



# RETOURS D'EXPÉRIENCES DES BÂTIMENTS DÉMONSTRATEURS BASSE CONSOMMATION

*De la conception de bâtiments performants à leurs performances réelles, quels enseignements concrets en retirer ?*



**COLLOQUE, PARIS LA DÉFENSE, 6 AVRIL 2018**

# Sommaire

<b>OUVERTURE.....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION TECHNIQUE.....</b>	<b>5</b>
1. Le programme « Bâtiments démonstrateurs ».....	5
2. Une capitalisation pour l’opérationnel.....	5
3. L’échantillon 2017.....	5
<b>PERFORMANCE TECHNICO-ÉCONOMIQUE.....</b>	<b>6</b>
<b>Consommation et performances d’ensemble du nouvel Échantillon.....</b>	<b>6</b>
1. Consommations mesurées.....	6
2. Confrontation calcul/mesure.....	6
3. Production photovoltaïque.....	6
<b>Investissement, rentabilité et coût global.....</b>	<b>7</b>
1. Approche comparative BBC/RT 2005.....	7
2. Coût d’investissement.....	7
3. Nette baisse des coûts énergétiques.....	7
4. Coût global.....	7
5. Efficacité économique de l’investissement.....	8
<b>QUESTIONS/RÉPONSES.....</b>	<b>8</b>
<b>FACTEURS DE LA PERFORMANCE – ENSEIGNEMENTS TECHNIQUES ET PRATIQUES DES ACTEURS.....</b>	<b>11</b>
<b>Performance du bâti.....</b>	<b>11</b>
1. Enveloppes conçues.....	11
2. Performance thermique réelle.....	11
3. Étanchéité à l’air.....	11
<b>Paramètres de l’occupation.....</b>	<b>12</b>
1. Température de consigne.....	12
2. Réduits de température.....	12
3. Température de non-chauffage.....	12
<b>QUESTIONS/RÉPONSES.....</b>	<b>12</b>
<b>Performance des Équipements thermiques.....</b>	<b>13</b>
1. Chauffage.....	13
2. Eau chaude sanitaire.....	13
3. Ventilation.....	13
4. Auxiliaires.....	13

5. Refroidissement.....	13
<b>QUESTIONS/RÉPONSES.....</b>	<b>14</b>
<b>Performance de l'Éclairage.....</b>	<b>16</b>
1. Consommations de l'éclairage.....	16
2. L'éclairage dans les habitations.....	16
3. L'éclairage dans les bâtiments tertiaires.....	16
4. L'éclairage extérieur.....	16
5. Synthèse : 4 étapes pour un fonctionnement optimal.....	16
<b>QUESTIONS/RÉPONSES.....</b>	<b>16</b>
<b>Performance des Équipements mobiliers et autres Équipements immobiliers.....</b>	<b>17</b>
1. Le poids des équipements mobiliers et immobiliers.....	17
2. Les « autres » équipements immobiliers.....	17
3. Les équipements mobiliers dans le tertiaire.....	17
4. Les équipements mobiliers dans le résidentiel.....	17
5. Synthèse : les points de vigilance à chaque étape.....	17
<b>QUESTIONS/RÉPONSES.....</b>	<b>17</b>
<b>QUALITÉ D'USAGE ET PERFORMANCE SOCIO-TECHNIQUE.....</b>	<b>19</b>
<b>Confort thermique et qualité d'usage.....</b>	<b>19</b>
1. L'évaluation sociotechnique du confort d'été.....	19
2. La gestion thermique au cœur du confort d'été.....	19
3. Autres aspects de la qualité d'usage.....	19
<b>QUESTIONS/RÉPONSES.....</b>	<b>20</b>
<b>Facteurs d'Éterminants de la consommation et appropriation par l'occupant.....</b>	<b>21</b>
1. Facteurs déterminants de la consommation : analyse statistique.....	21
2. Facteurs déterminants de la consommation : analyse de sensibilité.....	21
3. Appropriation du bâtiment par les occupants et impacts sur les consommations.....	21
<b>QUESTIONS/RÉPONSES.....</b>	<b>22</b>
<b>CLÔTURE.....</b>	<b>24</b>

# OUVERTURE

## **Emmanuel Acchiardi – MTES – Sous-Directeur de la qualité et du développement durable de la construction**

Ce colloque de restitution marque l'aboutissement d'un travail de plusieurs années. PREBAT est un programme de recherche au long cours orienté vers les performances réelles des bâtiments. La haute performance énergétique peut être atteinte à un coût raisonnable. Ce double aspect, énergétique et économique, revêt une grande importance dans PREBAT.

Il a été demandé au Cerema de mesurer les performances énergétique et économique, afin d'illustrer l'efficacité du programme de recherche et de porter une action pédagogique. La logique de ces campagnes de relevé vise, en outre, à montrer l'efficacité de la chaîne allant du concepteur à l'occupant. La performance repose sur le fonctionnement effectif de cette chaîne, dont tous les maillons ont un rôle à jouer. Cette idée est partagée, mais il est important de la rendre concrète et de mesurer l'écart éventuel entre la performance théorique et la performance réelle. Dans cette approche, il est important de conduire les occupants à se saisir du sujet et à faire évoluer leurs comportements. Ce retour d'expérience est important alors que sont lancés les travaux de préparation de la future réglementation des bâtiments neufs, laquelle ne sera pas seulement énergétique, mais aura une dimension environnementale plus large. Il est question d'avancer vers la notion de bâtiment durable, confortable et performant, conciliant à la fois les intérêts des occupants et de l'environnement.

## **Christian Curé – Cerema – Directeur Territoire et Ville**

Le Cerema conduit trois missions principales. Il accompagne les politiques publiques nationales, assiste les maîtres d'ouvrage et conduit une activité d'expertise, de recherche et de développement. Au titre des missions lui ayant été confiées par l'Ademe, le Cerema sera chargé de communiquer le plus largement possible les résultats collectés au sein des bâtiments. Un colloque final sera organisé en 2020 pour présenter les éléments définitifs. D'ici à 2020, le travail de capitalisation devra se baser sur un échantillonnage plus large. Au-delà du PREBAT, d'autres programmes instrumentent ou pourraient instrumenter des bâtiments. Le programme PREBAT présente la particularité de proposer une vision instrumentée pluridisciplinaire, c'est-à-dire sociologique, technique et économique. C'est dans cet esprit multidisciplinaire que le Cerema souhaite élargir sa vision. Le Cerema envisage par ailleurs d'élargir l'accès aux bases de données constituées. À cet effet, un module de mesure, assimilable à un outil d'exploitation, est en cours de construction. Un appel à partenariat est lancé pour appuyer ce projet de construction d'un outil d'exploitation.

# INTRODUCTION TECHNIQUE

Pascal Cheippe – Cerema

## 1. Le programme « Bâtiments démonstrateurs »

Le programme « Bâtiments démonstrateurs » de la plateforme PREBAT cible tous les acteurs, y compris les particuliers. Il a été lancé en 2006 dans le but d'apporter des solutions performantes à un coût raisonnable. Les premières mesures ont été réalisées en 2009, pour des rapports d'évaluation publiés à partir de 2012.

## 2. Une capitalisation pour l'opérationnel

La capitalisation pour l'opérationnel a pour objet de permettre d'opérer des améliorations de différentes natures (techniques, organisationnelles, comportementales, économiques, etc.). Là encore, la logique va du concepteur à l'occupant. Cette démarche de capitalisation repose uniquement sur des constats, étant par nature des faits incontestables. Les recommandations qualitatives sont formulées à une étape ultérieure de la démarche.

## 3. L'échantillon 2017

L'échantillon est composé de 141 opérations, assez majoritairement localisées selon un axe Perpignan-Nancy. Toutefois, toutes les zones climatiques sont couvertes. Ces opérations sont essentiellement situées en milieu urbain. Les constructions neuves sont prioritaires, mais la part des rénovations progresse au fil du temps. Les performances sont assez élevées, soit proches, soit au-delà du label BBC. L'échantillon est intéressant, mais reste limité. Selon les destinations d'usage, les opérations peuvent être peu nombreuses. La prudence est donc de mise.

# PERFORMANCE TECHNICO-ÉCONOMIQUE

## CONSOMMATION ET PERFORMANCES D'ENSEMBLE DU NOUVEL ÉCHANTILLON

### Constance Lancelle – Cerema

#### 1. Consommations mesurées

Les consommations ont été mesurées en kWh d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de SHON et par an. En tertiaire, les consommations sont moins élevées qu'en habitation, ne serait-ce qu'en raison d'un temps total d'occupation moins important. En habitation, la consommation est la plus faible en individuel, du fait d'une SHON plus élevée, d'un pilotage plus fin et de pertes réduites.

Le poids des consommations non réglementées est de plus en plus important, pour être compris entre 30 % et 50 %. Cela est particulièrement vrai en tertiaire, où les serveurs consomment beaucoup d'énergie.

Le chauffage reste le premier poste de consommation en habitation, devant l'eau chaude sanitaire, dont l'importance relative est croissante. Dans le tertiaire, le chauffage constitue également le premier poste de consommation, devant la ventilation.

Il est intéressant de noter que la consommation en inoccupation peut représenter plus de 50 % du total en tertiaire, dans la mesure où les serveurs et les ventilations continuent de fonctionner. Dans l'absolu, les gisements d'économies sont considérables.

#### 2. Confrontation calcul/mesure

La consommation attendue est la consommation recalculée en fonction des conditions météorologiques et des paramètres d'occupation. Elle permet de réduire les écarts, mais les aléas restent nombreux. En d'autres termes, tout ne peut pas être modélisé, en particulier la chaîne des acteurs et les usages.

#### 3. Production photovoltaïque

Les surfaces considérées varient de 16 m<sup>2</sup> à 1 600 m<sup>2</sup>. Dans l'ensemble, le calcul réglementaire est assez proche de la mesure réalisée. La productivité des panneaux est assez similaire ; les résultats moyens sont donc indépendants des zones climatiques. Au sein d'une même zone climatique, les résultats peuvent varier assez fortement. Dans le temps, si le photovoltaïque produit assez peu en hiver, cette production n'est pas négligeable pour autant.

## INVESTISSEMENT, RENTABILITÉ ET COÛT GLOBAL

**Julie Ringaut et Agnès Pouillaude – Cerema**

### 1. Approche comparative BBC/RT 2005

L'analyse repose sur une comparaison des performances du bâtiment PREBAT et du bâtiment de référence, reposant sur la RT 2005. Les coûts des bâtiments PREBAT renvoient aux factures ou aux DPGF. Pour les bâtiments de référence, la mesure se base sur les surcoûts déclarés par la maîtrise d'ouvrage.

### 2. Coût d'investissement

L'échantillon est composé de bâtiments neufs : 10 habitations individuelles, 10 habitations collectives et 6 bâtiments tertiaires. Le coût d'investissement nécessaire à l'atteinte d'une performance énergétique supérieure au niveau réglementaire ressort à 20/25 % en moyenne en habitation individuelle et à 10 % en habitation collective. Dans le tertiaire, la taille de l'échantillon et les caractéristiques très variées des bâtiments ne permettent pas d'évaluer l'importance du coût d'investissement nécessaire à l'atteinte d'une performance énergétique supérieure au niveau réglementaire. En habitation collective et en tertiaire, les surcoûts portent essentiellement sur les équipements.

### 3. Nette baisse des coûts énergétiques

Plus les surcoûts sont importants, plus la performance énergétique se renforce. Les consommations mesurées sont orientées à la baisse sur les cinq postes réglementés. Les gains énergétiques ressortent à 70 % en habitation individuelle. En habitation collective équipée de photovoltaïque, les coûts énergétiques ont pu être divisés par 9. En moyenne, les coûts énergétiques en habitation collective ont été divisés par 2. En tertiaire, les gains sont très variables, le facteur de division des coûts allant de 2,5 à 4,5.

### 4. Coût global

Pour apprécier le retour sur investissement dans la durée, il est nécessaire de raisonner en coût global. Dans cet exercice, il n'est pas tenu compte de la valeur résiduelle, c'est-à-dire de la valeur de revente du bien considéré.

L'estimation du coût global est réalisée selon deux points de vue :

- Celui de l'occupant ou du gestionnaire du bien, pouvant privilégier l'instant présent, le confort et la dimension financière ;
- Celui de l'intérêt général intergénérationnel, ne distinguant pas le présent du futur et tenant pleinement compte de l'externalité CO<sub>2</sub>.

Dans les deux cas, l'approche repose sur deux périodes d'occupation, de 20 ans et de 50 ans. Les résultats obtenus doivent être maniés avec prudence, puisque calculés à partir d'une vingtaine d'opérations. Il apparaît que le bâtiment le plus cher à l'investissement reste le plus cher en coût global, l'investissement représentant de 70 % à 80 % du coût global. Cela appelle à tâcher de maîtriser le coût d'investissement. Toutefois, l'étude porte sur des bâtiments démonstrateurs, comptant des matériaux innovants non encore généralisés, dont le coût est élevé. La généralisation des matériaux et des process devrait permettre de réduire l'importance du coût d'investissement.

## 5. Efficacité économique de l'investissement

Du point de vue de l'investisseur occupant, le temps de retour sur investissement est inférieur à 50 ans pour la moitié des habitations individuelles. En habitation collective et en tertiaire, le retour sur investissement est assez long.

D'un point de vue environnemental, en valorisant de la même manière le gain présent et le gain futur, le temps de retour sur investissement est plus rapide, notamment pour les habitations individuelles. Pour certaines opérations, en valorisant le CO<sub>2</sub> selon les niveaux standards, le retour sur investissement peut être atteint en moins de 20 ans.

Au total, la rentabilité apparaît difficile à atteindre en approche strictement financière. L'intégration des impacts environnementaux quant à elle fait ressortir une meilleure rentabilité des opérations. Pour aller plus loin, il serait nécessaire de baser l'approche sur un nombre plus important de bâtiments. Cela permettrait de modéliser le point de retournement, afin d'orienter les investissements en fonction des gains possibles.

La performance énergétique nécessite un investissement de départ. Cette remarque est triviale, mais l'étude permet de mesurer l'importance de cet investissement. Depuis la construction des bâtiments considérés, de nombreux processus et matériaux se sont généralisés. Leurs coûts d'inclusion ont largement baissé en quelques années. Cette donnée doit être prise en compte pour minorer les temps de retour sur investissement ayant été calculés.

## QUESTIONS/RÉPONSES

---

Yann DERVIN (Effinergie) demande des précisions sur le coût du photovoltaïque.

Julie RINGAULT indique que le coût de rachat sur la durée du contrat a été intégré.

Yann DERVIN (Effinergie) s'interroge ensuite sur les performances que pourraient présenter des bâtiments à la RT 2012.

Agnès POUILLAUDE indique que l'étude porte sur des bâtiments très instrumentés, ayant vocation à atteindre la norme BBC. L'échantillon compte également un certain nombre de bâtiments respectant la RT 2012.

Olivier DAVIDAU (AMOES) souligne l'intérêt des données opérationnelles présentées et demande si les données brutes ont vocation à être rendues accessibles aux professionnels du bâtiment.

Agnès POUILLAUDE indique qu'une base de données est en cours de construction.

Valéry DUBOIS observe que l'État souhaite que ces données soient mises à disposition du secteur.

Maxime RAYNAUD (EDF R&D) s'enquiert des hypothèses retenues pour apprécier l'évolution du prix des énergies dans le calcul du coût global.

Julie RINGAULT précise que l'étude s'est basée sur l'évolution moyenne constatée lors des 15 années

précédentes. Le coût du CO<sub>2</sub> a été intégré à hauteur de 100 euros la tonne à l'horizon 2030.

Un intervenant (matin, 1h32mn30) remarque que la consommation issue de la ventilation est très faible. Il demande si cette consommation se limite aux moteurs.

Agnès POUILLAUDE précise que la mesure se limite aux moteurs, puisqu'elle porte seulement sur la partie électrique.

Jean-Baptiste BERNARD souhaiterait connaître la description technique des solutions retenues par les différents bâtiments de l'échantillon. Il imagine par ailleurs que le tarif de rachat du photovoltaïque a fortement évolué depuis la réalisation de l'étude.

Julie RINGAULT souligne que le rapport compte une partie dédiée à la description technique de quelques bâtiments exemplaires, soit très performants, soit peu performants. Tous les bâtiments n'ont pas été décrits sous cet angle.

Agnès POUILLAUDE considère que la question soulevée est importante. Il pourrait être envisageable de rédiger une fiche synthétique pour chaque bâtiment.

Philippe LEONARDON (Ademe) note que l'observatoire BBC géré par Effinergie compte une fiche descriptive des caractéristiques techniques des opérations. Les fiches techniques existent déjà.

Valéry DUBOIS invite Julie RINGAULT à explorer davantage la question relative au retour sur investissement pour les occupants.

Julie RINGAULT distingue les investissements rentables des investissements militants. Certaines opérations ne permettent pas de retour financier, mais permettent de valoriser la transition énergétique. Il serait très intéressant de renforcer le nombre de cas d'analyse, notamment en lien avec l'observatoire BBC Effinergie, afin de mieux apprécier le lien possible entre l'investissement et le retour sur investissement sous toutes ses formes. Les orientations des politiques publiques pour la transition énergétique invitent en effet à approfondir l'approche en coût global.

Olivier DAVIDAU (AMOES) s'interroge sur les possibles biais dans la prise en compte des surcoûts, ces derniers étant déclarés par le maître d'ouvrage, pouvant bénéficier de subventions. Il demande si les chiffres présentés restent d'actualité alors que les bâtiments relèvent désormais de la RT 2012 et devront prochainement se conformer à la RT 2020.

Julie RINGAULT précise que les surcoûts déclarés ont fait l'objet d'une vérification par l'Ademe. Le Cerema, ayant suivi chaque projet, s'est assuré de la cohérence entre les projets et les surcoûts déclarés.

Agnès POUILLAUDE note quant à elle que le passage de la RT 2005 à la RT 2012 a reposé sur les gisements d'économies les plus faciles à exploiter. Le passage à la RT 2020 devrait donc coûter plus cher. Pour gravir cette nouvelle marche, le soutien des pouvoirs publics est nécessaire, afin que le coût de l'innovation soit partagé entre la sphère publique et le domaine privé.

Jean-Jacques BARREAU (LCA FFB) souligne que le particulier, lorsqu'il achète une maison, s'intéresse peu au coût global. En moyenne, ce particulier conserve sa maison 7 ans. Les décès, les divorces et les déménagements constituent les premiers motifs de revente rapide.



Jean-Jacques BARREAU (LCA FFB) suggère par ailleurs de faire le lien entre le programme PREBAT et le projet COMEPOS, reposant sur un nombre assez important de bâtiments instrumentés.

Enfin, Jean-Jacques BARREAU (LCA FFB) partage la remarque d'Agnès POUILLAUDE concernant le renchérissement des gains énergétiques liés au passage à la RT 2020.

Agnès POUILLAUDE se déclare intéressée par l'enrichissement des panels.

Jean-Jacques BARREAU (LCA FFB) note que plusieurs constructeurs de maisons à énergie positive à coûts maîtrisés sont engagés dans le projet COMEPOS, dont l'intérêt est certain. En 2020, 25 maisons instrumentées et habitées seront suivies dans ce cadre.

Dominique TAYLE considère que le retour sur investissement ne constitue pas encore un facteur incitatif suffisant. Le retour sur investissement nécessite une adaptation profonde des pratiques, alors que les occupants cherchent à limiter cette adaptation, voire y sont réticents. Pour apprécier finement les impacts des opérations, il serait nécessaire d'élargir considérablement l'échantillon exploré. Dominique TAYLE note par ailleurs que les réglementations successives n'ont pas permis de réduire les consommations.

Julie RINGAULT assure que la limitation à 22 observations ne résulte pas de sa volonté. La question est complexe, puisque les approches sur les coûts nécessitent une remontée d'information dès le lancement d'un projet. Il suffit qu'une partie des données manque pour qu'une opération ne puisse pas être incluse.

Nicolas DORÉ (Ademe) souhaite souligner en réponse à Dominique TAYLE que le passage à la RT 2012 a permis de réduire les consommations énergétiques, même si les gains modélisés ne devraient pas être atteints en totalité. La RT 2020 devra être définie de manière ambitieuse, mais également de manière réaliste, afin d'éviter de faire exploser les coûts de la construction.

# FACTEURS DE LA PERFORMANCE – ENSEIGNEMENTS TECHNIQUES ET PRATIQUES DES ACTEURS

## PERFORMANCE DU BÂTI

---

Pierrick Nussbaumer et Myriam Humbert – Cerema

### 1. Enveloppes conçues

En moyenne, les déperditions énergétiques des parois verticales et horizontales de l'échantillon sont relativement satisfaisantes, même si les performances de la RT 2005 ne sont pas atteintes. La performance  $U_{\text{bât}}$ , c'est-à-dire la performance théorique, montre que les baies vitrées peuvent représenter jusqu'à 60 % des déperditions. Il faut cependant noter que les baies vitrées génèrent un apport solaire. Les ponts thermiques quant à eux peuvent représenter 25 % des déperditions. La méthode  $U_{\text{bât}}$  est expérimentale. Elle doit être considérée avec prudence et n'est pas opposable. Les débits de ventilation sont déduits des mesures de consommation électrique. Les apports internes sont déduits des scénarios d'occupation, lesquels ne peuvent pas être maîtrisés. Le renouvellement d'air par ouverture de fenêtre ne peut pas être mesuré. Enfin, l'inertie n'est pas prise en compte. Le bilan est réalisé sur une semaine, afin de s'affranchir de l'inertie quotidienne.

### 2. Performance thermique réelle

Sans surprise, l' $U_{\text{bât}}$  réel est supérieur à l' $U_{\text{bât}}$  théorique. Les motifs d'écart sont nombreux, à commencer par les erreurs de calcul, la mauvaise prise en compte des ponts thermiques, la modification des matériaux par rapport à la prescription de départ ou encore la qualité de la mise en œuvre.

### 3. Étanchéité à l'air

Les résultats d'étanchéité à l'air sont globalement satisfaisants, même si certains bâtiments présentent des performances assez faibles. Ces quelques mauvais résultats sont largement liés à l'absence de prise en compte du sujet lors de la phase de conception. Lorsque les maîtres d'ouvrage se donnent les moyens d'instruire le sujet, les résultats sont très intéressants.

---

## PARAMÈTRES DE L'OCCUPATION

---

### Noélie Carretero et Myriam Humbert – Cerema

#### 1. Température de consigne

La température de consigne pratiquée varie davantage en résidentiel – en particulier collectif – que dans le tertiaire. Le niveau de la température de consigne n'est pas nécessairement lié au système de chauffage. Les facteurs explicatifs renvoient davantage au confort et au niveau de maîtrise du système. Dans le tertiaire, la température de consigne varie assez peu parce qu'elle n'est pas à la main des occupants, mais pilotée par le gestionnaire.

#### 2. Réduits de température

Le réduit de température correspond à une période de moindre besoin en chauffage. Il est suivi d'une période de relance, lorsque le besoin redevient important. Dans le panel, les réduits sont très fréquents en maison individuelle. Les températures y sont les plus basses entre 4h et 8h du matin. En habitat collectif, le réduit est peu important, puisque difficile à mettre en œuvre. Au total, l'effet des réduits est assez modéré, pouvant représenter 0,5 degré sur la moyenne journalière. Dans le secteur tertiaire, les réduits sont concentrés sur le week-end, mais sont pratiquement inexistant la nuit.

#### 3. Température de non-chauffage

La température de non-chauffage renvoie au seuil de température extérieure à partir duquel il est nécessaire de chauffer le bâtiment pour atteindre la température de consigne. Pour 50 % des opérations, cette température de non-chauffage n'a pas pu être calculée, en raison de l'irrégularité des conditions d'occupation et des températures de consigne. Sur les 50 % restants, l'écart moyen entre la température de consigne et la température de non-chauffage est de 5 degrés.

---

## QUESTIONS/RÉPONSES

---

Yann DERVIN (Effinergie) pense qu'il serait intéressant de comparer les données de l'observatoire BBC et du panel  $U_{bât}$ .

Valéry DUBOIS prend bonne note de cette remarque.

## PERFORMANCE DES ÉQUIPEMENTS THERMIQUES

**Constance Lancelle et Pierrick Nussbaumer – Cerema**

### 1 Chauffage

L'échantillon est essentiellement composé de chaudières au gaz à condensation dans le résidentiel et de pompes à chaleur dans le tertiaire. Le niveau de consommation est très variable, de 1,5 à 125 kWh d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de SHON et par an, avec une moyenne de 46 kWh. Les rendements saisonniers des chaudières sont toujours supérieurs à 80 %. L'écart entre les chaudières individuelles et centralisées n'est pas significatif. La part du temps où la puissance atteinte représente plus de 10 % de la puissance nominale est très réduite. Le plus souvent, le fonctionnement se fait à faible puissance, ce qui crée des cycles courts et génère des surconsommations lorsque la chaudière s'éteint ou se rallume. Ces éléments conduisent à interroger l'adéquation entre la complexité des systèmes et les compétences du gestionnaire et illustrent l'importance à associer les acteurs de l'exploitation dès la phase de conception.

### 2 Eau chaude sanitaire

Dans l'échantillon, 80 % des installations sont solaires. Dans le tertiaire, elles sont composées à 50 % de ballons électriques. Les consommations des bâtiments tertiaires sont comparables à celles de l'habitat individuel. Celles de l'habitat collectif sont les plus élevées, ce qui est notamment lié au bouclage des logements. Jusqu'à 70 % de la production d'ECS peut être utilisée pour réchauffer le bouclage. Le taux de production orienté vers le bouclage est plus réduit lorsque les opérations sont plus petites et plus compactes. En solaire, de 20 % à 60 % de la consommation totale est couverte par l'installation. Dans certains cas, la production est limitée par l'insuffisance des surfaces pour accueillir par les panneaux.

### 3 Ventilation

En tertiaire, la ventilation constitue le 2<sup>ème</sup> poste de consommation. Dans l'échantillon, le double flux est très largement majoritaire. La consommation relève à 50 % des temps d'inoccupation, alors que l'obligation en continu ne s'applique pas au sein des immeubles de bureau. Les échangeurs double flux présentent des niveaux d'efficacité supérieurs à 70 %, voire à 80 %, ce qui peut être qualifié de correct en dépit des dysfonctionnements rencontrés. De manière individuelle, les occupants peuvent être sensibles aux courants d'air, ce qui les incite parfois à obstruer des bouches d'aération. Ces pratiques, peu adaptées, peuvent en outre avoir pour effet de renforcer les désagréments des autres occupants lorsque le système est collectif.

### 4 Auxiliaires

Les consommations des auxiliaires sont assez disparates en habitation individuelle. Peu de personnes passent la chaudière en mode été. En habitation collective, les consommations sont plus homogènes et chutent réellement pendant l'été. En revanche, les pompes de bouclage peuvent représenter une part très importante de la consommation des auxiliaires.

### 5 Refroidissement

Les données sont peu fournies, les bâtiments refroidis étant peu nombreux. Les consommations sont très variables, ce qui peut résulter de besoins hétérogènes ou d'un manque de contrôle des dispositifs.

## QUESTIONS/RÉPONSES

---

Un intervenant comprend que les consommations d'ECS soient plus importantes en habitat collectif qu'en habitat individuel. En revanche, il s'étonne que la consommation de chauffage au m<sup>2</sup> de SHON soit la plus importante en collectif.

Pierrick NUSSBAUMER pense que la température de consigne peut jouer sur la consommation de chauffage au m<sup>2</sup> de SHON. En outre, les occupants d'une maison individuelle connaissent généralement mieux le système que l'occupant en habitat collectif ou son gestionnaire.

Constance LANCELLE ajoute que l'occupant d'une maison individuelle paie sa facture au réel, ce qui n'est pas nécessairement le cas en habitat collectif. De plus, le gestionnaire peut avoir tendance à augmenter le thermostat pour éviter les plaintes des occupants.

Noélie CARRETERO souligne que les réduits de consigne sont très faibles en habitat collectif, ce qui explique l'importance de la consommation de chauffage.

Maxime RAYNAUD (EDF R&D) observe que la présentation ne permet pas de distinguer les performances des bâtiments neufs de celles des bâtiments rénovés.

Pierrick NUSSBAUMER explique que l'échantillon compte des bâtiments dont les rénovations ramènent aux performances d'un bâtiment neuf. Au-delà de la synthèse présentée, le rapport permet de faire la distinction entre les bâtiments neufs et les bâtiments rénovés.

Constance LANCELLE note que les systèmes énergétiques antérieurs aux rénovations sont documentés, mais elle ne croit pas que l'information ait été exploitée.

Maxime RAYNAUD (EDF R&D) demande si la consommation réelle est comparée poste par poste à la consommation conventionnelle.

Pierrick NUSSBAUMER indique que la démarche s'est focalisée sur l'exploitation, davantage que sur une meilleure modélisation des consommations poste par poste.

Yann DERVIN (Effinergie) s'enquiert de l'écart entre les COP théoriques annoncés et les COP saisonniers mesurés sur les pompes à chaleur.

Pierrick NUSSBAUMER note que ces éléments sont précisés dans le rapport complet. Le COP saisonnier peut notamment varier en fonction de la température de départ et de l'éventuel surdimensionnement de la pompe.

Nicolas DORÉ (Ademe) demande si les rendements saisonniers de l'ordre de 80 % s'entendent en PCI ou en PCS. Il s'interroge sur l'origine des dysfonctionnements conduisant à des rendements inférieurs à 50 %. Nicolas DORÉ (Ademe) suggère finalement de procéder à une comparaison entre les COP saisonniers et les étiquettes énergie.

Pierrick NUSSBAUMER précise que les rendements s'entendent en PCI. Il n'est pas en mesure de lister les motifs de dysfonctionnements ayant conduit à des performances inférieures à 50 %. En outre, Pierrick NUSSBAUMER prend note de la suggestion portant sur la comparaison entre les COP

saisonniers et l'étiquette énergie.

## PERFORMANCE DE L'ÉCLAIRAGE

---

### François Marconot – Cerema

#### 1 Consommations de l'éclairage

Au fur et à mesure que les consommations de chauffage et de ventilation diminuent, la part de la consommation liée à l'éclairage se renforce. Dans l'échantillon PREBAT, des dérives ont été observées, et ce quel que soit le type de bâtiment. Les consommations étant très variables, il est difficile d'apprécier finement la consommation en habitat individuel, en habitat collectif ou en tertiaire.

#### 2 L'éclairage dans les habitations

Dans les habitations, la consommation diurne est stable tout au long de l'année et représente 30 % de la consommation totale. En collectif, les parties communes représentent une partie très importante de la consommation totale, en particulier lorsqu'elles comptent des locaux aveugles.

#### 3 L'éclairage dans les bâtiments tertiaires

La consommation en inoccupation représente 30 % de la facture dans les écoles et de 40 % à 55 % dans les bureaux.

#### 4 L'éclairage extérieur

L'éclairage extérieur, en habitat collectif ou en tertiaire, peut représenter une part très importante de la consommation électrique. Les consommations varient de 1 à 40 en fonction du pilotage de l'immeuble.

#### 5 Synthèse : 4 étapes pour un fonctionnement optimal

Le fonctionnement optimal peut être atteint si ces 4 étapes sont respectées :

1. Identifier les zones homogènes bénéficiant d'un même éclairage ;
2. Identifier le type de commande ;
3. Calibrer les capteurs ;
4. Vérifier les paramètres et affiner à l'usage.

## QUESTIONS/RÉPONSES

---

Claire LABELLE s'interroge sur l'importance des consommations hors occupation liées à des objectifs de sécurisation des bâtiments.

François MARCONOT pense que certains gestionnaires maintiennent l'éclairage extérieur pour sécuriser les bâtiments, même si le lien entre éclairage nocturne et sécurité est assez subjectif.

## PERFORMANCE DES ÉQUIPEMENTS MOBILIERS ET AUTRES ÉQUIPEMENTS IMMOBILIERS

---

**François Marconot et Jordan Gauvrit – Cerema**

### 1 Le poids des équipements mobiliers et immobiliers

La réduction de la consommation des équipements mobiliers constitue un sujet d'avenir. Pour l'heure, les données sont peu nombreuses, ce qui appelle des enquêtes complémentaires.

### 2 Les « autres » équipements immobiliers

La consommation énergétique des ascenseurs renvoie majoritairement à la veille et à l'éclairage et non à la motorisation. En veille, la consommation varie de 1 à 9 en fonction des pratiques de gestion de l'éclairage. Dans les administrations et les écoles, certains ascenseurs servent à assurer l'accessibilité des locaux et ne sont que très rarement utilisés. Il est donc naturel que la veille représente la majeure partie de la consommation.

### 3 Les équipements mobiliers dans le tertiaire

La bureautique constitue, en énergie finale, le premier poste de consommation énergétique. En outre, les postes fixes consomment environ 5 fois plus que les postes portables. Les serveurs génèrent également des consommations importantes. Il peut être difficile de jouer sur cette ligne de consommation, renvoyant à une dimension sensible dans le fonctionnement des entreprises et des administrations. Les machines à café, cafetière et machines à eau consomment également une énergie importante. L'arrêt nocturne pourrait présenter un intérêt, puisqu'une machine à café consomme 20 fois plus qu'un ordinateur portable. Dans certaines entreprises, des clés de coupure sont installées pour réduire les consommations nocturnes. Parfois, le réseau électrique est dédoublé, pour éviter d'éteindre les réfrigérateurs. Hélas, dans un contexte où la prise d'initiative est de moins en moins vécue comme une possibilité dans le monde du travail, il est fréquent que personne n'ose actionner la clé de coupure.

### 4 Les équipements mobiliers dans le résidentiel

En résidentiel, le froid alimentaire représente de 15 % à 30 % de la consommation énergétique. L'audiovisuel représente quant à lui de 10 % à 25 %. Sa consommation peut être modulée grâce à la gestion du mode veille. Dans le dispositif mis en œuvre, les logements de l'échantillon ont pu réduire les consommations de l'équipement audiovisuel en mode veille de 6 % à 66 %.

### 5 Synthèse : les points de vigilance à chaque étape

Les leviers d'action sur les consommations mobilières et immobilières sont nombreux. Cumulés, ils peuvent avoir un effet significatif sur les consommations, en particulier s'ils sont envisagés dès la conception, par exemple en retenant un ascenseur dont l'éclairage n'est pas permanent hors utilisation.

---

## QUESTIONS/RÉPONSES

---

Florence MONIER (FIEEC) signale que le règlement européen EcoDesign fixe des valeurs maximales de consommation en mode veille.



François MARCONOT souligne que les données présentées ont été collectées de 2010 à 2015. Le contexte a largement changé depuis cette période.

Dominique TAYLE fait savoir que 2 années sont généralement nécessaires entre la livraison d'un bâtiment et son pilotage en mode de croisière. Il observe en outre que la façade nord de l'arche de la Défense est actuellement en rénovation. Les isolants sont exposés aux intempéries. Cette pratique est extrêmement courante. Dominique TAYLE a publié dans la revue *Environmental impact assessment* un article illustrant le lien entre les zones d'isolation dégradées par des événements climatiques extrêmes et les fluctuations de la thermographie interne. Pour mieux apprécier ce phénomène, il serait intéressant de réaliser des instrumentations sur 5 ans, 10 ans, voire de manière permanente.

Alain DEZELUT (DTT Val-d'Oise) revient sur un point évoqué lors de la présentation, observant que le taux de panne des serveurs augmente lorsque ceux-ci sont éteints et rallumés. Il semble peu probable de pouvoir jouer sur cette ligne de consommation.

# QUALITÉ D'USAGE ET PERFORMANCE SOCIO-TECHNIQUE

## CONFORT THERMIQUE ET QUALITÉ D'USAGE

**Jean-Alain Bouchet et Noélie Carretero – Cerema**

### 1 L'évaluation sociotechnique du confort d'été

Le confort thermique ne se mesure pas, mais peut être évalué en fonction de différents paramètres. Au-delà des paramètres objectifs, différents aspects font varier la perception de l'utilisateur. Dans l'échantillon PREBAT, certains bâtiments présentent des températures supérieures à 28 degrés pendant des périodes assez longues, en particulier dans le collectif. En tertiaire non climatisé, les données en occupation peuvent fortement varier. Par exemple, les températures supérieures à 28 degrés sont peu fréquentes en occupation dans le domaine de l'enseignement, dans la mesure où les écoles sont fermées aux mois de juillet et d'août. Dans l'habitat collectif, les écarts de température entre les différents logements peuvent être importants et représenter jusqu'à 4 degrés, alors que le pilotage s'opère au niveau global de l'enveloppe. Des écarts non négligeables existent également entre les pièces d'un même logement. La variation jour/nuit est moins importante en collectif qu'en individuel, ce qui n'est pas lié à l'inertie, mais s'explique principalement par une ventilation nocturne trop faible. Le confort thermique est globalement de bon niveau. Les résultats montrent que les bâtiments sont confortables, en dépit des pics d'inconfort. Ces résultats statistiques sont confirmés par les témoignages des occupants. Les inconforts sont donc ponctuels. Ils renvoient en grande partie à la gestion des apports solaires, des ouvrants et des occultants.

### 6 La gestion thermique au cœur du confort d'été

Les bâtiments basse consommation sont plus sensibles que les bâtiments classiques au pilotage thermique d'été. La mécompréhension des caractéristiques du pilotage peut provoquer un inconfort, pouvant être plus intense que dans un bâtiment classique. L'ouverture nocturne des baies est indispensable pour contrecarrer le confinement thermique, mais cette pratique présente certaines limites, notamment dans le tertiaire, où les locaux inoccupés ne peuvent pas rester ouverts. En habitat, l'occupant peut être dissuadé d'ouvrir ses fenêtres en raison du bruit extérieur. La gestion thermique d'été nécessite finalement des compétences techniques et des connaissances culturelles.

### 7 Autres aspects de la qualité d'usage

Les occupants sont très satisfaits du confort hivernal. Certains points d'insatisfaction sont cependant à signaler et renvoient pour une grande partie au fonctionnement des systèmes, pouvant engendrer des températures trop faibles ou des ambiances inégales d'une pièce à une autre. Les systèmes peuvent dysfonctionner, mais peuvent également être incompris. Globalement, le niveau d'inconfort est plus faible lorsque l'occupant a la main sur le pilotage. Enfin, d'un point de vue financier, les occupants témoignent d'une réelle économie en habitat collectif et individuel. Cela peut également être vrai en tertiaire, mais l'accès aux données est souvent complexe, voire n'est pas possible pour les gestionnaires.



---

## QUESTIONS/RÉPONSES

---

Véronique MERLE (UCANSS) est très surprise par les résultats du secteur tertiaire, ne faisant pas ressortir d'inconfort d'été. Elle demande des précisions sur les systèmes permettant de parvenir à un tel résultat.

Jean-Alain BOUCHET souligne que l'échantillon ne compte que peu d'immeubles de bureaux non climatisés et partage l'étonnement de Véronique MERLE. Il convient également de tenir compte des zones climatiques concernées. En l'occurrence, les 5 bâtiments non climatisés de l'échantillon PREBAT se situent dans le nord de la France.

## FACTEURS DÉTERMINANTS DE LA CONSOMMATION ET APPROPRIATION PAR L'OCCUPANT

---

**Myriam Humbert – Cerema et Christèle Assegond – Université de Tours**

### 1 Facteurs déterminants de la consommation : analyse statistique

Les déterminants de la performance énergétique des bâtiments basse consommation restent difficiles à cerner. Les données de besoin en chauffage ont été analysées par régression multilinéaire pour être comparées aux autres paramètres : température de consigne, apports internes, étanchéité à l'air, déperdition technique, etc. Cette analyse de régression multilinéaire ne révèle pas de corrélation avec les besoins en chauffage. L'échantillon, composé d'une cinquantaine de bâtiments, est certainement trop faible.

### 8 Facteurs déterminants de la consommation : analyse de sensibilité

Pour lever l'écueil lié à la faiblesse de l'échantillon, l'analyse a été réorientée vers l'écart entre les consommations attendues et les consommations mesurées. L'écart le plus fréquent, concernant plus d'un tiers des opérations, renvoie à la température de consigne et entraîne une augmentation de la consommation. La transmission thermique de l'enveloppe constitue un facteur important, puisque étant très sensible aux variations, conduisant là encore à une augmentation des consommations. Les conditions météorologiques, si elles sont sans lien avec les performances du bâtiment, génèrent un impact important pour un quart des opérations, mais pouvant être aussi bien à la hausse qu'à la baisse. En revanche, les écarts liés aux apports internes et aux scénarios sont assez faibles. De la même manière, l'étanchéité à l'air constitue un paramètre peu impacté, les mesures initiales ayant été conformes aux performances réelles. D'autres paramètres existent, comme les débits de ventilation, les ouvertures de fenêtres ou la performance des systèmes, mais n'ont pas pu être mesurés.

### 9 Appropriation du bâtiment par les occupants et impacts sur les consommations

Lorsque des dérives de consommation ou des dysfonctionnements sont observés, les occupants sont souvent pointés du doigt. Ils peuvent l'être à raison, mais il convient de rappeler que le bâtiment est censé accueillir des occupants et des activités. Au sein d'un même bâtiment, les occupants peuvent avoir le sentiment d'être victimes d'injustices en fonction de leur positionnement au sein des espaces de travail. Lorsque des plaintes sont remontées, il est important d'objectiver l'appréciation de l'occupant par des mesures de terrain. Le confort, notion allant bien au-delà du seul confort thermique, constitue l'unique grille de lecture de l'occupant. Celui-ci a soit une impression de confort, soit une impression d'inconfort. Dans l'échantillon, le niveau de satisfaction est très élevé. Les inconforts sont ponctuels. Lorsqu'ils sont intenses, ces inconforts renvoient souvent à des bâtiments ayant fait l'objet de malfaçons. Lorsqu'un occupant ressent une impression d'inconfort, il peut avoir tendance à perturber le fonctionnement routinier du bâtiment, voire à le modifier dans son ensemble pour rétablir son confort personnel. Tant que l'occupant est dans le confort, il contribue au fonctionnement harmonieux et à la sobriété énergétique. Pour les occupants, la sobriété énergétique ne constitue pas une fin en soi.

En Île-de-France, une école a été rénovée en 2012, avec pour objectif de réduire les consommations. Le chantier a été mené à marche forcée, en l'espace de 4 mois. Les occupants sont très peu associés au projet. Après la réalisation du chantier, des problèmes de confort thermique se posent rapidement, ce qui aboutit à la multiplication des radiateurs d'appoint. L'opérateur constate

rapidement que le temps d'ouverture des fenêtres ne correspond pas au temps théorique et conduit à la baisse de la température. Dans le temps théorique, il n'a pas été tenu compte de l'aération nécessaire après le nettoyage des locaux. Les professeurs quant à eux ouvrent les fenêtres pour renouveler l'air, même s'il leur est dit que le débit de la VMC est suffisant. Au total, la performance énergétique et l'hygiène viennent se concurrencer. Cela a conduit l'école, s'étant engagée à atteindre un certain niveau de performance énergétique, à brider les fenêtres avec des clés. Cela a rapidement un impact positif sur le niveau de consommation, mais dans un second temps, les clés sont reproduites par les personnels pour que l'ouverture des fenêtres soit plus facile.

Dans les Côtes-d'Armor, un lotissement à destination des personnes âgées a été construit au début des années 2010. Le projet architectural met en avant l'accessibilité, mais également la performance énergétique. Les consommations sont assez faibles, alors que les occupants n'utilisent pas les thermostats. La régulation s'opère uniquement au radiateur et à la fenêtre. Ce lotissement, relevant du parc social, compte tout simplement des occupants dont la sobriété énergétique est culturelle. Ils prennent de courtes douches, éteignent les appareils plutôt que de les laisser en veille, éteignent le chauffage lorsqu'ils sortent, etc.

Les liens entre les différents acteurs dans un bâtiment constituent un facteur central. En tertiaire, les entreprises développent pour beaucoup une stratégie d'interdiction. Les occupants ne doivent pas avoir accès au système et sont, si possible, laissés dans l'ignorance. Toutefois, de plus en plus d'entreprises optent pour l'accompagnement et l'implication des acteurs, considérant que la performance n'est pas possible dans la durée si elle doit se faire contre les occupants. Ces derniers parviennent toujours à leurs fins, quitte à détourner les systèmes et à braver les interdictions, à l'image des personnels de l'école de Bougival, ayant fait des doubles des clés pour ouvrir les fenêtres. Les bâtiments tertiaires doivent être propices à l'activité de leurs occupants. Il n'est pas possible de se limiter à interdire et à contraindre.

## QUESTIONS/RÉPONSES

Un intervenant revenant à la présentation précédente, observe que les bâtiments sont peu nombreux à présenter des dérives supérieures à 15 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Myriam HUMBERT explique que chaque slide renvoie à un paramètre particulier. Pour calculer les dérives totales, il conviendrait d'additionner les paramètres et de le faire bâtiment par bâtiment.

L'intervenant a cependant le sentiment au vu des données globales affichées que les dérives sont acceptables. Sur ce point, il souhaiterait obtenir des précisions complémentaires sur les bâtiments rénovés au sein de l'échantillon.

Myriam HUMBERT préfère parler d'écart par rapport à la convention, plutôt que de dérive. Une convention est établie au départ, puis corrigée en fonction des consommations réelles. L'occupant est maître de son lieu. S'il souhaite que la température soit de 22 degrés, il a la liberté de fixer cette température de consigne. Les écarts par rapport à la convention sont détaillés paramètre par paramètre dans le rapport. Pour chaque opération, il est précisé s'il est question d'un projet neuf ou d'une rénovation.

Une intervenante demande si des opérations ont été conduites avec l'objectif affirmé de faire évoluer

les comportements. Elle souhaite également savoir si l'échantillon compterait des habitats participatifs.

Christèle ASSEGOUD (après-midi, 3h13mn20) explique que l'échantillon a été construit de sorte à être le plus large et le plus diversifié possible. Toutefois, il ne compte pas d'habitat participatif.

La question de l'accompagnement du changement revêt une grande importance. Elle ne renvoie pas à la notion de comportement, pouvant avoir une connotation morale. Toutefois, certaines pratiques énergétiques peuvent être inadaptées s'il existe un objectif de réduction de la consommation énergétique. Cet objectif peut exister en soi, mais il n'est pas du tout évident que les occupants d'un bâtiment tertiaire s'investissent pour son atteinte. Pour faire émerger une forme de mobilisation, il conviendrait de passer de l'interdiction à l'association. Dans les faits, les gestionnaires font rarement confiance à l'intelligence collective. Or souvent, les occupants veulent bien faire. Les occupants peuvent parfaitement s'investir pour la sobriété énergétique, mais les gestionnaires doivent être conscients que la question ne touche ni plus ni moins qu'aux conditions de travail des personnels. Pour un salarié, l'ordinateur fixe renvoie à un espace personnel. Si un ordinateur portable lui est attribué, il peut potentiellement être conduit au nomadisme contraint.

Un intervenant souligne l'importance de la dimension sociale et sociétale de la transition énergétique. L'occupant doit comprendre pourquoi les gestes qu'il accomplit sont importants. Le changement ne peut se produire que s'il est porteur de sens. L'occupant ne se mobilisera pas s'il a l'impression que le gestionnaire souhaite uniquement le faire sortir de sa zone de confort pour satisfaire à un objectif de réduction des dépenses énergétiques. Les concepteurs quant à eux ne doivent pas chercher à imposer un niveau de confort à leurs clients. Ceux-ci, comme cela a été dit, sont libres de fixer une température de consigne à 22 degrés.

# CLÔTURE

## Nicolas Doré – ADEME – Chef de service adjoint, service bâtiment

Le programme PREBAT est structurant et unique. L'instrumentation de plus d'une centaine de bâtiments génère une masse de données absolument considérable. D'un point de vue scientifique, le programme est l'un des seuls à permettre une réelle comparaison entre la théorie et la réalité. Depuis son lancement en 2006, PREBAT a bénéficié du soutien et de l'implication de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers de personnes. Le programme est donc ambitieux techniquement, scientifiquement et humainement. Il s'engage à présent dans le sprint final et devrait capitaliser sur 20 bâtiments supplémentaires dans les 2 années à venir. Le colloque final, en 2020, ne mettra pas un terme au programme, puisqu'il constituera le point de départ d'une nouvelle forme de valorisation. La base de données, extrêmement riche, doit être mise à la disposition du plus grand nombre d'acteurs. Le Cerema et l'Ademe sont deux opérateurs d'État soumis à la loi Lemaire et devant, à ce titre, rendre leurs données publiques. Cette mise à disposition des données, si elle est imposée par les dispositions légales, doit constituer un objectif en tant que tel.