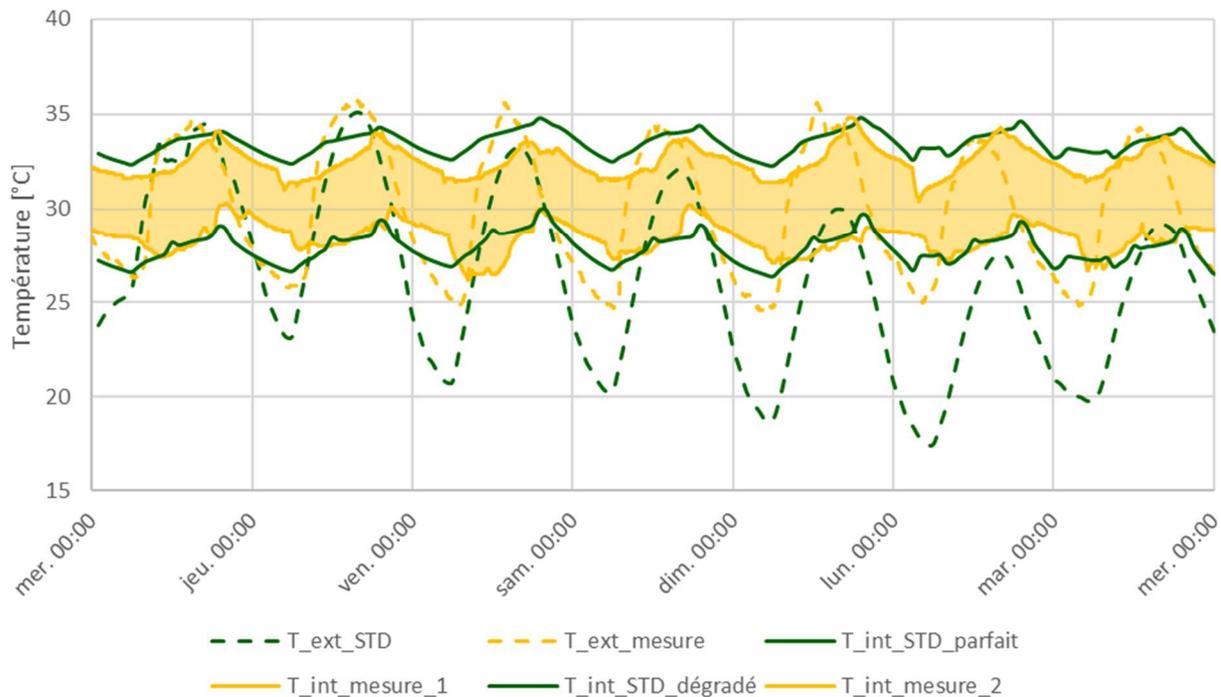


Figure 12 : Comparaison des évolutions des températures entre la STD et la mesure in-situ pour un bâtiment sur une semaine suivant l'usage

Il est donc difficile d'évaluer le confort d'un bâtiment sur base de scénarios d'usage idéaux. Cette étude permet donc de confirmer que l'utilisation d'études de sensibilité est primordiale en conception². Il semble néanmoins difficile, à l'heure actuelle, d'associer à ces études de sensibilité des objectifs intangibles permettant d'éviter les dérives de performance en cas d'écart à la simulation initiale. Mais celles-ci doivent être utilisées par les concepteurs pour estimer les dérives potentielles d'usage et d'anticiper les solutions pouvant y remédier. En effet, des solutions peuvent être, dans certains cas, intégrées directement dans le projet de construction ou bien tout simplement prévues. Par exemple, des attentes pour l'installation de brasseurs d'air plafonniers peuvent être, aisément et sans surcoût substantiel, prévues dès la conception. De la même manière des attentes pour le branchement d'un système de rafraîchissement peuvent être prévues sur les équipements de CVC initiaux. Cette dernière proposition permet de simplifier la mise en place d'un tel système s'il est avéré que cela soit nécessaire en exploitation.

² Etudes imposées par le 'guide de bonnes pratiques STD' et le 'cahier des charges STD BDM'
Rapport – Synthèse

La présente étude a montré que la simulation numérique permet de représenter les fonctionnements réels du bâtiment avec un ensemble d'hypothèses justifiées et proches de l'usage réel mais également avec une méthodologie de modélisation rigoureuse. En effet, certains écarts constatés entre les températures issues des modélisations de la phase conception et les températures mesurées en exploitation ont été expliqués par des choix de modélisation discutables (exemple : suppression des apports internes pour l'évaluation du confort thermique estival).

Ce constat permet de confirmer l'importance de la méthodologie présentée dans le 'cahier des charges de simulation thermique dynamique'.

Notons que les études de l'ensemble des projets analysés ont été réalisées entre 2014 et 2018, c'est-à-dire avant la parution du 'guide de bonnes pratiques STD' et du 'cahier des charges STD BDM'. De plus, ces dernières années, globalement le secteur est monté en compétence sur ces sujets. Il n'est donc pas dit que les partis pris constatés soient encore pris aujourd'hui. **Cela questionne en revanche sur le besoin de la validation/vérification de la démarche et peut-être des modèles numériques dans la processus de reconnaissance d'un niveau BDM ;** notamment lorsque leurs résultats permettent d'atteindre les reconnaissances les plus hautes de la démarche BDM.

3.2. Les indicateurs issus d'une simulation thermique dynamique

A partir des données issues de la simulation, les études éditent des indicateurs 'confort' permettant de conclure quant au confort du bâtiment.

La présente mission s'est concentrée sur l'étude de l'efficacité et de la pertinence des indicateurs utilisés actuellement dans la démarche BDM. En effet, elle ne s'est pas attachée à détailler la théorie sur le confort ainsi que les différents indicateurs s'y afférant.

Le premier indicateur utilisé dans la démarche BDM correspond au pourcentage et nombre d'heures d'occupation où la température opérative intérieure dépasse une température de confort de 28°C par zone thermique.

L'outil BELUGA indique que ce nombre d'heures n'excédera pas 120h pour le logement, 100 pour l'enseignement, 180h pour le tertiaire pour le niveau Argent et 60h pour le logement, 50h pour l'enseignement, 90h pour le tertiaire pour le niveau Or. Les valeurs par zone thermique sont obtenues pour l'année sans climatisation et en occupation.

Le Tableau 3 reprend les valeurs de cet indicateur pour quelques locaux sélectionnés parmi l'ensemble des locaux étudiés dans le cadre de cette étude. Cette sélection n'a pas pour ambition d'être représentative d'un ou plusieurs projets. Les locaux choisis l'ont été uniquement pour l'information qu'ils permettaient d'illustrer.

Parmi ces locaux, 4 permettent d'atteindre le niveau Or de la démarche BDM, 1 le niveau Argent et 1 ne permet pas de prétendre à l'un de ces deux niveaux.

Or, les deux locaux n'atteignant pas le niveau Or de la démarche sont des locaux situés dans un bâtiment reconnu par la démarche au niveau Or.

Pour le projet atteignant un nombre d'heures supérieures à 28°C de 1 526, cette valeur est confortée par le retour des usagers qui considèrent à 100% être dans un bâtiment inconfortable. En revanche, l'étude plus fine des températures avec notamment l'étude des occurrences de températures montre que la température maximale atteinte dans ce local est de 31,6°C et que si des équipements de brassage d'air permettant de générer une vitesse d'air supérieure à 1m/s sont mis en place le confort des usagers peut être atteint.

Pour le projet atteignant juste le niveau Argent avec 164h où la température est supérieure à 28°C, la température maximale atteinte est inférieure à 30°C et 73% des usagers seront en situation de

confort sans aucune vitesse d'air générée au sens de Givoni. L'atteinte du niveau Or serait alors atteint avec des brasseurs d'air plafonniers par exemple.

Pour les autres locaux étudiés, le confort est atteint au sens du nombre d'heures supérieures à 28°C. En revanche, pour les logements, de l'inconfort est constaté par les usagers (attention l'inconfort est constatée au niveau du bâtiment, non nécessairement au niveau du local étudié). Cet inconfort s'explique pour l'un des logements par le fait que la température maximale constatée est supérieure à 31°C et que seul 60% du temps d'occupation en période estivale est situé dans la zone de confort au sens de Givoni pour une vitesse d'air de 0m/s. Et pour l'autre local, ceci peut s'expliquer par le fait que seul 75% du temps d'occupation en période estivale est situé dans la zone de confort au sens de Givoni pour une vitesse d'air de 0m/s et que la période d'occupation choisie pour les études ne correspond pas à la période d'occupation réelle des logements. En effet, ce local particulier est occupé en permanence par une personne en situation de handicap or pour les études, un occupation de logement standard a été choisie. Or si la période d'occupation augmente, le nombre d'heure d'inconfort augmentera nécessairement. Il est également important d'indiquer que pour les publics fragiles les seuils d'inconfort sont différents d'une personne lambda. L'indicateur du nombre d'heures supérieures à 28°C ne permet pas de prendre en compte cette particularité.

L'analyse des deux premiers locaux situés dans des bâtiments tertiaires est identique à la différence près que les retours des usagers prennent en compte le fait que les bâtiments étudiés sont climatisés et/ou rafraichis.

	Nb. D'heures > 26°C	Nb. D'heures > 28°C	Nb. D'heures > 30°C	Température maximales [°C]	% d'heure dans la zone de confort pour...		% d'usager en condition de confort ³
					v=0m/s	v=1m/s	
Exemple logement 1	304	0	0	27,8	75%	100%	33%
Exemple logement 2	578	60	30	31,2	60%	97%	40%
Exemple logement 3	2593	1526	236	31,6	41%	100%	0%
Exemple bureau tertiaire 1	308	17	0	30,8	54%	100%	100%
Exemple bureau tertiaire 2	549	164	0	29,9	73%	100%	100%
Exemple bureau tertiaire 3	172	2	0	30,1	66%	99%	82%

Tableau 3 : Exemples de résultats des indicateurs 'confort' pour quelques locaux de différents projets de l'échantillon d'étude

4. Réglementation thermique

La RE2020 propose 4 indicateurs :

- DH : Degrés-heures d'inconfort : somme de l'écart entre la température opérative du groupe et la température de confort adaptatif
- $Ndh_{inconft}$ + : nombre d'heures de dépassement de la valeur seuil.
- $Ndh_{inconft+1C}$ + : nombre d'heures de dépassement de la valeur seuil de plus de 1°C.
- $Ndh_{inconft+2C}$: nombre d'heures de dépassement de la valeur seuil de plus de 2°C.

Seul l'indicateur DH présente des seuils obligatoires à respecter. Les trois autres indicateurs sont qualifiés de 'pédagogiques'.

³ Données globales pour les bâtiments issues des questionnaires confort des POE
Rapport – Synthèse

L'arrêté du 4 août 2021 définit « l'indicateur degrés-heures (DH) comme permettant d'évaluer l'inconfort ressenti en été par les occupants. Selon la valeur de cet indicateur, le groupe [au sens de la RE] peut être considéré comme ayant un confort assuré sans refroidissement complémentaire (valeur inférieure au seuil bas), être non réglementaire (valeur dépassant le seuil maximal), ou présenter un niveau d'inconfort significatif en cas de période caniculaire. Dans ce dernier cas, le calcul de consommation énergétique tient compte de consommations forfaitaires de froid » (cf. Figure 13)

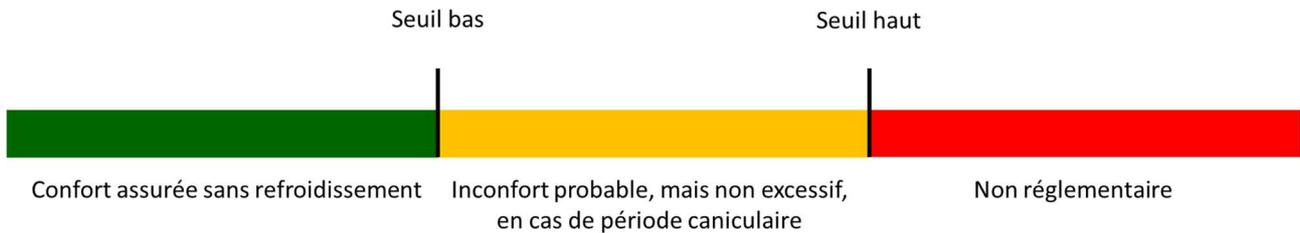


Figure 13 : Schéma de caractérisation du confort défini par la RE2020

Cet indicateur est calculé heure par heure, sur l'année, en comparant la température opérative du groupe et la température seuil opérative de confort, éventuellement corrigée (dans le cas pour le moment uniquement de la présence de brasseurs d'air plafonniers). La température seuil opérative de confort est définie en fonction de la température extérieure glissante (lorsque $Text_glissante > 16^{\circ}C$). En réalité, les limitations intégrées à la RE contraignent l'adaptation de l'utilisateur au climat à une plage de température restreinte (entre $16^{\circ}C$ et $22^{\circ}C$ de température glissante, la température seuil varie entre $26^{\circ}C$ et $28^{\circ}C$ en période diurne – cf. Figure 14)

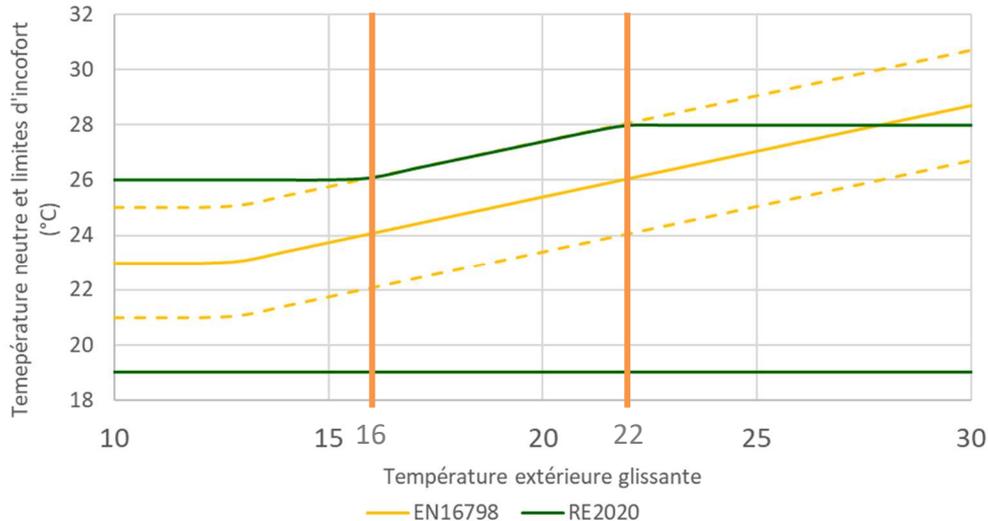


Figure 14 : Comparaison des limites de confort de la réglementation environnementale 2020 et de la norme EN16798

« Si la température du groupe à l'heure considérée est supérieure au seuil durant les heures d'occupation du bâtiment, l'indicateur est incrémenté de l'écart observé. On obtient donc un nombre de degrés-heures annuels de dépassement de la température seuil de confort, correspondant à l'indicateur DH. »

Il faut noter également que la détermination de cet indicateur est faite en utilisant un fichier météorologique spécifique intégrant un épisode caniculaire (cf. Figure 15).

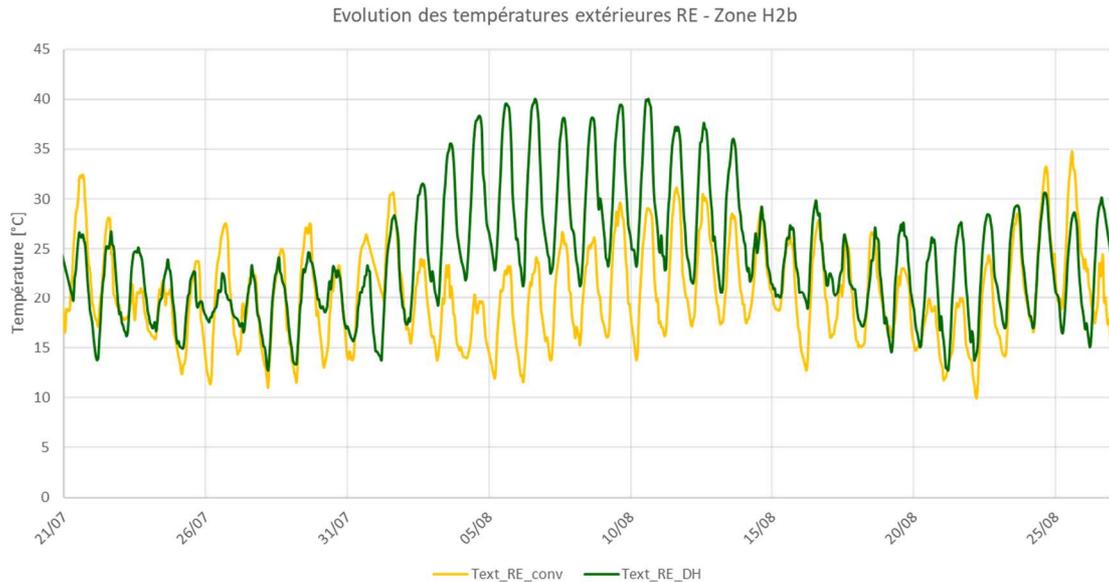


Figure 15 : Comparaison des évolutions des températures considérées pour le calcul conventionnel de la RE2020⁴ et la détermination de l'indicateur DH.

Les projets étudiés dans le cadre de la présente étude ont été conçus avant l'entrée en vigueur de la RE2020. Logiquement, aucun calcul suivant cette réglementation n'avait été réalisé. **L'objectif de la présente étude étant d'évaluer la pertinence et l'efficacité des différents indicateurs d'évaluation du confort thermique dans les bâtiments, un calcul suivant la RE2020 a été réalisé spécifiquement pour chaque projet.**

Sur les 6 projets étudiés, 5 projets ont respecté, dès le premier calcul, le seuil haut du DH imposé par la réglementation (cf. Figure 16 et Figure 17). Il faut noter que pour le bien de ces calculs, les ouvrants ont été définis comme ouvrables et par conséquent le scénario d'ouverture présenté ci-avant, a été considéré (cf. Figure 10). Cette surestimation de l'usage permet de valider le critère dans tous ces cas.

Or pour rappel, de l'inconfort est constaté dans l'ensemble des bâtiments (pour ceux équipés de systèmes actifs, cette conclusion est faite à partir des résultats issues de STD sans les équipements de climatisation).

Pour le projet ne passant pas le seuil (noté « Igt 3 » sur la Figure 16), la raison principale identifiée, qui explique le non-respect de l'objectif réglementaire, est relative à la protection solaire. En effet, sur ce projet, les protections solaires des ouvrants sont toutes mobiles et liées à l'utilisateur. De plus, les vitrages présentent un facteur solaire moyen. La réglementation impose désormais un facteur solaire minimum pour les baies. Dans ce cas, celui-ci n'est pas respecté, l'indicateur DH est alors d'autant plus impacté.

Notons également que pour les bâtiments tertiaires, l'ensemble des bâtiments respecte ce critère puisqu'ils ont été, dès le début ou en exploitation, équipés de climatisation. Sans cet équipement, le confort n'était pas assuré d'après cet indicateur.

De plus, aucun des bâtiments audités ne respecte le seuil bas de la réglementation, ainsi un forfait de consommation d'une hypothétique climatisation est ajouté à l'indicateur Cep. Ce forfait représente entre 4 et 9% du Cep_max autorisé par la réglementation. Celui-ci peut donc remettre en

⁴ Le fichier conventionnel étant utilisé dans le mode de calcul Th-B (détermination du Bbio + besoins) et Th-C (détermination des consommations + bilan BEPOS)

question le respect de la réglementation non pas au regard de l'indicateur DH mais de l'impact de ce dernier sur le critère Cep.

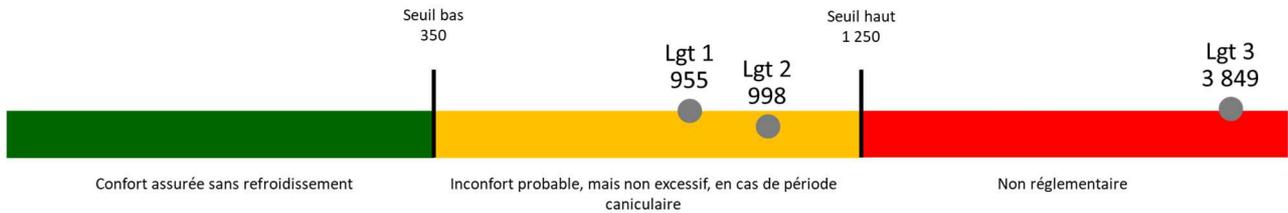


Figure 16 : Scores des projets de logements collectifs audités comparés aux seuils



Figure 17 : Scores des projets tertiaires audités comparés aux seuils

A la lumière de ces constats, les indicateurs tels que définis et calculés par la RE2020 ne permettent pas de s'assurer du confort des usagers en exploitation.

5. Principaux enseignement et avis sur les indicateurs issus de la STD et de la réglementation thermique

L'évaluation du confort est essentielle dans un projet de construction et complexe en phase de conception. Néanmoins, les études réalisées pour cette présente mission ont démontré une corrélation forte entre retour des usagers, mesures des conditions d'ambiance en exploitation et résultats de simulations thermiques dynamiques réalisées selon le 'cahier des charges STD BDM' et avec des hypothèses d'usage proches de l'usage réel. **Cette étude permet donc de confirmer que l'outil de simulation thermique dynamique associée à une méthode rigoureuse permet de représenter l'usage réel d'un bâtiment.**

Une fois que la donnée issue de simulation est disponible et qu'elle est jugée représentative, il est nécessaire de l'analyser. Pour cela, l'utilisation du (ou des) bon(s) indicateur(s) est primordiale. La présente synthèse s'est concentrée sur l'étude de l'efficacité et de la pertinence des indicateurs utilisés actuellement dans la démarche BDM. En effet, elle ne s'est pas attachée à détailler la théorie sur le confort ainsi que les différents indicateurs s'y afférant.

Le premier indicateur utilisé dans la démarche BDM correspond au pourcentage et nombre d'heures d'occupation où la température opérative intérieure dépasse une température de confort de 28°C par zone thermique. Cet indicateur est basé sur la température de l'air qui est la variable la plus sensible et la plus facilement interprétable pour le corps humain. De plus, quasiment tous les échanges de chaleur entre l'Homme et l'environnement dépendent de la température de l'air. Et enfin elle est facilement mesurable et généralement disponible dans n'importe quel logiciel de simulation.

Néanmoins, son interprétation seule ne donne qu'une indication et peut être sources d'erreurs. Par exemple, un air à 20°C n'est pas forcément confortable si la vitesse de l'air est élevée ou si les températures de parois sont froides ; et un air à 30°C peut paraître confortable si la vitesse de l'air est correctement gérée...

La présente étude a permis d'observer que **l'usage de cet indicateur en conception permet globalement de s'assurer un certain niveau de confort dans la mesure où les éléments ayant permis de l'obtenir sont justes et représentatifs de l'usage réel du bâtiment**. Néanmoins, dans plusieurs cas, il a été observé des écarts entre l'analyse du résultat issu de cet indicateur et le retour des usagers. Il faut distinguer deux catégories d'écart :

- La première intègre les écarts liés à des différences entre modélisation et exploitation. Ces différences peuvent être liées à des changements en Exe pour différentes raisons techniques ou architecturales ou bien encore des équipements dysfonctionnant ou utilisés différemment.
- La deuxième catégorie comprend les écarts liés aux hypothèses de conception. Ceux-ci sont par exemple des scénarios en conception différents des scénarios réels ou des conditions climatiques différentes du fichier météorologique de conception. Comme évoqué précédemment ces hypothèses peuvent être difficiles à obtenir en amont d'un projet. **C'est pour cela que pour limiter l'impact des écarts en découlant, il est nécessaire de réaliser des études de sensibilités. Le 'cahier des charges STD de la démarche BDM' ainsi que le 'guide de bonnes pratiques pour la réalisation de STD' (tous deux disponibles sur l'Enviroboite) détaillent précisément ce qui est attendu par ces études.** Il n'est en revanche pas défini de contraintes liées à ces études. Il n'y a par exemple pas de niveaux pour les différents indicateurs confort qui ont été redéfinis. Il est donc à la charge du concepteur de juger de l'importance de l'écart constaté sur les indicateurs confort et de modifier le projet en conséquence soit en modifiant les dispositifs déjà prévus soit en prévoyant d'autres dispositifs et/ou des attentes permettant de les intégrer a posteriori. **L'objectif est bien ici de concevoir des bâtiments résilients qui sont capables de s'adapter aux usagers et aux changements climatiques attendus.**

Les études réalisées dans le cadre de cette mission démontrent bien que le niveau de confort exprimé par les usagers et quantifié par la mesure correspond rarement au niveau de confort déterminé par des simulations utilisant des hypothèses optimistes. En revanche ce niveau se trouvera entre le niveau optimum et le niveau déterminé à l'aide de simulations réalisées avec des hypothèses ajustées et la prise en compte de scénarios d'usage et météorologiques conservateurs.

De plus, ces constats pointent également du doigt le fait que l'indicateur 'nombre d'heures supérieures à 28°C' seul ne permet pas l'évaluation fine du confort estival. Plusieurs cas de figure ont été observés :

- Température maximale observée élevée,
- Non-prise en compte de l'impact de la vitesse d'air dans le cas de la présence d'un dispositif de brassage d'air,
- Usager du bâtiment ayant une sensibilité particulière (personnes en situation de handicap notamment),
- Proportion du nombre d'heures d'inconfort en occupation élevé.

Pour éclairer sur ces situations particulières, l'usage d'indicateurs complémentaires est essentiel. Pour cela, ils doivent être exprimés. Ceux-ci sont les suivants :

- **Température maximale** observée dans chaque zone thermique,
- **Nombre et pourcentage d'heures d'occupation où la température intérieure dépasse 28°C et 30°C,**
- **Monotone de température opérative** permettant de connaître les pourcentages de temps d'occupation aux différentes températures **ou histogramme,**

- **Utilisation des zones de confort de Givoni dans le cas de la génération d'une vitesse d'air.**
Dans ce cas, le pourcentage d'heures comprises dans chaque zone doit être exprimé. Au-delà de ces éléments, il est nécessaire que le dispositif mis en place soit détaillé : solution(s) envisagée(s), nombre d'équipement(s) et positionnement dans l'espace, vitesse d'air maximale attendue et la justification associée. L'analyse des zones de Givoni doit alors être réalisée au regard de ces derniers éléments.
- **Utilisation de la démarche adaptative telle que définie dans les normes EN15251 et NF EN 16798-1.** Cette démarche permet de prendre en compte les particularités du public accueilli. Ainsi, par exemple, pour les bâtiments neufs occupés par des personnes sensibles et fragiles (EHPAD, crèche, école maternelle, etc.) les limites de confort sont définies spécifiquement et sont naturellement plus basses que les limites de confort définies pour un public autre. De même, cette approche permet de prendre en compte la vitesse d'air générée par un dispositif spécifique. Le cahier de charge STD de la démarche BDM définit des contraintes à ce sujet. Dans le cas de l'utilisation de cet outil, le nombre d'heure en dehors de la zone de confort définie doit être exprimé.

Ces indicateurs, utilisés à bon escient, permettent de réaliser une évaluation du confort au plus près de la conception et de l'usage du bâtiment.

De plus, contrairement à la corrélation démontrée précédemment entre STD et ressenti issu des retours en exploitation, il n'y a pas de corrélation entre résultats des indicateurs 'confort' de la RE2020 et les retours en exploitation. En effet, au-delà de l'algorithme de calcul qui est spécifique, la RE2020 utilise, dans un souci de généralisation, des scénarios d'usage qui ne correspondent pas à la réalité d'usage. Ceci est le cas pour l'occupation mais aussi et surtout pour représenter l'action de l'utilisateur. L'exemple le plus flagrant correspond à l'ouverture des fenêtres pour la surventilation (cf. Figure 10). Comme présenté ci-avant dans ce rapport, l'action de l'utilisateur est modélisée à l'aide d'une loi de commande fine qui considère que l'utilisateur ouvrira et fermera la fenêtre suivant une différence de température précise entre l'intérieur et l'extérieur. De plus, la grande majorité des modélisations réalisées montre que l'indicateur et les niveaux associés ne sont pas discriminants à l'heure actuelle. **Les indicateurs issues de la RE ne sont donc pas pertinents pour s'assurer d'une conception assurant le confort estival des usagers.**

IV. Retour technique

Outre les retours sur les outils et méthodes pour une bonne évaluation du confort estival dans les bâtiments suivant la démarche BDM, la présente mission a permis d'observer plusieurs éléments qui favorisent ou détériorent le confort thermique estival. La partie suivante a pour objectif de les lister et d'enrichir ainsi le retour d'expérience de l'association EnvirobatBDM. Ces constats ne sont pas nécessairement exhaustifs et correspondent uniquement aux constats faits sur l'échantillon d'étude.

Retour d'expérience sur :

- **Les usages :**

Les parties précédentes y reviennent largement, plusieurs études ont surestimé l'usage des équipements et du bâtiment. Trois cas de figure ont été rencontrés :

- Mauvaise estimation de l'usage en conception. Par exemple : mauvaise estimation du nombre et du planning d'occupation des locaux ou utilisation d'une loi 'd'usage' d'un équipement technique fine.
- Surestimation de la connaissance des bons gestes par les usagers ou de la capacité/envie de les suivre. Par exemple : non utilisation de la surventilation naturelle nocturne ou mauvaise utilisation des protections solaires
- Inadéquation des solutions. Par exemple : utilisation des volets roulants pour la protection solaire et pour l'aération diurne.

- **Les protections solaires :**

Les protections solaires sont des équipements indispensables à la maîtrise des conditions de confort estival.

L'étude des 6 bâtiments objets de la mission a permis les enseignements suivants :

- Les protections solaires fixes bien dimensionnées permettent de limiter les risques de surchauffe,
- Les protections solaires mobiles permettent plus de contrôle et d'adaptation suivant la course du soleil mais elles sont soumises au bon usage par l'utilisateur. Plusieurs cas d'inconfort relevés sont liés à ce 'mauvais usage'. Celui-ci peut être lié à un manque de connaissance sur l'utilisation optimale de cet équipements, à un manque de volonté (cf. point sur l'usage) ou bien encore à une présence non-permanente ne permettant pas de s'adapter au changement de conditions (notamment météorologiques),
- Le choix du modèle et de la qualité des protections solaires permet de s'assurer d'une bonne protection sur un temps plus important. Il a été observé des protections solaires détériorées ne permettant alors plus la protection adéquate. Le choix d'équipements de qualité et adaptés permet d'augmenter la pérennité de l'équipement et donc de la solution.

- **L'importance de la décharge thermique :**

Plusieurs stratégies de décharge thermique du bâtiment ont été rencontrées dans le cadre de cette mission :

- La surventilation naturelle nocturne ou diurne. Elle peut être manuelle (c'est le cas dans les 3 bâtiments d'habitation étudié) ou assistée. Dans le premier cas, sa mise en œuvre dépend de l'usager (cf. Point ci-dessus). Dans le second cas, elle est liée à un automate (ouverture automatique des ouvertures en fonction des conditions extérieures et intérieures). Dans les deux cas, son efficacité est liée à la pression du vent sur les façades (dans le cas d'une

ventilation naturelle lié à la pression aéraulique), la taille et la positionnement des ouvertures et aux obstacles que le flux d'air peut rencontrer. Sans discuter des règles de bonnes pratiques ni des méthodes de dimensionnement, l'étude des 6 bâtiments d'étude a mis en avant plusieurs cas de figure ne permettant pas une efficacité suffisante de cette stratégie. En effet, **la modélisation et la mesure ont démontré que la décharge thermique n'était pas effective ou pas aussi efficace qu'attendu**. Les raisons identifiées ou non nécessairement exhaustives sont les suivantes :

- o Non prise en compte des obstacles entre les ouvertures hautes et basses ou au vent et sous le vent. Par exemples : portes de cloisonnement sur le flux théorique de l'air (WC, sdb, bureaux, etc.) ou rideaux/volets
 - o Equipement de régulation non opérationnel (cas de la ventilation naturelle assistée)
 - o Non prise en compte des contraintes extérieures interférant sur l'usage : exposition aux bruits, entrée de nuisible (moustiques), pas de dispositif anti-intrusion, etc.
- La surventilation mécanique nocturne ou diurne. Les bâtiments utilisant cette stratégie présentent une décharge thermique fonctionnelle si tenté que la loi de régulation ait été ajustée aux plus près des besoins.

Les études ont démontré en outre que les bâtiments n'intégrant pas de décharge (mécanique ou naturelle) n'arrivent pas à respecter les critères de confort sans climatisation.

- **Le lien entre confort visuel et confort thermique :**

La mise en place de dispositifs de protection solaire peut impacter le confort visuel. Sur plusieurs projets, les usagers déclarent être majoritairement dans des conditions de confort thermique mais plus régulièrement en situation d'inconfort visuel sur ces deux principales facettes : niveau d'éclairage et qualité de la vue. En effet, l'atteinte du confort thermique par la fermeture de volets roulants, par exemple, impacte directement le confort visuel. L'utilisateur est alors dans l'obligation de faire un choix entre confort visuel et confort thermique. Il n'est pas possible de présager de son choix. Lorsque ce conflit se présentait sur les bâtiments d'étude, il a pu être constaté plusieurs cas de figure : utilisation totale du volet pour la protection solaire, utilisation partielle et non-utilisation. Dans les deux derniers cas de figure, la protection ne rempli pas le rôle attendu, le confort thermique ne peut être atteint. **Cet exemple permet de conclure sur l'importance d'intégrer le confort visuel dans la recherche du confort thermique afin de s'assurer de la robustesse des solutions proposées.**

- **L'importance de la maîtrise du confort estival même dans les bâtiments avec climatisation :**

Alors qu'ils étaient prévus en conception sans climatisation et sans rafraîchissement, ces équipements ont été soit installés soit en cours d'études. Plusieurs raisons expliquent cela sur les projets objets de cette mission : pression des usagers, changement de stratégie de conception en cours de projet ou impossibilité en usage de limiter la température ressentie.

Malgré le fait que ces installations ont pour objectif de contrôler l'ambiance intérieure, **la recherche du confort estival sans équipement de climatisation est ou a été essentielle dans la conception de ces bâtiments** pour deux principales raisons :

- La première est **la limitation des consommations** liées aux équipements de climatisation. En effet, la maîtrise des apports permet de limiter la variabilité des besoins et les dérives des usages associés (stabilisation de la température de consigne des équipements) ;
- La seconde est **la recherche d'un bâtiment résilient**. En effet, la maîtrise du confort estival permet de s'assurer du maintien des conditions d'ambiance et de consommations raisonnables en cas de dysfonctionnement total ou partiel des équipements ou des changements des conditions climatiques sur des courtes ou longues périodes.

V. Conclusions générales

La présente étude a confirmé que l'approche numérique de la STD permet, sous certaines conditions, une bonne évaluation du confort thermique estival. Ces conditions sont le bon usage de l'outil, la rigueur dans l'exécution de la méthode et la prise en compte d'hypothèses ajustées au plus proche de l'usage réel.

En effet, la définition d'hypothèses adaptées est importante. Ces hypothèses sont régulièrement surestimées impliquant une mauvaise évaluation du confort. Deux types d'écarts ont été identifiés : les premiers sont liés à une mauvaise estimation de la présence d'occupant et les seconds sont liés à la mauvaise évaluation de leur capacité à suivre les règles de 'bon usage' préétablies en conception pour les équipements mis en place.

Concernant l'étude des résultats des STD, il a été démontré que l'usage d'indicateurs adaptés est une clé d'une bonne évaluation. Tous les projets étudiés dans le cadre de cette mission ont été conçus avant la mise en place du 'cahier des charges STD de la démarche BDM' et du 'guide de bonnes pratiques de la STD' (disponibles sur l'Enviroboite). L'ensemble des indicateurs proposés dans ces deux documents n'a donc pas été présenté dans les rendus déposés en conception. Par conséquent une partie des écarts identifiés n'ont pas pu être appréhendés. En effet, cette étude a montré que les écarts observés par la mesure et la consultation des usagers auraient pu être appréhendés en conception grâce à l'analyse des résultats avec l'indicateur adapté et/ou en réalisant des études de sensibilité.

Sur ce dernier point, les études de sensibilité revêtent d'une importance particulière puisqu'elles permettent de prendre en compte l'usage réel pouvant être différent d'un usage théorique et/ou conventionnel. Grâce à une rétroaction en conception, elles permettent alors d'anticiper les écarts potentiels et bien entendu de prévoir les dispositifs et/ou les attentes pour des dispositifs permettant alors d'obtenir un bâtiment résilient.

La présente étude a démontré que l'approche réglementaire ne permettait pas une bonne appréhension du confort estival et que les indicateurs associés ne permettaient pas de s'assurer du confort thermique en exploitation. **La RE2020 reste exclusivement un outil réglementaire et conventionnel.**

D'un point de vue technique, cette mission a permis de constater que la bonne stratégie permettant de satisfaire un maximum d'usagers combine judicieusement différentes solutions : protection solaire, inertie, décharge thermique, etc. Sous réserve que ces solutions soient dimensionnées pour permettre de satisfaire les conditions de confort sans surestimation de leur régulation.

Il a été également mis en avant les éventuelles relations antinomiques entre les solutions permettant d'assurer le confort thermique et celles permettant d'assurer le confort visuel. Ces deux aspects doivent être considérés dans toutes approches sans quoi l'impact des solutions peut être surestimé et le confort non assuré.

Plus globalement, l'analyse de plusieurs projets et des études associées a permis de constater que des écarts plus ou moins impactants sur le confort ressenti sont présents à différentes étapes de la vie d'un projet.

En exploitation, la méthodologie mise en œuvre dans le cadre de cette mission a permis de les identifier grâce à une évaluation du confort ressenti basée à la fois sur une approche centrée autour de l'utilisateur et à la fois sur une approche basée sur la technique. Cette approche sociotechnique permet d'avoir une évaluation complète et de limiter les biais qui peuvent être rencontrés par une approche purement technique réalisée pour un expert pouvant avoir un regard non exhaustif sur les problématiques ou alors purement en sciences sociales qui, suivant la méthodologie, pourrait ne pas être complète et objective (importance du biais affectif lié notamment à la motivation de l'interrogé prenant part à la démarche d'évaluation ou du biais de désirabilité sociale dans le cas d'une consultation restreinte).

En phase de conception, il est possible d'identifier, par anticipation, les potentiels écarts, de les prendre en compte dans l'analyse et de mettre en place des solutions permettant de les éviter. L'analyse de la bonne prise en compte des préconisations du 'cahier des charges STD' et du 'guide de bonnes pratiques de la STD', précédemment cités, n'a pas pu être effectués puisque les projets audités dans le cadre de cette étude sont des bâtiments en exploitation depuis plus de 2 ans. Néanmoins, des écarts liés à des considérations pouvant être qualifiées de non raisonnables ont été constatées. Il est alors possible de se poser la question de l'importance de la validation des approches numériques par un tiers dans le cadre de l'obtention d'une reconnaissance d'un niveau ambitieux de la démarche BDM.