

Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie

Enseignements opérationnels

Évaluations 2012-2015

Les mesures mises en place par l'État pour réduire les consommations et les émissions de gaz à effet de serre sont accompagnées d'une plate-forme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment (PREBAT) pour apporter aux professionnels et aux particuliers des solutions performantes.

Depuis 2006, conjointement avec les directions régionales de l'Ademe, les régions ont soutenu la réalisation de près de 3 000 **bâtiments à basse consommation** dans le cadre du programme « Bâtiments démonstrateurs ».

Parmi eux, plus de **200 bâtiments** ont été **instrumentés** pour mesurer leur performance énergétique sur 2 ans. Par ailleurs, les suivis-évaluations comportent également un volet d'observation et d'enquêtes auprès des occupants et plus largement des utilisateurs, afin de mieux connaître leurs modes d'occupation des bâtiments.

L'Ademe et la direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN) du ministère de l'Écologie ont confié au Cerema la capitalisation nationale de ces évaluations à destination des acteurs de la construction-rénovation, des utilisateurs et des exploitants-mainteneurs.

Cette **capitalisation** porte sur un échantillon de **60 opérations** dont les évaluations ont été produites de 2012 à 2015. Dix-neuf d'entre-elles ont été réalisées par des bureaux d'études et 41 par le Cerema.

Les évaluations du Cerema ont utilisé le moteur de calcul dynamique de la réglementation thermique 2005 pour faire des simulations thermiques à vocation comparative (cf. la méthode spécifique du Cerema en dernière page). Différentes zones climatiques sont concernées et divers types de bâtiment sont représentés, tant dans la nature de leurs travaux (neufs, de rénovation ou mixtes), que dans la nature de leur fonction (habitat, bureaux, enseignement...).

Les enseignements de cette capitalisation portent sur les consommations mesurées, les conditions météorologiques et d'occupation, les performances des composants du bâtiment, leur impact sur les consommations, mais aussi les pratiques liées et le confort thermique. Ils ne peuvent toutefois être considérés comme définitifs, compte tenu de la taille réduite des échantillons correspondants.



Décembre 2015

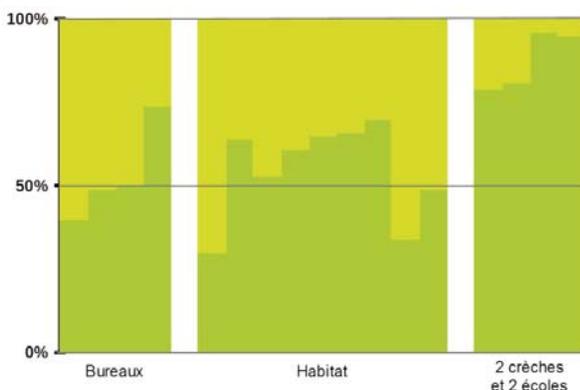
Sommaire

- 1 Consommations mesurées
- 2 Performances d'ensemble du bâtiment
- 3 Conditions météorologiques
- 4 Conditions d'occupation
- 5 Performances énergétiques du bâti
- 6 Performances énergétiques des systèmes techniques
- 7 Pratiques des acteurs
- 8 Confort thermique

1 Consommations mesurées

La répartition et l'ampleur des postes de consommation des bâtiments énergétiquement performants est très différente de celle des constructions courantes suivant la RT 2005.

Part des postes de consommation non réglementés



Part des postes de consommation de la réglementation thermique

Pour les bâtiments d'habitation et de bureau, la **part prise par les postes non réglementés** est importante, généralement entre 50 et 90 kWh_{ep}/m².an (en énergie primaire). Elle est équivalente à celle des postes réglementés (chauffage des locaux et de l'eau sanitaire, ventilation, éclairage et refroidissement) en tertiaire de bureaux, et un peu moins élevée en habitat.

Les efforts portés sur la performance thermique des bâtiments ont fait baisser la consommation des postes réglementés, augmentant alors la part relative des autres postes.

En **période d'inoccupation** des bâtiments tertiaires, la consommation électrique est très élevée, supérieure à la moitié de la consommation annuelle.

La consommation totale des **cinq postes réglementés** varie par destination d'usage, généralement de :

- 50 à 90 kWh_{ep}/m².an pour les bureaux ;
- 70 à 170 kWh_{ep}/m².an pour les autres bâtiments tertiaires ;
- 70 à 110 kWh_{ep}/m².an en habitat collectif ;
- 40 à 80 kWh_{ep}/m².an en habitat individuel.

Le chauffage reste le premier poste consommateur, à hauteur de 50 %. L'eau chaude sanitaire occupe maintenant une place importante en habitat, et ce malgré le recours au chauffage solaire, quasi général sur l'échantillon, alors qu'il s'agit de la ventilation en tertiaire, notamment de bureau.

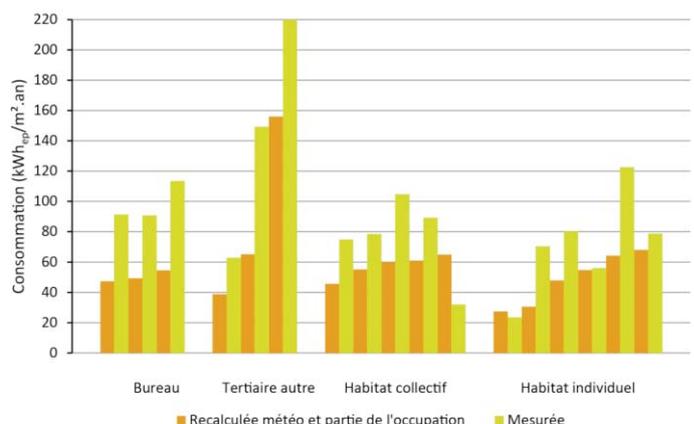
Une tendance à la **baisse de la consommation** est observée **entre la première et la deuxième année** de suivi, souvent supérieure à 10 kWh_{ep}/m².an, que ce soit sur la consommation totale ou la part réglementée, et quelles que soient les conditions météorologiques.

Elle peut s'expliquer par l'amélioration des réglages des équipements, le séchage du bâtiment, voire l'application des recommandations déduites de l'analyse des consommations de la première année de mesures.

2 Performances d'ensemble du bâtiment

Pour connaître la performance d'ensemble du bâtiment, caractérisée par sa consommation, il faut s'affranchir des fluctuations des autres facteurs que sont les conditions météorologiques et d'occupation. La méthode développée par le Cerema permet de l'approcher en réalisant un nouveau calcul selon la méthode thermique réglementaire, mais avec les conditions météorologiques mesurées et avec une partie des conditions d'occupation constatées (cf. dernière page).

Après application de la méthode à 17 bâtiments, il apparaît que les performances attendues à la conception ne sont pas atteintes mais que, néanmoins, les consommations mesurées se situent bien en deçà de celles de la génération précédente construite suivant la RT 2005. L'écart s'explique par la prise en compte incomplète ou imprécise des conditions d'occupation réelles, par les performances réelles des composants, par les conditions de mise en œuvre et par la gestion.



3 Conditions météorologiques

Pour les bâtiments à basse consommation, le niveau des **Degrés jours unifiés** (base 18)* n'est plus un indicateur suffisant pour caractériser, à lui seul, l'impact du climat sur la consommation de chauffage. En particulier, le rayonnement solaire joue un rôle plus important. Le confinement des apports internes et solaires dans des enveloppes très isolées semble devoir abaisser la température de non-chauffage de 18 °C à 14 °C, voire moins selon la fonction du bâtiment.

Au regard des besoins réduits des bâtiments énergétiquement performants, les conditions météorologiques peuvent faire varier significativement la consommation annuelle de chauffage, généralement jusqu'à +/- 10 kWh_{ep}/m².an, d'une année à l'autre ou par rapport au climat de référence de la zone climatique concernée.

4 Conditions d'occupation

Dans les hypothèses du calcul réglementaire, sur l'échantillon, la **température de consigne** des équipements de chauffage est toujours supérieure de 0 à 2 °C à la température minimale de confort (19 °C généralement), afin que le local chauffé ne soit jamais en défaut de confort, soit entre 19 et 21 °C selon la nature des régulations et des émetteurs.

Pour l'habitat et les bureaux, les températures de consigne pratiquées sont généralement supérieures de 0 à 3 °C aux valeurs de l'étude thermique réglementaire ci-avant, soit généralement entre 20 et 23 °C, avec des extrêmes autour de 19 °C et 25 °C.

Pour les bâtiments fortement isolés thermiquement :

- la règle générale d'une sensibilité de 7 % de la **consommation de chauffage** pour 1 °C d'écart de température intérieure n'est plus utilisable. Il vaut mieux raisonner en valeur absolue ;
- la consommation de chauffage demeure très sensible à la température de consigne, avec de l'ordre de 0,5 à 8 kWh_{ep}/m².an pour 1 °C d'écart, et des résultats en hausse généralement de 1 à 8 kWh_{ep}/m².an pour l'habitat et de 1 à 5 kWh_{ep}/m².an pour les bureaux, mais pouvant monter jusqu'à +18 kWh_{ep}/m².an dans certains cas.

Les **apports internes** hors éclairage, en période d'occupation, sont très variables :

- autour de 5 W/m² en habitat (surface habitable) ;
- autour de 9 W/m² pour les bâtiments de bureaux (surface utile).

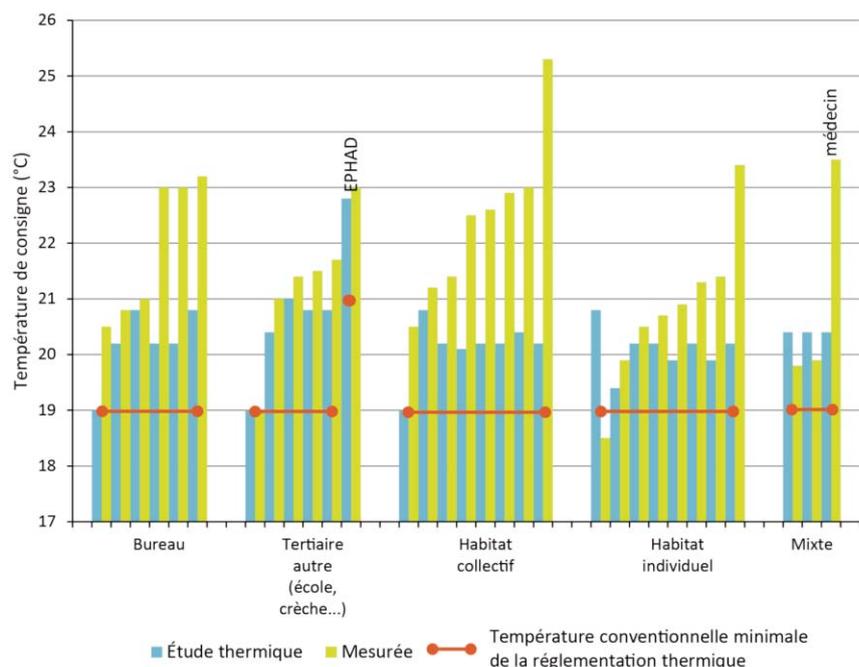


Dans les bâtiments à basse consommation, les apports internes représentent une part de plus en plus importante dans la couverture des besoins de chauffage. D'où une grande sensibilité de la consommation de chauffage à leur variation.

Pour 1 W/m² d'apports internes supplémentaires (à titre de référence, une personne émet environ 100 W), la consommation de chauffage baisse de :

- 3 kWh_{ep}/m².an en habitat ;
- 0,5 kWh_{ep}/m².an en bureaux.

Quant aux périodes d'occupation, même si leur évaluation est difficile au regard de l'information recueillie, il semble que les scénarios conventionnels de la réglementation thermique 2005 soient plutôt réalistes pour les bureaux, comme pour le scénario d'occupation annuelle en logement, mais moins pour l'occupation hebdomadaire de ceux-ci, laquelle est souvent continue en réalité.



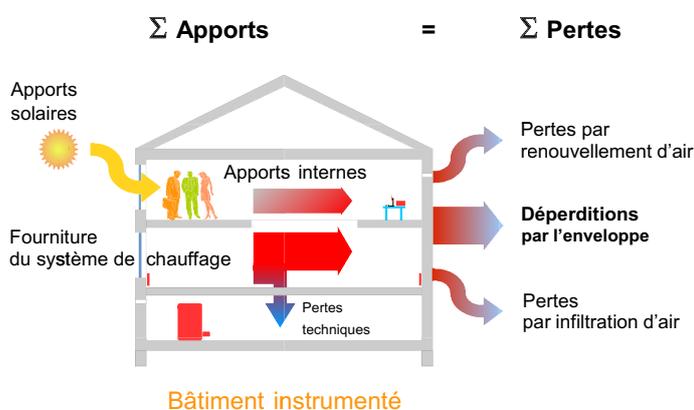
* Les Degrés jours unifiés (DJU) sont l'addition des écarts de température journaliers d'un lieu par rapport à 18 °C, sur une période de chauffage de 232 jours (du 1^{er} octobre au 20 mai).

5 Performances énergétiques du bâti

L'isolation thermique de l'enveloppe

La caractérisation de par la mesure et le calcul du coefficient de déperdition par transmission thermique $U_{\text{bât évalué}}$ laisse apparaître une valeur systématiquement supérieure à celle du $U_{\text{bât}}$ de l'étude thermique réglementaire. Au-delà du caractère encore expérimental de la méthode développée par le Cerema (cf. dernière page), cet écart s'explique par des imprécisions de saisie dans l'étude, des changements de matériaux pendant le chantier et des défauts de mise en œuvre.

Cependant, qu'il soit calculé ou évalué au moyen de mesures, le coefficient de déperdition des bâtiments se situe à un bon niveau : entre 0,2 et 0,8 W/m².K.



Perméabilité à l'air de l'enveloppe

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe est bonne et globalement bien réalisée. Les pertes énergétiques par infiltration d'air restent ainsi limitées.

6 Performances énergétiques des systèmes techniques

6.1. Chauffage

Le coefficient de performance moyen mesuré sur la saison (COP saisonnier) des **pompes à chaleur** (PAC) est supérieur à trois pour la plupart, voire plus avec un bon réglage des systèmes.

Des PAC air/eau sont installées en climats froids, lesquels ne constituent pourtant pas un bon environnement pour leur performance. Celle-ci se dégrade d'autant plus qu'elles sont amenées à fonctionner plus souvent à ces températures, de par les besoins réduits des bâtiments à basse consommation. Les besoins de chauffage réduits amènent aussi les PAC à fonctionner souvent en cycles courts, ce qui dégrade fortement la performance du système global et affecte sa durée de vie. Toutefois ce problème a pu être limité par association d'un ballon tampon.

Les besoins de chauffage étant réduits, les **chaudières gaz à condensation** de l'échantillon fonctionnent souvent à faible puissance, ce qui dégrade fortement la performance du système et affecte sa durée de vie.

Un fonctionnement optimal des **chaudières gaz à condensation** et des **PAC** est obtenu lorsque les températures de départ et de retour sont faibles. Les radiateurs basse température ou plancher chauffant facilitent ces conditions.

Les systèmes de chauffage réactifs, notamment avec émetteurs à faible inertie, répondent mieux aux besoins de chauffage faibles et ponctuels propres aux bâtiments à basse consommation.

Les pertes thermiques des **réseaux de distribution du chauffage** sont encore très importantes, notamment au niveau des organes de régulation, avec un enjeu plus important pour les réseaux bouclés.

6.2. Eau chaude sanitaire

Les **consommations** énergétiques d'ECS varient fortement avec les besoins en eau chaude, le mode de production (collectif / individuel, à accumulation / instantané) et le type de générateur.

Sur l'échantillon, **l'habitat** comprend quasiment toujours une **production solaire**. La variabilité des taux de couverture solaire, de 10 à 80 %, est liée aux besoins, mais aussi à des dysfonctionnements divers, y compris de l'appoint. Le recours à la production centralisée entraîne par ailleurs une augmentation de la consommation d'énergie en habitat collectif, de par les pertes de bouclage et de stockage. Celles-ci pourraient être mieux maîtrisées, notamment par un calorifugeage plus poussé des réseaux.

Dans les **bâtiments tertiaires** de bureau ou d'enseignement, des ballons électriques sont systématiquement rencontrés, avec une consommation non négligeable.

6.3. Ventilation

Dans les bâtiments fortement isolés thermiquement et sans fuites d'air parasites, le poste de **déperdition par ventilation** prend une place plus importante dans le bilan thermique. La consommation de chauffage y est d'autant plus sensible. L'efficacité des échangeurs de récupération d'énergie sur air extrait des VMC double flux s'avère très bons et les dysfonctionnements peu récurrents.

La **consommation des ventilations** hygroréglables en habitat individuel peut être très faible, inférieure à 3 kWh_{ep}/m².an. Mais le double flux peut avoisiner les 15 kWh_{ep}/m².an en habitat collectif, ou le dépasser en tertiaire, ce qui vient réduire l'intérêt des gains thermiques obtenus par les échangeurs.

Assez souvent des **filtres** très encrassés ont déjà été observés, réduisant les débits, voire entraînant des ruptures des filtres et de leur support.

Pour le confort d'été, la **ventilation nocturne** est davantage indispensable pour éviter le confinement des apports internes et solaires. S'il est possible, le recours à l'ouverture des fenêtres est plus efficace que la VMC et non consommateur d'énergie.

6.4. Auxiliaires de chauffage et d'eau chaude sanitaire

Les auxiliaires de chauffage et d'ECS consomment autour de 7 kWh_{ep}/m².an.

Les trois causes de dérives des consommations pour les pompes sont :

- une durée de fonctionnement trop longue ;
- une puissance installée trop élevée ;
- des pompes à débit variable non paramétrées.

6.5. Refroidissement

Sur l'échantillon, le rafraîchissement des bureaux consomme autour de $7 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$.

Trois causes de dérives des consommations ont principalement été identifiées :

- un pilotage par l'occupant non maîtrisé ;
- un groupe froid non asservi au fonctionnement de l'émission ;
- une climatisation encore active en hiver.

6.6. Éclairage

Les **consommations** d'éclairage sont très variables et dépendantes de l'usage notamment, de par les durées de fonctionnement engendrées.

Dans le champ réglementé (i.e. hors ascenseurs, sécurité incendie, parkings et extérieurs), le niveau de consommation se situe autour de $5 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$ en habitat et de $10 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$ dans les bâtiments tertiaires. Dans plus de la moitié des logements instrumentés, elle est inférieure à $1 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}.\text{an}$.

En tertiaire et dans les parties communes en habitat, les **automatismes de commande** de l'éclairage sont souvent mal adaptés, positionnés ou réglés pour prendre correctement en compte la présence ou l'éclairage naturel, et sans perturber l'usage.

6.7. Autres équipements immobiliers

(champ non réglementé)

La consommation des ascenseurs varie de :

- 1 à $2 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHON}}.\text{an}$ dans les bâtiments de bureaux ;
- 2 à $6 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}.\text{an}$ en habitat collectif.

Elle varie surtout en fonction :

- de la puissance de veille ;
- de l'éclairage de la cabine (parfois permanent) ;
- et du contrôle commande de la cabine.

La part de la motorisation est minime (pour des immeubles limités à 7 étages).

6.8. Les équipements mobiliers

(champ non réglementé)

■ La bureautique

En moyenne sur l'échantillon, un ordinateur portable a une consommation de $70 \text{ kWh}_{\text{ef}}/\text{an}$, quatre à cinq fois moindre qu'un ordinateur fixe ($250 \text{ kWh}_{\text{ef}}/\text{an}$).

Les organisations qui mettent en commun les salles serveur peuvent diviser par 3 leur consommation (puissance installée de $1,3 \text{ W}/\text{m}^2$ au lieu de $4 \text{ W}/\text{m}^2$).

La consommation des salles serveur est très élevée à cause :

- d'une puissance de fonctionnement élevée ;
- d'un fonctionnement permanent ;
- d'une climatisation dédiée pour maintenir le local à basse température ;
- des pertes de l'onduleur.

■ Les autres équipements mobiliers

Une machine à café a une consommation de l'ordre de $700 \text{ kWh}_{\text{ef}}/\text{an}$, similaire à 3 ordinateurs fixes ou 12 ordinateurs portables.

Un réfrigérateur a une consommation annuelle équivalente à un ordinateur fixe.

7 Pratiques des acteurs

La performance énergétique ne peut être atteinte qu'avec le concours des occupants dont il convient d'anticiper au mieux les attentes, les besoins et les compétences.

Les pratiques des utilisateurs susceptibles d'entraver la performance énergétique proviennent généralement :

- soit de la difficulté à piloter ou entretenir les équipements du bâtiment ;
- soit d'un inconfort ressenti les amenant à les modifier.

Or, bien que cruciaux, les enjeux de pilotage et d'entretien ne sont pas suffisamment anticipés dans les projets.

8 Confort thermique

En hiver

Le confort thermique dans les bâtiments de l'échantillon est jugé globalement satisfaisant par les occupants, en accord avec les mesures, du fait de la forte isolation thermique des parois qui ne présentent pas de rayonnement froid, et des équipements de chauffage qui assurent des ambiances confortables.

En été

Du fait que les bâtiments à basse consommation sont conçus de manière à capter les apports solaires en hiver et les confiner avec les apports internes, ils demandent en été une bonne maîtrise, à la fois des protections solaires pour réduire les apports solaires, de l'inertie pour amortir les apports internes et solaires, et de la ventilation pour les évacuer. Cette problématique n'est pas spécifique à la zone méditerranéenne.

La forte isolation de ces bâtiments n'est pas nuisible en soi au confort d'été : certes elle contribue à diminuer l'évacuation de la chaleur accumulée mais elle réduit également les apports solaires au travers des parois opaques ; son impact dépend donc d'autres facteurs tels que la ventilation nocturne notamment.

Les occupants sont alors davantage impliqués dans la gestion thermique de leur bâtiment, ce qui nécessite des notions techniques ou des pratiques culturelles adaptées (ouverture des fenêtres la nuit et utilisation des protections solaires la journée) qui sont relativement acquises en zone méditerranéenne mais restent à généraliser sur l'ensemble du territoire.

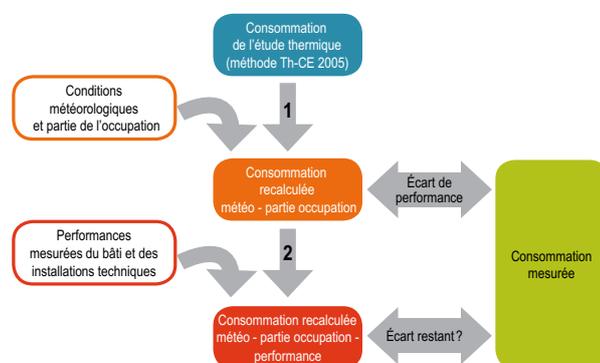
Une méthode de suivi et d'évaluation innovante

En matière de performance énergétique et de confort, les suivis-évaluations effectués par le Cerema présentent plusieurs aspects innovants dans leur méthode :

- caractérisation de la **performance d'isolation thermique de l'enveloppe** du bâtiment par la mesure, et par enquête auprès des utilisateurs, par différence des flux entrants et sortants de l'enveloppe ($U_{\text{bât}}$ évalué) ;
- caractérisation de la **température intérieure de consigne** par la méthode d'analyse statistique des températures intérieures mesurées pendant l'occupation et la fourniture du chauffage ;
- transposition du calcul de l'étude thermique réglementaire (méthode Th-CE) dans les conditions observées du climat et d'une partie des modes d'occupation, pour obtenir des « **consommations recalculées avec les conditions observées** » de nature comparable (cf. étape 1 du schéma) ;
- et évaluation quantifiée des **effets sur les consommations des écarts de performance** de l'enveloppe ($U_{\text{bât}}$ évalué et perméabilité à l'air) et des systèmes (efficacité des échangeurs thermiques sur l'air, rendement des chaudières...), à l'aide du moteur de calcul dynamique de la réglementation thermique (étape 2).

Cette approche permet, en outre, d'apporter des **explications sur les écarts de consommation globale**, en distinguant les paramètres de conditions météorologiques et d'occupation de ceux de performance intrinsèque du bâtiment (bâti et équipements techniques), et en différenciant l'effet de chacun d'eux.

Concernant le confort thermique, la méthode développée est basée sur l'agrégation de données mesurées de température et d'hygrométrie intérieure en période d'occupation, en utilisant plusieurs indicateurs de confort. En particulier, pour le confort d'été, un **nombre d'heures d'inconfort acceptable** est calculé avec la norme du confort adaptatif qui prend en compte l'adaptation physiologique dans la durée. Des enquêtes auprès des occupants complètent les mesures.



Ensuite, en mettant côte à côte les différents bâtiments, la capitalisation de leurs évaluations permet de tirer des enseignements quantifiés de l'impact de la variation d'un paramètre sur la consommation, que ce soit pour les modes d'occupation (température, apports internes...) ou pour les performances des composants du bâtiment. Ces éléments peuvent être consultés dans le rapport complet de capitalisation 2012-2015.

Et demain ?

Lors de la prochaine capitalisation, ces enseignements seront consolidés avec un échantillon encore plus important d'opérations. L'analyse sera approfondie et étendue à d'autres équipements, à d'autres paramètres, à l'impact sur la qualité d'usage au-delà du confort

thermique, ainsi qu'aux aspects économiques (surcoûts, coût global d'investissement et de fonctionnement...). L'ensemble des 200 opérations instrumentées sera progressivement capitalisé avec diffusion d'un rapport annuel.

Collection

Connaissances

ISSN : 2417-9701

2016/03

© 2016 - Cerema

La reproduction totale
ou partielle du document
doit être soumise à
l'accord préalable
du Cerema

En savoir plus

- Rapport de décembre 2015, présentations au colloque PREBAT du 22 janvier 2016 et plus sur :
www.territoires-ville.cerema.fr/prebat-a608.html
www.ademe.fr/batiments-basse-consommation-france
www.developpement-durable.gouv.fr/prebat
www.prebat.net
- 2^e colloque PREBAT le 22 janvier 2016

Contacts

Fabien.Auriat@developpement-durable.gouv.fr
Florian.Piton@ademe.fr
Pascal.Cheippe@cerema.fr

Catalogue sur internet des [publications de la direction technique Territoires et ville](http://publications.de.la.direction.technique.Territoires.et.ville.catalogue.territoires-ville.cerema.fr)
catalogue.territoires-ville.cerema.fr

Aménagement et développement des territoires, égalité des territoires - Villes et stratégies urbaines - Transition énergétique et changement climatique - Gestion des ressources naturelles et respect de l'environnement - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Gestion, optimisation, modernisation et conception des infrastructures - Habitat et bâtiment