

500 maisons rénovées basse consommation

*Enseignements opérationnels des programmes
« Je rénove BBC » en Alsace*

Synthèse générale



Synthèse générale - juin 2017



La maison individuelle demeure le mode de logement préféré des Français. S'intéresser, comme l'ont fait la Région Alsace, EDF et Électricité de Strasbourg dans les programmes « Je rénove BBC » (JRBBBC), à la rénovation énergétique de ce type d'habitat relevait donc du réalisme économique et sociologique, mais également de la nécessité environnementale. Le pari était de rénover 500 maisons individuelles, avec pour objectifs la maîtrise de la facture énergétique des ménages et la réduction des émissions de CO₂ et des consommations d'énergie. L'atteinte d'un niveau équivalent à la « basse consommation » reposait sur deux grands principes que sont la priorité donnée à l'amélioration thermique de l'enveloppe et la mise en place d'un accompagnement spécifique pour chaque opération.

Les retours d'expériences des programmes JRBBBC s'articulent autour de trois axes.

Tout d'abord, nous retiendrons l'ensemble des enseignements techniques issus des 500 rénovations (sur la performance énergétique et de l'enveloppe, les systèmes de chauffage, d'eau chaude sanitaire et de ventilation, le bilan carbone, la qualité de l'air intérieur, la mise en œuvre, les enseignements sociologiques et économiques) présentés et discutés tout au long de cette publication. Directement opérationnels, ils ont vocation à être largement diffusés auprès des professionnels et des pouvoirs publics, pour faire progresser les pratiques et les dispositifs de soutien à la rénovation.

Ensuite, il y a la méthode. Le programme JRBBBC est né de la volonté d'expérimenter ensemble. Cette dimension empirique explique les difficultés parfois rencontrées, les corrections progressivement apportées – notamment la nécessité de coordonner les travaux – et la grande implication demandée aux différentes parties prenantes.

Nous pensons néanmoins que cette manière d'innover, d'abord dans le cadre d'un échantillon restreint (les 50 chantiers pionniers), puis dans le cadre plus vaste du programme JRBBBC, est ce qui a permis à l'ensemble des acteurs de progresser. Cette méthode d'apprentissage par l'expérimentation devrait être privilégiée dès lors que l'on cherche à améliorer la performance énergétique des bâtiments, en combinant réalité du terrain et poursuite d'objectifs environnementaux ambitieux.

Enfin, nés sur un territoire – l'Alsace – où les milieux politiques, économiques et professionnels se sont mobilisés de longue date autour des enjeux de la transition énergétique, les programmes JRBBBC ont pu tirer profit d'un écosystème local favorable qu'ils ont su, en retour, dynamiser à travers la mobilisation ordonnée des différents acteurs. Ces programmes de rénovation ont contribué à la création d'un réseau de professionnels engagés et à leur montée en compétences.

Pour conclure, les programmes JRBBBC démontrent qu'une dynamique de développement durable peut être impulsée et exemplaire dans les territoires français, à l'instar d'autres régions telles que le Voralberg autrichien. Cette dynamique s'est aujourd'hui amplifiée dans le cadre national du plan de rénovation énergétique de l'habitat et des territoires à énergie positive pour la croissance verte. C'est dans ce sens que ce retour d'expérience se veut aussi une manière d'enrichir et d'annoncer l'avenir.



Sabine FRANCOIS
Directrice de l'ADEME
Grand Est



Philippe ESTINGOY
Directeur général
de l'AQC



Christian CURÉ
Directeur Cerema
Territoires et ville



Emmanuelle GAY
Directrice de la DREAL
Grand Est



Yves CHEVILLON
Directeur EDF
Commerce Est



Philippe COMMARET
Directeur général
d'ES énergies



Philippe RICHERT
Président de la Région Grand Est,
Ancien Ministre



Marc RENNER
Directeur de l'INSA
Strasbourg

Ce dernier fascicule a pour objectif de regrouper, sous forme synthétique, les principaux enseignements à retenir. Ils sont présentés selon les thématiques des différents fascicules qui constituent la publication. Pour une analyse détaillée des enseignements et de leurs conditions d'obtention, il convient de se référer au fascicule concerné.



SOMMAIRE

A - LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET LE CONFORT THERMIQUE	4
B - LA PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE	4
C - LES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE, D'ECS ET DE VENTILATION	6
D - LE BILAN CARBONE DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE	7
E - LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR	8
F - LA MISE EN ŒUVRE	8
G - LES ENSEIGNEMENTS ÉCONOMIQUES	10
H - LES ENSEIGNEMENTS SOCIOLOGIQUES	11



A - LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET LE CONFORT THERMIQUE

Les programmes « Je rénove BBC » affichaient des objectifs de réduction des consommations énergétiques particulièrement ambitieux : il s'agissait de donner la priorité à la réduction des besoins de chauffage et d'atteindre un niveau « basse consommation¹ » en rénovation.

Les études thermiques qui ont été menées lors des rénovations **confirment l'atteinte de cette performance conventionnelle** (analyse réalisée sur 128 opérations). Ces résultats s'inscrivent dans la visée de la Loi de Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), à l'horizon 2050, concernant le parc bâti existant.

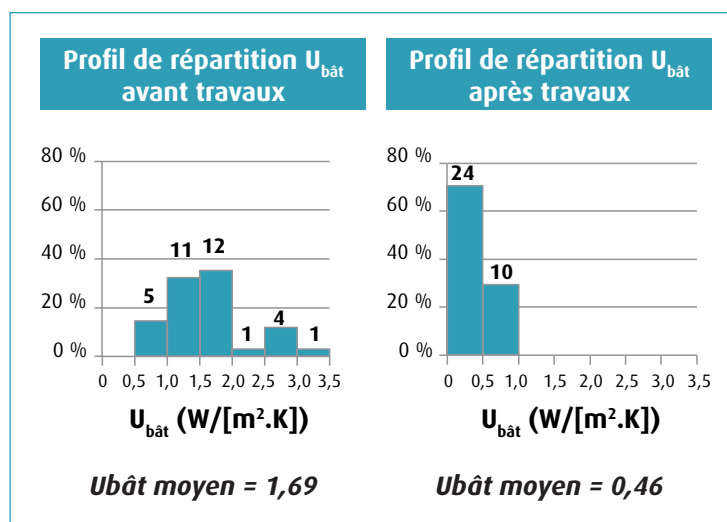
Ces mêmes études thermiques font apparaître une division par 3 en moyenne des consommations conventionnelles, après travaux. Par ailleurs, les consommations réelles ont pu être relevées

sur un panel très restreint de 14 cas. **Elles font apparaître une division moyenne par deux entre la période avant travaux et celle après travaux.** Les différences entre estimations conventionnelles et réelles sont complexes à analyser (températures de consigne différentes, scénarios d'occupation différents, effet rebond, approximation des modèles, etc.).

Par ailleurs, les mesures du confort d'été et de celui d'hiver mettent en évidence **une ambiance globalement satisfaisante dans les maisons rénovées.** Il est à noter, sur les cas d'illustrations du fascicule A, des niveaux de température et d'humidité mesurés confortables. Les suivis effectués **ne révèlent pas de « surchauffes » estivales particulières.** Ces conclusions sont corroborées par les déclarations des occupants sur les confort thermiques d'hiver et d'été ressentis.



B - LA PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE



Évolution des valeurs U_{bât} avant et après travaux (34 opérations).

La performance de l'enveloppe étant une des priorités des programmes JRBBBC, l'ensemble des maisons rénovées a connu des travaux d'isolation.

Les résultats obtenus et analysés dans le fascicule B montrent un **saut de performance du bâti très important après travaux.**

Le coefficient moyen d'isolation U_{bât} est ainsi réduit en moyenne de 75 % environ après travaux, ce qui explique la forte diminution des besoins de chauffage réalisée au travers des programmes. Les résistances thermiques moyennes des différents lots sont toutes légèrement supérieures à celles exigées par le crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE 2016).

¹ Consommation conventionnelle de 104 kWhep/m².an sur les 5 postes réglementaires, déterminée selon un référentiel spécifique (Cf. fascicule « Introduction » pour le détail des exigences de performance des programmes).

S'agissant des techniques et des matériaux mis en œuvre pour l'isolation :

- **l'isolation thermique par l'extérieur des murs est mise en œuvre sur la majorité des opérations**, loin devant la mise en œuvre par l'intérieur ;
- en lien avec les aides octroyées², **les isolants bio-sourcés connaissent un certain développement** et représentent une part prépondérante en isolation par l'intérieur des murs, de même que pour l'isolation des toitures ;
- **l'utilisation de double vitrage se généralise** et une part non négligeable de triple vitrage apparaît.

Au-delà du niveau d'isolation thermique de l'enveloppe, les programmes JRBBC comportaient une exigence sur le niveau d'étanchéité à l'air après travaux, selon un objectif de performance correspondant à $Q_{4_psurf} = 0,8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$.

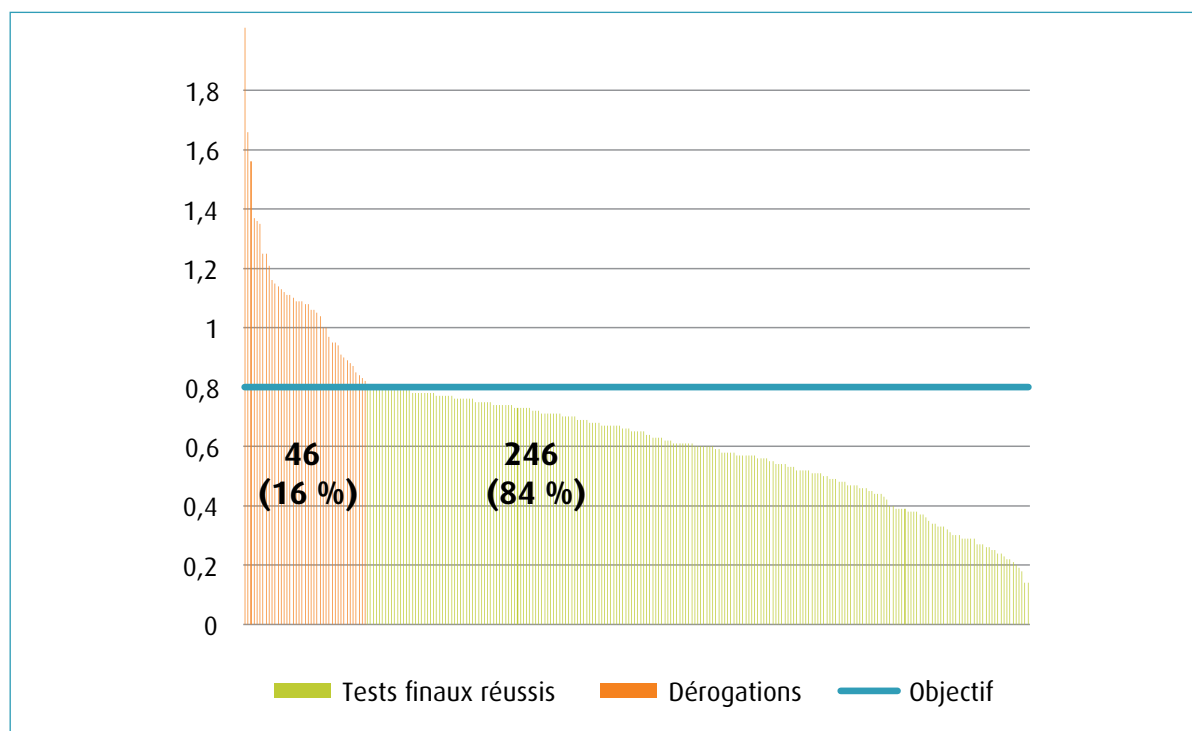
Les tests d'infiltrométrie réalisés après travaux présentent **un taux de réussite global de 84 %**,

démontrant la possibilité d'atteindre le niveau d'exigence fixé moyennant la mise en place d'une démarche d'accompagnement des chantiers et une mise en œuvre coordonnée et soignée utilisant des produits adaptés.

La typologie de bâti ainsi que la typologie de chantier sont des facteurs influençant cette performance d'étanchéité.

Plus la nature de l'opération induit des travaux lourds, plus le taux de réussite est important.

S'agissant enfin des transferts d'humidité dans l'enveloppe et des risques associés, une instrumentation spécifique et innovante a été menée sur une maison en pans de bois dont les murs ont été isolés par l'intérieur au moyen d'un complexe « ouate de cellulose et frein-vapeur hygrovARIABLE ». Les mesures effectuées au sein de ces parois, extrapolées par des simulations, n'ont pas montré de risque de pathologie particulier.



Répartition des performances d'étanchéité à l'air (262 opérations).

Il apparaît toutefois nécessaire, lors d'une rénovation thermique de murs anciens, particulièrement sensibles, de **limiter toute source d'humidité dans la paroi**, en veillant notamment **au traitement préalable des remontées capillaires**, à la **protection de la façade contre la pluie** et à une **bonne mise en œuvre de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe** permettant de maîtriser les infiltrations d'air humide.

² Cf. fascicule Introduction.



C - LES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE, D'EAU CHAUDE SANITAIRE ET DE VENTILATION

Dans les programmes JRBBC, le choix du remplacement des systèmes de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS), accompagné éventuellement d'un changement d'énergie, était laissé au ménage. En pratique, ils ont été fréquemment remplacés lors des rénovations (2/3 des opérations concernées).

Les constats suivants ont pu être faits sur notre panel d'étude :

- après rénovation, **les usages du fioul sont en forte réduction au profit du gaz, de l'électricité et du bois ;**
- après rénovation, **la proportion des appareils de chauffage d'appoint progresse, principalement sous forme de poêles à bois ;**
- après rénovation, **le recours à l'électricité pour l'ECS progresse fortement en substitution du fioul, avec une association à des systèmes de chauffage bois ou électrique ;**
- **les chaudières à condensation, les pompes à chaleur, les ballons thermodynamiques, les chauffe-eau solaires individuels et les poêles à bois (majoritairement utilisés en appoint) ont été les principaux systèmes installés lors des travaux.**

Des recommandations professionnelles sont disponibles dans les guides du programme RAGE : « *les appareils de chauffage divisé à bûches en habitat individuel* » et « *les appareils de chauffage divisé à granulés en habitat individuel* », publiés en septembre 2015. L'installation d'un détecteur de monoxyde de carbone est recommandée pour prévenir ce risque sanitaire aux conséquences potentiellement mortelles.



Défaut de mise en œuvre des gaines de ventilation.



Installation d'un poêle à bois à circuit de combustion étanche.

Les poêles à bois ont fait l'objet d'une attention particulière dans le cadre des programmes JRBBC, en raison de leurs interactions fortes avec les systèmes de ventilation et avec le renforcement de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Ainsi, **un risque de retour de fumées peut apparaître lorsque plusieurs facteurs perturbateurs interviennent en même temps** (appareil ouvert, VMC hygroréglable, hotte aspirante...).

En ce qui concerne les systèmes de ventilation, il apparaît que, **dans 2/3 des cas, un système de ventilation mécanique simple flux hygroréglable B est installé. La ventilation mécanique double flux est mise en œuvre dans le tiers restant.**

Des contrôles « qualité » effectués sur un panel de 60 opérations ont révélé que **la moitié des installations de ventilation présentent des non-conformités** : défauts d'installation au niveau des bouches, mauvais raccordement des gaines, débits mesurés insuffisants...

Des contrôles visuels en cours de chantier et des mesures à la réception permettent d'éviter ces non-conformités. L'utilisateur doit également être sensibilisé au bon fonctionnement et à la maintenance de son système de ventilation.



D - LE BILAN CARBONE DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

Un des objectifs principaux des programmes JRBBBC était de diminuer les émissions de gaz à effet de serre (GES) des logements. Un bilan carbone a ainsi été réalisé pour évaluer l'impact des opérations menées.

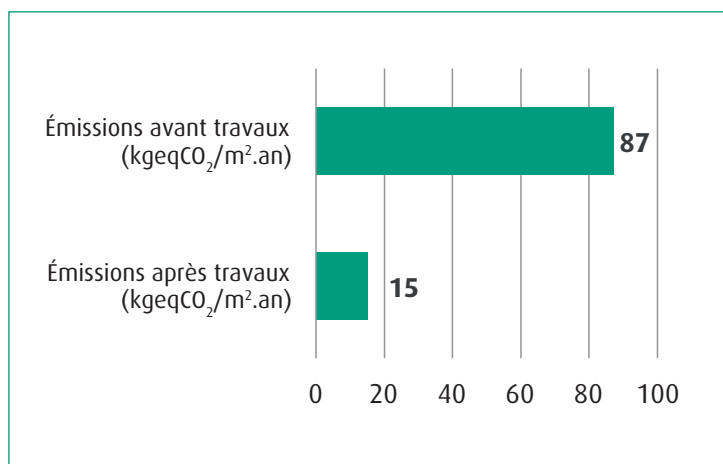
Il en ressort les principaux éléments suivants :

- S'agissant des émissions conventionnelles de GES liées aux consommations énergétiques, **elles sont divisées en moyenne par un facteur 4 après travaux.**

Bien qu'il soit important, ce facteur n'est pas à la hauteur de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), dont un des objectifs est de réduire de 87 % les émissions de CO₂ du parc bâti entre 2013 et 2050.

Les facteurs de réduction les plus importants (au-dessus de 90 % dans certains cas) sont obtenus principalement grâce au passage vers des énergies moins carbonées.

- Les travaux de rénovation énergétique des maisons du programme représentent un poids carbone estimé en moyenne à **8,6 [teqCO₂]** par chantier, **provenant pour 2/3 des matériaux et produits de construction et pour 1/4 des déplacements des employés des entreprises.**



Émissions de GES moyennes conventionnelles obtenues sur un panel de 155 opérations avant travaux et après travaux.

- En fin de compte, les travaux de rénovation énergétique ont un impact environnemental largement positif. **Les émissions liées aux travaux de rénovation sont compensées très rapidement (moins d'un an en moyenne) par la baisse des émissions liées aux consommations énergétiques.**





E - LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Les campagnes de mesures effectuées sur un panel de 27 maisons rénovées via les programmes « JRBBC » font état **d'une qualité de l'air globalement équivalente aux niveaux constatés dans d'autres campagnes, notamment l'étude nationale « logements » [OQAI, 2003-2005]** représentative du parc français.

Les mesures effectuées montrent une concentration respectant les valeurs guides³ pour la plupart des polluants, sauf pour les PM 2,5 et le formaldéhyde.



Mesures par tubes passifs (ASPA).

Pour ces deux derniers polluants, le dépassement peut s'expliquer par un environnement intérieur plus émetteur, dû aux matériaux de construction utilisés dans les rénovations, à l'ameublement ou bien encore à l'utilisation de systèmes de chauffage à combustion.

Le bon fonctionnement des systèmes de ventilation constitue une condition nécessaire – mais non suffisante – à une bonne qualité de l'air.

Plusieurs actions peuvent permettre d'améliorer la qualité de l'air intérieur :

- sélectionner des matériaux de construction, de décoration ou d'ameublement peu émissifs ;
- s'assurer d'une ventilation efficace et aérer régulièrement le logement ;
- s'assurer du bon fonctionnement et du bon entretien des systèmes de combustion, pour éviter notamment le rejet de polluants dans le bâtiment ;
- éviter l'utilisation de produits tels que les aérosols, les parfums d'intérieur ou encore le tabac.



F - LA MISE EN ŒUVRE

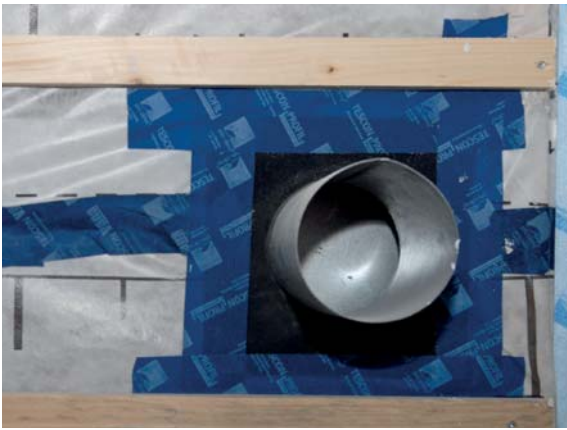
Un retour d'expérience sur la qualité de la mise en œuvre a été effectué (cf. fascicule F) permettant de porter un regard sur les bonnes et mauvaises pratiques.

D'une manière générale, **aucune pathologie spécifique aux bâtiments performants n'a été constatée.** En revanche, compte tenu des techniques mises en

œuvre (exemple : membrane d'étanchéité à l'air), il arrive souvent que les pathologies traditionnelles (ex : risque de condensation) soient accentuées. Ainsi, un soin tout particulier doit être apporté à la conception et à la mise en œuvre de ce type de projet.

La rénovation basse consommation nécessite une approche globale, avec une coordination des travaux en conséquence.

³ Cf. fascicule E « Qualité de l'air intérieur » pour le détail de ces valeurs guides.



Mise en place de manchottes d'étanchéité pour le passage de fluides.

Il est donc nécessaire de **considérer l'impact des différents lots de travaux les uns par rapport aux autres (interactions)**. Les **jonctions physiques (interfaces) entre les lots doivent être particulièrement soignées avec du matériel adéquat** (cf. illustration). Cette approche globale doit être **réalisée par un acteur ou un groupement d'acteurs ayant une vision générale des problématiques énergétiques appliquées aux bâtiments** et non par un spécialiste d'un lot particulier. La formation des acteurs (formation pratique au geste, organisation et coordination du chantier...) devrait évoluer en conséquence.

Dans cette démarche qualité, toutes les phases du projet sont concernées : programmation, conception, réalisation et exploitation.

L'exigence d'étanchéité à l'air, mise en avant dans le cadre des programmes JRBBC, **constitue un levier important pour la qualité de la mise en œuvre**, car elle requiert justement une coordination des acteurs et une approche globale de la performance.

Si des difficultés propres à chaque chantier de rénovation ont été rencontrées, **de bonnes pratiques ont également pu être mises en évidence** et sont présentées en détail dans le fascicule F :

- prévoir un accompagnement spécifique sur ce sujet ;
- anticiper le plan d'étanchéité lors de la conception et prévoir le matériel adapté ;
- programmer une réunion de chantier initiale de sensibilisation des intervenants à la problématique ;
- réaliser un test d'étanchéité à l'air intermédiaire ;
- se référer aux documents techniques et normatifs en vigueur et à l'accompagnement des fabricants spécialisés.

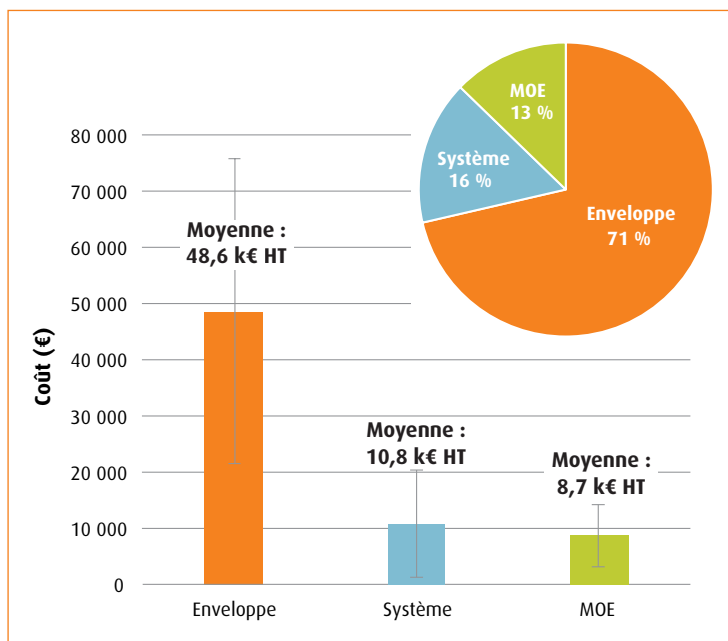


Réalisation d'un test d'étanchéité à l'air intermédiaire, en cours de chantier.

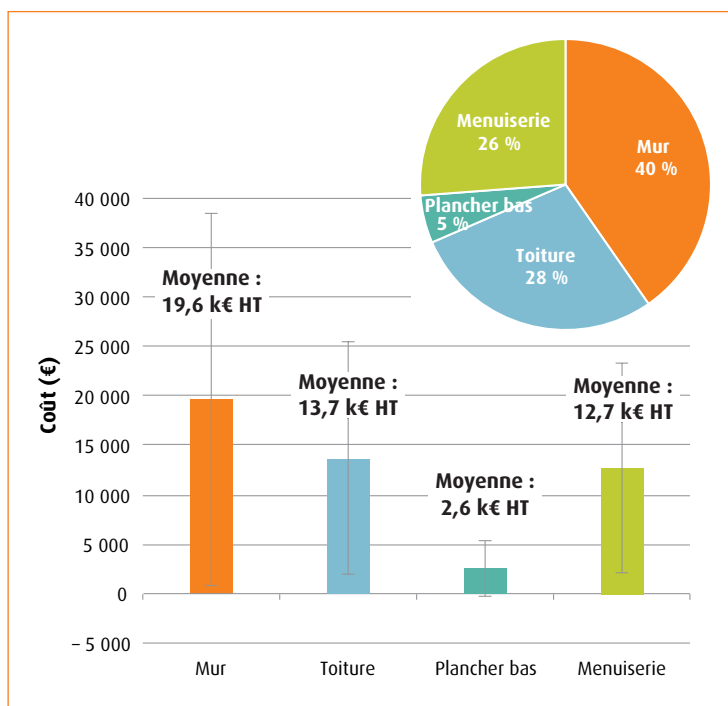


G - LES ENSEIGNEMENTS ÉCONOMIQUES

Un bilan du coût des rénovations énergétiques menées dans le cadre des programmes JRBBC, incluant les coûts de maîtrise d'œuvre, les coûts de travaux sur l'enveloppe et sur les systèmes, a pu être réalisé sur un panel de 120 opérations.



Coûts (moyennes et écarts-types) d'une opération et leur répartition.



Coûts (moyennes et écarts-types) des travaux sur l'enveloppe et leur répartition.

Le coût total d'une opération est de 68,1 k€ HT en moyenne (soit 465 € HT/m²SHAB), présentant par ailleurs un écart-type relativement important de 31 k€ HT (ou 316 € HT/m²SHAB).

La totalité des aides obtenues par les ménages représente environ et en moyenne 25 % du coût de l'opération.

Les coûts de systèmes de ventilation représentent en moyenne moins de 9 % de ce coût total.

À l'opposé, les coûts de travaux sur l'enveloppe représentent le poste de dépenses le plus important (s'élevant en moyenne à 48,6 k€ HT, soit 330 € HT/m²SHAB, soit 71 % du coût total).

Les coûts par lots sont néanmoins très dispersés.

Au-delà de ces coûts d'investissement, une étude en « coût global » a pu être effectuée sur un panel de 90 opérations. Les éléments qui ressortent de cette analyse sont les suivants :

- selon les calculs thermiques réglementaires, **les gains sur les factures énergétiques conventionnelles sont variables mais importants : médiane à 2 300 €/an, soit 190 €/mois, soit une division par 3 ;**
- **en pratique, la réduction de la facture énergétique constatée est plus faible, de l'ordre d'un facteur 2 ;**
- pour la plupart des opérations, **les coûts d'entretien et de remplacement influent très peu sur le calcul en coût global ;**
- selon les gains théoriques, **les opérations de rénovation sont globalement rentables sur le long terme,** avec et sans les aides :
 - environ 3/4 des opérations sont bénéficiaires avant 30 ans,
 - la médiane des temps de retour actualisés se situe autour des 20 ans,
 - le taux de rentabilité interne est élevé : environ 8-10 % (valeur médiane) ;
- **la prise en compte de la valeur marchande du logement, avant et après travaux, engendre, sur l'exemple étudié, une rentabilité des travaux dès la première année.**



H - LES ENSEIGNEMENTS SOCIOLOGIQUES

Les programmes de rénovation JRBBC, de par leur ampleur, leur caractère innovant et leur ambition énergétique, ont eu de nombreux impacts tant auprès des ménages ayant bénéficié des travaux qu'auprès des professionnels qui sont intervenus.

L'étude sociologique menée auprès des ménages permet de faire ressortir les points suivants :

- les motivations des ménages à réaliser une rénovation énergétique sont principalement **une volonté d'améliorer le confort de leur habitat et de réaliser des économies financières**. Dans un second temps apparaissent les motivations liées à l'environnement. Une **part majoritaire des rénovations a eu lieu à la suite de l'achat du logement** ;
- **la quasi-totalité des clients sont très satisfaits du programme et du résultat des travaux** (plus de 90 %) grâce à l'aide financière et à l'encadrement technique apportés, sans lesquels la plupart ne seraient pas allés aussi loin dans la performance ;
- après travaux, **les ménages paraissent avoir renforcé une logique écologique en adoptant des pratiques d'utilisation plus sobres**.

Par ailleurs, une étude sociologique menée auprès des professionnels intervenus dans le cadre des programmes JRBBC révèle que :

- les acteurs professionnels sont **allés vers le programme pour plusieurs raisons**, allant de l'engagement à l'opportunité professionnelle en passant par des clients à la recherche de subventions ou alors afin de lancer une activité ;

- **le programme a permis l'évolution du paysage professionnel, car l'ensemble de la filière a bénéficié d'effets d'apprentissage** :

- les artisans et entreprises déclarent être montés en compétence ;
- la plupart des architectes interrogés déclarent également être montés en compétence, tout en développant un nouveau marché ;
- enfin, les maîtres d'œuvre et bureaux d'études déclarent avoir gagné en légitimité et avoir été valorisés.

- l'activité des acteurs professionnels est impactée **par un plus grand temps de conception et de présence sur le chantier, en lien avec la performance obtenue** (niveau basse consommation). Cependant, les professionnels constatent des effets d'apprentissage après plusieurs chantiers, permettant de réduire ce temps ;

- Certains professionnels ont estimé que les différences de compétence au sein de la filière n'étaient pas suffisamment identifiables par les clients ;

- **l'accompagnement d'EDF/ES s'est révélé nécessaire** pour les démarches administratives et intéressant pour certains en ce qui concerne les questions techniques ;

- **l'obligation de résultat et le test imposé d'étanchéité à l'air ont favorisé la création d'un climat de coopération entre les acteurs**, permettant de bénéficier des compétences des uns et des autres dans un but commun.



A - La performance énergétique globale et le confort thermique

B - La performance de l'enveloppe

C - Les systèmes de chauffage, d'ECS et de ventilation

D - Le bilan carbone des rénovations énergétiques

E - La qualité de l'air intérieur

F - La mise en œuvre

G - Les enseignements économiques

H - Les enseignements sociologiques

Directeur de publication
Bernard Larrourou

Directeur délégué de publication
Christian Curé

Maquettage
PAO Concept

Impression
JOUVE 53100 Mayenne

© 2017 - Cerema
La reproduction totale ou partielle du document doit être soumise à l'accord préalable du Cerema.

Collection
Connaissances
ISSN 2417-9701
Dépôt légal : juin 2017



Fascicule réalisé sous la coordination de
Sabine Mirtain-Roth (EDF) et Julien Burgholzer (Cerema)

Rédacteurs

Sabine Mirtain-Roth (EDF)
Julien Burgholzer (Cerema)

Relecteurs

Matthieu Flahaut (Région Grand Est)
Éric Gaspard (Ademe)
Bertrand Chauvet (AQC)
Marina Gaspard (Energivie.pro)
Olivier Eber (ES)
Fabien Auriat (DGALN)
Philippe Jary, Cyril Pouvesle, Pascal Cheippe (Cerema)
Laurent Grignon-Massé, Nadège Chatagnon, Maxime Raynaud (EDF)

Contacts

sabine.mirtain@edf.fr
julien.burgholzer@cerema.fr

Photos

EDF, ATMO Grand Est

Boutique en ligne: catalogue.territoires-ville.cerema.fr

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..

Aménagement et développement des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment