



**HAL**  
open science

## **CSTB - Projet Retex, Outils pour le RETour d'EXpérience sur les performances en service des bâtiments de dernière génération : bilan de la recherche 2011-2013**

Stéphanie Derouineau, Jean-Marie Alessandrini, Pierre Boisson, Rémi Bouchié, Frédéric Bougrain, Jilien Hans, Rofaïda Lahrech, Sylvain Laurenceau, Jean-Robert Millet, Sylviane Nibel

### **► To cite this version:**

Stéphanie Derouineau, Jean-Marie Alessandrini, Pierre Boisson, Rémi Bouchié, Frédéric Bougrain, et al.. CSTB - Projet Retex, Outils pour le RETour d'EXpérience sur les performances en service des bâtiments de dernière génération : bilan de la recherche 2011-2013. CSTB - Centre scientifique et technique du bâtiment. 2013. hal-01037997v2

**HAL Id: hal-01037997**

**<https://cstb.hal.science/hal-01037997v2>**

Submitted on 23 Jul 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Bâtiment durable**

### **Bilan de la recherche 2011-2013**

# **Projet Retex : Outils pour le RETour d'EXpérience sur les performances en service des bâtiments de dernière génération**

## **Rapport final**

Stéphanie DEROUINEAU

**Octobre 2013**

#### **CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT**

SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2

TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX. (33) 01 60 05 70 37 | SIRET 775 688 229 000 27 | [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229

MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS



**Bâtiment durable**

**Bilan de la recherche 2011-2013**

**Projet Retex : Outils pour le RETour  
d'EXpérience sur les performances en  
service des bâtiments de dernière  
génération**

**Rapport final**

Stéphanie DEROUINEAU

Université Paris-Est, Centre scientifique et technique du bâtiment  
Direction énergie-environnement, Direction isolation et revêtements, Direction  
économie et sciences humaines

Jean Marie ALLESSANDRINI, Pierre BOISSON, Rémi BOUCHIE, Frédéric  
BOUGRAIN, Julien HANS, Rofaïda LAHRECH, Sylvain LAURENCEAU, Jean Robert  
MILLET, Sylviane NIBEL

**Octobre 2013**

© 2014 CSTB



Ce texte est distribué sous les termes de la licence Creative Commons Attribution 3.0 non transposé (CC BY 3.0).

Le texte complet de la licence est disponible à l'adresse suivante : <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>

Résumé des droits et conditions de la licence :

⇒ **Vous êtes libre de :**

- partager (reproduire, distribuer et communiquer) l'œuvre ;
- remixer, adapter l'œuvre ;
- d'utiliser cette œuvre à des fins commerciales.

⇒ **Selon les conditions suivantes :**

- Attribution (paternité, crédit) : vous devez attribuer l'œuvre de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous approuvent, vous ou votre utilisation de l'œuvre).

Toute citation d'extraits, reproduction ou utilisation doit obligatoirement faire apparaître la référence de ce document sous la forme : **Derouineau S. (coord.) Projet Retex : Outils pour le RETour d'EXpérience sur les performances en service des bâtiments de dernière génération : bilan de la recherche 2011-2013, rapport final, CSTB, octobre 2013, 36 p.**

⇒ **Comprenant bien que**

- les droits suivants ne sont en aucune manière affectés par la licence :
  - Vos prérogatives issues des exceptions et limitations aux droits exclusifs ou *fair use* ;
  - Les droits moraux de l'auteur que rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint.
- A chaque réutilisation ou distribution de cette œuvre, vous devez faire apparaître clairement au public la licence selon laquelle elle est mise à disposition. La meilleure manière de l'indiquer est un lien vers cette page web : <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.fr>.

## Résumé

Ce rapport propose un bilan des actions de recherche menées dans le cadre de la programmation de la recherche du CSTB sur la période 2011-2013 concernant le projet de recherche *Retex* intégré à la priorité scientifique et technique « Bâtiments durables ». Un focus est proposé sur un ensemble d'actions marquantes concernant :

- le retour d'expérience sur les performances réelles des bâtiments de dernière génération ;
- l'évaluation des performances énergétiques effectives *in situ* et les méthodes d'accompagnement des dispositifs de garantie de performance énergétique.

**Mots clés** : retour d'expérience, performances *in situ*, bâtiments basse consommation, garantie de performance

## Abstract

This report gives an overview of the *Retex* research project from the internal CSTB "Sustainable Buildings" program over the 2011-2013 period. Some significant works are detailed on:

- Feedback on actual energy performance for low energy consumption buildings;
- *In situ* assessment of actual energy performance and scientific methodologies to support energy performance guarantee processes.

**Keywords**: energy performance feedback, *in situ* energy performance, low energy consumption buildings, energy performance guarantee

## Table des matières

<b>CONTEXTE ET ENJEUX .....</b>	<b>8</b>
<b>1. RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES PERFORMANCES RÉELLES DES BÂTIMENTS DE DERNIÈRE GÉNÉRATION.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Projet européen AFTER .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Revue de littérature internationale .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Protocole de collecte des performances énergétiques réelles : application au logement.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Innover et sécuriser en phase de programmation.....</b>	<b>16</b>
<b>2. L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES EFFECTIVES : VERS LA GARANTIE DE PERFORMANCE.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Retour d'expérience sur les Contrats de Performance Energétique : OBS'CPE .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Groupes de travail du Plan bâtiment durable sur la garantie de performance énergétique.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Atelier Garantie de performance Energétique de la Fondation Bâtiment Energie .....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Conception de l'opération de définition de l'objectif de performance .....	21
2.3.2 Caractérisation des écarts prévisions mesures .....	22
<b>2.4 Projet ANR MEMOIRE .....</b>	<b>22</b>
2.4.1 Objectifs initiaux du projet .....	22
2.4.2 Bilan des travaux réalisés.....	23
<b>2.5 Méthode d'évaluation des performances intrinsèques in situ à réception ....</b>	<b>24</b>
<b>2.6 Méthode de rapprochement des consommations prévisionnelles et réelles .</b>	<b>24</b>
<b>2.7 Méthode d'analyse en cout global .....</b>	<b>27</b>
<b>PERSPECTIVES .....</b>	<b>29</b>
<b>LISTE DES RÉFÉRENCES.....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXE 1 : PRODUCTION DE CONNAISSANCES RETEX.....</b>	<b>34</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Critères primaires de performance utilisés pour l'évaluation des mesures d'efficacité énergétique .....	11
Figure 2 : Exemples de mesures en gestion de l'exploitation .....	12
Figure 3 : Aperçu des différentes rubriques constituant le questionnaire .....	14
Figure 4 : Utilisation des factures d'énergie et d'eau pour l'évaluation des consommations par postes en fonction des énergies utilisées .....	15
Figure 5 : GPEI et GRE .....	19
Figure 6 : Programme de travail de l'atelier garantie de performance de la Fondation Bâtiment Energie .....	21
Figure 7 : Principe de la comparaison mesures/calcul dans le prototype OSEERIS .....	26
Figure 8 : Exemple de comparaison mesure calcul sur un cas réel .....	26
Figure 9 : Coût global énergétique - Bureaux .....	28
Figure 10 : Coût global énergétique - Logements.....	28



## CONTEXTE ET ENJEUX

Face aux enjeux environnementaux, la filière du bâtiment doit aujourd'hui relever des défis ambitieux, à la fois sur la construction neuve et sur la modernisation du parc de bâtiments existants. Aujourd'hui, dans un contexte où le parc de bâtiments français n'est ni répertorié, ni suivi au niveau national, le retour d'expérience sur les performances réelles en service des bâtiments performants demeure encore très faible. Cette situation conduira, si l'on ne s'empare pas de ce sujet à une incapacité à les évaluer et capitaliser les bonnes pratiques, ceci pouvant aller à l'encontre des ambitions affichées par le Grenelle. Cette observation constitue la première étape pour construire un retour d'expérience robuste permettant de tirer les enseignements nécessaires pour faire évoluer favorablement les cadres de conception, de construction et d'exploitation du bâtiment, et *in fine* permettre de s'orienter vers une garantie des performances effectives.

Malgré les efforts engagés par l'ensemble de la filière, le bâtiment reste le consommateur d'énergie le plus important en France. Concernant le parc existant, les rénovations énergétiques progressent mais demeurent encore loin des objectifs affichés de réduction des consommations d'énergie de 38% à l'horizon 2020 à la date du Grenelle (2005). Un des verrous majeur demeure le manque de confiance entre les maîtres d'ouvrage et les acteurs de la construction, ce qui limite en pratique de manière considérable la croissance nécessaire des travaux de réhabilitation lourde. Ceci est d'autant plus marqué dans le contexte de crise actuel, peu favorable aux investissements. La construction de bâtiments neufs hautement performants et les travaux de réhabilitation à très haute performance énergétique ne pourront donc se réaliser de manière massive que si les maîtres d'ouvrage ont la certitude d'obtenir les économies d'énergie prévues en phase de conception. Les attentes en terme de garantie de performance sont donc aujourd'hui fortes et tournées à la fois sur le parc existant, où la garantie de performance est au cœur des contrats de performance énergétique, et les bâtiments neufs qui, soumis à la nouvelle réglementation thermique RT2012, doivent aujourd'hui faire la preuve de leurs faibles consommations dans la pratique.

La garantie de performance énergétique (GPE) est par conséquent un élément clé pour sécuriser l'ensemble de la filière en garantissant à l'utilisateur final du bâtiment une consommation d'énergie annuelle réelle maîtrisée dans des conditions normales d'utilisation du bâtiment et ainsi permettre une rénovation du parc existant dans le cadre d'investissements conséquents mais parfaitement maîtrisés.

Le projet *Retex* élaboré en mars 2011 s'inscrit pleinement dans ces problématiques et propose de contribuer à l'élaboration de bases scientifiques et techniques robustes pour :

- **la mise en place d'un RETour d'EXpérience sur les performances en service des bâtiments performants.** Il s'agit de contribuer au recueil des connaissances et des données nécessaires au retour d'expérience,

ainsi qu'à leur valorisation de manière à faire évoluer favorablement les pratiques de la filière ;

- **le développement d'outils méthodologiques pour l'accompagnement des futurs dispositifs de garantie de performance.** En phase de conception, des prévisions sont établies notamment en termes de consommation énergétique, de coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance, de pratique de gestion, de comportement des utilisateurs. Une fois le bâtiment en exploitation, il est constaté de manière récurrente des écarts significatifs entre ces prévisions et les performances réelles. Il s'agit par conséquent de proposer :
  - o Le développement de connaissances scientifiques permettant d'évaluer et de vérifier avec une précision adaptées les performances réelles des bâtiments neufs et rénovés,
  - o une approche méthodologique permettant d'analyser de manière fiable et robuste les causes possibles des écarts entre performances prévues et performances en service. Il s'agira d'obtenir un degré d'analyse suffisant pour décorrélérer les effets des différents paramètres.

Parmi les actions marquantes du projet *Retex*, citons notamment :

- l'élaboration d'une première version d'une méthode d'évaluation in situ des performances intrinsèques de l'enveloppe à réception. Cette méthode permettant de caractériser l'isolation et l'inertie thermique d'un bâtiment a d'ores et déjà été testée sur des cellules expérimentales. Ces travaux seront consolidés courant 2014 avec la réalisation de tests sur bâtiments réels ;
- la participation du CSTB aux groupes de travail du Plan Bâtiment Durable sur la mise en place d'éléments de cadrage sémantiques et méthodologiques de la garantie de performance énergétique et en particulier de la garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI),
- la contribution du CSTB depuis début 2012 à l'atelier de la Fondation Bâtiment Energie sur la Garantie de Performance Energétique. Les travaux sur l'élaboration d'une méthodologie innovante de GPE pour les bâtiments tertiaires et résidentiel collectifs réhabilités sont en cours, avec des conclusions attendues en 2014-2015.

## **1. RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES PERFORMANCES RÉELLES DES BÂTIMENTS DE DERNIÈRE GÉNÉRATION**

Afin d'illustrer les travaux réalisés autour de la mise en place de retours d'expérience sur les performances réelles des bâtiments de dernière génération, un focus est porté ci-après sur quatre actions de recherche marquantes de la période 2011-2013 :

- le projet européen After qui vise à capitaliser et à valoriser le retour d'expérience sur les mesures d'efficacité énergétique pratiquées en Europe par les bailleurs sociaux ;
- la réalisation d'une revue de littérature à l'international permettant de dégager les problématiques récurrentes en France et dans le monde ;
- la réalisation d'un protocole de collecte des performances énergétiques réelles pour le logement, permettant la capitalisation de données de masse sur le parc de bâtiments de dernière génération ;
- la valorisation du retour d'expérience en phase de programmation afin de préparer au mieux la réalisation de bâtiments tenant leurs promesses.

### **1.1 PROJET EUROPÉEN AFTER**

Au cours des dernières années, les bailleurs sociaux ont joué un rôle exemplaire pour l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le monde du logement. Ces derniers ont grandement anticipé les législations nationales à venir et ont régulièrement expérimenté la construction de bâtiment à basse consommation et la rénovation énergétique de leurs patrimoines. Le projet européen After (<http://afterproject.eu/>) [ 22 ] [ 23 ] [ 24 ] [ 25] est destiné à promouvoir et prolonger cette ambition à la lumière des divers obstacles et défis déterminés en grande partie par la situation économique actuelle. Ce projet collaboratif a pour ambition de faciliter à l'ensemble des bailleurs européens (participants ou non) l'amélioration de l'efficacité énergétique dans leurs parcs en minimisant les coûts. Son but est de promouvoir et de développer la connaissance européenne actuelle dans le champ des stratégies d'économies d'énergie, d'optimiser et tester les stratégies les plus efficaces et d'encourager leur mise en place par les entreprises et les parties prenantes du monde du logement. After soutient l'importance de considérer l'efficacité énergétique comme un but majeur même après la phase de construction. Le projet promeut une série de mesures adaptées à une variété de types d'investissements et de situations. L'attention est plus particulièrement orientée sur l'importance du management opérationnel et de la maintenance dans la performance énergétique des bâtiments, dans l'idée d'intervenir sur la phase post-investissement avec des actions d'optimisation à bas coût. After associe l'analyse rétrospective, des propositions agissant sur le court terme ainsi que des stratégies d'investissements à plus long terme. Le projet propose un processus de travail en plusieurs étapes reposant sur :

- L'évaluation de la performance des solutions techniques expérimentées au cours des cinq dernières années chez les bailleurs participants (performance, prix, réception par les locataires, etc..) ;
- La définition de nouveaux standards économiques, techniques et sociaux en se concentrant plus particulièrement sur la gestion et la maintenance des bâtiments ainsi que sur la prise de conscience ;
- Et la responsabilisation des locataires ;

- Le test et l'évaluation finale de ces nouvelles mesures d'économies d'énergie sur sites en se concentrant sur leur éventuelle future généralisation.

Des bailleurs sociaux de six pays (Allemagne, Danemark, Italie, République Tchèque et Slovénie) et leurs partenaires – incluant des organisations nationales de bailleurs, des centres scientifiques et une association représentative des locataires – coopèrent ainsi pour promouvoir les plus efficaces et les plus adaptables de ces solutions. La diversité des participants d'After encourage à une meilleure collaboration entre tous les acteurs du logement social autour de la volonté d'améliorer et de consolider leur démarche énergétique.

Les premiers travaux ont permis le recensement et la classification des mesures d'amélioration énergétiques pratiquées par les bailleurs sociaux ces 5 dernières années. Les partenaires d'After ont créé un cadre commun pour les évaluer et partager l'information. Le système de classification mis en place distingue cinq principales catégories de mesures d'économies d'énergie :

- Gestion de l'exploitation ;
- Maintenance courante ;
- Remplacement des systèmes de chauffage, de ventilation ou de chauffe-eau ;
- Réhabilitations énergétiques ;
- Constructions récentes à basse consommation.

Chaque mesure d'économie d'énergie est évaluée selon trois critères majeurs de performance : sa performance économique, sa performance énergétique, et la responsabilisation énergétique des locataires qu'elle est susceptible d'entraîner.



Figure 1 : Critères primaires de performance utilisés pour l'évaluation des mesures d'efficacité énergétique

Pour exemple, la catégorie « gestion de l'exploitation » rassemble des mesures d'économies d'énergie non-techniques et ne nécessitant pas forcément un investissement direct. La gestion opérationnelle est susceptible d'avoir une influence majeure sur la performance énergétique du parc social. After investigate deux dimensions de la gestion opérationnelle relatives à des intervenants différents :

- Les relations contractuelles avec les fournisseurs de chauffage et les entreprises d'entretien, par exemple les contrats de maintenance des systèmes de chauffage spécifiant un intéressement en cas de réalisation des objectifs d'économies d'énergie ;
- Le développement des relations avec le consommateur final (locataire ou habitant) en promouvant la responsabilisation énergétique nécessaire pour sécuriser ces relations contractuelles. Les relations contractuelles avec les locataires évoluent en particulier quand ceux-ci se voient demander de financer partiellement l'amélioration de leurs logements. Autrement dit, il

s'agit de les positionner comme des acteurs directs de la performance énergétique. Parmi ces mesures on peut ainsi trouver des campagnes d'information et de mobilisation, des formations, des expositions et autres événements, etc., mais aussi des systèmes de comptage et de mesure et d'affichage (*monitoring*) sur écran dans le logement, sur internet ou simplement par courrier.



Figure 2 : Exemples de mesures en gestion de l'exploitation

L'ensemble des résultats du projet seront publiés à la fin du premier semestre 2014.

## 1.2 REVUE DE LITTÉRATURE INTERNATIONALE

Une revue de littérature à l'échelle internationale sur les performances réelles en exploitation des bâtiments à haute performance énergétique a été formalisée [ 1 ] [ 4 ]. Ce travail a en particulier permis de mettre en évidence le fait que les consommations réelles d'énergie de ces bâtiments « performants » dépassent systématiquement les consommations estimées, bien qu'ils consomment en moyenne moins d'énergie que des bâtiments traditionnels. Le confort thermique, acoustique et lumineux est jugé également supérieur lorsqu'une enquête est menée auprès des occupants. Les rares retours d'expérience annoncent aussi une bonne qualité de l'air intérieur au moment de la livraison. Néanmoins, la stabilité dans le temps de la qualité de l'air est questionnée dès l'instant où le rendement des mécanismes de ventilation dans le temps n'est pas garanti en raison du manque d'entretien qui touche de nombreux équipements.

Citons parmi les facteurs récurrents à l'origine de l'écart entre consommations réelles et estimées, le comportement des occupants, la complexité des systèmes techniques qui rend leur usage et leur maintenance difficile, ou bien encore l'insuffisance de ressources financières dédiées au suivi des bâtiments et à leur exploitation qui, en pratique, ne favorise pas le maintien de la performance énergétique dans le temps.

Les multiples travers que pointent ces retours d'expériences ne sont que le reflet des dysfonctionnements récurrents qui frappent le secteur du bâtiment. Le manque de temps et de moyens dédiés aux activités de conception, la coupure

entre la conception-construction et l'exploitation, l'insuffisance des budgets de maintenance concernent aussi les bâtiments traditionnels. Il est plutôt illusoire de croire que ces sources de dysfonctionnements traditionnellement dénoncés, vont disparaître avec la fixation d'exigences thermiques plus élevées. Cette revue de la littérature ouvre plusieurs perspectives de recherche :

- identifier comment l'équilibre entre le coût de l'investissement, la performance énergétique obtenue et les coûts d'exploitation et de vérification de la performance, est assuré ;
- repérer les systèmes techniques robustes qui réclament peu de maintenance ;
- analyser les mécanismes contractuels qui favorisent l'atteinte des objectifs d'économies d'énergie et incitent l'exploitant à maintenir la performance des équipements dans le temps.

### **1.3 PROTOCOLE DE COLLECTE DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES RÉELLES : APPLICATION AU LOGEMENT**

Une action spécifique a été menée afin de mettre en place un premier protocole de collecte à grande échelle des performances en service des logements de dernière génération (consommation, confort, pratiques et satisfaction des ménages) [ 11 ]. Afin de proposer un référentiel adapté à la collecte de retours d'expérience sur la maison individuelle, des experts du CSTB ont été sollicités afin de réfléchir collectivement à ce que devait idéalement être ou contenir cet outil. L'objectif était de produire un questionnaire cohérent et intégrant les différents aspects nécessaires à un retour d'expérience de qualité et accessible au public cible visé : celui des propriétaires occupants de maisons individuelles.

Le travail a été amorcé par le recensement des référentiels existants, similaires ou complémentaires à celui envisagé. Connaître le contenu, les objectifs et la forme de ces autres référentiels a permis d'en identifier les atouts et limites et ainsi d'alimenter la réflexion du CSTB sur l'opportunité de créer un nouveau référentiel. En parallèle, les informations identifiées par chacun des experts, selon sa spécialisation et jugées comme nécessaires à la collecte d'un retour d'expérience exploitable et de qualité, ont été collectées. Un équilibre a ensuite été trouvé afin de limiter le nombre d'informations demandées, leur degré de détail et de précision. Il était en effet primordial de bien prendre en compte les compétences réelles des personnes ciblées par le questionnaire, à savoir les occupants des logements. Ce travail a par conséquent permis l'élaboration d'un questionnaire d'une trentaine de questions simples dont le renseignement a été facilité par la mise en place de liste de choix adaptées.

L'exploitation de ce questionnaire prévoit la formalisation de différents indicateurs, qui pourront être visualisés par la personne y répondant :

- Indicateurs énergétiques : consommations des 5 usages réglementaires <sup>1</sup> et consommations des « autres usages de l'électricité » ;
- Indicateurs de confort : thermique, acoustique, visuel ;
- Autres Indicateurs : consommations d'eau.

---

<sup>1</sup> Consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (ventilateurs, pompes)

Le questionnaire est bâti selon un ensemble de rubriques :

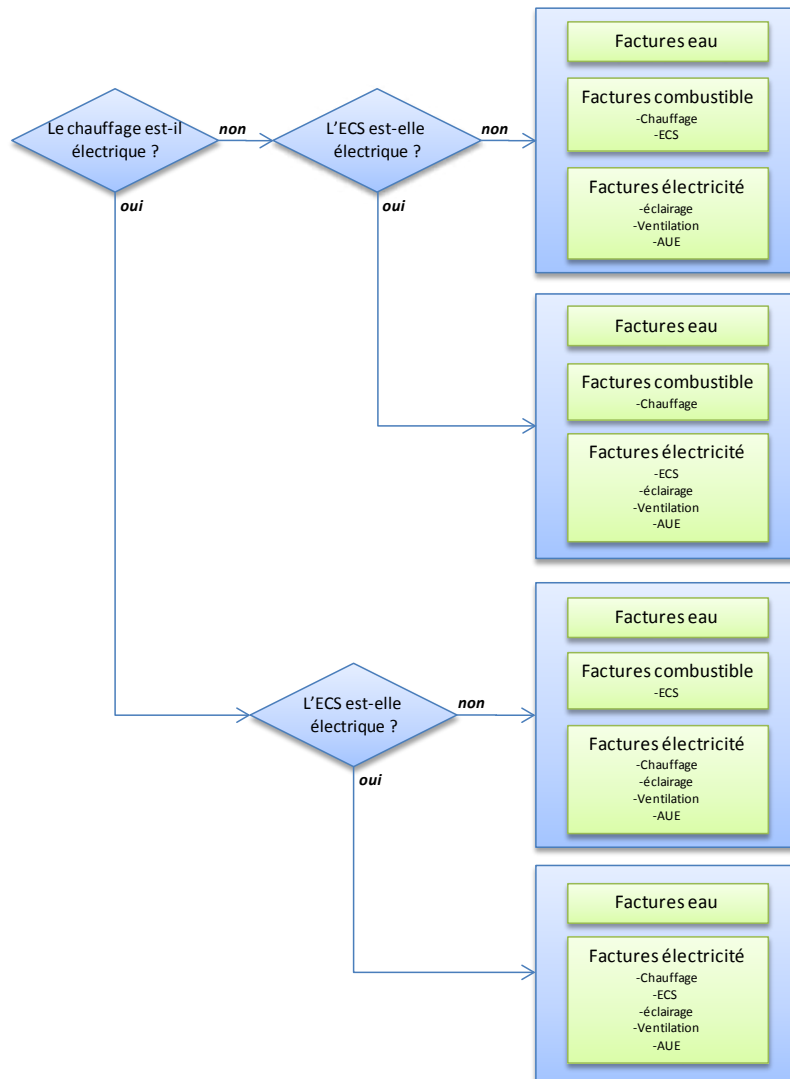
- **Caractéristiques générales du logement** : les informations générales demandées visent à situer géographiquement le bâtiment (zone géographique réglementaire), à en connaître les principales données géométriques, et la performance énergétique si elle est disponible ;
- **Caractéristiques de l'enveloppe** : les informations demandées (type de paroi opaque et isolation associée, type de baies vitrées) permettent d'évaluer la performance globale du bâti ;
- **Caractéristiques des équipements** énergétiques : système de chauffage, système de production d'eau chaude sanitaire, système de ventilation, système d'éclairage, énergies renouvelables ;
- **Caractéristiques des équipements ménagers et médias** pour l'évaluation des consommations associées aux autres usages de l'électricité ;
- **Relevés des factures** d'énergie et d'eau ;
- **Caractéristiques de l'occupation et des comportements** des occupants du logement ;
- **Appréciation du confort acoustique et thermique (été, hiver, mi-saison) ;**
- **Appréciation du niveau de satisfaction global des occupants**

MAISON INDIVIDUELLE NEUVE		Légende :
Caractéristiques de l'enveloppe		<span style="background-color: #f4a460; padding: 2px;">obligatoire</span> <span style="background-color: #a6c9ec; padding: 2px;">optionnel</span>
Vos équipements énergétiques		
<i>On considère que la maison a un/des système(s) individuel(s) de chauffage et de production d'ECS consommation refroidissement non évaluée actuellement</i>		
Votre système de chauffage : Votre système de production d'eau chaude sanitaire : Votre système de ventilation : Votre éclairage : Energies renouvelables :		
Vos équipements ménagers et média		
Factures électricité		
Factures énergies combustibles		
Factures eau		
Occupation et comportements		
Confort		
Confort acoustique Confort thermique en hiver Confort thermique en mi-saison Confort thermique en été Confort thermique toutes saisons Interactions avec le confort visuel, le confort acoustique et la qualité d'air (surtout en été et en mi-saison) Qualité d'air intérieur		
<span style="background-color: #f4a460; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span> Sur une échelle de 1 à 10 (1 = très insatisfait ; 10 = très satisfait), êtes vous satisfait globalement de votre logement ?		

Figure 3 : Aperçu des différentes rubriques constituant le questionnaire

Des modules de calcul des consommations par poste (chauffage, eau chaude sanitaire (ECS), autres usages de l'électricité, etc.) ont de plus été développés afin d'enrichir l'analyse des consommations sur la base de factures annuelles. La finalité est de sortir des résultats estimés de répartition des consommations pour les usages réglementaires (chauffage, refroidissement, production d'ECS,

éclairage, ventilation et auxiliaires) et pour les autres usages de l'électricité, à partir des factures des consommations réelles par énergie. De manière plus précise, sont considérés les postes suivants : chauffage, ECS, éclairage, ventilation et autres usages de l'électricité (AUE). Tandis que l'énergie utilisée par les trois derniers postes est assurément l'électricité, pour le chauffage et l'ECS, plusieurs énergies peuvent être utilisées. La première étape consiste donc à répartir des postes de consommation par énergie afin de les relier aux factures saisies. Le schéma suivant permet de visualiser les différentes options.



**Figure 4 : Utilisation des factures d'énergie et d'eau pour l'évaluation des consommations par postes en fonction des énergies utilisées**

Les consommations d'énergie relevées dans les factures sont ensuite réparties sur chacun des postes correspondants. On calcule donc les consommations annuelles moyennes des différentes énergies (électricité, combustibles) et de l'eau à partir des relevés de factures renseignées. Les données sont converties pour obtenir des consommations annuelles en kWh d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de surface habitable. Les postes éclairage, ventilation et AUE sont entièrement calculés à



partir des données du questionnaire. Le poste ECS est calculé à partir des données du questionnaire et des factures d'eau. Le poste chauffage est déduit du reste, étant donnée l'incertitude plus grande de ce poste au regard des performances thermiques du bâti, des équipements, de l'usage et du comportement des occupants, de la météo, et de la nature des mesures d'énergie par relevés de factures plus ou moins fréquents et précis. Pour chacun des cas décrits dans le schéma précédent, il est donc possible de déduire les consommations en énergie primaire de tous les postes.

Le mode de déploiement opérationnel de ce questionnaire (questionnaire téléphonique, site internet dédié etc.) sera étudié en 2014 en collaboration avec Cequami.

#### **1.4 INNOVER ET SÉCURISER EN PHASE DE PROGRAMMATION**

Un bâtiment peut-il produire plus d'énergie qu'il n'en consomme ? Rigoureusement, pour répondre à cette question, dès lors que l'énergie se conserve, il est nécessaire de la compléter par une description qualitative de l'énergie et de donner des limites spatiales et temporelles. C'est donc naturellement, par une approche contextualisée et concrète que la question a été abordée dans le cadre de l'appel à candidatures « Vers des bâtiments à énergie positive » organisé par le plan Urbanisme construction architecture (PUCA) en demandant à des maîtres d'ouvrage de participer à l'écriture de programmes d'immeubles collectifs de logements aspirant à cette performance. Compte tenu de la nature subjective et relative de la performance, le travail s'est recentré autour du point de vue de l'occupant et de ses attentes. Il en ressort une proposition pour structurer le programme en trois étapes :

- La première étape vise à définir le contexte de l'opération, avec, d'une part, le lieu de construction et l'environnement, d'autre part, les futurs occupants et l'usage du bâtiment ;
- La deuxième étape fixe les exigences et les contraintes. L'accent a été mis sur l'exigence énergétique et la contrainte économique ;
- La troisième étape a pour objectif de sécuriser le programme. Elle donne les moyens au maître d'ouvrage de s'assurer que le bâtiment fonctionnera et pourra être réalisé selon les critères retenus. Des témoignages et des échanges, au cours des ateliers de travail, différents enseignements ressortent :

La consommation énergétique des bâtiments très performants dépend essentiellement des occupants. Il convient, alors, de rechercher leur adhésion et leur accord dans toutes mesures (suivi des consommations, mutualisation, confort, etc.) qui les impliquent. Dans cette perspective, les actions d'apprentissage et de pédagogie sont nécessaires.

Pour permettre à l'équipe de conception de se projeter dans le fonctionnement futur du bâtiment il est nécessaire dans le programme de donner les jalons qui vont permettre d'établir les scénarios.

Les ordres de grandeur pour les approches énergétiques et économiques transforment les enjeux. Le coût de fonctionnement d'un bâtiment représente les trois-quarts du coût global. L'énergie grise est équivalente à l'énergie consommée pendant 40 années d'exploitation dans les bâtiments

performants. L'échelle de temps à considérer pour établir les exigences et prendre en compte les contraintes doit être cohérente et s'étendre de la construction à l'exploitation. En complément, il est nécessaire d'élargir l'échelle spatiale. L'approche bioclimatique doit être complétée par une approche qui inscrit le bâtiment dans un cycle en interaction avec son environnement immédiat dans lequel il puise des ressources et en restitue d'autres de nature différente, qui peuvent lui être utiles ou bénéficier à la collectivité.

Pour garantir la sécurité du bâtiment, il est nécessaire de connaître ses limites. Pour le confort, avec l'optimisation des systèmes, il convient de s'assurer des conditions d'ambiances dans des situations extrêmes en chaud et en froid. Pour cela, il faut imaginer des scénarios de « stress » qui permettraient de tester la robustesse du projet dès la phase conception grâce à la modélisation numérique. La perspective est de donner aux maîtres d'ouvrage les moyens de juger si l'opération, dès la phase conception, répondra à leurs attentes dans le contexte et les limites de fonctionnement qu'ils se sont donnés.

Finalement, plus que la procédure de passation des marchés, c'est la confiance entre les acteurs et leur implication motivée qui va garantir la réussite du projet. Un des éléments essentiels consiste à s'assurer que les différents acteurs partagent des valeurs communes sur le travail et que l'organisation du travail mise en place est en phase avec les valeurs affichées et permet de répondre aux objectifs de chacun [ 5 ] [ 6 ] [ 7 ].

## **2. L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES EFFECTIVES : VERS LA GARANTIE DE PERFORMANCE**

Il est partagé aujourd'hui que la garantie de performance énergétique constitue un défi majeur pour les années à venir. Les freins pour sa mise en œuvre sont multiples, à la fois d'ordre juridique, économique, scientifique et technique. Dans le cadre du projet *Retex*, des travaux ont été amorcés afin de contribuer à fournir les moyens nécessaires pour l'émergence de nouveaux modèles de garantie de performance énergétique et ainsi permettre aux acteurs de la filière d'atteindre les performances attendues de basse consommation dans le respect du confort et de la santé des occupants. Le CSTB s'est par conséquent fortement mobilisé au travers d'actions à spectre large depuis l'observation des dispositifs actuels jusqu'au développement d'outils méthodologiques innovants et opérationnels pour l'évaluation des performances effectives *in situ*.

Il est par conséquent proposé ci-après un focus sur 8 actions de recherche marquantes sur la période 2011-2013 :

- le projet OBS'CPE cofinancé par l'Ademe qui prévoit la mise en place d'un retour d'expérience sur les contrats de performance énergétique à grande échelle des lycées des régions Alsace et Centre ;
- la participation aux groupes de travail du plan Bâtiment durable sur les questions de garantie de performance énergétique et plus particulièrement sur la problématique de la garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI) ;

- la contribution au projet structurant cofinancé par la fondation Bâtiment énergie sur la garantie de performance énergétique, visant à mettre en place une méthodologie permettant de garantir les performances énergétiques des bâtiments tertiaires et collectifs réhabilités,
- le projet ANR Memoire, ayant permis en particulier de progresser de manière significative sur l'identification des paramètres les plus impactants sur la performance réelle pour un bâtiment donné ;
- le développement d'un protocole opérationnel de mesure de la performance intrinsèque *in situ* à réception des travaux, élément essentiel et nécessaire pour objectiver et caractériser les performances réelles ;
- le développement d'une méthode de rapprochement des consommations prévisionnelles élaborées au stade de la conception et des consommations réelles en phase d'exploitation du bâtiment ;
- sur le plan économique, le développement d'une méthode d'analyse en coût global adaptées aux bâtiments de dernière génération ;
- sur le plan contractuel, l'analyse des contrats de maintenance mis en place dans les bâtiments de dernière génération afin d'en tirer les premiers enseignements.

## **2.1 RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES CONTRATS DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE : OBS'CPE**

Le Grenelle de l'environnement cite clairement le Contrat de Performance Énergétique comme un levier d'amélioration des consommations énergétiques du patrimoine existant. Il constitue aujourd'hui le principal modèle de garantie de résultat énergétique. Avec le soutien de l'Ademe, le CSTB contribue dans le cadre du projet OBS'CPE [ 2 ] [ 3 ] [ 19 ] [ 20 ] [ 21 ] à l'évaluation des premiers contrats de performance énergétique à grande échelle sur des établissements publics, avec pour support des bâtiments d'enseignement des régions Centre (dix-huit lycées) et Alsace (quatorze lycées). Il s'agit au travers de cette observation complète qui mobilise les compétences techniques et socio-économiques du CSTB, de tirer les premières leçons de l'efficacité des contrats de performance énergétique afin de capitaliser et diffuser les bonnes pratiques associées.

Néanmoins, il est d'ores et déjà possible d'affirmer que ce type de contrat favorise un raisonnement en coût global. Les solutions techniques sont effectivement choisies afin de diminuer, dès les premières années du contrat, les consommations d'énergie et d'atteindre la performance que le titulaire du contrat a annoncé. Malgré tout, dans l'un des deux projets examinés, la transition entre la fin des travaux et le début de la phase d'exploitation n'a pas été toujours très fluide. La séparation historique des métiers, et sans doute la résistance au changement, ont ainsi conduit à une phase de réception plus ou moins perfectible selon les lycées. Comme les approches sont nouvelles, les acteurs privés doivent s'organiser et se coordonner pour développer réellement une offre de service intégré. En outre, il est indispensable de prévoir des dispositifs qui favorisent des adaptations contractuelles pour répondre aux évolutions des besoins et des technologies.

## 2.2 GROUPES DE TRAVAIL DU PLAN BÂTIMENT DURABLE SUR LA GARANTIE DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Le rapport du groupe de travail du plan Bâtiment durable publié en avril 2012 [ 13 ] propose de distinguer 2 types de garantie de performance énergétique :

- **La garantie de performance énergétique intrinsèque**, élaborée au stade de conception et/ou des travaux. Le prestataire s'engage à un niveau maximal de consommations énergétiques « conventionnelles » ou « normalisées » dans la mesure où l'utilisateur respecte le scénario d'utilisation et les paramètres de confort spécifiés. Cette garantie porte sur les performances du bâti et de ses équipements « mesurables » à la livraison ;
- **La garantie de résultats énergétiques sur l'usage (GRE)** : cette garantie incorpore l'exploitation et l'usage du bâtiment. Le prestataire s'engage cette fois sur un niveau maximal de consommations énergétiques réelles. Le fait que l'immeuble soit en fonctionnement permet de connaître les consommations réelles correspondant aux usages listés dans la garantie et de prendre les mesures correctrices nécessaires.

Ces deux types de vérifications sont fortement liés car il est crucial de s'assurer des performances intrinsèques du bâtiment pour pouvoir garantir les consommations énergétiques lors de l'exploitation.

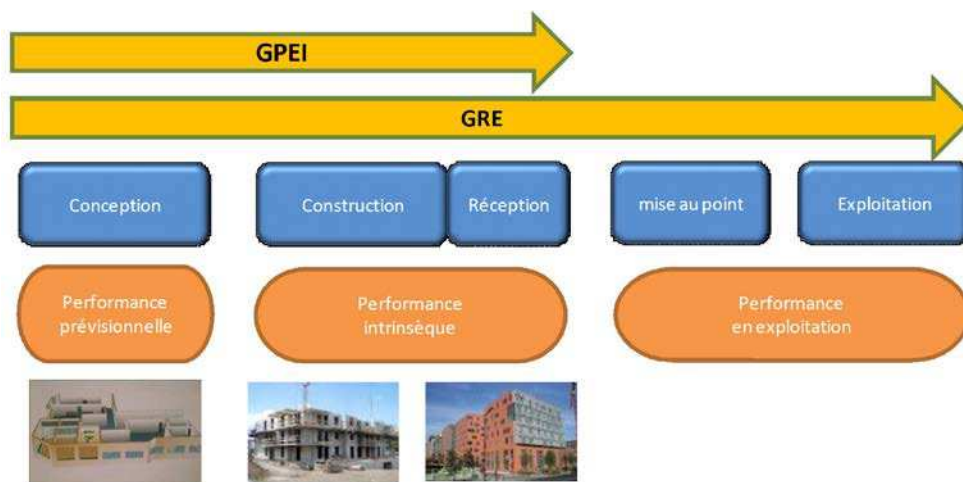


Figure 5 : GPEI et GRE

Le CSTB a contribué aux seconds groupes de travail organisés par le plan Bâtiment durable sur la question de la GPE.

Le groupe de travail sur le thème de la garantie de performance énergétique intrinsèque a en particulier permis d'établir une méthodologie pratique de la mise en place de la GPEI (rapport du 29 mai 2013 [ 14 ]). Le document propose en particulier une charte signée le 11 juillet 2013 en début d'assemblée générale du plan Bâtiment durable par 16 signataires [ 15 ]. Les signataires, dont le CSTB, se sont par conséquent engagés à :

- Partager une définition commune de la GPEI ;
- Partager les éléments de terminologie connexes ;
- Mettre en œuvre le guide méthodologique GPEI (si le signataire est partie prenante d'un contrat GPEI) ;

- Mettre en œuvre un outil de simulation énergétique dynamique (SED) présentant les caractéristiques fonctionnelles minimales requises ;
- Sensibiliser et/ou informer les intervenants dans le domaine ;
- Procéder à un suivi annuel de la mise en œuvre de la charte.

La charte limite, dans un premier temps, son champ d'application à la construction d'immeubles tertiaires, mais pourra faire l'objet d'une extension progressive de son champ d'application, par la conclusion d'avenants, décidés à l'initiative du comité de suivi de la charte.

### **2.3 ATELIER GARANTIE DE PERFORMANCE ENERGÉTIQUE DE LA FONDATION BÂTIMENT ENERGIE**

Le CSTB compte parmi les centres d'études et de recherche lauréats de la fondation Bâtiment énergie, pour élaborer une méthodologie innovante de garantie de performance énergétique pour les bâtiments tertiaires et résidentiels collectifs réhabilités. Après une phase de préfiguration du programme de travail, les travaux sur l'élaboration de la méthode sont en cours depuis mars 2012.

La réalisation de cette méthodologie se fait de manière collaborative dans le cadre d'un atelier de travail animé par Alpheeis, coordinateur des travaux. L'atelier est composé d'un groupe de recherche principal, dont fait partie le CSTB avec 17 organismes, qui doit élaborer la méthodologie, et d'un groupe utilisateur dont le rôle est d'orienter, évaluer et recadrer le travail du groupe de recherche principal. Le programme de travail a été élaboré par l'ensemble des partenaires ; les différents travaux à mener pour parvenir à cette méthodologie sont répartis en 8 phases, chacune des phases étant elle-même composée de différentes tâches.

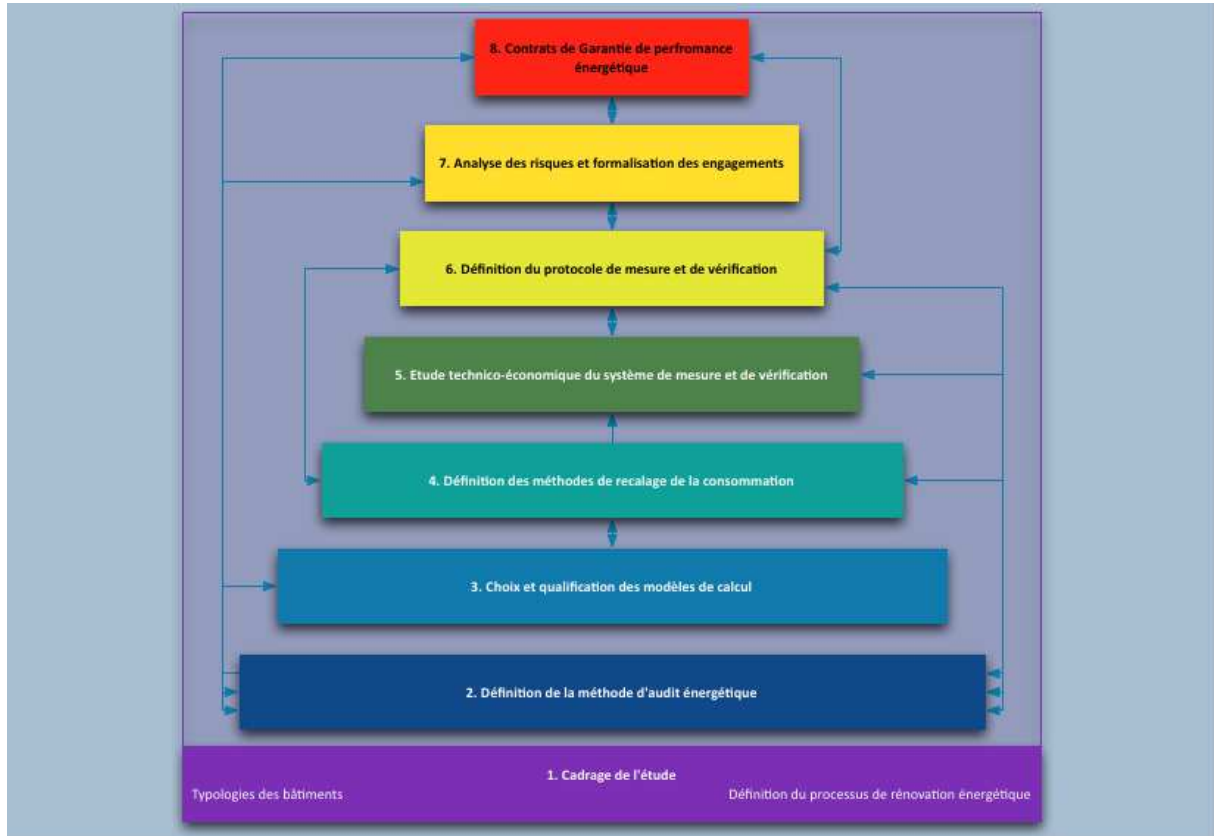


Figure 6 : Programme de travail de l'atelier garantie de performance de la Fondation Bâtiment Energie

Le CSTB est plus particulièrement impliqué dans les tâches de définition de la méthode d'audit énergétique, de choix et de qualification des modèles de calcul, de définition des méthodes de recalage de la consommation et de définition du protocole de mesure et de vérification. Parmi ces tâches, quelques résultats (octobre 2013) sont illustrés ci-après (description non exhaustive).

### 2.3.1 CONCEPTION DE L'OPÉRATION DE DÉFINITION DE L'OBJECTIF DE PERFORMANCE

Cette tâche vise à décrire les méthodologies de conception de l'opération et de définition de l'objectif de performance. Un recensement des mesures d'améliorations les plus courantes a été réalisé, et le CSTB a fait dans ce cadre un travail de fond sur les systèmes énergétiques. Pour chacun des systèmes, une analyse a été menée sur les caractéristiques du système qui constitue (au moins pour le logiciel TH-C-E ex) une donnée d'entrée, sur les valeurs de ces caractéristiques pour les améliorations les plus courantes ainsi que le niveau d'incertitudes sur ces valeurs. Le CSTB a de plus fourni une « check-list » des mesures d'amélioration les plus courantes recensées pour les systèmes énergétiques.

Un recensement et une analyse des données disponibles pour les cas d'études retenus ont été réalisés. Afin de caractériser les consommations d'énergie de ces bâtiments avant et après travaux par simulation en utilisant le moteur de calcul TH-C-E ex aux conventions ouvertes, le CSTB a traduit les caractéristiques descriptives des bâtiments étudiés en données d'entrées du moteur de calcul.

Différents échanges avec les partenaires ont eu lieu pour harmoniser au mieux les caractéristiques thermiques des composants selon les données d'entrée des différents logiciels. Un travail d'analyse des données de mesures sur les cas d'étude a été réalisé car il s'agit d'intégrer certaines données mesurées comme données d'entrée du modèle de calcul Th-C-E ex aux conventions ouvertes. De même, pour les comparaisons calculs – mesures, il s'agit de statuer sur les données mesurées qui serviront de base pour les comparaisons.

La suite des travaux prévoit de simuler le bâtiment après travaux en considérant les caractéristiques des composants rénovés et ceux non rénovés dans les conditions d'utilisation du bâtiment, c'est-à-dire en considérant la température intérieure mesurée, le climat mesuré et toute autre donnée permettant de rendre compte de l'usage du bâtiment. Cette simulation sera réalisée en considérant les incertitudes sur les données d'entrée les plus influentes et en propageant ces incertitude pour évaluer non pas une valeur de consommation d'énergie, mais un intervalle de confiance dans lequel se situerait la consommation d'énergie.

### **2.3.2 CARACTÉRISATION DES ÉCARTS PRÉVISIONS MESURES**

L'objectif de cette tâche est d'identifier les paramètres ayant la probabilité la plus forte d'induire des écarts entre les consommations d'énergie mesurées et celles estimées par les logiciels de calcul et d'en mesurer les impacts. L'objectif est également de proposer une méthode pour corriger ces écarts afin que définir par le calcul un objectif de performance le plus réaliste possible. Le CSTB propose une méthode de comparaison qui devrait permettre, pour le cas d'étude considéré (logement collectif), de mieux spécifier les écarts entre calculs et mesures obtenues et d'en expliquer les éventuelles origines. La méthode ne peut s'appliquer que lorsque l'on dispose de données mesurées suivies sur une longue période.

## **2.4 PROJET ANR MEMOIRE**

Le projet Mesure Enrichie par la Modélisation pour une cOnception Intelligente en Rénovation Energétique (Memoire) est un projet cofinancé par l'ANR ayant débuté en janvier 2011 et qui s'achèvera fin septembre 2014 [ 9 ] [ 8 ].

### **2.4.1 OBJECTIFS INITIAUX DU PROJET**

Le projet Memoire vise à développer une méthode qui permet d'apprécier au plus juste la performance d'un bâtiment (performance effective) avant travaux de réhabilitation énergétique, et d'estimer au mieux l'impact sur ce même bâtiment des travaux de réhabilitation. Le but est de fournir une méthode à l'attention des professionnels pour l'audit d'un bâtiment en vue de choix argumentés de solutions de réhabilitations et une méthode pour le suivi des performances du bâtiment en phase exploitation après travaux. Pour ce faire, des développements spécifiques à ce projet sont réalisés :

- Identification des paramètres critiques : on commence par développer un module pour classer et hiérarchiser les paramètres critiques (ceux dont

l'impact de l'incertitude sur la performance globale est important, afin de procéder à l'identification de certains d'entre eux). La méthode d'identification consiste à utiliser les méthodes inverses qui combinent un nombre réduit de mesures *in situ* et la modélisation ;

- Développement de modèles d'usages qui permettent de rendre compte au mieux de l'usage et du fonctionnement du bâtiment ;
- Prise en compte des incertitudes des données d'entrée du modèle global (caractéristiques du bâtiment et de ses environnements intérieurs et extérieur) et de leur propagation pour l'estimation de la consommation d'énergie calculée dans un intervalle de confiance ;
- Validation des modules développés à partir de résultats de suivis sur des bâtiments réels et/ou cellule test et test de la méthode dans sa globalité sur deux ou trois projets pilotes ;
- Le modèle global pour l'estimation de la consommation d'énergie du bâtiment est basé sur un modèle thermique dynamique du bâtiment à assembler avec les différents modules développés dans le cadre du projet.

#### **2.4.2 BILAN DES TRAVAUX RÉALISÉS**

Les développements ont été réalisés sur le secteur des bâtiments de bureau. Parmi les résultats du projet, citons :

- Des méthodes et outils sur les méthodes de sensibilité et d'incertitude et sur la décomposition des sources d'incertitude ont été développés. Ils sont génériques et facilement adaptables. Ils permettent l'identification des paramètres incertains ;
- La définition de scénarios d'instrumentation pertinents pour la méthode d'audit, qui seront étudiés selon leur capacité à répondre au problème de l'identification de paramètres et leur coût technico-économique ;
- La finalisation de l'analyse de l'état de l'art pour la définition des variables d'identification sur lesquelles portera l'inversion et celles sur lesquelles, portera la modélisation directe des transferts thermo-aérauliques. L'élaboration d'une bibliothèque regroupant plusieurs modules de modélisation a également été réalisée. Un modèle simple de comportement dynamique propice à l'inversion a été choisi et adapté. Un travail de simulation et de mesures en cellule test est en cours pour montrer l'applicabilité des modèles retenus et pour assurer le transfert de relais vers la méthodologie d'inversion proposée. Les premiers modèles de type multizone et des algorithmes d'inversion ont été implantés dans le code Retrofit développé par l'IFSTTAR. Il a été montré, sur des cas simples, la possibilité d'identifier, à partir de mesures simples certaines des variables incertaines retenues.
- Finalisation de l'étude bibliographique sur les différents modèles selon l'usage et proposition de modèles selon l'usage pour le projet à partir d'une analyse critique. Les modèles développés ou en cours de développement sont des modèles stochastiques probabilistes, ils sont en cours de validation par rapport aux différentes mesures réalisées sur le bâtiment LRA du Cete de l'Ouest. L'assemblage de ces modèles dans une méthode globale utilisant un modèle thermique mono-zone pose questions. Le CSTB étudie actuellement



les possibilités d'adaptation des modèles Cometh (TH-BCE ou TH-C-E ex) pour permettre sa connexion avec les modèles d'usage développés.

## **2.5 MÉTHODE D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES INTRINSÈQUES IN SITU À RÉCEPTION**

Cette méthode est en cours de développement et vise en particulier à donner des éléments techniques permettant d'élaborer les référentiels nécessaires au contrôle à la réception sur le bâti, les équipements énergétiques inclus à la construction et les systèmes de gestion/régulation.

De manière plus spécifique, des travaux de recherche ont été menés afin de développer un **protocole opérationnel de mesure *in situ* permettant d'identifier à réception l'isolation globale du bâti et son inertie thermique** par une procédure maîtrisée. L'objectif est la mise au point d'une méthodologie permettant sur une période courte, située entre l'achèvement des travaux et l'occupation du bâtiment, de pouvoir mesurer *in situ* les caractéristiques d'isolation et d'inertie thermique d'un bâtiment. L'idée générale est de soumettre le bâtiment à un apport thermique interne maîtrisé et de mesurer sa réponse dans le temps, de manière à remonter aux caractéristiques thermiques du bâti. Les caractéristiques d'isolation et d'inertie thermiques évaluées à l'aide de cette procédure seront identifiées aux grandeurs définies par le réseau RC de la méthode Th-BCE 2012. Une première version de la méthode a été mise en place et d'ores et déjà testée sur des cellules expérimentales du CSTB. Ces travaux seront consolidés courant 2014 avec la réalisation de tests sur bâtiments réels sur le site du CSTB Champs-sur-Marne.

Ces travaux doivent en particulier permettre l'émergence d'indicateurs et de protocoles pour leur évaluation *in situ*, pertinents pour caractériser les performances intrinsèque du bâtiment à l'issue de la phase de construction. Ces éléments pourront notamment contribuer à asseoir la mise en place opérationnelle de la garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI) définie par le groupe de travail du plan Bâtiment durable [ 14 ]

Ces travaux constituent de plus la première étape pour permettre l'identification des causes de non performance les plus impactantes en phase de conception et de construction. Il s'agira d'identifier, à terme, les améliorations nécessaires (autocontrôles en phase chantier, amélioration des modèles prédictifs en phase de conception, etc.) pour sécuriser en amont le processus global de réalisation de bâtiments ciblant de hautes performances énergétiques.

Ces travaux seront de plus valorisés à l'échelle européenne, notamment au travers du projet Performer (lauréat 2013 FP7) et à l'échelle internationale dans le cadre de l'annex 58 de l'IEA dédiée au sujet de l'évaluation *in situ* de la performance intrinsèque des bâtiments.

## **2.6 MÉTHODE DE RAPPROCHEMENT DES CONSOMMATIONS PRÉVISIONNELLES ET RÉELLES**

La garantie de performance énergétique passe par la confrontation de valeurs cibles (consommations, confort thermique, etc.) définies en phase de conception et les valeurs mesurées sur le bâtiment réel. Ce rapprochement n'est en général pas trivial. Le CSTB explore actuellement la faisabilité opérationnelle de l'utilisation d'outil de simulation énergétique dynamique (SED) pour permettre la comparaison objective entre les consommations prévisionnelles et réelles, dans le cadre d'un processus maîtrisé depuis la phase de conception jusqu'à la phase d'exploitation. Ce processus consiste à affiner progressivement la connaissance du fonctionnement du bâtiment lors des différentes phases du cycle de vie et « rejouer » en conséquence le calcul de SED. De manière progressive, la SED est par conséquent enrichie sur la base de mesures recueillies sur les différentes phases du cycle de vie. Les adaptations consistent à préciser progressivement les paramètres influents des consommations.

Le CSTB a d'ores et déjà élaboré un premier prototype Oseeris (Outils de Suivi de l'Efficacité EneRgétique *In Situ*) [ 12 ] visant à tester cette approche globale sur un cas réel de bâtiment. Le prototype Oseeris permet de vérifier que la consommation énergétique d'un bâtiment en exploitation correspond à une consommation prévisionnelle. Formulé de manière scientifique, le problème revient à vérifier que les paramètres utilisés dans le modèle de prévision ne sont pas significativement différents des paramètres du système réel si on les mesurait. La difficulté est de séparer l'influence des paramètres du modèle des conditions limites.

Plusieurs approches sont possibles:

- Mesurer les paramètres du système réel. Bien que cela soit la solution la plus simple techniquement, elle est impossible à mettre en œuvre pratiquement sans faire évacuer le bâtiment ;
- Estimer les paramètres du modèle à partir des mesures du bâtiment en exploitation. Cette approche est lourde à mettre en œuvre et représente un domaine d'investigation ouvert ;
- Comparer les mesures avec les résultats d'un nouveau calcul *a posteriori*. Dans cette nouvelle simulation, les paramètres du modèle restent les mêmes que ceux du calcul prévisionnel, mais les conditions limites utilisées sont les conditions réelles mesurées. Toutes choses étant égales par ailleurs, les écarts mesures / calculs reflètent les écarts sur les paramètres du modèle. Il faut noter qu'ici nous faisons l'hypothèse implicite que le modèle est « bon », c'est-à-dire qu'il permet de simuler avec une précision acceptable la consommation du bâtiment si l'on connaît tous les paramètres d'entrées et les conditions limites du système.

Bien que nécessitant un niveau significatif d'instrumentation, recalculer les consommations en utilisant les données de suivi en exploitation semble l'option la plus praticable à court terme. C'est cette approche qui a été illustrée avec le prototype Oseeris.

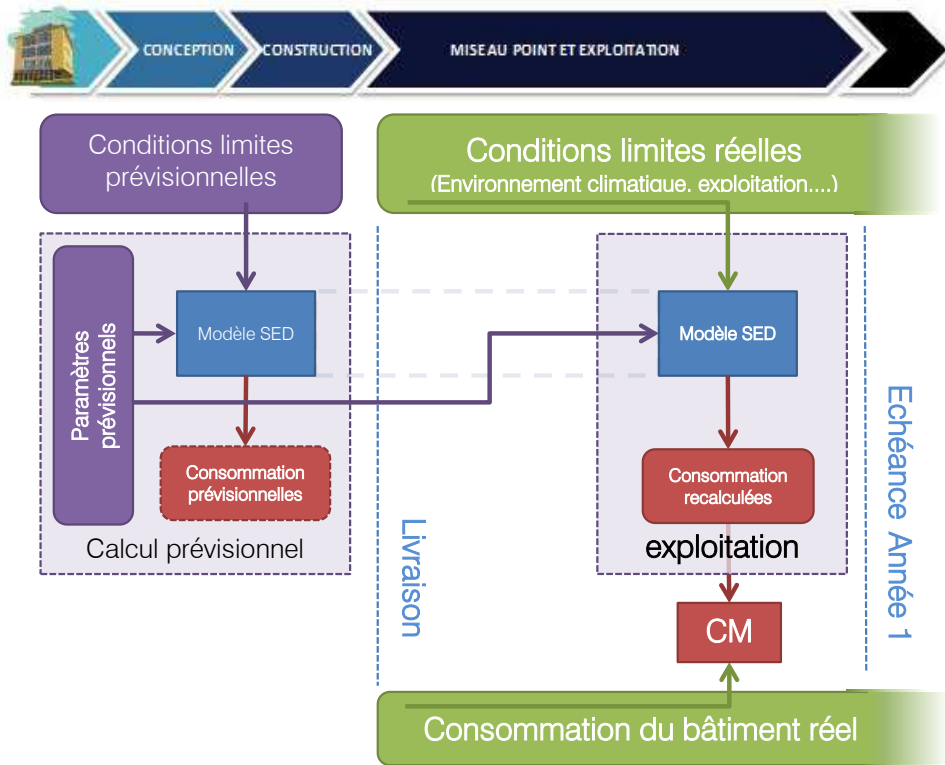


Figure 7 : Principe de la comparaison mesures/calcul dans le prototype OSEERIS

Le principe a été testé sur un premier cas de bâtiment réel tertiaire. L'approche doit aujourd'hui être affinée (augmentation des paramètres et/ou conditions aux limites prises en compte pour le recalcul) pour permettre d'orienter sur les causes concrètes d'écart subsistants entre calcul mis à jour et données effectivement mesurées.

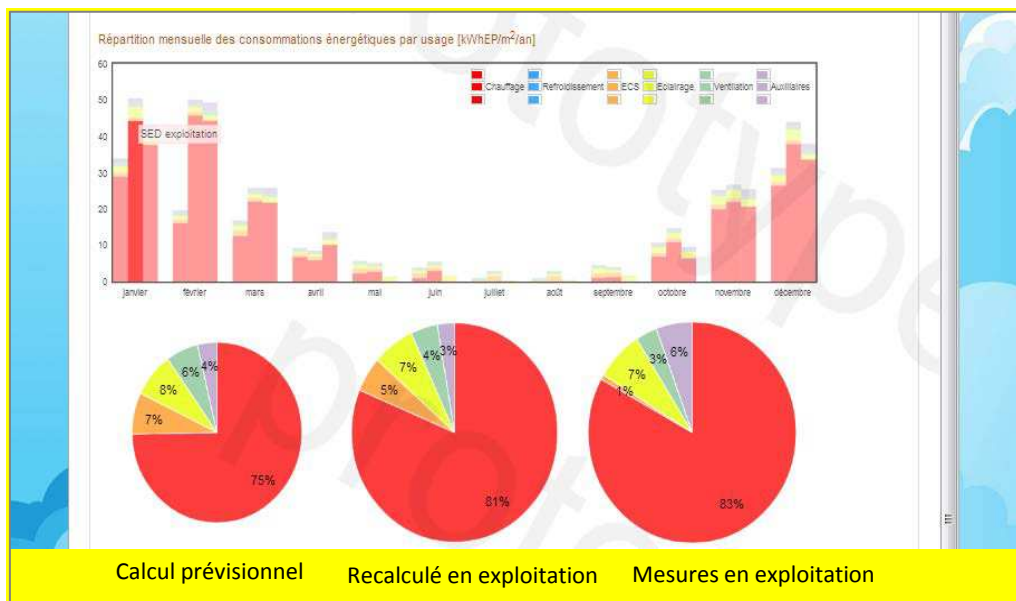


Figure 8 : Exemple de comparaison mesure calcul sur un cas réel

Dans le cadre de cette problématique de rapprochement des consommations prévisionnelles et réelles, le CSTB et l'Ifpeb ont proposé, lors d'une matinée technique ouverte à la filière, une présentation pédagogique visant à livrer les clés essentielles pour mieux comprendre et distinguer les notions de consommations réglementaire, prévisionnelle et leur lien avec les consommations réelles des immeubles de bureau basse consommation [ 16 ].

## **2.7 MÉTHODE D'ANALYSE EN COUT GLOBAL**

Le CSTB travaille à la définition d'une méthodologie d'analyse en coût global de la performance énergétique pour les bâtiments de dernière génération [ 10 ]. La première phase des travaux a été menée sur des cas d'études concrets et l'analyse en coût global des différents « packs » de solutions mis en œuvre pour atteindre un niveau de performance énergétique élevé. Parmi les trois niveaux d'analyse en coût global proposés par la MIQCP<sup>2</sup> – élémentaire, élargi, partagé -, le CSTB a choisi de se concentrer sur le périmètre le plus étroit – le coût global élémentaire- et de rétrécir encore plus le champ d'analyse à la performance énergétique. Le premier choix a été motivé par le manque de connaissances actuelles sur la valorisation des externalités prises en compte dans les périmètres élargis et partagés – gains financiers liés à l'augmentation de la qualité de l'air, coût de la consommation de matières premières non-renouvelables,... L'autre découle du fait que la diversité des postes de dépense masque les écarts de dépenses liées aux performances énergétiques. Par exemple, les postes de gardiennage, de nettoyage ou d'entretien des espaces verts peuvent être deux fois plus élevés que les charges de maintenance des systèmes énergétiques et sont très volatils suivant la situation du bâtiment considéré.

La méthodologie retenue a consisté en une analyse bibliographique afin de définir les hypothèses du cadre général retenues (taux d'actualisation, durée de l'analyse, inflation des prix de l'énergie,...) et d'entretiens avec les maîtres d'ouvrages pour recueillir les données spécifiques à l'opération (coûts des différents postes liés à la performance énergétique, maintenance courante, consommations énergétiques conventionnelles,...). Les bâtiments ont été sélectionnés sur des critères de performance énergétique – *a minima* BBC -, d'âge - 2009 à 2011 - et de taille – autour de 1000 m<sup>2</sup>. Les résultats moyens obtenus pour les deux bureaux et les deux logements de l'échantillon sélectionné sont présentés dans les graphiques suivants.

---

<sup>2</sup> Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques

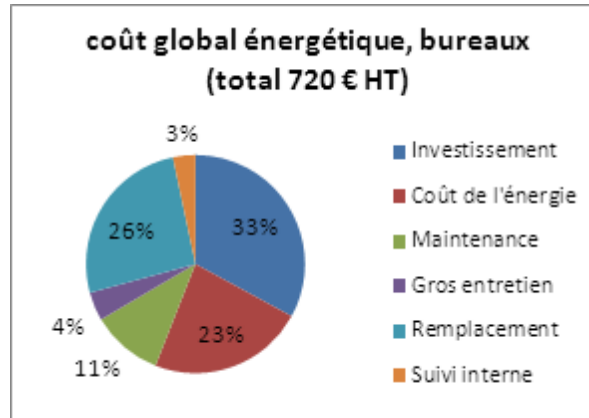


Figure 9 : Coût global énergétique - Bureaux

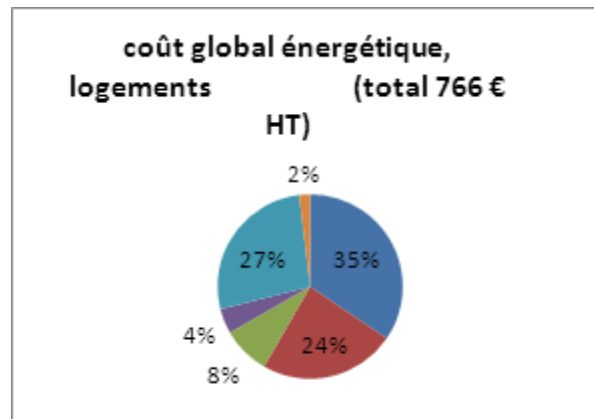


Figure 10 : Coût global énergétique - Logements

L'étude réalisée a permis de mettre en évidence l'ensemble des paramètres nécessaires au calcul en coût global et d'étudier leur impact par une analyse de sensibilité. Parmi les cinq paramètres dont la sensibilité a été testée les consommations d'énergie, la durée de vie des équipements et les attentes sur l'inflation des prix de l'énergie ont un impact similaire – une variation de 50 % d'un paramètre entraîne une variation du coût global énergétique de l'ordre de 10%-. Les paramètres caractérisant l'investisseur, le taux d'actualisation et son horizon de temps, ont des impacts plus marqués – une variation de 50 % d'un paramètre entraîne une variation du coût global énergétique de l'ordre de 30 %. Les premiers résultats penchent vers la constitution d'un outil dont les différents paramètres sont modifiables sur la base de valeurs suggérées. En effet, les coûts sont soumis à de fortes variations difficiles à estimer – différences régionales, impact de la conjoncture économique,...- et le calcul en coût global est largement dépendant de paramètres propres à l'investisseur – taux d'actualisation, horizon de temps. Ainsi, un outil non paramétrable sera difficilement utilisable par les utilisateurs potentiels – les grands gestionnaires de parc. Une suggestion éclairée sur le choix des différents paramètres permettrait tout de même de combler les lacunes des utilisateurs.

Un approfondissement de l'étude, en partenariat avec de grands gestionnaires de parc afin d'avoir de nombreux cas d'études et de consolider les premiers résultats, pourrait être un développement intéressant de l'outil créé au regard de l'intérêt suscité par la première phase.

## PERSPECTIVES

La garantie de performance énergétique est un sujet en très forte croissance, où de nombreux verrous à la fois scientifique, économique, assurantiel ou juridique restent à lever. A l'heure actuelle, les contrats de performance énergétique constituent en France la forme la plus répandue d'engagement de résultats ambitieux sur la performance énergétique. Ils concernent les secteurs du tertiaire et des logements collectifs. D'un point de vue technique, la nature de l'engagement et sa mise en œuvre relèvent exclusivement du savoir-faire et de l'expérience de l'exploitant qui porte le CPE. Chaque contrat est adapté au cas par cas sans qu'il n'existe, au-delà du cadrage proposé par l'IPMVP<sup>3</sup> [ 17 ] [ 18 ], de consensus national sur la manière opérationnelle de formaliser et de vérifier l'engagement de performance. A terme l'absence de socle scientifique robuste et partagé permettant à la fois de maîtriser les risques associés et de sécuriser la démarche, sera un frein majeur pour rétablir la confiance des maîtres d'ouvrage et amorcer une nouvelle dynamique positive. Parmi les besoins et lacunes actuelles au niveau scientifiques et techniques, on note :

- Un besoin de **consolider et structurer l'observation des bâtiments de dernière génération** afin de valoriser au plus tôt le retour d'expérience associé ;
- **L'absence de protocoles opérationnels et harmonisés pour objectiver et caractériser les performances in situ.** Il n'existe pas en particulier de protocoles permettant d'apprécier :
  - o la performance intrinsèque de l'enveloppe et des équipements techniques à l'issue des travaux (résultat du travail de mise en œuvre du bâtiment) ce qui permettrait notamment d'asseoir de manière opérationnelle la notion de GPEI définie par le plan Bâtiment durable,
  - o les performances en service des équipements techniques une fois le bâtiment en exploitation (résultat du travail de gestion et de maintenance des équipements).

L'absence de ces protocoles conduit à une incapacité à identifier l'origine des non performances, une fois le bâtiment en exploitation :

- **L'absence de repères chiffrés sur l'impact des non-qualités sur la performance énergétique globale.** Cette question interroge directement le lien entre performances des composants évalués en laboratoire et la résultante performancielle une fois ceux-ci assemblés et/ou intégrés dans le bâtiment. Cet aspect est primordial pour, au-delà de l'origine, comprendre les causes concrètes de non performance et promouvoir de meilleures pratiques auprès de la filière ;
- **L'absence de méthode consensuelle permettant de confronter les consommations attendues en phase de conception et celles**

---

<sup>3</sup> International performance measurement and verification protocol

**effectivement mesurées au compteur en exploitation.** Ceci est au cœur de la problématique de la garantie de résultat énergétique (GRE) et cristallise les attentes des maîtres d'ouvrage. Cette question interroge notamment sur :

- les modèles prédictifs : doivent-ils être adaptés pour répondre à cette problématique de garantie de performance (étouffés, simplifiés ?) ;
- la procédure (choix d'un modèle de référence, calibration de ce modèle, etc.) ;
- les moyens de mesures associés à mettre en place dont le coût doit rester en cohérence avec les économies escomptées et qui doivent aujourd'hui être pensés dans une logique d'évaluation des performances plus globale (qualité de l'air intérieur, etc.).

Sur ce point, la question de l'appréhension de l'impact des usagers est un élément clé de progression : comment mieux le prédire en phase conception et comment l'évaluer en phase d'exploitation ?

- Un **besoin d'innovation en termes de modèles économiques et jeux d'acteurs mobilisés.** La question de la garantie de performance énergétique interroge bien évidemment au-delà de l'aspect purement scientifique et technique et doit s'appuyer sur des schémas de jeux d'acteurs nouveaux. Dans ce cadre, *quid* du renforcement de la mobilisation des assureurs, banquiers ou de l'émergence de nouveaux métiers ? Quels sont les modes contractuels les plus efficaces, comment prendre en compte la dimension de coût dans sa globalité et mieux apprécier le risque dans les phases amont ? Cet aspect est un élément déterminant pour la généralisation des dispositifs de garantie de performance énergétique.

Au travers de la programmation de la recherche 2014-2017 du CSTB seront en particulier assurés la continuité et le renforcement des actions visant à soutenir le développement d'outils et de méthodes à bases scientifiques robustes pour l'accompagnement des dispositifs de garantie de performance énergétique. Parmi les nouveaux projets collaboratifs d'ores déjà prévus, citons :

- **Le projet ANR Omega** (début en 2014) qui sera pour le CSTB le lieu d'une collaboration riche avec la communauté scientifique (Cerema, I2M, Armines, G-Scop et Lasquo) et Cofely Axima pour la mise place d'outils permettant à la fois une meilleure appréhension des risques lors de la prise de l'engagement et un meilleur suivi en exploitation afin de garantir la pérennité de la cible de performance énergétique ciblée.
- **Le projet européen Performer et l'annex 58 de l'IEA** au travers desquels les travaux pour l'évaluation opérationnelle des performances intrinsèques *in situ* de l'enveloppe des bâtiments de dernière génération seront prolongés au-delà des actions de recherche interne.

## LISTE DES RÉFÉRENCES

- [ 1 ] BOUGRAIN F., Les résultats économiques et environnementaux des bâtiments performants à travers une revue de la littérature, CSTB, Rapport intermédiaire, décembre 2012, 67 p.
- [ 2 ] Observatoire des premiers contrats de performance énergétique, Description des démarches préalables à la signature des contrats, juin 2013
- [ 3 ] Observatoire des premiers contrats de performance énergétique, Note relative aux phases de conception, aux modalités de réalisation et à la réception des travaux, juin 2013
- [ 4 ] BOUGRAIN F., Energy performance and public private partnership, *Built Environment Project and Asset Management*, 2012, vol. 2, n°1, pp.41-55
- [ 5 ] Contribution à l'appel à candidatures du PUCA « Vers des bâtiments à énergie positive » : Vers des bâtiments à énergie positive, appel à candidatures auprès de collectivités territoriales, d'aménageurs et de maîtres d'ouvrage, Ministère de l'Écologie, du développement durable, des transports et du logement, Direction générale de l'Aménagement, du logement et de la nature, PUCA - Plan Urbanisme construction architecture, PREBAT, mars 2012  
[<http://www.prebat.net/?Batiments-a-energie-positive>,  
[http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/activites/actions\\_BEPOS.htm](http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/activites/actions_BEPOS.htm),  
[http://www.prebat.net/IMG/pdf/2012\\_ao\\_bepos.pdf](http://www.prebat.net/IMG/pdf/2012_ao_bepos.pdf)]
- [ 6 ] ALESSANDRINI J.M., La sobriété énergétique des bâtiments en milieu urbain 24èmes Journées scientifiques de l'environnement, "La transition écologique des mégapoles", Créteil, FRA, 12-14 février 2013
- [ 7 ] Ouvrage en cours de publication dans la collection études du PUCA : « L'exigence énergétique entre contrainte et innovation, Approche expérimentale à travers des concepts de bâtiments collectifs »
- [ 8 ] GAUTIER A, LAHRECH R., FERY A., CHARLES T, Sensitivity and uncertainty quantification methods for energy performance of buildings – Office buildings case studies, CLIMA 2013, 11th REHVA World congress, June 2013, Prague, Czech Republic, 11 p.
- [ 9 ] LAHRECH R., FERY A., GAUTIER A., LECOINTRE W., The use of yearly in situ measurements of a whole commercial building for sensitivity and uncertainty analysis of energy performance assessment, IBPSA 2013, International Building Performance Simulation Association, August 2013, Chambéry, France, 8 p.
- [ 10 ] LAURENCEAU S., Analyse en coût global de bâtiments performants : construction de l'échantillon et méthodologie d'analyse en coût global retenue pour la suite de l'étude, CSTB, Rapport intermédiaire, décembre 2012, 41 p.
- [ 11 ] BOISSON P., PELE C., TRICOIRE A., Critères, indicateurs et protocoles d'évaluation niveau élémentaire : secteur logement, version 2, CSTB, mars 2013, 94 p.



- [ 12 ] SCHETELAT P., Volet technique : prototype de rapprochement des consommations prévisionnelles et réelles, version 1, CSTB, mars 2013, 20 p.
- [ 13 ] COSTA C., JOUVENT M., Plan Bâtiment Grenelle : la garantie de performance énergétique, avril 2012, 46 p.
- [ 14 ] HUET M., JOUVENT M., Plan Bâtiment durable, la garantie de performance énergétique : encadrement légal du risque de mise en jeu de la garantie décennale ; méthodologie pratique de la garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI), mai 2013, 64 p.
- [ 15 ] Plan Bâtiment durable, Charte d'engagement relative à la garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI), juillet 2013, 45 p.
- [ 16 ] MILLET JR., Mieux comprendre les notions de consommations réglementaires, prévisionnelles et réelles, Présentation CSTB, novembre 2012
- [ 17 ] International Performance Measurement and Verification Protocol, Concepts and Practices for Determining Energy and water Saving, Volume I, 2012
- [ 18 ] International Performance Measurement and Verification Protocol, Concepts and Practices for Determining Energy Saving in New Construction, Volume III, Part I, January 2006
- [ 19 ] Observatoire des premiers contrats de performance énergétique, Fiche de synthèse des CPE étudiés, juin 2012
- [ 20 ] Observatoire des premiers contrats de performance énergétique, Etat des lieux des démarches de sensibilisation, janvier 2012, pagination
- [ 21 ] Observatoire des premiers contrats de performance énergétique, Analyse des rapports d'exploitation annuel, juin 2013
- [ 22 ] AFTER project, Energy saving measures impact assessment conceptual framework, novembre 2012
- [ 23 ] AFTER project, State of the retro-commissioning methods and tools adapted to residential buildings, novembre 2012
- [ 24 ] AFTER project, Report on the innovative measures implemented in the participating countries during the last 5 years included-analyzed-ESM-factsheets-and-recommendations (5 reports: for each kind of ESM), septembre 2013
- [ 25 ] AFTER project, Report on the optimization solutions proposed for the 18 pilot ESMs Pilot sites, septembre 2013

## **ANNEXES**

---

## **ANNEXE 1 : PRODUCTION DE CONNAISSANCES RETEX**

---

### **PUBLICATIONS**

#### **ARTICLES PUBLIÉS DANS UNE REVUE SCIENTIFIQUE À COMITE DE LECTURE**

Energy performance and public private partnership  
BOUGRAIN F.

Built Environment Project and Asset Management, Vol.2, n°1, 2012, 15 p.

#### **COMMUNICATIONS DANS DES CONFÉRENCES INTERNATIONALES**

Sensitivity and uncertainty quantification methods for energy performance of buildings – Office Buildings Case studies

GAUTIER A, LAHRECH R., FERY A., CHARLES T.

CLIMA 2013, 11th REHVA World congress, June 2013, Prague, Czech Republic, 11 p.

The use of yearly in situ measurements of a whole commercial building for sensitivity and uncertainty analysis of energy performance assessment

LAHRECH R., FERY A., GAUTIER A., LECOINTRE W.

IBPSA 2013, International Building Performance Simulation Association, August 2013, Chambéry, France, 8 p.

#### **CONGRÈS, COLLOQUES, CONFÉRENCES**

##### Journée technique CSTB/CETE de l'OUEST

Evaluer les performances des bâtiments basse consommation,  
Angers, 18 janvier 2011

Jean Christophe VISIER (organisateur)

##### Journée thématique PREBAT,

Vers des réhabilitations à très basse consommation- Présentation du projet ANR MEMOIRE,

Rennes, le 24 juin 2011,

Rofaïda LAHRECH (orateur)

##### Atelier PUCA PREBAT,

Ecriture d'une charte à destination des maitres d'ouvrage pour l'écriture d'un programme répondant à l'exigence BEPOS,

Paris, le 12 janvier 2012,

Jean Marie ALESSANDRINI (animateur)

##### Colloque Association APOGEE,

Les Outils et méthodes de la Garantie de Performance Energétique (GPEI, GRE) : solutions actuelles, perspectives

Présentation CSTB : Mesure de la performance intrinsèque : tableau de l'existant (perméabilité à l'air, débits, etc.) et développements en cours,

Paris, le 13 septembre 2012

Jean Robert MILLET (orateur)

National advisory board AFTER,

Présentation de l'avancement du projet AFTER aux adhérents de l'USH

Paris ,le 5 juillet 2012 et le 30 mai 2013

Pierre BOISSON (orateur)

Colloque Technologie de l'information et de la communication : vers des logements sociaux intelligent ?

Retour projet E3Soho : Acceptabilité des TIC par des locataires sociaux

Angers, les 2-3 février 2012

Aurélie TRICOIRE (orateur)

Matinée technique IFPEB/CSTB

Paris, le 28 novembre 2012

Présentation CSTB : Mieux comprendre les notions de consommations réglementaires, prévisionnelles et réelles

Jean Robert MILLET (orateur)

Colloque FBE sur la Garantie de Performance Energétique

Paris, le 23 avril 2013

Rofaïda LAHRECH (orateur)

Oulu SB13 conférence

oulu, 21-25 mai 2013

Energetic life cycle cost of efficient building: French case studies and sensitivity analysis,

Sylvain LAURENCEAU (orateur)

## **RÉSEAUX SCIENTIFIQUES**

IEA ECBCS Annex 58 "Reliable building energy performance characterization based on full scale dynamic measurement" (2013-2015)

Rémi BOUCHIE (participation)

Daniel QUENARD (participation)

Pierre BOISSON (participation)

**SIEGE SOCIAL**

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2  
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

**CSTB**  
*le futur en construction*

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS