

La rénovation performante par étapes

Étude des conditions nécessaires pour
atteindre la performance
BBC rénovation ou équivalent
A terme en logement individuel

Synthèse

Janvier
2021



EXPERTISES

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes qui ont contribué à cette étude à divers titres.

En premier lieu Camille JULIEN, Thierry RIESER, Vincent LEGRAND, Jeremy CELSAN, Fabien VIGIER, Stéphane MOTEAU pour la réalisation et la coordination de cette étude

Également le « comité de relecture expert » composé d'Angélique SAGE (Effinergie), de Martin GUER (AQC), de Charles ARQUIN et Julien PARC (Pouget Consultants).

Ainsi que l'ensemble des participants au groupe de travail « rénovation BBC par étapes » du CeDRe coanimé par John GIRARDOT (Région Auvergne-Rhône-Alpes), avec la participation de :

- La DREAL, la DDT42, AURA-EE, Dorémi, Effinergie, l'Institut négaWatt, Batitrend, Oïkos, l'AQC, Enertech, Pouget Consultants, l'association P2E,
- Les Plateformes Territoriales de Rénovation Énergétique suivantes : Ma Réno (Nord-Isère Durable), CC Sud Grésivaudan, Parc éco-habitat (CC Monts du Lyonnais), Rénov'Habitat Durable (Valence-Romans Agglo), Biovallée énergie (CCCPS/CCVD), Rénofuté (Ardèche), Régénéro (Genevois Français)
- Les Espaces Info-Énergies du réseau IERA : HESPUL, ALEC Lyon, AGEDEN, ALEC07
- Les autres partenaires PTRE : ADIL26, CAUE26, SOLIHA07

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, Dorémi, Enertech, 2020. La rénovation performante par étapes - Étude des conditions nécessaires pour atteindre la performance BBC rénovation ou équivalent à terme en logement individuel. 196 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 18MAR001124

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par :

Dorémi : Vincent, LEGRAND, Jeremy CELSAN, Camille JULIEN, Fabien VIGIER
Enertech : Thierry RIESER, Stéphane MOTEAU

Coordination technique - ADEME : Jonathan LOUIS
Service : Service Bâtiment, Direction Villes et Territoires Durables

Résumé

L'étude analyse les conditions de réussite nécessaires à la réalisation de rénovations performantes permettant au parc français de maisons individuelles d'atteindre, par étapes, le niveau de performance BBC rénovation ou équivalent à l'horizon 2050. Cette analyse intègre également les notions qui complètent la définition d'une rénovation performante, à savoir la **santé et le confort pour les occupants, ainsi que la qualité du bâti**, tout au long du parcours de rénovation.

Elle montre que les pratiques usuelles, nommées « **rénovations partielles** », qui consistent à juxtaposer des « gestes de travaux », ne permettent pas d'atteindre cet objectif. De plus, elles peuvent conduire à créer ou renforcer des désordres sur le bâti, avec impact possible sur le confort, voire la santé des habitants. L'étude montre aussi que renforcer la performance de chaque élément ne conduit pas non plus au bon niveau de performance dans cette approche « élément par élément ». **Ainsi, l'addition simple de travaux qualifiés de « travaux BBC-compatibles » n'est pas suffisante pour l'atteinte du niveau de performance BBC rénovation ou équivalent à terme**, en moyenne sur le parc.

L'étude montre la nécessité de disposer d'une **vision globale** de ce que sera le parcours de rénovation performante par étapes. Elle pointe l'importance majeure du traitement des **interfaces entre postes de travaux** afin de disposer d'une continuité de l'isolation, de la barrière freine-vapeur et de l'étanchéité à l'air, pour éviter les pathologies et atteindre un niveau BBC rénovation ou équivalent à terme à l'échelle du parc.

Après avoir posé plusieurs définitions structurantes, l'étude démontre par des études de cas et des calculs que l'atteinte du niveau BBC rénovation ou équivalent à terme par des parcours de 4 étapes de travaux ou plus à un coût acceptable et d'ici 2050 semble peu réaliste. Cette performance peut être atteinte en 1 à 3 étapes sous des conditions strictes décrites dans le rapport. La probabilité d'atteindre la performance décroît avec l'augmentation du nombre d'étapes. Les conditions de réussite pour atteindre la performance par étapes relèvent de considérations techniques, pédagogiques, économiques, financières, également sociales (accompagnement des ménages). L'étude met en exergue l'absence, et le besoin, de **préconisations techniques pour l'ensemble des cas de figures pratiques rencontrés sur le terrain dont le bon traitement est nécessaire pour aboutir à une rénovation performante à terme**. Le traitement de ces cas de figures pourrait prendre la forme d'outils pédagogiques et techniques à destination des ménages et des entreprises.

Enfin, l'étude met en évidence que **l'intégration des énergies renouvelables** est souhaitable et même parfois nécessaire afin d'atteindre le niveau de performance visé, notamment pour le chauffage (bois, PAC), dans les parcours en 3 étapes et moins. L'amélioration du bilan énergétique d'un parcours en 4 étapes ou plus avec l'intégration d'énergies renouvelables est envisageable d'un point de vue strictement énergétique, mais le nombre important d'étapes génère des risques pour la santé des occupants (cas du report de la ventilation), des sources de pathologies (humidité dans les parois) et/ou des sensations d'inconfort pour les utilisateurs (ponts thermiques). De plus, l'augmentation des températures de consigne résultant du non-traitement des interfaces risque d'annuler les économies d'énergie générées grâce aux sources renouvelables. Enfin, le coût des parcours en 4 étapes ou plus avec solutions renouvelables en compensation dépasse celui d'un parcours en une seule étape.

Abstract

This study analyzes the necessary conditions for carrying out step-by-step efficient renovations of the French houses stock in order to reduce its energy consumption to the "BBC renovation" (Low Consumption Building) performance level, set as a national objective, by 2050, while preserving the health and the comfort of the inhabitants as well as the building structure.

It shows that the usual practices, limited to juxtaposing "work gestures" and named "partial renovations", will never achieve this objective. Moreover, in this "element by element" approach, improving the performance of each element does not reach the right level of global performance either. This suggests that the ambiguous term of "BBC-compatible work" should be abandoned. These partial renovations often lead to creating or increasing disorders in the building, with possible negative consequences on the comfort, or health of the inhabitants.

The study demonstrates that a global approach is mandatory to plan each efficient renovation steps, and it highlights the major importance of the treatment of connections between building components, guaranteeing the continuity of insulation, vapour retarder and airtightness, and avoiding pathologies to achieve a BBC renovation level or equivalent.

After having defined several structuring terms, some case studies and calculations establish that it is impossible to achieve efficient renovations in 4 steps or more. It can be reached in 1 to 3-step process but under strict conditions, described in the report. The probability of achieving efficiency level decreases with increasing number of steps. Success conditions for step-by-step efficient renovations are then detailed; they include technical, educational, economic, financial and social considerations (support for householders). The study highlights the lack, and so far the urgent requirement, of technical recommendations for all the practical scenarios encountered on work site, which need to be organised in educational and technical tools for householders and professionals.

Finally, the study concludes that integration of renewable energies in efficient renovations is advisable and even sometimes necessary in order to achieve the low energy target, in particular for heating (wood, heat pump). But if it is possible from time to time to balance lower overall efficiency with renewable energy components, this generally costs more than directly engaging in a complete and efficient renovation.

SYNTHÈSE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE

Contexte et constats sur la rénovation énergétique

L'objectif français est de « disposer d'un parc bâti BBC rénovation ou assimilé à l'horizon 2050 » (Code de l'Énergie), en moyenne nationale. Atteindre cet objectif est nécessaire pour relever simultanément les défis climatiques (neutralité carbone en 2050), énergétiques (division par 2 des consommations énergétiques à 2050) et sociaux (lutte contre la précarité).

En ce qui concerne les logements individuels (plus de 16 millions de maisons en résidence principale, 56% des logements français), d'après plusieurs études en cours, le nombre de rénovations « BBC ou équivalent » est à ce jour négligeable au regard des rythmes à atteindre (plusieurs centaines de milliers de rénovations BBC rénovation ou équivalent par an) :

- 3780 rénovations « BBC rénovation ou équivalent » réalisées en une seule fois ;
- Quelques centaines de rénovations « BBC par étapes » initiées (1^{ère} étape réalisée) et aucune menée à terme depuis 2011.

Les pratiques actuelles majoritaires consistent à réaliser des opérations d'entretien ou de maintenance (principalement changement de fenêtres et de chaudière) et des rénovations ponctuelles (1 à 2 postes de travaux en général) en fonction des opportunités offertes par les aides financières (isolation des combles, des planchers bas, des murs...). Ces travaux n'ont pas permis à ce jour d'infléchir la courbe des consommations vers le niveau BBC rénovation visé pour le parc bâti dans son ensemble. Par ailleurs, ils peuvent participer à l'apparition ou au renforcement de désordres, de pathologies et de problèmes sanitaires (moisissures dans le logement, baisse du renouvellement d'air hygiénique...), malgré l'amélioration de confort pouvant être ressentie par les occupants.

Objectif et méthode de l'étude

L'étude « Rénovation performante par étapes » vise à **identifier les conditions de réussite permettant d'atteindre la performance à terme en rénovation par étapes, en maison individuelle**. L'étude s'appuie sur les enseignements issus de 2 approches : qualitative et calculatoire.

L'approche qualitative s'intéresse au confort des occupants, à leur santé (qualité de l'air intérieur notamment), mais également à la préservation du bâti. Elle se fonde à la fois sur des études publiées sur ces domaines, et des analyses des nombreux retours de terrains (pratiques actuelles, apparitions de moisissures de plus en plus fréquentes...). Elle **détaille des exemples très classiques de difficultés qui apparaissent lorsque deux postes de travaux ne sont pas traités simultanément** : isolation des combles ou remplacement des fenêtres et report de l'isolation des murs. Ce dernier cas est **fréquemment observé** sur le parc de logements alors qu'il conduit à de **nombreuses impasses de rénovation** : les ménages ne sont logiquement pas prêts à détruire des travaux récemment effectués (reprise des tableaux de fenêtres, remplacement des nouveaux volets roulants...) pour assurer une continuité de l'isolation nécessaire à la performance. Pourtant, ne pas traiter correctement l'interface menuiserie – mur génère des ponts thermiques en périphérie des menuiseries et favorise le développement de moisissures. L'étude montre par des exemples concrets et très fréquents les enjeux et les points de vigilances lors du traitement d'une interface entre deux postes réalisés en étapes distinctes.

L'approche calculatoire se concentre sur 10 typologies de logements construits avant 1982, auxquelles sont appliquées des parcours de travaux allant de 1 à 6 étapes. Les conclusions des calculs sont analysées à l'échelle du parc entier pour définir une stratégie à porter au niveau national : quels sont les parcours menant à une consommation moyenne nationale (chauffage + production d'eau chaude sanitaire) inférieure au seuil BBC rénovation ($80 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2_{\text{shab.an}}$) ?

Les deux approches se complètent pour **définir les conditions de réussite d'une rénovation par étapes performante à terme**, conditions présentées dans cette synthèse.

Définitions-clés pour la rénovation énergétique¹

Il est fréquent de parler de « rénovation énergétique » au sens large, sans évoquer le niveau de consommation énergétique de ces rénovations ni la façon de l'atteindre. Les différentes appellations sont légions : rénovation par étapes, rénovations partielles, élément par élément ou par gestes de rénovation, rénovation globale, travaux BBC-compatibles, rénovation BBC par étapes, rénovation par morceaux...

Pour plus d'efficacité dans les politiques publiques et les débats, il est fondamental de **distinguer le niveau de performance atteint par la rénovation du parcours de rénovation emprunté**. Le parcours de rénovation peut être conduit en **plusieurs opérations de travaux successives (« rénovation par étapes »)** ou en **une seule opération de travaux (« rénovation complète »)**. Il apparaît donc indispensable de préciser les définitions ci-après.

La rénovation performante d'un bâtiment est un ensemble de travaux qui permettent au parc bâti d'atteindre **a minima le niveau BBC rénovation ou équivalent**, en moyenne nationale et à l'horizon 2050, sans mettre en danger **la santé des occupants, en préservant le bâti de toute pathologie liée à ces travaux et en assurant le confort thermique et acoustique été comme hiver**.



Figure A : définition de la rénovation performante. Source : Dorémi.

Le bâtiment rénové performant peut soit atteindre lui-même le niveau de consommation BBC rénovation, soit contribuer à l'atteinte de cet objectif pour le parc bâti en moyenne nationale, notamment par la mise en œuvre d'une combinaison de travaux adaptée.

Un bâtiment rénové performant est un bâtiment qui a traité les **6 postes de travaux** (isolation des murs, des planchers bas et de la toiture, remplacement des menuiseries extérieures, ventilation et production de chauffage/eau chaude sanitaire) **ainsi que les interfaces** (jonctions physiques entre ces postes de travaux assurant l'étanchéité à l'air et la continuité de l'isolation) **et les interactions** entre ces postes (bon dimensionnement des systèmes notamment).

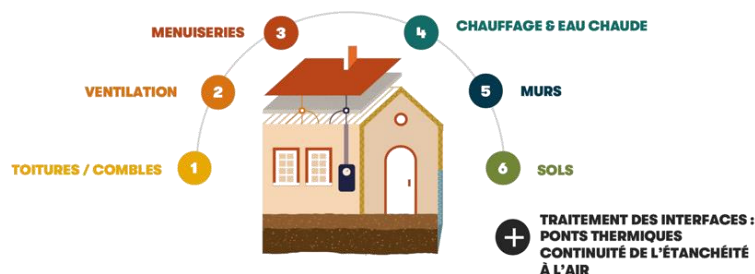


Figure B : schéma des 6 postes de travaux nécessaires à la performance thermique (source : Dorémi)

Le niveau BBC rénovation fait référence aux termes de l'[arrêté du 29 septembre 2009](#), soit un objectif de consommation de 80 kWh en énergie primaire par m² SHON et par an modulée selon la situation géographique et l'altitude du lieu considéré.

¹ Un glossaire plus complet est proposé en début de rapport

Une rénovation peut être performante en une seule étape de travaux : c'est la **rénovation complète et performante (ou rénovation globale)**. Elle peut être également performante en plusieurs étapes : c'est la **rénovation performante par étapes, ou rénovation par étapes performante à terme**. Le terme est l'horizon 2050, une fois l'ensemble des étapes de travaux réalisées. La complexité de l'exercice impose des **conditions de réussite décrites dans cette étude** (nombre d'étapes, traitement des interfaces et interactions, ...).

L'atteinte de la performance requiert une **approche globale de la rénovation** (ou une *vision* globale) ; elle consiste en une analyse architecturale et technique pour définir les bouquets de travaux pertinents et anticiper la bonne gestion des interfaces et des interactions entre postes de travaux.

La rénovation partielle est une action de travaux qui représente l'essentiel des pratiques actuelles de travaux énergétiques (approche « élément par élément », par « gestes de travaux » ou par « petits bouquets de 2 à 3 travaux »), sans approche globale, **non coordonnées et ne traitant que quelques postes de travaux**. Cette approche de la rénovation ne permet pas d'atteindre la performance à terme.

D'abord ne pas nuire... éviter les non-qualités²

Une rénovation qui préserve la santé des occupants et le bâti doit respecter des bonnes pratiques en matière de migration d'humidité et de vapeur d'eau, afin d'éviter les phénomènes de condensation à l'origine de développements de moisissures et de pathologies diverses pour le bâti, qui sont également préjudiciables à la qualité de l'air intérieur et à la santé des occupants.

Parmi ces bonnes pratiques, les impératifs suivants sont à mettre en pratique :

- Assurer un **renouvellement d'air suffisant par une ventilation mécanique contrôlée**. Par exemple, une ventilation continue à un débit de 0,6 vol/h permet d'évacuer l'humidité³ et les autres polluants de l'air et de garantir ainsi une bonne qualité d'air intérieur **dans toutes les pièces du logement** ;
- Accorder un **soin particulier au traitement des interfaces**⁴, permettant une continuité de la barrière freine-vapeur, de l'étanchéité à l'air et le traitement des principaux ponts thermiques qui pourraient créer des points froids pathogènes si l'interface entre deux postes de travaux n'est pas abordée dans sa globalité.

La problématique du traitement des interfaces devient concrète lorsque l'on regarde de près les **multiples configurations**⁵ rencontrées en rénovation, et toutes les **combinaisons imaginables entre ces différentes configurations**.

La complexité du traitement des interfaces augmente encore lorsque les postes de travaux de part et d'autre de l'interface ne sont pas réalisés simultanément, mais en 2 étapes distinctes et séparées dans le temps (absence de coordination).

² Non-conformités, malfaçons, désordres et dysfonctionnements qui peuvent donner lieu à l'apparition de pathologies du bâti, lesquelles peuvent avoir des conséquences structurelles et/ou sanitaires (définition de l'Agence Qualité Construction).

³ Débit utilisé dans l'étude Climaxion (Enertech Migration de vapeur, 2017) pour définir les solutions d'isolation des murs à mettre en œuvre dans les rénovations, en l'absence d'autres études définissant un débit minimum à prendre en compte.

⁴ Les interfaces sont des jonctions physiques entre 2 postes de travaux nécessitant un jointoiement (définition AQC).

⁵ La notion de « postes de travaux » n'est pas suffisante pour aborder les problématiques de conception et de mise en œuvre. Pour chaque poste, on distingue de multiples configurations : pour les murs : (Isolation Thermique par l'Extérieur, Isolation Thermique par l'Intérieur, ou mixte ITE/ITI), pour les toitures (combles perdus, rampants, sarking, toiture-terrasse...), pour les planchers bas (sur terre-plein, sur vide-sanitaire, sur local non chauffé...), pour les menuiseries extérieures : pose en feuillure, en tunnel, en applique, « en rénovation » ...), etc. Cette liste n'est évidemment pas exhaustive, et les combinaisons entre ces configurations sont très nombreuses.

Le rapport présente une matrice (Dorémi, Enertech, Matrice des interfaces et interactions, 2019) afin d'identifier en première approche les **configurations** qui ne posent pas de problème *a priori*, les configurations qui nécessitent d'anticiper les étapes ultérieures et de réaliser des reprises de travaux jugées envisageables, et les configurations qu'il semble irréaliste de traiter en 2 étapes distinctes.

Les exemples d'interfaces développées dans le rapport (partie 2) alertent sur les points de vigilance architecturaux et techniques qui peuvent apparaître en cas de report d'un poste de travaux, et selon plusieurs configurations. Le rapport présente également des pistes de solutions à mettre en œuvre afin d'anticiper les étapes ultérieures et/ou de reprendre les travaux précédents. Cependant, même si elles sont techniquement réalisables, ces solutions peuvent entraîner des **surcoûts** et s'accompagner de **freins psychologiques**, avec le risque que le ménage ne mène pas la rénovation à son terme : le traitement des interfaces ajoute un niveau de complexité à la rénovation par étapes, et limite l'atteinte de la performance à terme.

Ce travail d'analyse fine reste à systématiser pour toutes les configurations délicates, afin d'éclairer les décisions en procédant à des **regroupements de travaux judicieux** et en excluant certaines dissociations (comme le cas d'embarquer la ventilation dès lors qu'on remplace les menuiseries extérieures, par exemple).

Les rénovations partielles, par gestes de travaux, ne répondent pas aux critères de réussite des rénovations performantes à terme, car elles ne traitent pas simultanément les différents éléments de l'enveloppe, et par conséquent ne peuvent traiter **ni la continuité de la migration de vapeur, ni celle de l'étanchéité à l'air, ni les ponts thermiques, au niveau des interfaces**. L'approche qualitative conduit au contraire à viser une 1^{ère} étape de travaux conséquente, en regroupant judicieusement plusieurs postes de travaux.

Atteindre la performance à terme : les principaux résultats de calcul

Le rapport restitue un calcul sur 10 typologies de maisons représentatives du parc d'avant 1982, et 5 parcours de rénovation entre 1 et 6 étapes permettant de traiter les 6 postes de travaux d'une rénovation performante : isolation des murs, de la toiture, du plancher bas, remplacement des menuiseries extérieures, systèmes de ventilation et de chauffage/ECS.

Cette analyse fait apparaître les conclusions suivantes pour le parc construit avant 1982 (cf. Figure C) :

- La **rénovation complète et performante permet d'amener le parc au niveau de performance requis**⁶,
- Les **rénovations en 2 ou 3 étapes de travaux** peuvent amener le parc au niveau de performance requis **sous réserve du bon traitement des interfaces et interactions** et du regroupement de **4 à 5 postes de travaux judicieusement choisis dans la première étape**,
- Les **pratiques actuelles** (traitement de 5 postes de travaux sur 6, avec une performance alignée sur les seuils des aides financières) **ne permettent pas d'amener le parc au niveau de performance à terme**. Ce qui est également le cas pour un parcours par gestes de travaux embarquant un niveau de performance intrinsèque compatible avec le niveau BBC rénovation pour les 6 postes mais sans prendre en compte les interfaces et interactions. Pour ces parcours, les niveaux de consommation du parc à terme sont 1,4 à 2,7 fois plus élevés que les objectifs.

⁶ Objectif fixé à 80 kWhEP/m²SHAB.an pour le chauffage et l'ECS en calcul physique, soit l'équivalent aux 80 kWhEP/m²SRT.an pour les 5 postes du label BBC rénovation (calcul conventionnel).

Consommation d'énergie primaire à terme sur la moyenne du parc d'avant 1982

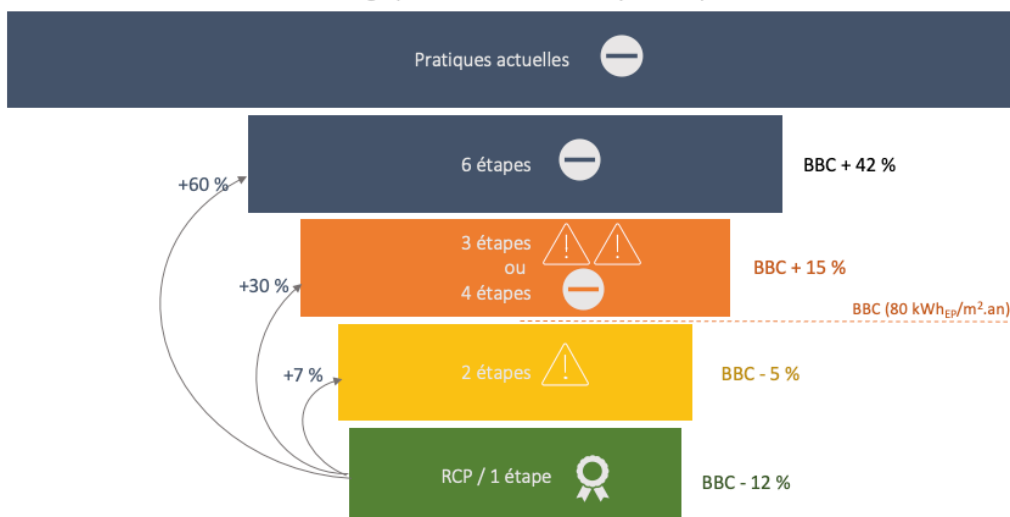


Figure C : Écarts de consommation sur la moyenne du parc construit avant 1982 entre les différents parcours de rénovation selon le nombre d'étapes, et écart à l'objectif BBC rénovation ou équivalent.

Légende : RCP = Rénovation Complète et Performante ;

- ⊖ : parcours ne permettant pas d'atteindre les objectifs de consommation BBC rénovation ni le confort pour les occupants, leur santé, la préservation du bâti et pouvant générer des impasses de rénovation ;
- ⚠⚠ : parcours comportant des risques pour le confort, la santé et/ou la préservation du bâti mais pouvant parfois atteindre les objectifs de consommation BBC rénovation sous conditions fortes ;
- ⚠ : parcours pouvant atteindre le niveau BBC rénovation sous conditions et préservant santé et confort pour les occupants et préservation du bâti ;
- 🏆 : parcours permettant d'atteindre les objectifs de consommation, de confort et santé pour les occupants et la préservation du bâti.

Les écarts relatifs entre les parcours sont significatifs (cf. Figure C) : un programme de rénovation composé de travaux dont chacun atteint la performance intrinsèque BBC rénovation (résistance thermique d'une paroi opaque, conductivité thermique d'une paroi vitrée, rendement d'un système de chauffage, etc.) permet effectivement d'atteindre un niveau de performance « BBC rénovation ou équivalent », sur la moyenne du parc, en 1 ou 2 étapes si les interfaces sont bien traitées, mais augmente de **+ 30% les consommations énergétiques en moyenne sur le parc** s'il est mis en œuvre en 3 ou 4 étapes, et à **jusqu'à +60% en moyenne du parc en 6 étapes**.

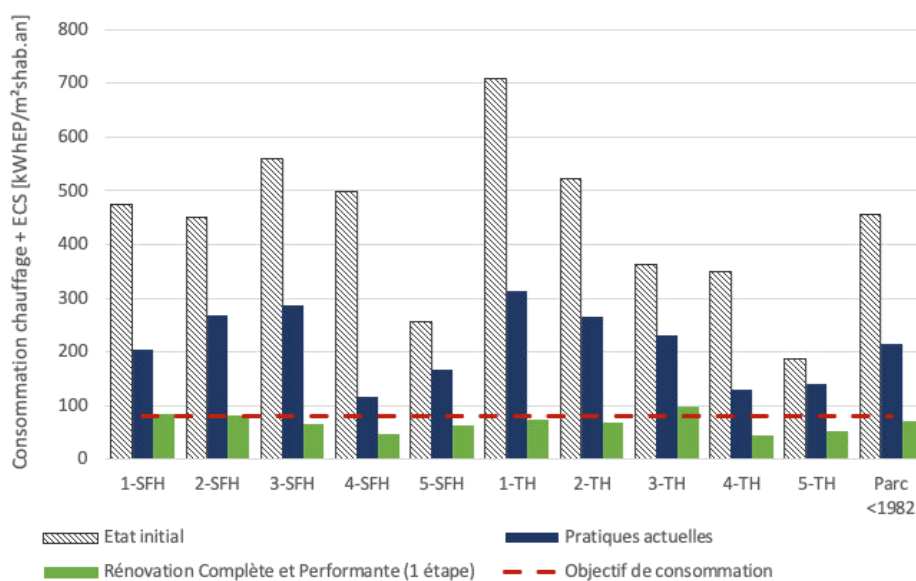


Figure D : Comparaison des consommations de chauffage et d'ECS avant et après rénovation, pour les parcours rénovation en une étape (RCP) et en 6 étapes (pratiques actuelles).

La Figure D décline les résultats des calculs pour les parcours de rénovation en une seule étape (RCP) et les pratiques actuelles pour les 10 typologies étudiées et sur la moyenne du parc de maisons individuelles construites avant 1982. Ce graphique apporte une conclusion complémentaire : **les typologies de maisons** (compacité, mitoyenneté, impact des ponts thermiques...) et le **programme de travaux envisagé** (par exemple ITE ou ITI, chaudière gaz ou bois, etc.) fait varier le niveau de performance à terme autour de l'objectif de consommation (entre 43 kWh_{EP}/m²_{shab.an} et 97 kWh_{EP}/m²_{shab.an} pour la RCP pour un objectif national de 80 kWh_{EP}/m²_{shab.an}). Il convient donc de retenir **qu'une stratégie de rénovation doit concerner le parc de logement dans son ensemble** (moyenne du parc rénové en RCP : 70,7 kWh_{EP}/m²_{shab.an}). Si a contrario les efforts étaient limités à certaines typologies, il faudrait réaliser des efforts beaucoup plus conséquents sur d'autres (ce qui peut mettre en péril l'équilibre économique de la rénovation).

En complément, l'étude révèle que les écarts de consommation entre parcours d'une même typologie sont très variables (parfois élevés, parfois faibles) et ne dépend pas du nombre d'étapes. Ce résultat confirme l'analyse qualitative précédente (matrice des interfaces) selon **laquelle certaines configurations de travaux sont plus faciles à traiter non-simultanément** (impact moindre sur la performance à terme) **tandis que d'autres sont plus délicates** (impact plus élevé).

Les systèmes

La **ventilation** concentre plusieurs enjeux simultanément : la gestion de l'humidité et des polluants, la réduction des consommations de chauffage et d'électricité. Elle doit être mise en place dès la 1^{ère} étape de travaux afin de réduire le risque de condensation (et par conséquent les pathologies) et d'améliorer la qualité de l'air intérieur. La ventilation double-flux semble être le système le plus efficace en rénovation, c'est-à-dire capable d'atteindre efficacement ces différents objectifs, **si elle est bien posée, bien entretenue, et équipée d'un échangeur à haut rendement** (85% selon Eurovent et/ou supérieur à 70% selon PHI⁷) **et de ventilateurs basse consommation** (< 0,25 W/m³/h).

Le **système de chauffage** doit posséder un bon rendement, y compris à basse puissance puisque les besoins sont extrêmement réduits dans une rénovation performante. La plage de modulation de certaines chaudières gaz est importante, et autorise leur mise en place dès lors que les déperditions ont été divisées par deux à la première étape de travaux. Pour les chaudières bois, fioul, les PAC, ou encore les poêles à bois, la plage de modulation est actuellement plus restreinte, il faudra les remplacer en fin de parcours. Lorsque le système de chauffage (défaillant) doit être remplacé en début de parcours, il est nécessaire d'embarquer simultanément la rénovation de l'enveloppe pour réduire fortement les déperditions. Dans le cas contraire une surconsommation importante est constatée, incompatible avec la performance visée (excepté pour certaines chaudières gaz très modulantes, seuls systèmes de chauffage actuellement sur le marché disposant d'une grande plage de modulation de puissance). Dans certaines rénovations où l'équipement de production de chaleur est remplacé avant réduction des besoins, l'occupant va devoir remplacer le système une seconde fois en fin de parcours.

Les **consommations pour la production d'ECS** deviennent importantes dans le bilan énergétique d'une rénovation performante (de 20% à 70% des consommations du logement) et doit impérativement être traité en rénovation performante : mise en place de systèmes hydroéconomiques, calorifugeage des réseaux de distribution et surisolation des ballons électriques s'ils sont conservés.

⁷ PHI : certification Passive Haus Institut / Eurovent : Certification européenne

Les **énergies renouvelables (EnR) pour le chauffage** (poêle bois, chaudières bois, pompes à chaleur, solaire thermique) doivent être intégrées prioritairement sur toutes les maisons pour des parcours en une à trois étapes. Cependant, la **compensation** du moins bon bilan énergétique d'un parcours en quatre étapes ou plus **par une production EnR n'est pas souhaitable** : l'investissement nécessaire dépasse systématiquement le coût d'une rénovation complète (en une seule étape). Par ailleurs, la multiplicité du nombre d'étapes de ces parcours compensés par énergies renouvelables risque de générer une mauvaise qualité d'air intérieur (report de la ventilation notamment), des risques de **pathologies** dans les parois (humidité dans les murs, ponts thermiques, etc.) et donc d'**inconfort** pour les occupants : dans ce cas, la température de consigne est augmentée pour **compenser cet inconfort impliquant une surconsommation**. Pour atteindre et assurer un maintien de la performance dans le temps (bilan énergétique et confort pour les occupants), il est donc **préférable de réduire le nombre d'étapes de travaux, plutôt que d'investir dans des EnR pour compenser une consommation d'énergie trop élevée** liée au nombre d'étapes.

Les conditions de réussite techniques et outils à développer

L'étude montre que la rénovation performante par étapes est envisageable, sous certaines conditions, bien qu'elle soit plus complexe à réaliser.

Dans tous les cas, une **approche globale de la rénovation** est requise, celle-ci n'est pas réservée à la rénovation en une seule fois⁸. Quel que soit le nombre d'étapes, cette approche globale implique :

- De respecter les **bonnes pratiques en matière de migration d'humidité et de vapeur d'eau** ;
- D'assurer un renouvellement d'air suffisant pour **garantir une bonne Qualité de l'Air Intérieur** ;
- De **traiter les 6 postes de travaux au bon niveau de performance** ;
- D'accorder un soin particulier au **traitement des interfaces** (continuité de la barrière freine-vapeur, de l'étanchéité à l'air et traitement des principaux ponts thermiques) ;
- De respecter un ensemble de préconisations pour le **choix des systèmes** de ventilation, de chauffage et de production d'ECS ;
- De réaliser un plan de financement sur l'ensemble du parcours.

La maîtrise des interfaces est l'élément-clé de la performance, et impose d'appliquer l'ensemble des conditions suivantes à tous les parcours de rénovation envisagés :

- Un parcours de rénovation limité à **2 ou 3 étapes de travaux**,
- ET une bonne conception en amont, afin de regrouper les postes de travaux judicieusement et notamment le regroupement de 4 à 5 postes dans une première étape,
- ET une excellente coordination des différents corps de métiers, même à des années d'intervalle pour assurer un **traitement performant des interfaces et des interactions**. Ce point constitue aujourd'hui un défi majeur dans la mise en place d'une dynamique massive de rénovations par étapes performantes à terme.

L'étude met en relief la nécessité :

⁸ C'est pourquoi il est clairement préférable de retenir le terme de rénovation complète à celui de rénovation globale pour les rénovations performantes réalisées en une seule fois.

- De poursuivre le travail d'analyse détaillée sur les points de vigilance associés aux différentes configurations d'interfaces rencontrées en rénovation,
- D'identifier clairement, au regard des objectifs, les interfaces qu'il est envisageable/délicat/aberrant de traiter en plusieurs étapes, et les regroupements de travaux judicieux,
- De **sensibiliser les ménages** et d'aider les accompagnants à contribuer à une prise de décision éclairée entre les différents parcours de rénovation performante (en une fois ou en 2 à 3 étapes),
- Et d'**outiller, former et accompagner les professionnels** à la réalisation de rénovation performante en une seule ou plusieurs étapes (3 maximum) avec par exemple des carnets de détails appuyant la conception, la mise en œuvre et facilitant la traçabilité des choix réalisés.

De nouvelles pratiques et orientations

Au-delà des préconisations techniques listées précédemment, l'étude pointe quelques évolutions souhaitables des dispositifs d'accompagnement et de financement de la rénovation énergétique, qui sont autant de conditions de réussite à mettre en place (cf. partie 5 du rapport détaillé).

Les conclusions appellent en effet :

- A **écarter les rénovations partielles**, dont la juxtaposition des gestes de travaux ne permet pas d'atteindre une performance à terme et risque de favoriser le développement de pathologies entre étapes de travaux,
- A **promouvoir et faciliter le financement et la réalisation de rénovations performantes en une étape** (rénovation complète et performante, RCP),
- A **accompagner des rénovations performantes par étapes** (jusqu'à 3 étapes maximum) lorsque la RCP ne peut pas être mise en œuvre pour des contraintes techniques, psychologiques (reprise de travaux récents), sociologiques et/ou architecturales.
- A **faire évoluer les systèmes de production de chauffage** basés sur les énergies renouvelables pour qu'ils proposent des plages de modulation plus importantes.

Ceci implique de :

- Faire évoluer la communication nationale autour de la rénovation énergétique en intégrant la notion de performance (sain + préservation du bâti + confortable + consommation BBC rénovation ou équivalent) pour les rénovations en une ou plusieurs étapes (3 maximum),
- **Densifier le dispositif d'information, conseil et accompagnement des ménages** pour pouvoir accélérer la rénovation performante, et le faire évoluer pour y intégrer l'accompagnement technique en amont pendant et après le chantier nécessaire à cette rénovation performante.
- Soutenir la montée en compétence et l'accompagnement des professionnels dans leurs changements de pratiques, afin de pouvoir traiter les nouveaux enjeux, complexes, de la rénovation performante par étapes.

Il apparaît donc fondamental, en maison individuelle, de favoriser la rénovation complète et performante et de construire d'urgence les outils pour rendre possible la rénovation performante par étapes en 2 ou 3 étapes de travaux. C'est un impératif majeur à l'échelle nationale pour réduire les consommations d'énergie, mais également pour préserver la santé des occupants, leur confort et le bâti.

Étude de cas : les impasses de la rénovation

*Ci-contre : illustration de la typologie 3-SFH utilisée pour cette étude de cas.
Source : (TABULA Episcopo, 2015). Étude de cas inspirée de retours terrain.*



M et Mme X, ménage modeste, habitent une maison individuelle construite dans les années 1960 et chauffée au fioul. Non isolée, cette maison est en classe G du DPE.

Conscients de leur facture élevée (3 450 €/an pour chauffage, ECS, électricité des auxiliaires – chauffage et ventilation, abonnements compris), ils contactent un artisan qui leur propose une **pompe à chaleur air-eau** en remplacement de leur chaudière fioul et du ballon électrique.

L'artisan leur propose une PAC de 20 kW double service non modulante, pour environ 13 000 € TTC. Cette action bénéficiant de MaPrimeRenov, de CEE et de CEE « coup de pouce », il reste environ 6 000 € à payer. Le couple mobilise un éco-prêt à taux zéro pour financer cette somme et n'a pas mobilisé de fonds propres. Leur facture chute à 2 150 € par an, le ménage est satisfait.

Dans les années suivantes, ils sont contactés successivement par deux entreprises qui leur proposent **l'isolation des combles à 1€** puis **l'isolation du plancher bas à 1€**. Ces travaux réalisés, leur facture descend encore à 1 800 € par an, avec un temps de retour instantané.

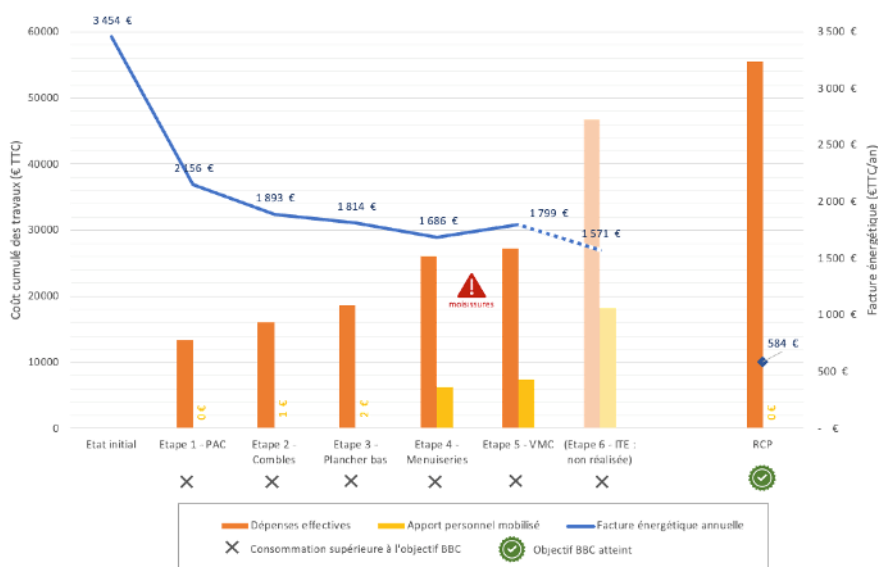
Quelques années après, le couple souhaite **changer les menuiseries** qui sont largement défraîchies. Un artisan leur propose du double vitrage actuel en pose « rénovation » et le changement de la porte d'entrée pour environ 7 400 € TTC. Malgré MaPrimeRenov et les CEE, il reste 6 300 € à financer, or l'éco-PTZ n'est plus disponible car déjà mobilisé plus de 5 ans auparavant. Le couple devra payer de sa poche, ce qu'il fait. De plus, au bout de quelques mois, des moisissures apparaissent au-dessus de la douche. Après avoir questionné un spécialiste, le couple se rend compte que leur maison est à présent plus étanche à l'air et qu'il leur faut une ventilation mécanique. Ils font donc installer une **VMC hygroréglable** en urgence pour 1 200 € TTC, et bénéficient de CEE, soit 1 100 € de plus à financer sur fonds propres. La facture ne baisse qu'un peu mais, comme l'envie de changer les fenêtres était surtout motivé par l'usage, le couple n'en est pas conscient. En revanche, ils sont devenus très méfiants vis-à-vis de la rénovation à la suite de la pathologie qu'ils ont subie.

Pendant ce temps, leurs voisins, M et Mme Y, ménage modeste également, ont réalisé une **rénovation complète et performante** de leur maison, en tous points identique, pour 55 500 €_{TTC} environ. Après déduction de 27 300 € d'aides directes (MaPrimeRenov, CEE et CEE « coup de pouce »), il leur restait 28 200 € environ à financer par un éco-PTZ. **Ils n'ont engagé aucun apport personnel**, pour une opération dont le temps de retour est inférieur à 10 ans. Ils ont quasiment divisé sa facture annuelle par 6 (performance thermique des isolants et menuiseries plus élevées, les 6 postes de travaux traités), **sans pathologies** (bon traitement des interfaces) et **avec un air sain** (VMC double-flux). M et Mme Y se sentent bien dans leur maison, été comme hiver, et dans leur budget mensuel, le **gain sur la facture énergétique** (239€/mois de moins) **compense largement les mensualités de l'éco-PTZ** (167€/mois).

Attirés par les faibles factures énergétiques de la famille Y, M et Mme X **se renseignent pour réaliser une ITE**, dernier poste à améliorer. Mais le devis à environ 19 500€, réduit à 11 000 € grâce à MaPrimeRenov et aux CEE, mais non finançable par un éco-PTZ, leur semble beaucoup trop cher, surtout avec l'argent engagé quelques années auparavant. L'artisan, formé à la rénovation performante, leur indique également que la PAC est déjà surdimensionnée et devra être remplacée.

Par ailleurs, ils n'ont aucune envie de se relancer dans les dérangements que provoquent les travaux ni de risquer à nouveau une pathologie (de fait, les menuiseries n'ont pas de dormants élargis, il y aura un pont thermique en tableaux qui ferait moisir l'ancien dormant bois recouvert par la pose « rénovation » ; et d'autre part, l'isolation des combles à 1€ a été faite sans recouvrir la tête de mur, donc il y aurait un pont thermique important à la jonction plafond - mur).

Le couple décide donc de ne pas réaliser ces travaux et la facture énergétique de la maison reste à 1800 €/an soit 3 fois plus que leurs voisins.



L'écart de coût de travaux entre les deux parcours correspond à la meilleure performance de chaque poste de travaux pour le parcours RCP (ventilation double flux, épaisseurs d'isolant plus élevées, membranes d'étanchéité à l'air, ...) et au bon traitement des interfaces (bonne étanchéité à l'air du projet, peu de ponts thermiques).

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

LA RÉNOVATION PERFORMANTE PAR ÉTAPES

L'étude analyse les conditions nécessaires à la réalisation de rénovations performantes permettant au parc de maisons individuelles françaises d'atteindre par étapes le niveau de performance BBC rénovation ou équivalent, fixé comme objectif national, à l'horizon 2050, tout en intégrant à la démarche la santé et le confort des occupants ainsi que la qualité du bâti.

Elle montre que les pratiques usuelles, nommées « rénovations partielles » et qui consistent à juxtaposer des « gestes de travaux », ne permettent pas d'atteindre cet objectif et peuvent conduire à créer ou renforcer des désordres sur le bâti, avec impact possible sur le confort, voire la santé des habitants. Renforcer la performance de chaque élément ne conduit pas non plus au bon niveau de performance dans cette approche « élément par élément ». Ainsi, l'addition simple de travaux qualifiés de « travaux BBC-compatibles » n'est pas suffisante pour l'atteinte du niveau de performance BBC rénovation ou équivalent à terme.

L'étude montre la nécessité de disposer d'une vision globale de ce que sera le parcours de rénovation performante par étapes, et pointe l'importance majeure du traitement des interfaces entre postes de travaux afin de disposer d'une continuité de l'isolation, de la barrière freine-vapeur et de l'étanchéité à l'air, pour éviter les pathologies et atteindre un niveau BBC rénovation ou équivalent à terme.

L'étude démontre par des études de cas et des calculs que l'atteinte du niveau BBC rénovation ou équivalent à terme par des parcours de rénovations de 4 étapes de travaux ou plus à un coût acceptable et d'ici 2050 semble peu réaliste, que cette performance peut être atteinte en 1 à 3 étapes sous des conditions strictes décrites dans le rapport, et que la probabilité d'atteindre la performance décroît avec l'augmentation du nombre d'étapes.

Enfin, l'étude met en évidence que l'intégration des énergies renouvelables est souhaitable et même parfois nécessaire afin d'atteindre le niveau de performance visé, notamment pour le chauffage (bois, PAC), dans les parcours en 3 étapes et moins. L'amélioration du bilan énergétique d'un parcours en 4 étapes ou plus avec l'intégration d'énergies renouvelables est envisageable d'un point de vue strictement énergétique mais le nombre important d'étapes génère des risques pour la santé des occupants (cas du report de la ventilation), des sources de pathologies (humidité dans les parois) et/ou des sensations d'inconfort pour les utilisateurs (ponts thermiques). De plus, l'augmentation des températures de consigne résultant du non-traitement des interfaces risque d'annuler les économies d'énergie générées grâce aux sources renouvelables. Enfin, le coût des parcours en 4 étapes ou plus avec solutions renouvelables en compensation dépasse celui d'un parcours en une seule étape.

La rénovation performante de l'ensemble des logements individuels d'ici 2050 est un impératif majeur pour réduire les consommations d'énergie à l'échelle nationale mais également pour préserver la santé des occupants, leur confort et leur logement.

Rénover chaque logement en une seule fois est la solution techniquement la plus judicieuse pour atteindre la performance. Lorsque ce n'est pas possible, des conditions de réussite s'imposent pour atteindre la performance par étapes.

