



# Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie

Enseignements opérationnels tirés de 141 constructions  
et rénovations du programme PREBAT

2012 - 2017



# Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie

*Enseignements opérationnels tirés de 141 constructions  
et rénovations du programme PREBAT  
2012 - 2017*

Mars 2018

## **La collection « Connaissances » du Cerema**

*Cette collection présente l'état des connaissances à un moment donné et délivre de l'information sur un sujet, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité. Elle offre une mise à jour des savoirs et pratiques professionnelles incluant de nouvelles approches techniques ou méthodologiques. Elle s'adresse à des professionnels souhaitant maintenir et approfondir leurs connaissances sur des domaines techniques en évolution constante. Les éléments présentés peuvent être considérés comme des préconisations, sans avoir le statut de références validées.*

Dans le cadre de la capitalisation, de l'exploitation et de la valorisation des campagnes de suivi-évaluation des bâtiments démonstrateurs PREBAT,

- la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN) du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de la Cohésion des territoires;
- et l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe);

ont confié la réalisation de ce document à la direction technique Territoires et ville du Cerema (centre d'études sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement).

Celui-ci a pour objet de présenter les enseignements maintenant tirés de 141 évaluations d'opérations instrumentées du programme PREBAT, mesurant leur performance énergétique et leur confort thermique.

## **Remerciements**

Cet ouvrage collectif a été dirigé par Pascal Cheippe (Cerema Territoires et ville) dans le cadre du groupe de travail piloté par Constance Lancelle (Cerema Ouest) et comprenant Pierrick Nussbaumer (Cerema Est), Jean-Alain Bouchet (Cerema Méditerranée) et Myriam Humbert (Cerema Ouest).

Ont participé à l'élaboration du présent rapport :

en tant que contributeurs :

- au Cerema: Jean-Alain Bouchet (Méditerranée), Noélie Carretero (Normandie- Centre), Pascal Cheippe (Territoires et ville), Teddy Connan (Centre Est), Jordan Gauvrit (Ouest), Myriam Humbert (Ouest), Laurent Laloge (Territoires et ville), Constance Lancelle (Ouest), François Marconot (Ile-de-France), Bassam Moujalled (Centre-Est), Pierrick Nussbaumer (Est), Agnès Pouillaude (Ouest), Julie Ringaut (Nord-Picardie), Emma Stéphan (Sud Ouest) et Anne-Laure Tayeb (Nord-Picardie);
- à l'Université de Tours: Christèle Assegond et Jean-Philippe Fouquet (sociologues).

en tant que relecteurs :

- Aloïs Thiébaud et Romain Gaeta (DGALN);
- Pierre-Edouard Vouillamoz (Ademe);
- Rofaïda Lahrech (CSTB);
- Benoît Rozel (Enertech);
- Cédric Baumont (Costic);
- Amandine Bibet-Chevalier, Noémie Simand et Anne Vial (Cerema Territoires et ville).

Ont participé aux premières éditions :

- Fabien Auriat (DGALN);
- Florian Piton (Ademe);
- Olivier Bonneau (Cerema Centre-Est);
- Jean-Robert Millet (CSTB);
- Muriel Dupret (Enertech).



# SOMMAIRE

---

INTRODUCTION.....	7
1. Une expérimentation de bâtiments démonstrateurs.....	7
2. Une capitalisation d'enseignements opérationnels .....	8
3. Une capitalisation progressive.....	9
4. Un échantillon diversifié d'opérations à basse consommation.....	10
5. Des définitions et conventions de présentation des résultats .....	16
Méthode d'évaluation des performances énergétiques et du confort .....	19
1. Une méthode tournée vers la caractérisation <i>in situ</i> et l'explication des écarts de consommation ...	19
2. Différents objectifs d'évaluation basés sur les mesures .....	20
3. Une méthode de suivi associant mesure, observation et enquête.....	20
4. Une méthode spécifique d'analyse des écarts entre consommation mesurée et consommation de l'étude thermique.....	21
<b>1</b> Consommations, productions et performances d'ensemble .....	25
1.1 Consommation totale mesurée.....	26
1.2 Répartition des postes de consommation.....	28
1.3 Évolution des consommations dans les premières années de suivi.....	42
1.4 Production d'électricité photovoltaïque.....	47
1.5 Performances attendues et mesurées.....	49
1.6 Explication des écarts constatés .....	52
1.7 Quels facteurs déterminants dans l'énergie utile du chauffage?.....	56
<b>2</b> Conditions météorologiques.....	61
2.1 Des écarts de température hivernale significatifs avec les températures des stations de référence.....	62
2.2 Des températures extérieures en été très variables d'un site à l'autre .....	65
2.3 Une température extérieure de non-chauffage très variable d'un bâtiment à l'autre.....	67
2.4 Des conditions météo très impactantes sur la consommation de chauffage calculée.....	69

<b>3</b>	<b>Conditions d'occupation .....</b>	<b>73</b>
3.1	Température de chauffage.....	74
3.2	Réduits de température de chauffage.....	82
3.3	Apports internes.....	98
3.4	Combinaison des conditions météorologiques et d'occupation.....	105
<b>4</b>	<b>Performances énergétiques du bâti .....</b>	<b>109</b>
4.1	Caractéristiques des enveloppes de l'échantillon .....	110
4.2	Isolation thermique de l'enveloppe.....	122
4.3	Perméabilité à l'air de l'enveloppe .....	135
<b>5</b>	<b>Performances énergétiques des systèmes techniques.....</b>	<b>143</b>
5.1	Chauffage.....	144
5.2	Eau chaude sanitaire .....	158
5.3	Ventilation.....	175
5.4	Auxiliaires .....	186
5.5	Refroidissement.....	193
5.6	Éclairage.....	196
5.7	Autres équipements immobiliers.....	218
5.8	Équipements mobiliers.....	227
5.9	Installations photovoltaïques.....	246
<b>6</b>	<b>Pratiques des acteurs au regard de la performance énergétique.....</b>	<b>251</b>
6.1	Précisions sur les résultats obtenus.....	252
6.2	Acteurs de la construction-rénovation.....	253
6.3	Des acteurs de la construction à ceux de l'utilisation.....	258
6.4	Les acteurs de l'entretien et leur intervention .....	262
<b>7</b>	<b>Confort thermique et qualité d'usage.....</b>	<b>265</b>
7.1	Satisfaction des occupants et confort perçu.....	266
7.2	Confort thermique d'hiver.....	267
7.3	Confort thermique d'été .....	268
7.4	Confort thermique de mi-saison .....	286
7.5	Inconfort thermique et difficultés de compréhension .....	288
7.6	Autres aspects de la qualité d'usage.....	289

<b>8 Coûts</b> .....	<b>297</b>
8.1 Échantillon de la capitalisation économique 2017.....	298
8.2 Analyse en coût global.....	299
8.3 Le coût d'investissement .....	304
8.4 Une nette baisse des coûts énergétiques .....	313
8.5 Le coût global .....	316
8.6 L'efficacité économique à court et moyen termes.....	324
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>333</b>
<b>ANNEXES - DÉTAIL DE LA MÉTHODE D'ÉVALUATION MISE EN ŒUVRE PAR LE CEREMA</b> .....	<b>337</b>
A.1 Conditions météorologiques de l'année de suivi .....	337
A.2 Conditions d'occupation de l'année de suivi.....	337
A.3 Caractérisation de la performance de l'enveloppe .....	341
A.4 Caractérisation de la performance des systèmes .....	344
A.5 Analyse des pratiques et de la qualité d'usage .....	349
A.6 Nomenclature des zones climatiques.....	350
A.7 Indicateur de rigueur météorologique d'été (DJ24).....	351
A.8 Analyse du confort thermique mesuré.....	351
A.9 Analyse économique.....	354
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>359</b>
<b>GLOSSAIRE ET ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>365</b>
<b>CONVENTIONS DE PRÉSENTATION DES RÉSULTATS</b> .....	<b>367</b>