



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



# ADEME RECHERCHE

#43 JUIN 2023



© Getty Images



## SOMMAIRE

### EXPOSÉ

De la rénovation par gestes à la rénovation globale et performante

2

### RÉSULTATS SIGNIFICATIFS

Comment la recherche participe-t-elle à la massification de la rénovation énergétique des bâtiments?

3

### RENCONTRE

« Notre objectif? Quantifier les investissements nécessaires à la mise en œuvre de la SNBC»

5



### L'ÉDITO

#### José Caire

directeur Villes et Territoires durables à l'ADEME

**« La rénovation globale d'une grande partie du parc de bâtiments est incontournable pour l'atteinte des objectifs climatiques de la France. »**

Enjeu majeur de la transition énergétique et écologique, le secteur du bâtiment, en France, représente 44 % de la consommation énergétique et 25 % des émissions de gaz à effet de serre. La rénovation globale et performante d'une grande partie du parc de bâtiments est donc incontournable pour l'atteinte des objectifs climatiques de la France. La R-D est primordiale pour répondre aux nombreux défis que pose la rénovation énergétique des bâtiments, qu'ils soient techniques, financiers ou sociaux. L'analyse des données et l'utilisation des outils de modélisation et de simulation jouent également un rôle essentiel dans la

recherche appliquée à la rénovation énergétique. Elles permettent d'évaluer les performances énergétiques des bâtiments existants, de collecter des données sur la consommation d'énergie, de piloter les systèmes énergétiques afin de mieux maîtriser les consommations et d'optimiser la conception des systèmes énergétiques, et de prendre des décisions éclairées en matière de rénovation. Dans les mois qui viennent, l'ADEME publiera un avis argumenté sur la rénovation globale et performante, en complément de cette lettre qui dresse un panorama des recherches soutenues par l'ADEME sur le sujet. •

# DE LA RÉNOVATION PAR GESTES À LA RÉNOVATION GLOBALE ET PERFORMANTE

**Apparue à la fin des années 2000, la problématique de la rénovation des bâtiments est une question aussi bien technique que sociologique et financière. Progressivement s'impose la notion d'ingénierie de la rénovation pour atteindre une performance globale.**

**S**i la rénovation du parc de bâtiments est aujourd’hui reconnue comme une action incontournable dans l’atteinte des objectifs de neutralité carbone fixés par l’État à l’horizon 2050, cette politique publique est encore récente.

## LES ANNÉES 2008-2013 : LA RECHERCHE EN RÉNOVATION GLOBALE S’IMPOSE

La problématique de la rénovation des bâtiments s’impose à la fin des années 2000, avec la Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments en 2006, puis la loi Grenelle 1 en 2009. Celle-ci fixe comme objectifs la construction de bâtiments basse consommation (BBC) à l’horizon 2012 puis de bâtiment à énergie positive à partir de 2020.

En 2012, le projet RENAISSANCE<sup>[1]</sup>, issu du programme européen CONCERTO, montre qu’il est possible de parvenir à rénover des bâtiments à très basse consommation d’énergie sans rupture technologique, les techniques déjà à l’œuvre pouvant suffire. Toutefois, réaliser 700000 rénovations BBC par an (objectif de la Stratégie nationale bas carbone) est un enjeu majeur, tout comme assurer la formation de professionnels qualifiés pour répondre à la demande. Des programmes d’incitation à la rénovation sont lancés, tel celui des « 500 maisons rénovées basse consommation » porté en 2008 par Électricité de Strasbourg et la Région Alsace. Le Plan français de rénovation énergétique de l’habitat (PREH) vise en 2013 à mettre en place les conditions nécessaires à la massification de la rénovation (structuration économique de la filière, accompagnement technique, financier et administratif des ménages). Dans la continuité des actions lancées par le Grenelle de l’environnement, la loi de transition énergétique pour la croissance verte est adoptée en août 2015, marquant véritablement le début d’une politique publique de rénovation.

## 2013-2020 : L’APR BÂTIMENTS RESPONSABLES ; PASSER D’UNE LOGIQUE DE MOYENS À UNE LOGIQUE DE RÉSULTATS

En 2013, l’ADEME ouvre un APR dédié « Vers des bâtiments responsables à l’horizon 2020 ». Entre 2014 et 2018 émerge progressivement l’idée que, pour améliorer la performance d’une rénovation, il faut grouper et/ou phaser les travaux. Les incitations financières par bouquet de travaux apparaissent. Dans cette logique, l’ADEME soutient dès 2018 le projet B2C2<sup>[2]</sup>, qui vise à mettre en place une méthodologie d’encadrement des rénovations BBC par étapes dans les territoires associés au projet (Bordeaux Métropole, Régions Normandie et Bourgogne-Franche-Comté). Le développement de connaissances et d’outils socio-économiques afin d’amplifier le passage à l’acte pour les travaux de rénovation devient alors in-

contournable. Entre 2014 et 2020, l’APR Bâtiments responsables contribue à éclairer ces enjeux en accompagnant les projets ATRE (élaboration d’un atlas territorial des gisements de rénovation sur la métropole de Marseille), CORE (identifications des conditions optimales, technico-financières et socio-anthropologiques, facilitant l’engagement des copropriétaires dans une rénovation énergétique), I3E Rénovation (définition d’une méthodologie d’évaluation d’indicateurs énergétiques, économiques et environnementaux pour l’aide à la décision entre différentes solutions de rénovation) ou PROFIL (identification des dynamiques socio-organisationnelles contribuant à la formation des prix sur le marché de la rénovation énergétique). Le financement des rénovations énergétiques n’est pas oublié, exploré à travers le projet TiersFi (Impacts énergie-climat et risques financiers des sociétés de tiers-financement). En 2018, la SNBC fixe l’objectif pour 2050 d’un parc de bâtiments au niveau BBC en moyenne, ouvrant le champ à une logique de résultats. L’ADEME renforce alors son soutien à des projets R-D pour explorer la pré-industrialisation hors site pour la construction et la rénovation.

## 2021 : POINT D’ORGUE DE CETTE ÉVOLUTION, LA RÉNOVATION PERFORMANTE

Au-delà du développement de produits, de connaissances et d’outils visant à massifier la rénovation, la performance s’impose en problématique transversale. En effet, les enquêtes faites en 2016-2017 montrent que 75 % des travaux de rénovation en maisons individuelles n’ont pas permis de changer de classe de DPE. En 2021, l’étude Rénovation performante par étapes<sup>[3]</sup> de l’ADEME analyse les conditions nécessaires pour atteindre à terme la performance BBC ou équivalent en logement individuel. Six postes de travaux apparaissent incontournables : isolation des murs, de la toiture, du plancher bas, et remplacement des menuiseries, du système de ventilation et du système de chauffage/ECS. L’étude montre que la réalisation de travaux non coordonnés de rénovation peut conduire à des impasses techniques et que l’ordonnancement des travaux est crucial pour une rénovation performante. Complétant cette étude, le projet « Travaux par étapes : les points de vigilance<sup>[4]</sup> » analyse en 2022 les interfaces à risque lors de travaux de rénovations menés de manière indépendante. Les résultats de ces différents projets ont contribué à la définition de la rénovation performante, introduite par la loi dite « Climat et résilience ».

1. Rénovation à basse consommation d’énergie des logements en France, Olivier SIDLER, ENERTEC H, août 2007

2. <https://www.bbc-par-etapes.fr/>

3. Rénovation performante par étapes <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/4168-renovation-performante-par-etapes.html>

4. <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/5492-travaux-par-etapes-les-points-de-vigilance.html>

# COMMENT LA RECHERCHE PARTICIPE-T-ELLE À LA MASSIFICATION DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS ?

La rénovation performante d'un bâtiment est une opération complexe. Aux défis techniques liés aux matériaux ou à l'époque de construction s'ajoutent ceux du financement, du comportement d'usage et de la maîtrise d'ouvrage, autant de défis que la recherche contribue à surmonter.



© Getty Images

**D**epuis une quinzaine d'années, de nombreux consortiums de recherche (impliquant des laboratoires de recherche, mais également des acteurs économiques, des associations ou des acteurs publics) se sont emparés de la question de la rénovation énergétique des bâtiments. Ces travaux ont permis de faire avancer les connaissances sur le sujet et d'identifier les conditions de soutien à la massification de la rénovation énergétique.

## FAIRE ÉMERGER UNE OFFRE DE RÉNOVATION GLOBALE ET PERFORMANTE

La structuration de la filière professionnelle joue un rôle majeur dans la mise en place d'un écosystème favorable à la rénovation performante. Les artisans et entreprises du bâtiment doivent être en mesure de proposer et de mettre en œuvre des rénovations performantes. Il est alors indispensable d'assurer la montée en compétences des professionnels.

Le projet RESSORT<sup>[1]</sup>, lauréat de l'édition 2016 de l'APR Bâtiments responsables, s'est intéressé aux conditions de structuration et de déploiement d'une offre de rénova-

tion globale et performante des maisons individuelles. Les partenaires du projet se sont appuyés sur le terrain de recherche et d'expérimentation que constituent les groupements d'artisans.

En couvrant les six postes de travaux d'une rénovation et en assurant la coordination sur le chantier, les artisans constitués en groupement sont en mesure de proposer des projets complets de rénovation et d'en optimiser le coût. Encore faut-il que les professionnels franchissent ce pas vers la rénovation globale et performante et que les groupements constitués pérennisent leur activité afin de durer. En s'appuyant sur une enquête puis des entretiens qualitatifs auprès d'artisans, le projet visait à identifier les verrous au déploiement de cette pratique puis à proposer et à tester des solutions pour les lever.

Le projet a contribué à l'amélioration du mode de gouvernance des groupements (par exemple : une nouvelle répartition des rôles de pilotage, une plus grande souplesse dans la répartition des tâches ou encore la possibilité de recombiner les artisans au sein de groupements différents) et à la refonte du parcours de formation à la rénovation globale des groupements d'artisans (raccour-

cissement du parcours de formation au profit d'un accompagnement dans la durée à l'issue de la formation).

### **SORTIR DE LA LOGIQUE DU GESTE PAR GESTE POUR S'INSCRIRE DANS UN PARCOURS DE RÉNOVATION**

Concevoir un projet de rénovation performant en une ou plusieurs étapes nécessite de travailler à l'échelle du bâtiment. Il n'est plus question de réfléchir lot par lot, mais de s'assurer de la cohérence globale des différentes solutions proposées, notamment pour garantir la continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et l'atteinte de la performance visée. Cette approche globale nécessite le développement d'outils adaptés. Dès 2015, le projet RENOIR<sup>[2]</sup> (lauréat de l'APR Bâtiments responsables) avait pour ambition d'utiliser les outils numériques pour concevoir, en logements collectifs, des projets de rénovation optimisés aussi bien énergétiquement qu'économiquement. Traditionnellement, seul un nombre limité de variantes de rénovation étaient envisagées. En s'appuyant sur la maquette numérique et des algorithmes génétiques d'optimisation, les partenaires souhaitaient développer un outil permettant l'étude d'un grand nombre de scénarios de rénovation en un temps réduit. Un outil prototype a pu être testé en fin de projet dans le cadre d'une opération de rénovation porté par un bailleur social, démontrant la faisabilité de la démarche proposée. Suite à cette validation technique, Tipee a poursuivi les développements de l'outil afin de le rendre pleinement opérationnel. Le projet a permis *in fine* de développer de nouveaux processus de conception.

### **DISPOSER DE RETOURS TERRAIN POUR VALIDER LA DÉMARCHE**

Le projet Perf in Mind<sup>[3]</sup> s'est penché sur les performances réelles des projets de rénovation globale et performante. Une centaine de maisons individuelles rénovées dans le cadre de dispositifs nationaux ou régionaux d'accompagnement ont fait l'objet d'un suivi de leur consommation d'énergie sur un an. Résultat : 95 % des rénovations BBC respectent leur objectif. Les entretiens menés en parallèle auprès des propriétaires confirment ce constat, puisque près de 80 % d'entre eux se déclarent très satisfaits ou plutôt satisfaits du montant de leur facture énergétique, et aucun ne se déclare insatisfait.

La performance d'une rénovation ne se limitant pas à sa consommation d'énergie, les partenaires du projet se sont intéressés au confort thermique et à la qualité de l'air au sein de ces logements. Les résultats sont également excellents. 99 % des ménages sont satisfaits du confort en hiver, et saluent une amélioration de ce confort après la rénovation de leur logement.

Certaines pistes d'amélioration ont également été identifiées, comme un meilleur accompagnement des ménages pendant la phase de chantier et la montée en compétences des professionnels afin d'éviter certaines non-qualités observées sur les projets de rénovation.

En apportant des éléments factuels, ce projet, lauréat de l'édition 2018 de l'APR Bâtiments responsables, valide l'intérêt de la rénovation en une étape pour atteindre la meilleure performance, et montre que nous disposons des outils pour massifier la rénovation globale et performante des maisons individuelles.

## **Financer la rénovation énergétique performante des logements**

Consciente du défi financier important représenté par la rénovation (passer de moins de 50 000 logements rénovés performants par an aujourd'hui, à plus de 700 000 en rythme de croisière), l'ADEME a financé l'étude Firéno, réalisée par l'Institut négaWatt, Île-de-France Energies et GreenFlex, trois structures qui travaillent depuis plusieurs années sur le terrain à la montée en puissance de la rénovation performante des logements, et qui ont travaillé avec toutes les parties prenantes. L'ensemble des logements français a été étudié (maisons individuelles, logements collectifs et logements sociaux) afin de proposer des mesures de politique publique à plus ou moins long terme pour accélérer la dynamique de rénovation performante tout en préservant l'efficience des fonds publics.

 • **En savoir plus :** <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/5845-financez-la-renovation-energetique-performante-des-logements.html>

### **ACTIVER LES LEVIERS DU MARCHÉ DE L'IMMOBILIER POUR CONVAINCRE LES MÉNAGES**

Les ménages français sont prêts à louer 6 % plus cher un logement performant sur le plan énergétique et 3 % plus cher un logement qui engendre moins de gaz à effet de serre. C'est une des conclusions du projet HERMES<sup>[4]</sup>, qui s'est interrogé sur la façon dont les ménages se saisissent de l'information sur l'efficacité énergétique et l'impact du diagnostic de performance énergétique (DPE) sur les décisions de location des ménages.

Le projet, lauréat de l'APR ClimFi de l'ADEME, s'est alors penché sur l'impact de l'exclusion du marché de la location des logements dont le DPE affiche une classe F ou G. En prenant comme hypothèse que les propriétaires allaient vendre leur logement plutôt que le rénover, les travaux de recherche montrent qu'une augmentation de 15 %, 50 % et 100 % du nombre de logements peu performants à vendre (tout en maintenant constant le nombre d'acheteurs sur le marché) entraîne respectivement une baisse de leur prix de 1,5 %, 4 % et 8 %, alors que dans le même temps le prix des autres logements (classés de A à E) augmente en moyenne de 0,2 %, 0,8 % et 1,5 %.

Le projet HERMES complète ces arguments financiers en évaluant l'effet du DPE sur le prix des logements à l'achat, ces arguments s'ajoutant à ceux liés à l'amélioration du confort, la réduction des consommations d'énergie ou la limitation des risques de pathologies du bâti. ●

1. <https://www.institut-negawatt.com/ressort-p23.html>

2. <https://lasie.univ-larochelle.fr/2015-2017-RENOIR-ADEME>

3. <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/5264-perf-in-mind-renovation-performante-de-maisons-individuelles-infographie.html>

4. <https://expertises.ademe.fr/content/hermes-heterogeneite-menages-a-renovation-simulations>



**HADRIEN HAINAUT**  
Chef de projet Investissement au sein de l’Institut de l’économie pour le climat (I4CE)



**ALBANE GASPARD**  
Animatrice de secteur Prospective du bâtiment et de l’immobilier à l’ADEME

## « NOTRE OBJECTIF ? QUANTIFIER LES INVESTISSEMENTS NÉCESSAIRES À LA MISE EN ŒUVRE DE LA SNBC »

**En France, la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) donne les orientations pour mettre en œuvre la transition vers une économie durable, circulaire et bas carbone d’ici à 2050. Cette mise en œuvre repose sur des investissements importants (financiers, en ressources humaines et en matières). Des travaux de recherche ont développé des modèles qu’ingénieurs et économistes utilisent aujourd’hui pour établir ces besoins en vue d’appliquer la SNBC dans l’ensemble des secteurs d’activité, et notamment dans celui du bâtiment.**

**C**omment se positionne I4CE sur l’enjeu de la rénovation des bâtiments en France et quel est son rôle en la matière ? **Hadrien Hainaut :** L’une des missions d’I4CE est d’accompagner la mise en œuvre des objectifs nationaux en matière de climat, et notamment ceux du bâtiment. L’ambition nationale est de rénover à des niveaux de performance élevés une partie du parc d’ici à 2050 seulement. Dans cette perspective, I4CE réfléchit aux manières de financer cette stratégie et d’envisager les meilleures politiques d’accompagnement possibles, notamment à l’échelle des ménages. Pour cela, nous produisons plusieurs rapports de référence dont un rapport annuel (« Le panorama des financements climat ») sur l’état des investissements et les besoins dans l’ensemble des secteurs. Nous publions également des études et des outils de modélisation qui aident les pouvoirs publics à appréhender la situation des ménages qui devront investir. Nous participons aussi à des initiatives de groupes (avec d’autres think tanks et experts), notamment coordonnées par l’ADEME, afin d’acquérir une vision commune sur ces sujets.

### BIO EXPRESS

Expert sur les politiques énergie-climat, Hadrien Hainaut a notamment développé des outils de modélisation de la transition énergétique et des méthodes d’évaluation des politiques publiques sectorielles (bâtiment, R-D) qui nourrissent le débat public. Il a rejoint I4CE en 2015, avec la mission de documenter et d’analyser l’investissement climat en France afin de mieux comprendre les outils et acteurs du financement nécessaires à la mise en œuvre de la transition bas carbone.

**Comment l’ADEME et I4CE travaillent-ils ensemble sur la rénovation des bâtiments ?**

**Albane Gaspard :** L’ADEME dispose de modèles pour éclairer différents enjeux de la rénovation des bâtiments (par exemple, quels travaux faire pour atteindre les objectifs 2050, les économies d’énergie ou de carbone associées, etc.). On peut citer les modèles MENFIS et ANTONIO sur les logements, mais également MICO sur la climatisation ou RENOMAT, qui calcule le besoin en matériaux pour la rénovation. Le travail mené avec I4CE permet de quantifier les besoins d’investissement nécessaires à la transition (SNBC, scénarios ADEME).

**Quels enseignements tirez-vous de ces réflexions en commun ?**

**Hadrien Hainaut :** Les enseignements sont nombreux. Pour n’en citer qu’un, je reviendrai sur la controverse qui oppose les approches à court et long termes, notamment parmi les économistes. La plupart recommandent de réduire les émissions en agissant sur les leviers à court terme, sans vraiment interroger les enjeux à long terme, alors que la durée de vie des équipements dans le bâtiment est particulièrement longue. Nos travaux ont montré que

nous devons privilégier des stratégies d'ensemble et ne pas nous enfermer dans des approches de court terme. Cela induit beaucoup de changements dans les raisonnements des chercheurs.

**Albane Gaspard :** La réflexion a permis de passer d'une approche en silos (avec, d'un côté, les travaux de recherche d'ingénieurs en thermique des bâtiments et, de l'autre, ceux des économistes) à une vision mieux partagée. On ne s'interroge plus sur les solutions rentables à court terme, mais on calcule le montant des investissements nécessaires – ce qui est incontournable quand on veut réfléchir à une politique publique – et aux moyens de les réunir.

#### À qui s'adressent vos travaux de quantification des besoins d'investissement ?

**Hadrien Hainaut :** Nous avons plusieurs cibles. Nous travaillons notamment pour et avec les concepteurs des politiques publiques et des experts dans l'administration. L'un de nos objectifs est de les inciter à améliorer les politiques publiques en appréhendant plus finement la situation des ménages qui bénéficient des aides. Nous échangeons également avec les acteurs publics en charge des budgets (nationaux et locaux) pour les aider à dimensionner les moyens (Combien de milliards d'euros doivent être programmés ? Comment mieux dépenser ce budget et le plus équitablement possible ?...). Nous parlons également avec les macroéconomistes qui envisagent la transition comme un défi d'investissement à l'échelle de la nation. Quels que soient nos interlocuteurs, nous présentons une vision diversifiée du futur pour réfléchir aux besoins nécessaires à la mise en œuvre de la SNBC.

#### Y a-t-il un écart entre les niveaux d'investissement actuels et les besoins réels ?

**Hadrien Hainaut :** Oui, et cet écart est de l'ordre de quinze milliards d'euros. Ce montant frappe souvent car, de tous les secteurs concernés par la transition, le bâtiment est celui qui a le plus de besoins d'investissements ; et il interpelle d'autant plus les acteurs publics que ceux-ci estiment déjà le soutenir largement. Notre travail consiste donc également à montrer les solutions qui permettent de financer ce secteur (par exemple, en combinant mieux les aides publiques, les emprunts de garantie, etc.).

#### Quels impacts ont ces modélisations sur la planification de la transition écologique ?

**Albane Gaspard :** Comme indiqué, la planification de la transition s'appuie en France sur un scénario de référence, la Stratégie nationale bas carbone, que l'État révise à échéance régulière. Nos travaux de scénarisation et les modèles associés nourrissent directement la SNBC, lui permettant de prendre en compte un large éventail de possibles et de lier entre eux les enjeux propres à

**« Nous avons besoin de modèles capables de poser la transition dans un contexte de crises pour envisager de nouvelles trajectoires et solutions. »**

chaque secteur (par exemple, si on opte pour des isolants biosourcés, quelles surfaces de terres devront être consacrées à la production de ces matériaux, etc.). La SNBC peut s'appuyer sur les ordres de grandeur que nous produisons pour estimer l'impact de la transition sur chaque secteur d'activité et affiner ses projections.

#### Selon vous, quelles sont les forces et les faiblesses de la modélisation actuelle ?

**Hadrien Hainaut :** Ces modèles nous permettent d'avoir une bonne connaissance du parc existant et des travaux que les ménages entreprennent. Ils sont par ailleurs capables de connecter les enjeux liés à l'énergie, au climat, mais aussi à l'économie domestique. Nous sommes donc en mesure de proposer des stratégies qui visent plusieurs objectifs simultanément. Néanmoins, il reste à mieux cibler et séquencer la stratégie (Par quels logements doit-on commencer ? Quand ? Quelles solutions mettre en œuvre dans les villes ? Dans les campagnes ?...). La modélisation doit également nous aider à agir sur les leviers (Comment réduire les coûts ? Comment prendre en compte les coûts qui ne sont pas fixes ?...). Dans le cas contraire, nous risquons de bien documenter la situation sans pour autant résoudre les problèmes.

**Albane Gaspard :** De nombreux sujets restent à explorer. Nous avons par exemple besoin d'étendre nos modèles aux territoires d'outre-mer. Il reste aussi à instaurer un dialogue entre les modélisateurs (thermiciens, ingénieurs, économistes) pour qu'ils partagent la même façon de représenter la rénovation des logements. Enfin, les modèles travaillent dans des mondes où nous disposons du nombre d'artisans et du volume de ressources nécessaires à la rénovation, et la seule contrainte envisagée est liée aux financements. Mais comment ferons-nous si, demain, nous n'avons plus ces ressources ou si leurs prix augmentent ? Nous avons donc besoin de modèles capables de poser la transition dans un contexte de crises et de ruptures pour réfléchir à la résilience de nos scénarios.●

