

## *La rénovation thermique des logements: quels enjeux, quelles solutions ?*

Janvier  
2015

*Contexte et enjeux*

*Les politiques publiques et leur évaluation*

*Les nécessaires évolutions techniques, organisationnelles et des marchés*



**Collection « La Revue » du Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)**

Titre du document : La rénovation thermique des logements : quels enjeux, quelles solutions ?

Directeur de la publication : Paul **Delduc**

Rédactrice en chef : Laurence **Demeulenaere**

Coordination éditoriale : Mathieu **Verdure**

Auteurs : Ont contribué à la rédaction de ce numéro sous la coordination scientifique d'Alain **Ayong Le Kama** :

Dorothee **Charlier**, Université de Montpellier  
Sihame **Hini**, Kleber **Pinto Silva**, UVSQ/REEDS  
Louis Gaëtan **Giraudet**, Cired  
Marie-Laure **Nauleau**, Cired/Ademe  
Jeanne-Marie **Daussin-Benichou**, INSEE  
Olivier **Teissier**, CSTB

Esther **Finidori** et Alain **Grandjean**, Carbone 4  
Benoît **Allibe**, EdF R&D  
Pierre **Gadrat**, Alcimed

Et pour le MEDDE :  
Aude **Couriol**, DGALN/DHUP  
François **Ménard**, DGALN/PUCA  
Céline **Rouquette**, Guillaume **Houriez**, Dominique **François**, CGDD/SOeS  
Céline **Aubert**, CGDD/DRI  
Dimitri **Fuk Chun Wing**, Noémie **Kiefer**, Amélie **Mauroux**, CGDD/SEEIDD

qu'ils en soient remerciés.

Maquette-réalisation : Daniel **Canardon**

Date de publication : Janvier 2015

Ce document n'engage que ses auteurs et non les institutions auxquelles ils appartiennent.  
L'objet de cette diffusion est de stimuler le débat et d'appeler des commentaires et des critiques

## Sommaire

<b>Edito</b>	<b>3</b>
<i>Paul Delduc, Commissaire général au développement durable</i>	
<b>Introduction</b> .....	<b>5</b>
<i>Alain Ayong Le Kama, Université de Paris-Ouest- Nanterre La Défense</i>	
<b>1<sup>ère</sup> partie - Contexte et enjeux</b>	
Comportement des ménages et investissements en efficacité énergétique : une revue de la littérature .....	11
<i>Dorothee Charlier, Université de Montpellier</i>	
Le rôle clé des logements dans la transition énergétique : étude comparative des quatre trajectoires du Débat national pour la transition énergétique .....	21
<i>Esther Finidori, Alain Grandjean, Carbone 4</i>	
Les déterminants de la température de chauffage des logements : entre consensus et incertitudes .....	29
<i>Dimitri Fuk Chun Wing, CGDD/SEEIDD</i>	
<b>2<sup>e</sup> partie - Les politiques publiques et leur évaluation</b>	
Du normatif au réaliste : amélioration de l'évaluation technico-économique du bénéfice des rénovations énergétiques des logements .....	37
<i>Benoît Allibe, EDF R&amp;D</i>	
L'enquête Performance de l'habitat, équipements, besoins et usages de l'énergie (Phébus) : quel dispositif pour quels enseignements ? .....	47
<i>Céline Rouquette, Dominique François, Guillaume Houriez, CGDD/SOeS</i>	
Quelles politiques pour atteindre les objectifs en matière de performance énergétique des logements ? Analyse de plusieurs mesures avec le modèle Res-IRF. . . . .	57
<i>Dimitri Fuk Chun Wing, Noémie Kiefer, CGDD/SEEIDD</i>	
Qualité des travaux de rénovation, asymétries d'information et garanties de performance énergétique .....	67
<i>Louis-Gaëtan Giraudet, École des Ponts ParisTech, Cired</i>	
Les travaux de rénovation thermique dynamisés par le crédit d'impôt développement durable .....	73
<i>Jeanne-Marie Daussin-Bénichou, INSEE, Amélie Mauroux, CGDD/SEEIDD, Marie-Laure Nauleau, Cired/Ademe</i>	
Le tiers financement, un outil innovant pour optimiser la rénovation énergétique au sein des copropriétés .....	83
<i>Sihame Hini, Kleber Pinto-Silva, UVSQ/ REEDS</i>	
Les politiques en faveur de la rénovation thermique des logements : quelques exemples étrangers .....	91
<i>Aude Couriol, DGALN/DHUP, Dimitri Fuk Chun Wing CGDD/SEEIDD</i>	

### 3e partie - Les nécessaires évolutions techniques, organisationnelles et des marchés

Comment la filière construction peut relever les défis de la transition énergétique . . . 101  
*Olivier Teissier, CSTB*

Les innovations techniques et les expérimentations d'entreprises : proposer des solutions adaptées aux bâtiments résidentiels existants . . . . . 109  
*Céline Aubert, CGDD/DRI*

Analyse comparative en Europe du coût des matériaux et équipements de construction et des structures de marché . . . . . 115  
*Pierre Gadrat, Alcimed, François Ménard, DGALN/PUCA*

#### Annexes

Annexe 1 : Phébus, la genèse . . . . . 124  
*Céline Rouquette, Guillaume Houriez*

Annexe 2 : Descriptif des dispositifs incitatifs pour le parc privé . . . . . 126  
*Aude Couriol, DGALN/DHUP, Amélie Mauroux, Dimitri Fuk Chun Wing, CGDD/SEEIDD*

Annexe 3 : Répartition des zones climatiques en France . . . . . 132

**Bibliographie . . . . . 133**

## Edito

Paul Delduc

Commissaire général au développement durable

### Le secteur du bâtiment, un enjeu majeur de la transition énergétique

Depuis plus de 40 ans et la conférence des Nations Unies pour l'Environnement de Stockholm, les préoccupations internationales sur l'environnement et le changement climatique n'ont cessé de croître. La prochaine Conférence des Parties (COP21), qui se tiendra à Paris en 2015, constituera une étape essentielle pour parvenir à un accord international sur le climat permettant de contenir le réchauffement global en deçà de 2°C à l'horizon 2100. L'atteinte de cet objectif nécessitera de limiter les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre dans les différents secteurs de l'économie. À cet égard, le secteur du bâtiment, contribuant en France à 45 % de la consommation finale d'énergie et au quart des émissions de gaz à effet de serre, représente un enjeu majeur et doit faire l'objet d'une attention particulière. Plus spécifiquement, compte tenu du faible taux de renouvellement du parc, de l'ordre de 0,5 % par an, la rénovation des bâtiments existants constitue un levier que ne peuvent ignorer les pouvoirs publics en charge de la définition et de la mise en œuvre de la politique énergétique et climatique française.

### Des seules mesures existantes insuffisantes pour atteindre les objectifs fixés

La France s'est ainsi fixé des objectifs ambitieux en matière de limitation des émissions de gaz à effet (division par 4 en 2050 des émissions par rapport au niveau de 1990) ou de baisse de la consommation d'énergie du parc de bâtiments existants (- 38 % en 2020 par rapport à 2008). Le Plan de Rénovation Énergétique de l'Habitat, lancé au printemps 2013, est venu renforcer ces objectifs en fixant une cible de 500 000 rénovations lourdes de logements par an à partir de 2017. De nombreuses mesures telles que le CIDD, l'EcoPTZ, la prime rénovation énergétique, l'étiquette DPE ou encore la garantie de la qualité des travaux de rénovation par le label Reconnu Garant de l'Environnement, sont déjà mises en œuvres et produisent leurs effets. Néanmoins, selon les estimations réalisées par le CGDD, les principales politiques aujourd'hui mises en œuvre ne permettraient de réduire la consommation d'énergie du parc existant que de 18 % en 2020 et les émissions de gaz à effet de serre que de 49 % en 2050 par rapport à 1990. D'autres mesures seront donc nécessaires.

### Des mesures complémentaires à envisager, de nature diverse, afin de couvrir les différents enjeux de la rénovation énergétique des logements

Favoriser les rénovations des logements et maîtriser les consommations énergétiques nécessitent d'agir sur les comportements des ménages, en les incitant à une plus grande sobriété, en aidant au financement des opérations, en prévoyant, notamment dans les copropriétés, les conditions juridiques et organisationnelles permettant une réalisation facilitée des travaux. Mais répondre aux enjeux de la rénovation énergétique des logements nécessite aussi de prêter une attention à l'évolution du secteur de la construction. Il s'agit d'améliorer l'offre en termes de services et de prix et d'accompagner la mutation organisationnelle et industrielle du secteur, indispensable pour atteindre le niveau qualitatif exigé, faire face aux volumes de travaux requis et réduire les coûts de façon à rendre le logement basse consommation accessible à tous.

Le texte de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte, en prévoyant notamment une obligation de rénovation énergétique, un carnet de suivi et d'entretien du bâtiment, un fond de garantie pour la rénovation énergétique ou encore en précisant les conditions de fonctionnement des sociétés de tiers financement, contribuera au renforcement des mesures existantes.

Le CGDD, qui participe à la réflexion et à l'évaluation de mesures incitatives de nature à favoriser la transition énergétique, souhaite avec ce nouveau numéro de la Revue, réunir des éléments d'éclairage sur les enjeux mais aussi sur l'efficacité des dispositifs en place ou envisagés.

Ce numéro sur la rénovation énergétique des logements fait suite à un précédent numéro sur la mobilité automobile, et porte sur un nouvel enjeu de la vie quotidienne, qui là encore réclame la convergence des actions de l'ensemble des acteurs sous l'impulsion des pouvoirs publics.



# Introduction

Alain Ayong Le Kama  
Université de Paris Ouest – Nanterre, La Défense

La rénovation thermique des bâtiments, dans le secteur résidentiel en particulier, est un des axes structurants de la stratégie de transition énergétique française car elle est considérée depuis un certain temps déjà comme le principal gisement d'économies d'énergie exploitable immédiatement.

Cette question présente un certain nombre d'enjeux (1), inhérents aux caractéristiques même du secteur, et qui se centrent, comme le souligne l'article de Dorothee **Charlier**, autour des enjeux relatifs à la caractérisation des déterminants des comportements de consommation d'une part ; et, d'autre part, ceux liés à la compréhension des comportements d'investissement dans la rénovation des ménages. Par ailleurs, un important dispositif, fiscal, juridique et réglementaire, a été mis en place depuis quelques années par les autorités publiques pour pouvoir permettre à la France d'atteindre ses objectifs, très ambitieux, en matière de réduction des consommations d'énergie dans ce secteur. Dispositifs qui ont eu plus ou moins de succès, mais qui de toutes manières demeurent insuffisants et mériteraient d'être renforcés (2). Enfin, malgré cette insuffisance des politiques publiques mises en œuvre à ce jour pour encourager, pour stimuler, les investissements en rénovation thermique des bâtiments résidentiels, de nombreux leviers d'actions, technologiques et/ou susceptibles d'améliorer l'offre, sont susceptibles de permettre une pleine exploitation de ce gisement d'économies d'énergie (3).

## 1. Les enjeux relatifs à la caractérisation des déterminants de consommation d'énergie et d'investissement en rénovation énergétique dans les bâtiments résidentiels

Pour ce qui concerne tout d'abord les enjeux, ils sont de très grande ampleur, comme précisé dans l'éditorial du Commissaire général au développement durable, dans le présent numéro ; d'autant que la France s'est dotée d'objectifs très ambitieux : les objectifs liés à la transition énergétique ou au Facteur 4 à l'horizon 2050, la réduction prévue de la consommation d'énergie de 38 % à l'horizon 2020 et le plan de rénovation énergétique dans l'habitat, qui vise à rénover lourdement plus de 500 000 logements d'ici à 2017, etc.

Ces enjeux concernent premièrement notre capacité à comprendre les déterminants des comportements de consommation d'énergie des ménages car, comme nous le rappelle D. Charlier, cela est indispensable si nous voulons mettre en œuvre des politiques de réduction de ces consommations appropriées.

Mais l'une des difficultés à comprendre ces déterminants vient de la capacité à mesurer ces consommations d'énergie. Dimitri **Fuk Chun Wing**<sup>1</sup> nous rappelle que le chauffage représente l'usage le plus consommateur d'énergie et constitue dans le même temps le gisement principal d'économies d'énergie, mais il nous précise par ailleurs que la mesure des seules consommations de chauffage n'est pas aisée. Il nous propose alors d'approximer ces consommations de chauffage, et plus largement celles d'énergie dans les logements, par l'évolution de leur température interne ; avec à l'esprit le fait qu'en moyenne l'élasticité de la consommation d'énergie dans un logement relative aux variations de température est d'environ -7 %. Or, cette élasticité est fortement controversée dans la littérature. D. Fuk Chun Wing montre en effet, à partir d'une analyse économétrique des déterminants des niveaux de température interne des logements, que de très nombreux facteurs sont susceptibles

<sup>1</sup> Voir l'article de Dimitri Fuk Chun Wing, « Les déterminants de la température de chauffage des logements : entre consensus et incertitudes », dans le présent numéro.

de déterminer leur évolution, tels que le type de chauffage (collectif ou individuel), le type d'énergie de chauffage, la date de construction du logement, ou encore sa localisation géographique. Le fait que les évolutions des consommations d'énergie soient ainsi multi-déterminants rend leur mesure difficile à réaliser ; qualité de mesure pourtant indispensable pour un design et un ciblage appropriés des politiques publiques à mettre en œuvre.

Une manière sans doute assez novatrice de mieux appréhender les déterminants des consommations d'énergie des logements est, comme le propose l'enquête PHEBUS<sup>2</sup>, d'établir des systèmes de mesure qui couplent les mesures physiques, relatives aux performances et aux caractéristiques énergétiques du logement, et les mesures plus qualitatives, portant sur les comportements et les usages.

Ces enjeux concernent *deuxièmement* la difficulté à comprendre les comportements d'investissements des individus en matière de rénovation, d'efficacité énergétique. D. Charlier nous rappelle qu'il existe une sorte de « paradoxe énergétique », mis en lumière dans les années 90 par deux imminents économistes, Jaffe et Stavins. Selon ces auteurs, quand il s'agit de ce type d'investissement, et contrairement aux autres types d'investissements, les ménages ne recherchent pas nécessairement les options d'investissement les plus efficaces et ne seraient pas sensibles aux opportunités fournies par ces investissements. On observe donc une forme « d'irrationalité », ou du moins, de « rationalité limitée », dans le comportement d'investissement des ménages en matière d'efficacité énergétique, d'où le « paradoxe ». Celui-ci peut s'expliquer par de nombreux facteurs.

Un premier facteur explicatif peut être lié aux difficultés que peuvent rencontrer certains acteurs du secteur pour acquérir de l'information pertinente et, voire même, pour traiter simplement l'information existante, car ils n'en ont pas nécessairement les capacités. C'est ainsi que Louis-Gaëtan **Giraudet**<sup>3</sup> nous rend compte du fait qu'il existe des « asymétries d'informations » consubstantielles aux travaux de rénovation, c'est-à-dire la qualité des actions de la part des entreprises réalisant les travaux qui sont inobservables par les occupants du logement, qui rendent difficile, voire impossible, la capacité du marché à produire des rénovations performantes.

Un autre facteur explicatif, mis en lumière par D. Charlier, est le caractère très spécifique des investissements en efficacité énergétique, dont la rentabilité directe est difficile à appréhender par les bailleurs de fonds, ou les institutions de crédit. Cela rend d'autant plus difficile la capacité pour les ménages d'accéder au crédit pour réaliser leurs travaux.

Malgré ces difficultés à appréhender clairement les comportements de consommation et d'investissement des ménages, de très nombreuses politiques publiques ont été mises en œuvre en France, et certaines d'entre elles ont tout de même fait montre de leur efficacité ; même si dans l'ensemble elles demeurent insuffisantes.

## 2. Des dispositifs publics conséquents mais insuffisants, donc à renforcer pour atteindre les objectifs en matière de réduction des consommations d'énergie dans le secteur résidentiel

Un important dispositif a en effet été mis en place en France depuis quelques années pour réduire les consommations d'énergie dans le résidentiel et favoriser les investissements en rénovation. Des mesures qui sont de tout type : réglementaires, avec les réglementations thermiques dans le bâtiment neuf ; et/ou incitatives, avec tous les avantages fiscaux tels que le crédit impôt développement durable (CIDD), ou l'éco-prêt à taux zéro (éco-PTZ), ou encore des taxes, telles que la contribution climat-énergie.

Ces mesures ont eu plus ou moins d'impacts. L'étude menée par **Daussin-Benichou** et al.<sup>4</sup> montre par exemple que le CIDD a été utilisé dans deux cas sur trois pour les travaux de rénovation

<sup>2</sup> Voir l'article de Céline **Rouquette**, Dominique **François** et Guillaume **Houriez**, « L'enquête Performances de l'habitat, équipements, besoins et usages de l'énergie (PHEBUS) », dans le présent numéro.

<sup>3</sup> Voir l'article de Louis-Gaëtan Giraudet, « Qualité des travaux de rénovation, asymétrie d'information et garanties de performance énergétique », dans le présent numéro.

<sup>4</sup> Voir l'article de J-M Daussin-Bénichou, A. Mauroux et M-L Nauleau, « Les travaux de rénovation thermique dynamisés par le crédit d'impôt développement durable », dans le présent numéro.



thermique. Cette utilisation s'est accompagnée d'un « effet d'aubaine »<sup>5</sup>, c'est-à-dire que certains ménages qui avaient de toutes les façons prévu de modifier leur équipement ont profité de ce dispositif. Cependant, dans le même temps, d'autres ménages, qui ne l'avaient pas prévu initialement, sont passés à l'action pour profiter de l'opportunité de financement qui leur était offerte. L'étude conclut également qu'une hausse des taux de crédit d'impôt a déclenché une hausse des dépenses consacrées aux équipements ouvrant droit au CIDD, même parmi ceux qui avaient de toutes façons prévu des travaux. Par contre, l'étude de Sihame **Hini** et Kleber **Pinto-Silva**<sup>6</sup> sur les impacts de la mise en œuvre du tiers financement dans la rénovation énergétique des copropriétés est plus prudente sur les résultats obtenus. En effet, ce dispositif est certes innovant, dans le sens où il intègre à la fois les questions relatives à l'ingénierie financière, aux travaux de rénovation eux-mêmes et à la garantie de performance énergétique ; bref, il permet une offre plus complète. Néanmoins, il pourrait encore, selon l'étude de S. Hini, être optimisé, si l'on y intégrait, en sus, les dimensions sociologiques et organisationnelles. Enfin, dans leur étude consistant en un benchmark international sur les politiques de rénovation thermique (France, Allemagne, Espagne Royaume-Uni, Suède et États-Unis), Aude **Couriol** et Dimitri Fuk Chun Wing<sup>7</sup> tirent des enseignements qui permettraient d'améliorer le dispositif français et plaident pour une simplification du système d'aides financières et pour une généralisation du mécanisme du tiers financement.

Même si les quelques évaluations des impacts des dispositifs existants, présentés précédemment, peuvent donner un sentiment d'efficacité relative, les études et experts sur ces questions sont globalement assez pessimistes sur leur capacité à permettre à la France de satisfaire pleinement ses ambitieux objectifs en matière de réduction des consommations d'énergie dans le bâtiment résidentiel et de transformation des comportements des ménages.

Des solutions, pour améliorer l'efficacité de ces dispositifs, pour aller plus loin dans la réalisation des objectifs nationaux, sont proposés dans la littérature, et donc analysées dans le présent numéro.

Benoît **Allibe**<sup>8</sup> suggère notamment de s'attacher plutôt à modifier le mix énergétique utilisé dans le bâtiment résidentiel. En effet, B. Allibe part du constat selon lequel l'utilisation d'une modélisation normative, comme cela est souvent le cas dans la littérature, peut conduire à des résultats trop optimistes sur l'efficacité des dispositifs mis en place en matière de rénovations. Il construit pour cela un modèle technico-économique de la dynamique de la demande, avec une approche plutôt « positive » et aboutit à une conclusion extrêmement pessimiste selon laquelle même une politique volontariste d'efficacité énergétique ne suffirait pas à atteindre des objectifs aussi ambitieux que le facteur 4. D'où la nécessité, selon lui, de réduire directement le contenu en carbone des énergies utilisées dans les logements.

Par ailleurs, D. Fuk Chun Wing et N. **Kiefer**<sup>9</sup> testent, à l'aide d'une version adaptée par le CGDD du module résidentiel du modèle IMACLIM-France, développé par le CIREDD, trois autres types de mesures et aboutissent au même résultat, sur le faible impact de ces différents dispositifs. Que ce soit l'instauration de l'obligation de rénovation ou encore un accroissement de la contribution climat-énergie, ils concluent à des impacts limités. De même, la mise en œuvre d'une modulation de la fiscalité immobilière en fonction de la performance énergétique n'aurait pas plus d'impacts ; en outre, ses effets sur le marché immobilier, potentiellement négatifs en raison de l'augmentation du coût pour les ménages, sont encore incertains.

Face à cette insuffisance des dispositifs actuels, E. **Finidori** et A. **Grandjean**<sup>10</sup>, dans leur analyse des quatre grandes trajectoires énergétiques pour la France à l'horizon 2050, retenues dans le cadre du Débat national sur la transition énergétique (DNTE), nous alertent sur le fait que, quelles que soient les stratégies de transition envisagées, il faudra être très ambitieux dans les objectifs de réduction dans le résidentiel. Ils considèrent que ces politiques très ambitieuses dans le résidentiel devraient

<sup>5</sup> Pour une définition de l'effet d'aubaine, voir par exemple l'article de Dorothée Charlier, *op cit.*

<sup>6</sup> Voir l'article de Sihame Hini et Kleber Pinto-Silva, « Le tiers financement, un outil innovant pour optimiser la rénovation énergétique au sein des copropriétés », dans le présent numéro.

<sup>7</sup> Voir l'article d'A. Couriol et D. Fuk Chun Wing, « Politiques en faveur de la rénovation thermique des logements : quelques exemples étrangers », dans le présent numéro.

<sup>8</sup> Voir l'article de B. Allibe, « Du normatif au réaliste : amélioration de l'évaluation technico-économique du bénéfice des rénovations énergétiques des logements », dans le présent numéro.

<sup>9</sup> Voir l'article de D. Fuk Chun Wing et N. Kiefer, « Quelles politiques pour atteindre les objectifs en matière de performance énergétique des logements ? Analyse de plusieurs mesures avec le modèle Res-IRF », dans le présent numéro.

<sup>10</sup> Voir l'article de Esther Finidori et Alain Grandjean, « Le rôle des logements dans la transition énergétique : étude comparative des 4 trajectoires du DNTE », dans le présent numéro.

reposer sur trois piliers principaux : des rénovations lourdes ; une amélioration significative de l'efficacité des équipements (chauffage et eau chaude sanitaire en particulier), et une optimisation des consommations d'électricité spécifique. Cette analyse de E. Finidori et A. Grandjean permet de se rendre compte que, malgré les insuffisances constatées aujourd'hui, il existe des leviers d'actions susceptibles de permettre une meilleure exploitation des économies d'énergie dans le bâtiment résidentiel, et donc, avec encore plus d'ambition, d'atteindre nos objectifs. Cela nous amène à faire un peu de prospective.

### 3. Une analyse prospective des leviers d'actions susceptibles de permettre une pleine exploitation du gisement d'économies d'énergie qu'est le secteur résidentiel

Ces leviers d'actions peuvent être de nature technologique et/ou concerner la structuration de l'offre.

Pour ce qui concerne les leviers technologiques, une massification du déploiement des technologies de rénovation devraient permettre de réduire les coûts de celles-ci comme nous le rappelle Olivier **Tessier**<sup>11</sup>. Selon lui, même si certaines technologies existantes semblent matures, il n'en demeure pas moins que des efforts sont encore à faire pour améliorer leur massification et pour mieux les adapter au marché spécifique de la rénovation. Céline **Aubert**<sup>12</sup> va plus loin. Elle considère que ces avancées technologiques, au-delà des innovations qu'elles permettent individuellement, ont vocation à permettre une industrialisation des processus de rénovation, d'en réduire le coût et de favoriser une plus grande efficacité dans la mise en œuvre.

Ces deux auteurs considèrent que, pour arriver à une rénovation massive du parc de logements existants, ces avancées technologiques doivent s'accompagner d'une structuration de l'offre plus intégrée ; c'est-à-dire des offres de « bouquets » de travaux qui combinent plusieurs solutions, complémentaires. Cela apparaît comme un point de passage obligé si l'on veut améliorer à terme les performances des rénovations. Mais, pour y arriver, il faudrait au préalable développer et structurer des filières performantes au niveau national ; et les leviers pour accompagner cette indispensable mutation des filières sont connus : R&D, formation, financement, solutions numériques, standardisation, industrialisation, assurance, etc. Il ne reste qu'à les actionner efficacement et opportunément.

Enfin, l'article de François **Ménard** et Pierre **Gadrat**<sup>13</sup> vient confirmer ces conclusions. Dans son étude en effet, qui compare les coûts des matériaux et des équipements de construction dans différents pays européens, il montre que le différentiel de coûts constatés dans ces pays provient plus des écarts entre d'une part le degré de maturité des filières et d'autre part de la formation de la main-d'œuvre ; mais moins des prix des matériaux de construction eux-mêmes.

Au final, après lecture des articles du présent numéro, on retiendra que, du fait de l'insuffisance des dispositifs actuels pour permettre à la France d'atteindre ces très ambitieux objectifs, la pleine efficacité dans l'exploitation de l'immense gisement que représente le secteur du bâtiment résidentiel ne pourra se faire jour qu'au travers de politiques publiques encore plus volontaristes en matière de rénovation. Cela passe par la stimulation de toutes les potentialités technologiques, une modification profonde des comportements et une meilleure organisation des filières.

<sup>11</sup> Voir l'article d'Olivier Tessier, « Comment la filière construction peut relever les défis de la transition énergétique », dans le présent numéro.

<sup>12</sup> Voir l'article de Céline Aubert, « Les innovations techniques et les expérimentations d'entreprises : proposer des solutions adaptées aux bâtiments résidentiels existants », dans le présent numéro.

<sup>13</sup> Voir l'article de François Ménard et Pierre Gadrat, « Analyse comparative en Europe du coût des matériaux et équipements de construction et des structure de marché », dans le présent numéro.

## **1ère partie : Contexte et enjeux**



## Comportement des ménages et investissements en efficacité énergétique : une revue de la littérature

Dorothee Charlier, Université de Montpellier

**Le secteur du bâtiment consomme plus d'énergie que les autres secteurs en France. Il est ainsi particulièrement impliqué dans la réalisation de l'objectif que la France s'est fixé de réduire les consommations d'énergie du parc des bâtiments existants d'au moins 38 % d'ici 2020. Afin de mettre en place des politiques adéquates et efficaces, il est essentiel d'identifier les principaux déterminants de la consommation d'énergie et de comprendre le comportement des ménages en matière d'investissement. En effet, les investissements en efficacité énergétique sont différents des autres types d'investissement. Les ménages font quasiment systématiquement abstraction d'opportunités d'investissements très attractives : il s'agit du « paradoxe énergétique ». Si face à ce paradoxe, l'intervention du gouvernement se justifie, l'effet rebond et l'effet d'aubaine peuvent venir limiter les bénéfices des politiques publiques. Ainsi, de nouvelles mesures doivent éventuellement être envisagées en complément pour parvenir aux objectifs fixés comme renforcer les réglementations et les incitations financières tout en instaurant de nouvelles mesures telles que des réglementations pour les propriétaires bailleurs.**

Les consommations d'énergie des bâtiments représentent 45 % de la consommation énergétique totale et près du quart des émissions de CO<sub>2</sub>. De plus, le secteur du bâtiment est un secteur lent à évoluer puisque le taux de renouvellement du parc est d'environ 0,5 % par an (Insee 2012). Par ailleurs, la consommation d'énergie de ce secteur ne cesse de croître à cause de l'augmentation du besoin en logement (lié à la croissance de la population et à la modification de sa structure) ainsi que de la hausse du taux d'équipement et du taux d'utilisation des appareils électroménagers par les ménages. Ainsi, de nombreuses politiques publiques ont été mises en place pour diminuer les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Ces politiques environnementales visent à encourager les investissements en efficacité énergétique et peuvent être de différentes natures : (i) les mesures réglementaires comme les réglementations thermiques sur les nouvelles constructions ou les rénovations (ii) les mesures informatives (avec par exemple l'instauration des étiquettes énergétiques sur les logements pour informer les futurs acheteurs ou les bailleurs) et (iii) les mesures financières, comme l'éco-prêt à taux zéro, les subventions, le crédit d'impôt ou la TVA à taux réduit (voir Tableau Descriptif 1), pour encourager les ménages à adopter des équipements économiseurs d'énergie.

Compte tenu du nombre de mesures en faveur de l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel et du coût financier pour le gouvernement, il est essentiel d'identifier les principaux déterminants de la consommation d'énergie et de comprendre le comportement des ménages en matière d'investissement en efficacité énergétique afin de permettre la mise en place de politiques adéquates et efficaces. Ainsi, dans cet article, après avoir présenté les résultats qui montrent un faible taux de rénovation, sur la base des modèles français de prévision de la consommation d'énergie, nous montrerons que le faible taux de rénovation peut être en partie expliqué par ce que l'on définit comme « le paradoxe énergétique ». Si, face à ce paradoxe, l'intervention publique se justifie, nous montrerons que l'effet d'aubaine et l'effet rebond viennent limiter partiellement l'effet positif de l'intervention publique.

### Les faibles résultats des politiques publiques mesurés par les modèles de prévision de la consommation d'énergie

L'ensemble des travaux s'accordent sur le fait que les objectifs français en matière d'efficacité énergétique seront difficiles à atteindre d'ici 2020.

## Identification des déterminants

Généralement, la littérature met en évidence les caractéristiques du bâti comme des variables déterminantes de la consommation d'énergie. La date de construction des logements, la zone climatique, le type de logement, la surface, la qualité de l'isolation, et la performance des équipements sont des variables incontestables. Si la littérature identifie plusieurs facteurs, elle ne porte pas beaucoup d'intérêt aux caractéristiques des ménages, mis à part au revenu (Garbacz, 1984 ; Dubin and McFadden, 1984 ; Baker and Blundell, 1989 ; Nesbakken, 1999 ; Vaage, 2000 ; Newell and Pizer, 2008). À l'échelle nationale, de nombreux auteurs ont essayé de comprendre les déterminants de la consommation d'énergie et de prévoir cette dernière aux horizons 2020 et 2050. Giraudet et al. (2011) présentent le modèle Res-IRF (Residential module of Imacim-R France), développé par le CIRED (Centre International de Recherche pour l'Environnement et le Développement) et dont les résultats sont synthétisés par Penot et al. (2013). Le modèle repose sur une approche « bottom-up ». Ce travail est une modélisation de 2008 à 2050 du potentiel d'économies d'énergie dans le secteur résidentiel français. Il tient compte des limites qui s'imposent très souvent à l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel comme le dilemme propriétaire-locataire, l'effet rebond<sup>14</sup>, l'hétérogénéité des préférences des consommateurs. Les résultats obtenus indiquent que les objectifs de la France ne peuvent être atteints par les politiques actuelles (la réduction ne serait que de 21 % des consommations unitaires des logements en 2020) et ces dernières doivent donc être accompagnées par des mesures plus ambitieuses comme une taxe carbone significative (dont le prix devrait avoisiner 200 € la tonne de CO<sub>2</sub> en 2050, conformément aux recommandations du rapport « Quinet »<sup>15</sup>). Dans le modèle MENFIS (Callonnec et al., 2012), grâce aux moyens engagés par la réforme Grenelle, l'effort de réduction serait de 21 % des consommations unitaires des logements en 2020. Le modèle utilise les gains d'émissions théoriques pour évaluer les baisses de consommation d'énergie possibles grâce à différents bouquets de travaux. Le modèle distingue 216 types de travaux réalisables qui ont été élaborés par la méthode officielle du Diagnostic de Performance Énergétique (DPE). Les auteurs préconisent pour atteindre les objectifs une hausse de 40 % des taux actuels du CIDD, une multiplication par 2 du nombre d'éco prêts accordés ainsi que l'instauration d'une taxe carbone à 32 € par tonne de CO<sub>2</sub>, croissante à 15 % par an. Cela aurait aussi comme conséquence une hausse du coût public de 3 milliards d'euros par an et une croissance du chiffre d'affaires du bâtiment avoisinant les 8 milliards d'euros par an. Toutefois, ce modèle ne tient pas compte de l'effet d'aubaine ni de l'effet rebond.

## Évolution de la consommation d'énergie

D'autres approches bottom-up ont pu être utilisées pour prévoir l'évolution de la consommation d'énergie : c'est le cas du modèle sceGES. Le modèle de scénarisation des émissions des gaz à effet de serre a été commandé par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat. Il permet de quantifier les économies d'énergie et la baisse des émissions à la suite de la mise en place de différentes mesures comme le CIDD. Mais, comme le modèle MENFIS vu précédemment, il ne prend pas en compte l'effet rebond. On peut aussi citer les modèles ENERTER et MOBITER, développés par Énergies Demain. Le modèle ENERTER est un outil dédié à la prospective territoriale, dans lequel il est possible de réaliser une simulation dynamique des démographies du parc de logements et des équipements. Les auteurs montrent que la mise en œuvre d'une stratégie de facteur 4 doit être accompagnée d'une logique financière afin de créer un suivi pour les ménages. Nous pouvons aussi citer les travaux issus de la thèse de Benoît Allibe (2012)<sup>16</sup>. En prenant en compte les seuls usages thermiques (chauffage, eau chaude sanitaire et climatisation), l'auteur montre que le DPE est performant mais n'est pas représentatif de la consommation réelle des Français : la consommation calculée par un modèle de calcul thermique (DPE) est supérieure à la consommation réelle. Il explique cette différence par le comportement des ménages qui adaptent leur consommation de chauffage à son prix. L'auteur montre aussi que l'effet rebond observé après une opération de rénovation énergétique réduit en moyenne les gains énergétiques réels d'environ 40 % et le gain énergétique normatif (évalué selon la méthode du DPE) de 2/3, à l'échelle nationale. De plus, l'efficacité énergétique à elle seule ne permet pas d'atteindre le facteur 4, mais au maximum un facteur 2 si elle est accompagnée de travaux de rénovations lourdes. Charlier et Risch (2012) obtiennent des résultats similaires. Dans leur modèle, la consommation d'énergie est divisée en trois

<sup>14</sup> Cf. section 3 pour de plus amples informations

<sup>15</sup> Centre d'Analyse Stratégique, La valeur tutélaire du carbone, 2008

<sup>16</sup> Voir l'article de B. Allibe « Du normatif au réaliste : amélioration de l'évaluation technico-économique du bénéfice des rénovations énergétiques des logements » dans le présent numéro.



utilisations finales : le chauffage et l'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les appareils électroménagers. Une attention particulière est accordée aux décisions d'investissement des ménages en matière de rénovation énergétique dans le secteur résidentiel privé. L'originalité du modèle réside dans le fait que les estimations de consommations énergétiques ne sont pas uniquement déterminées par des facteurs physiques ou thermiques, mais tiennent compte de variables socio-économiques. Les auteures obtiennent comme résultat principal que si les politiques actuelles ont un effet sur la baisse de la consommation d'énergie, elles ne sont pas suffisantes pour atteindre les objectifs.

*L'ensemble de ces études mettent en évidence que les caractéristiques du bâtiment sont des déterminants importants pour expliquer les consommations d'énergie et que ce secteur représente donc un potentiel d'économies d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre important, grâce aux améliorations en termes d'isolation ou d'efficacité énergétique des équipements (Commission Européenne, Energy Efficiency Plan 2011). Mais, ces études s'accordent également sur le fait que le taux de rénovation énergétique ne permettra pas d'atteindre les objectifs fixés par le gouvernement français. Ce faible taux de rénovation peut s'expliquer en partie par ce que l'on définit comme le « paradoxe énergétique ».*

### Le paradoxe énergétique

Les investissements en efficacité énergétique sont différents des autres types d'investissement (Jaffe et Stavins, 1994a ; 1994b). On constate que les ménages font quasiment systématiquement abstraction d'opportunités d'investissements très attractives en termes de technologies énergétiques, avec des taux de rendement élevés : il s'agit du « paradoxe énergétique » (Jaffe et Stavins, 1994a ; Boulanger, 2007). En d'autres termes, Jaffe et Stavins (1994b) montrent que les investissements en efficacité énergétique sont significativement plus faibles que leurs gains potentiels nets pourraient le suggérer. Un contraste est manifeste entre les opportunités technologiques présentes sur le marché qui visent à réduire les consommations (et donc les coûts) énergétiques, et les investissements effectivement réalisés par les ménages pour tirer avantages de ces opportunités. Ainsi, un montant important d'énergie pourrait être a priori économisé en investissant dans des technologies efficaces. De nombreux auteurs ont tenté d'expliquer ce « paradoxe » de la diffusion très progressive d'équipements économes en énergie apparemment rentables en analysant la nature et l'occurrence de limites réparties en deux catégories : les barrières de marché (divisées entre les défaillances de marché et les barrières économiques) et les risques associés aux investissements en efficacité énergétique (Brown, 2001 ; DeCanio, 1993 ; Jaffe et Stavins, 1994a ; Jaffe et Stavins, 1994b ; DeCanio, 1998 ; Boulanger, 2007). Si les défaillances de marché sont liées à l'asymétrie d'information, à l'imperfection de l'information et aux incitations divergentes, les barrières économiques sont, quant à elles, dues aux coûts cachés, à l'hétérogénéité entre les agents et aux difficultés d'accès au capital. Concernant les risques associés à ce type d'investissement, nous considérons trois aspects de leur diffusion sur le marché : les incertitudes, la flexibilité et l'hétérogénéité.

### Les défaillances de marché

- Asymétrie de l'information sur le coût d'utilisation de l'énergie

Les asymétries d'information sont une situation où les différentes parties d'une transaction ne partagent pas le même niveau d'information sur le bien ou le service. La plupart des acteurs dans le secteur du bâtiment n'ont pas les connaissances suffisantes sur les équipements et les systèmes qui permettent d'économiser de l'énergie (Brown, 2001). Les consommateurs, quant à eux, sont aussi en règle générale mal informés sur les technologies, ce qui peut expliquer l'abandon d'investissements pourtant rentables (Carlsmith et al., 1990). Dans ce cas, une mauvaise prise en compte par le marché des économies d'énergie potentielles pourrait conduire promoteurs et propriétaires à ne pas investir en efficacité énergétique. Les labels énergétiques ont été introduits en France pour remédier à ce problème et donc pour réduire les asymétries. Toutefois, il reste aujourd'hui difficile d'obtenir une information parfaite concernant le coût d'utilisation de l'énergie dans un logement (et plus particulièrement dans les immeubles collectifs).

- Imperfection de l'information sur les gains énergétiques potentiels

Sanstad et Howarth (1994) ont montré que les consommateurs sont souvent peu informés sur les opportunités et les caractéristiques des équipements économes en énergie. Les informations relatives à ces systèmes peuvent s'avérer difficiles à obtenir et donc affecter le taux d'adoption. Il est en effet coûteux pour les ménages d'obtenir de l'information sur ces équipements. Sans une information authentique sur les options et possibilités de ces systèmes, les changements dans les habitudes des consommateurs peuvent être lents (Golove et Eto, 1996). Certaines informations présentent toutes les caractéristiques d'un bien public, c'est-à-dire la non exclusion (de la consommation) et la non rivalité (la consommation d'un bien par un agent n'a pas d'effet sur la quantité disponible pour les autres). Sous ces conditions, le détenteur d'une information profitable n'a pas d'incitation à la partager avec les autres (Boulanger, 2007).

- Les incitations divergentes

Les incitations divergentes sont une situation où un agent n'a aucun intérêt à faire une action tandis que l'autre agent va bénéficier de cet investissement sans en avoir à payer les coûts. Le faible taux d'adoption d'équipements énergétiques peut, par conséquent, s'expliquer dans des situations où les bénéfices et les coûts de l'efficacité énergétique reviennent à des individus différents. Chacun aura alors intérêt à ce que le coût soit supporté par l'autre (van Soest et Bulte, 2001). L'exemple classique de cette situation est illustré dans le cas des relations entre propriétaires et locataires (Gillingham et Murtishaw, 2011). D'un côté, le locataire n'a pas d'incitation à réaliser des investissements en efficacité énergétique dans le logement puisqu'il n'a pas la garantie d'occuper ce dernier suffisamment longtemps pour pouvoir bénéficier de son investissement. Le propriétaire, de son côté, peut être enclin à ne pas investir car il ne profitera pas des économies d'énergie, puisque la facture énergétique est payée par le locataire. De plus, si le propriétaire investit, il peut créer pour le locataire une incitation à la consommation d'énergie car ce dernier souhaitera peut-être améliorer son confort au lieu de profiter des gains énergétiques (IEA, 2007). Une solution pour enrayer ce problème en l'absence de coûts de transaction serait pour les propriétaires et les locataires d'écrire un contrat pour partager les coûts et les bénéfices (dans le loyer par exemple). Toutefois, ces contrats sont généralement onéreux à cause des coûts à la négociation et des coûts de transaction, et peuvent donc contre-balancer les gains énergétiques octroyés (Boulanger, 2007 ; IEA, 2007).

## Les barrières économiques

- Les coûts cachés

La faible priorité donnée aux solutions énergétiques peut aussi provenir de l'existence de coûts de transaction (par exemple ces coûts cachés concernant principalement la recherche d'informations sur les technologies disponibles sur le marché et son absorption, la perte de confort pendant les travaux, la fiabilité incertaine des équipements, etc.). En fait, ces coûts sont en grande partie liés au degré de nouveauté de la technologie énergétique. Un investissement qui semblait très profitable au premier abord peut devenir alors nettement moins intéressant (Sanstad et Howarth, 1994 ; Howarth et Sanstad, 1995 ; DeCanio, 1998). Koomey (1990) a développé une méthodologie pour prendre en compte ces coûts cachés. Il démontre toutefois que des taux implicites d'actualisation restent élevés même si on tient compte des coûts cachés.

- L'hétérogénéité entre les agents

Un autre argument est basé sur l'hétérogénéité des agents. Tous les ménages ne partagent pas le même intérêt pour les investissements en efficacité énergétique. Si certains individus peuvent attendre des bénéfices supérieurs à la moyenne, d'autres, au contraire, ne sont pas en situation de pouvoir profiter des avantages offerts par de nouvelles technologies et n'ont aucun intérêt à les adopter. Par exemple, investir dans un chauffage électrique dans une résidence secondaire peut sembler non rentable si le logement n'est pas occupé l'hiver, tandis que des ménages qui occupent leur résidence principale toute l'année investiront (Hassett et Metcalf, 1993 ; Jaffe et Stavins, 1994c ; Boulanger, 2007). Jaffe et Stavins (1994c) considèrent que la décision est déterminée notamment par le coût d'adoption qui a une composante d'hétérogénéité inobservée. L'hétérogénéité peut être associée au type de système de chauffage (fourneau, chauffage électrique...), à la taille de la maison, à des préférences individuelles de température intérieure ou encore au climat. De plus, les investissements en équipement économe en énergie sont plus rentables quand le logement est mal isolé surtout si les prix de l'énergie augmentent (Hassett et Metcalf, 1995). Une autre forme d'hétérogénéité est liée à la sensibilité environnementale des ménages. Si les ménages investissent

pour des raisons financières, ils peuvent aussi le faire afin de préserver l'environnement. Tous les individus n'ont donc pas les mêmes incitations (Hassett et Metcalf, 1995 ; Cunha-e-sà et Reis, 2007).

- L'accès au capital

Une autre défaillance de marché est liée à l'accès au capital. De nombreux investissements énergétiques efficaces ne sont pas éligibles aux sources traditionnelles de financement. DeCanio (1993) a montré que les établissements de crédit établissent généralement des taux d'intérêt pour les projets d'efficacité énergétique qui sont plus élevés que le coût du capital. En outre, les investissements en matière d'économies d'énergie sont souvent des projets de petites tailles et relativement dispersés dans le temps. Il peut donc être difficile de quantifier tous les avantages de ces investissements. De plus, les taux proposés par les banques, plus élevés que ceux proposés pour des investissements immobiliers, peuvent aussi s'expliquer par la nature de l'investissement réalisé. Un investissement dans l'immobilier présente une garantie naturelle liée à l'actif immobilier, valorisé sur le marché, ce qui n'est pas le cas pour un investissement dans un appareil de chauffage par exemple (qui se déprécie relativement rapidement au regard de la durée de l'emprunt) ou pour des opérations d'isolation thermique (encore insuffisamment valorisées sur le marché par l'intermédiaire d'une valeur verte).

En conséquence, les institutions financières peuvent être réticentes à prêter pour des projets en efficacité énergétique. Ainsi, quand un ménage à faible revenu et sans garantie décide de son futur investissement, il doit faire face à des taux d'intérêt élevés ou à des refus de crédit par les banques. Ces ménages sont donc soumis à une contrainte financière car ils doivent utiliser leur propre épargne ou payer des taux d'intérêt plus élevés. Les investissements en efficacité énergétique deviennent alors plus chers à l'achat, ce qui peut empêcher leur adoption (Howarth et Sanstad, 1995 ; Boulanger, 2007).

### Les risques associés aux investissements en efficacité énergétique

- Les taux d'actualisation

Les taux d'actualisation reflètent les taux auxquels les individus escomptent les bénéfices et coûts futurs de leur opportunité d'investissement (Sanstad et al., 1995). Une particularité très importante du passage à l'acte lors d'investissements permettant des économies d'énergie réside dans le fait que les ménages leur appliquent des taux d'actualisation élevés. Ces taux d'actualisation sont plus élevés pour ce type d'investissement que pour les autres (Howarth et Sanstad, 1995). Ils accorderaient ainsi moins de valeur aujourd'hui aux bénéfices futurs liés à un investissement dans l'efficacité énergétique que pour tout autre investissement. De nombreuses études fournissent des estimations de ces taux d'actualisation. Une revue de la littérature a été faite sur le sujet par Sanstad et al. (1995). Si les taux d'actualisation pour un "investissement classique" sont autour des 10 %, le taux d'actualisation est toujours plus élevé dans le cas des investissements en efficacité énergétique. Sutherland (1991) montre que les taux implicites d'actualisation élevés sont principalement appliqués dans le cas des ménages à bas revenu. Hassett et Metcalf (1995) soulignent que ces taux d'actualisation sont quatre fois supérieurs dans le cas d'investissement en efficacité énergétique que pour les autres types d'investissement. Les ménages exigeraient donc, pour les équipements économes en énergie, des valeurs de retour sur investissement supérieures à celles qu'ils attendent de leurs autres investissements notamment à cause des risques perçus sur ces types d'investissement comme l'existence d'incertitudes.

- L'irréversibilité sous incertitude

Les dépenses d'investissement dans des nouvelles technologies sont affectées par la combinaison entre différentes sortes d'incertitude et par l'irréversibilité.

Premièrement, les dépenses en efficacité énergétique sont soumises à différents types d'incertitude comme : l'incertitude sur les gains énergétiques, l'incertitude sur les prix de l'énergie, l'incertitude sur les politiques publiques ou encore l'incertitude sur les prix des futurs produits et sur les coûts d'installation.

Les méthodes utilisées pour quantifier les gains liés aux économies d'énergie sont relativement imparfaites. Il est difficile d'évaluer les bénéfices procurés par les investissements en efficacité énergétique (Jakob, 2006). L'incertitude sur les prix de l'énergie est certainement la principale source

d'incertitude. En présence d'incertitude, d'une part, le ménage peut repousser le moment d'investir s'il fait l'hypothèse d'une possible baisse des prix de l'énergie. Cette baisse de prix rendrait en effet l'investissement non rentable ex-post (Hassett et Metcalf, 1993). D'autre part, un investissement profitable aujourd'hui, pourrait ne pas le devenir si les prix de l'énergie diminuent. L'incertitude sur les politiques publiques a aussi des effets sur le choix. Si les subventions et les crédits d'impôts augmentent rapidement dans le temps, le ménage peut vouloir attendre pour bénéficier davantage d'aides publiques même si le ratio coût-bénéfice est rentable aujourd'hui (Jaffe et Stavins, 1994c). Finalement, l'incertitude sur les prix futurs des équipements et des coûts d'installation peut avoir également un effet sur le moment de la décision d'investir (Pindyck, 1991).

Deuxièmement, les dépenses en technologies efficaces sont largement irréversibles. Ceci est principalement dû aux coûts irrécouvrables.

Troisièmement, ces investissements peuvent être retardés donnant ainsi au ménage une opportunité pour obtenir de nouvelles informations. Une décision d'investir peut alors être indéfiniment remise à plus tard. De nombreux auteurs ont travaillé sur ces risques associés aux investissements économiseurs d'énergie (Henry, 1974 ; Abel, 1983 ; McDonald et Siegel, 1986 ; Hassett et Metcalf, 1993 ; Dixit et Pindyck, 1994 ; Hubbard 1994 ; Abel et Eberly, 1996). Selon Henry (1974), "*A decision is considered irreversible if it significantly reduces for a long time the variety of choices that would be possible in the future*". Tandis que le ménage attend de nouvelles informations, il profite d'une opportunité d'investir, similaire à une option financière, en ce sens qu'il a la possibilité mais pas l'obligation d'investir. C'est ce que l'on appelle la valeur d'option de l'investissement. En revanche, lorsque cet agent réalise un investissement irréversible, il « tue » cette option (Dixit et Pindyck, 1994). Cela sous-entend qu'il renonce à la possibilité d'attendre de nouvelles informations qui pourraient affecter son niveau d'investissement le moment choisi. Cette perte de valeur d'option représente un coût d'opportunité pour l'agent qu'il doit nécessairement inclure dans son coût d'investissement. Ainsi, la règle de la valeur actuelle nette (c'est-à-dire qu'il est rentable d'investir lorsque la valeur d'une unité de capital est au moins égale à l'achat et aux frais d'installation) doit être changée.

Compte tenu de ces obstacles sur le marché et le risque associé aux investissements économiseurs d'énergie, les politiques publiques peuvent aider à surmonter ces défaillances du marché afin d'améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels existants. Toutefois, même si les modèles s'accordent sur l'efficacité des politiques, plusieurs comportements peuvent atténuer l'efficacité et l'efficience de ces dernières, comme l'effet d'aubaine et l'effet rebond.

### L'efficacité des politiques publiques face à l'effet d'aubaine et l'effet rebond

- L'effet d'aubaine et l'effet de contagion

Le premier effet qui peut concerner la mise en place de mesures financières est connu sous le nom d'effet d'aubaine. Il y a effet d'aubaine si un ménage qui bénéficie d'un avantage fiscal aurait eu, de toute façon, l'intention d'investir même si l'avantage n'avait pas été accordé. La littérature s'accorde sur l'estimation de l'ampleur de l'effet d'aubaine entre 50 et 92 %. Revelt et Train (1998) évaluent à 46 % l'effet d'aubaine des subventions sur l'adoption d'appareils efficaces énergétiquement. Malm (1996) évalue un effet d'aubaine de 89 % dans l'impact des subventions sur l'investissement en équipement de chauffage. Plus récemment, Grösche et Vance (2009) ont analysé les déterminants de la rénovation énergétique en Allemagne en 2005 en utilisant un modèle Logit emboîté et ont tenté de mesurer l'ampleur des effets d'aubaine. Ils définissent l'effet d'aubaine comme une situation dans laquelle le consentement à payer des ménages pour un investissement en efficacité énergétique dépasse le coût en l'absence d'intervention publique. Ils montrent qu'un tel effet survient dans 50 % des cas. Nauleau (2014) a estimé qu'en France, selon les années et les équipements installés, entre 40 et 85 % des bénéficiaires du CIDD auraient réalisé des travaux de rénovation thermique même en absence d'incitation fiscale. Cet effet dépend fortement de la date d'emménagement, du niveau de revenu et de la catégorie socio-professionnelle du ménage, mais il semble néanmoins décroître progressivement. Mauroux (2012) étudie plus spécifiquement l'effet d'un changement barème du CIDD en 2006 ciblé sur les nouveaux propriétaires d'un logement ancien (taux à 40 % au lieu de 25 %). Les résultats d'un modèle en différence de différences suggèrent que 90 % des ménages qui ont bénéficié de la majoration de taux après 2006 auraient installé un équipement éligible au CIDD même en l'absence de hausse du taux, suggérant un effet d'aubaine massif suite à cette réforme. Néanmoins, l'analyse de leurs dépenses (Daussin-Bénichou et Mauroux, 2014) indique que même si une majorité de ménages aurait installé un équipement CIDD même pour un taux de crédit d'impôt inférieur, ils ont néanmoins ajusté à la hausse leurs dépenses d'investissement, de 23 à 47 % en



moyenne, soit en installant des matériaux et équipements plus performants (effet qualité), soit en réalisant plus de travaux qu'initialement prévu (effet quantité). Même si l'existence de l'effet d'aubaine représente un coût pour l'État et limite l'efficacité des politiques, il peut aussi exister ce que l'on nomme des effets de contagion (Eto et al., 1995 ; Rosenow et Galvin, 2013). Ces effets sont liés au fait que des investissements supplémentaires peuvent être entrepris alors même que la politique n'avait pas pour objectif de les susciter. Même si peu d'études évaluent cet effet de contagion, des organismes comme le NYSERDA (2012) soulignent l'importance de ce phénomène.

- L'effet rebond

Finalement, même si les ménages investissent, cela ne signifie pas nécessairement qu'ils vont profiter de la totalité des gains énergétiques liés à leur investissement. Outre son rôle de frein, l'incertitude sur les gains énergétiques peut aussi être liée à ce que l'on nomme "l'effet rebond" (International Risk Governance Council, 2013). L'effet rebond correspond à la réaction (en termes de comportement) du ménage lors de l'introduction de nouvelles technologies efficaces. Ces réactions peuvent venir limiter les bénéfices financiers sur le long terme de ces investissements. La théorie économique suggère qu'une baisse de la demande et une diminution subséquente du coût d'utilisation de l'énergie peuvent conduire à un rebond de la demande. Cet effet rebond consiste en trois effets : directs, indirects et macroéconomiques. Dans le premier cas, le ménage va choisir d'utiliser plus d'énergie au lieu de profiter de gains financiers. De nombreuses études tentent d'évaluer cet effet rebond. Greening et Greene (2000) estiment qu'une augmentation de 100 % de l'efficacité énergétique mène à un effet rebond de 0 % à 50 %. Dans le deuxième cas, le ménage peut choisir de dépenser ses économies en achetant d'autres biens qui utilisent la ressource, comme des appareils électroménagers dans le cas de l'électricité (Sorrell, 2007 ; Sorrell et Dimitripoulos 2008 ; Sorrell et al. 2009). Drukman et al. (2011) évaluent l'effet de différentes mesures qui visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre en Grande-Bretagne. Ils évaluent un effet rebond total (direct et indirect) à 34 %. Dans le troisième cas, une diminution de la demande d'énergie résultant de l'amélioration de l'efficacité énergétique peut réduire le prix effectif de certains services énergétiques tels que le chauffage, et on peut donc s'attendre à une augmentation de la consommation de ces derniers, compensant ainsi une partie de la réduction prévue de la consommation d'énergie : c'est l'effet rebond direct (Khazzoom, 1980). Barket et al. (2007) examinent l'effet rebond macroéconomique au Royaume-Uni. Ils montrent que cet effet pour la période 2000-2010 est d'environ 11 %. Ils mettent aussi en évidence que si l'effet rebond existe, il n'est pas d'une ampleur assez significative pour empêcher la diminution des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, les résultats de leur étude renforcent l'argument selon lequel l'amélioration de l'efficacité énergétique pour les consommateurs et les producteurs, stimulée par des mesures d'incitation, conduira à des réductions significatives de la demande d'énergie et donc des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, même si l'effet rebond peut amoindrir l'efficacité des politiques énergétiques, son effet total sur la diminution de la consommation d'énergie reste à préciser.

*Agir sur la rénovation énergétique semble être une solution efficace. Toutefois, le taux de rénovation, observé ou prédit par les modèles, est assez faible et ne permettra pas d'atteindre les objectifs fixés par le gouvernement. Une des explications potentielles tient à l'existence du « paradoxe énergétique » car les investissements en efficacité énergétique sont différents des autres types d'investissement : les ménages font quasiment systématiquement abstraction d'opportunités d'investissements très attractives en termes de technologies énergétiques, avec des taux de rendement élevés. Dans un tel contexte et pour parvenir aux objectifs fixés, le gouvernement a mis en place ces dernières années de nombreuses politiques publiques. Mais, même si ces mesures ont permis de diminuer la consommation d'énergie par rapport à ce qu'elle aurait dû être en l'absence d'intervention de l'État, l'ensemble des modèles de prévision s'accorde sur le fait qu'il semble difficile de parvenir aux objectifs fixés. Par ailleurs, l'existence de l'effet d'aubaine et de l'effet rebond peut venir partiellement limiter l'efficacité et l'efficacité des politiques publiques. Toutefois, même si ces effets limitent les bénéfices des politiques publiques, la consommation d'énergie aurait été plus importante en l'absence de ces mesures.*

*Ainsi, une des solutions pour parvenir aux objectifs fixés consisterait à renforcer les réglementations et les incitations financières tout en instaurant de nouvelles mesures comme des réglementations pour les propriétaires bailleurs.*

Tableau 1 : Les politiques énergétiques en faveur du logement en France

Mesures	Statut	Type	Année départ
Taxe Carbone	Proposé (moyen/long terme)	Transversal avec des caractéristiques spécifiques du secteur	
Réglementations thermiques "RT 1974"	Terminé	Réglementations	1974
Limitez la température interne des maisons et logements (19°C)	En cours	Réglementations	1974
Subvention pour mise en conformité des logements OPAH	En cours	Financières	1978
Subvention pour mise en conformité des logements PALULOS	Terminé	Financières	1979
Projets de démonstration	En cours	Financières	1980
Subvention pour des audits	En cours	Financières	1980
Réglementations thermiques "RT 1982"	Terminé	Réglementations	1982
Réglementations thermiques "RT 1989"	Terminé	Réglementations	1989
Haute qualité environnementale	En cours	Information/Éducation	1990
Répartition individualisée des frais de chauffage	En cours	Réglementations	1991
Relatif à l'UE : Energy Performance des logements EPBD Recast (Directive 2010/31/EU) - Performances énergétiques minimales des chaudières	En cours	Réglementations	1994
Étiquettes énergétiques sur les appareils électroménagers	En cours	Législative/Informatrice	1995
Crédit d'impôt développement durable	En cours	Fiscale	1995
Crédit d'impôt pour les matériaux et les énergies renouvelables	Terminé	Fiscale	1996
Relatif à l'UE : Energy Performance des logements EPBD Recast (Directive 2010/31/EU) - Performances énergétiques minimales des chaudières	En cours	Réglementations	1998
Réduction de la TVA sur les investissements en efficacité énergétique	En cours	Fiscale	1999
Subventions d'équipement pour le bois	Terminé	Financières	1999
Normes minimales de rendement énergétique pour les réfrigérateurs et congélateurs	Terminé	Réglementations	1999
Subventions pour les équipements solaires	Terminé	Financières	2000
Réglementations thermiques "RT2000"	Terminé	Réglementations	2001
Centre d'information d'énergie Local (EIE)	En cours	Information/Éducation	2001
Relatif à l'UE : Energy Performance des logements EPBD Recast (Directive 2002/91/EC) - air conditionné et climatisation réversible	En cours	Réglementations	2002
ADEME campagne de sensibilisation d'économie d'énergie	En cours	Information/Éducation	2004
Information et campagne de publicité "pourquoi attendre"	Terminé	Information/Éducation	2004
Réglementations thermiques "RT 2005"	Terminé	Réglementations	2006
Relatif à l'UE : Energy Performance des logements EPBD Recast (Directive 2002/91/EC) - Diagnostic de performance énergétique	En cours	Réglementation/Information	2006
Certificat d'Économie d'Énergie	En cours	Financières	2006
Compte pour le développement durable	En cours	Financières	2007
Étiquette haute performance énergétique	En cours	Information/Éducation	2007
CO2-credits pour des projets des ménages	En cours	Financières	2007
Étude de faisabilité pour l'approvisionnement en énergie	En cours	Réglementation/Information	2008
EU-related : Energy Performance of Buildings (Directive 2002/91/EC) - Réglementation thermique pour les bâtiments existants "RT 2007"	En cours	Réglementations, information	2008
Exonération de la taxe foncière sur les bâtiments existants pour les ménages	En cours	Fiscale	2008
Eco-prêt à taux zéro	En cours	Financières	2009
Ciblage de l'aide pour l'achat de logements BBC	En cours	Financières	2009
Eco-prêt pour les logements sociaux	En cours	Financières	2009
Exonération de la taxe foncière sur les bâtiments existants pour les logements BBC	En cours	Fiscale	2009
Aide Scellier pour l'investissement locatif vers les logements BBC	Terminé	Fiscale	2011
Évaluation de la performance énergétique des copropriétés	En cours	Réglementation/Information	2012
EU-related : Energy Performance of Buildings EPBD Recast (Directive 2010/31/EU) - Réglementations thermiques "RT 2012"	En cours	Réglementations	2013
"One-stop-shop" pour la rénovation énergétique des habitations	En cours	Financières, Information/Éducation	2013
MURE II, 2014			



## Bibliographie

- Abel, A. B. (1983). "Optimal Investment under Uncertainty." *American Economic Review* 73(1): 228-233.
- Abel, A. B. and J. C. Eberly (1996). "Optimal investment with costly reversibility." *Review of Economic Studies* 63(217): 581-593.
- Ademe (2012). *Chiffres Clés du Bâtiment Édition 2012. Bâtiment, édition 2012.*
- Allibe, B. (2012). *Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français à long terme - Amélioration du réalisme comportemental et scénarios volontaristes.* EDF R&D, EHESS.
- Baker, P., R. Blundell, et al. (1989). "Modelling household energy expenditures using micro-data." *Economic Journal* 99(397): 720-738.
- Barker, T., P. Ekins, et al. (2007). "The macro-economic rebound effect and the UK economy." *Energy Policy* 35(10): 4935-4946.
- Boulanger, P. M. (2007). "Les barrières à l'efficacité énergétique " Reflets et perspectives de la vie économique Tome XLVI : 49-62.
- Brown, M. A. (2001). "Market failures and barriers as a basis for clean energy policies." *Energy Policy* 29(14)
- Callonnec, G., M.-L. Nauleau, et al. (2012). *MENFIS, an Energy-Economy Model to Assess Energy Savings Policies in the French Residential Sector.* 12th IAEE European Conference.
- Carlsmith, R. S., J. E. McMahon, et al. (1990). *Energy Efficiency : How Far Can We Go? Energy Conversion Engineering Conference, 1990. IECEC-90. Proceedings of the 25th Intersociety.*
- Charlier, D. and A. Risch (2012). "Evaluation of the impact of environmental public policy measures on energy consumption and greenhouse gas emissions in the French residential sector." *Energy Policy* 46(0): 170-184.
- Cunha-E-Sa, M. A. and A. B. Reis (2007). "The Optimal Timing of Adoption of a Green Technology." *Environmental and Resource Economics* 36(1): 35-55.
- Daussin-Benichou J-M. et Mauroux A., « Turning the heat up. How sensitive are households to fiscal incentives on energy efficiency investments? », Document de travail n° G2014-06, juillet 2014, INSEE.
- DeCanio, S. J. (1993). "Barriers within firms to energy-efficient investments." *Energy Policy* 21(9): 906-914.
- DeCanio, S. J. (1998). "The efficiency paradox : bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments." *Energy Policy* 25(5): 441-454.
- Dixit, A. K. and R. S. Pindyck (1994). *Investment Under Uncertainty*, Princeton University Press.
- Druckman, A., M. Chitnis, et al. (2011). "Missing carbon reductions? Exploring rebound and backfire effects in UK households." *Energy Policy* 39(6): 3572-3581.
- Dubin, J. A. and D. L. McFadden (1984). "An econometric analysis of residential electric appliance holdings and consumption." *Econometrica* 52(2): 345-362.
- Eto, J., S. Kito, et al. (1995). *Where did the money go? The cost and performance of the largest commercial sector DSM programs*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
- Garbacz, C. (1984). "Residential Electricity Demand : a Suggested Appliance Stock Equation." *The Energy Journal* 5(2): 37-62.
- Giraudet, L.-G., C. Guivarch, et al. (2011). "Comparing and Combining Energy Saving Policies: Will Proposed Residential Sector Policies Meet French Official Targets?" *Energy Journal* 32: 213-242.
- Golove, W. H. and J. H. Eto (1996). *Market Barriers to Energy Efficiency: A Critical Reappraisal of the Rationale for Public Policies to Promote Energy Efficiency*, Energy & Environment Division – L. Berkeley National Laboratory.
- Greening, L. A. and D. L. Greene (2000). "Energy efficiency and consumption--the rebound effect--a survey." *Energy Policy* 28(6/7): 389-401.
- Grösche, P. and C. Vance (2009). "Willingness to Pay for Energy Conservation and Free-Ridership on Subsidization : Evidence from Germany." *Energy Journal* 30(2): 135-153.
- Hassett, K. A. and G. E. Metcalf (1993). "Energy conservation investment: Do consumers discount the future correctly?" *Energy Policy* 21(6); (1995). "Energy tax credits and residential conservation investment : Evidence from panel data." *Journal of Public Economics* 57(2): 201-217.
- Henry, C. (1974). "Investment Decisions Under Uncertainty : The "Irreversibility Effect"." *American Economic Review* 64(5): 1006.
- Howarth, R. B. and A. H. Sanstad (1995). "Discount rates and energy efficiency." *Contemporary Economic Policy* 13(3): 101-109.
- Hubbard, R. G. (1994). "Investment Under Uncertainty : Keeping One's Options Open." *Journal of Economic Literature* 32(4): 1816-1831.

IEA (2007). mind the gap - Quantifying principal agent problems in energy efficiency.

International Risk Governance Council (2013). The rebound effect : Implications of consumer behavior for robust energy policies, A review of the literature on the rebound effect in energy efficiency and report from expert workshops.

Jaffe, A. B. and R. N. Stavins: (1994a). "The Energy Paradox and the Diffusion of Conservation Technology." *Resource and Energy Economics* 16(2): 91-122; (1994b). "The energy-efficiency gap What does it mean?" *Energy Policy* 22(10): 804-810; (1994c). "Energy-efficiency investments and public policy." *Energy Journal* 15(2): 43-65.

Jakob, M. (2006). "Marginal costs and co-benefits of energy efficiency investments : The case of the Swiss residential sector." *Energy Policy* 34(2): 172-187.

Khazzoom, J. D. (1980). "Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances." *The Energy Journal* 1(4): 21-40.

Koomey, J. G. (1990). *Energy Efficiency in New Office Buildings : An Investigation of Market Failures and Corrective Policies*, University of California, Berkeley

Malm, E. (1996). "An actions-based estimate of the free rider fraction in electric utility DSM programs." *Energy Journal* 17(3): 41.

McDonald, R. and D. Siegel (1986). "The value of waiting to invest." *Quarterly Journal of Economics* 101(4)

Mauroux, A. « Le crédit d'impôt dédié au développement durable : une évaluation économétrique », *Economie et Prévision*, à paraître.

Murtishaw, S. and J. Sataye (2006). *Quantifying the Effect of the Principal-Agent Problem on US Residential Energy Use*. University of California, Berkeley, Environmental Energy Technologies Division.

Nauleau M-L. « Free-Riding on Tax Credits For Home Insulation in France; An Econometric Assessment Using Panel Data », *Energy Economics*, volume 46, novembre 2014.

Nesbakken, R. (1999). "Price sensitivity of residential energy consumption in Norway." *Energy Economics* 21(6) ; (2001). "Energy Consumption for Space Heating : A Discrete-Continuous Approach." *Scandinavian Journal of Economics* 103(1).

Newell, R. G. and W. A. Pizer (2008). "Carbon mitigation costs for the commercial building sector : Discrete-continuous choice analysis of multifuel energy demand." *Resource & Energy Economics* 30(4): 527-539.

NYSERDA (2012). « New York's System Benefits Charge programs evaluation and status report », Final Report.

Penot, L., Zobiri, R. (2013), « Les déterminants de la température de chauffage adoptée par les ménages », CGDD, Etudes et documents n° 83

Pindyck, R. S. (1991). "Irreversibility, Uncertainty, and Investment." *Journal of Economic Literature* 29(3)

Quinet A. (2008) « La valeur tutélaire du carbone », La documentation française, Centre d'Analyse Stratégique

Revelt, D. and K. Train (1998). "Mixed logit with repeated choices : households' choices of appliance efficiency level." *Review of Economics & Statistics* 80(4): 647-657.

Rosenow, J. and R. Galvin (2013). "Evaluating the evaluations : Evidence from energy efficiency programmes in Germany and the UK." *Energy and Buildings* 62(0): 450-458.

Sanstad, A. H. and R. B. Howarth (1994). "Normal markets, market imperfections and energy efficiency." *Energy Policy* 22(10): 811-818.

Sanstad, A. H., C. Blumstein, et al. (1995). "How high are option values in energy-efficiency investments?" *Energy Policy* 23(9): 739-743.

Sorrell, S. (2007). *The rebound effect : An assessment of evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*, UK Energy Research Centre report.

Sorrell, S. and J. Dimitropoulos (2008). "The rebound effect : Microeconomic definitions, limitations and extensions." *Ecological Economics* 65(3): 636-649.

Sorrell, S., J. Dimitropoulos, et al. (2009). "Empirical estimates of the direct rebound effect : A review." *Energy Policy* 37(4): 1356-1371.

Sutherland, R. J. (1991). "Market barriers to energy-efficiency investments." *Energy Journal* 12(3): 15.

Vaage, K. (2000). "Heating technology and energy use : a discrete/continuous choice approach to Norwegian household." *Energy Economics* 22(6): 649.

van Soest, D. P. and E. H. Bulte (2001). "Does the Energy-Efficiency Paradox Exist? Technological Progress and Uncertainty." *Environmental and Resource Economics* 18(1): 101-112.

## Le rôle clé des logements dans la transition énergétique : étude comparative des 4 trajectoires du Débat national pour la transition énergétique<sup>17</sup>

Esther Finidori, Alain Grandjean  
Carbone 4

Responsable de 30 % de la consommation énergétique finale et de 25 % des émissions de gaz à effet de serre, le secteur du résidentiel constitue un axe structurant de la stratégie de transition énergétique française. Il a ainsi fait l'objet d'une étude sectorielle dans le cadre du Débat national qui a élaboré quatre trajectoires pour envisager la diversité des stratégies de transition énergétique possibles. L'analyse de ces trajectoires montre que, quelle que soit la stratégie, une politique ambitieuse doit être mise en place dans le résidentiel, reposant sur des rénovations lourdes du bâti, l'amélioration de l'efficacité des équipements et une optimisation des consommations d'électricité spécifique. Ainsi, sur la période 2010-2050, la rénovation devra porter sur au moins 350 000 logements par an en moyenne, avec des gains thermiques associés supérieurs à 40 % ; les équipements de chauffage fioul et GPL disparaîtront et l'efficacité des équipements de chauffage et d'eau chaude sanitaire sera améliorée.

Les trajectoires diffèrent néanmoins fortement en fonction de l'ampleur du programme de rénovations, des vecteurs énergétiques privilégiés, de l'augmentation de l'efficacité énergétique des équipements et de l'évolution des consommations d'électricité spécifique. Ces divergences traduisent autant de différences dans les stratégies possibles.

Le rôle du secteur résidentiel est déterminant pour atteindre l'objectif de division par 4 des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050. Il présente également des enjeux économiques importants, notamment pour le pouvoir d'achat des ménages et l'emploi.

L'étude propose une analyse pédagogique, transparente et neutre des 4 trajectoires de la transition énergétique définies pendant le DNTE (voir l'encadré démarche). Ces exercices de prospective énergétique permettent d'**explorer les futurs possibles** en termes de demande et de production énergétique. Ils permettent de se projeter dans un avenir incertain, en **illustrant les choix stratégiques** qui se présentent et les contraintes physiques à respecter à différents horizons temporels. Ils n'ont pas pour objectif de prédire l'avenir, mais ils permettent d'illustrer les futurs possibles et d'alimenter le débat public. L'exercice a porté sur l'ensemble des secteurs économiques, et particulièrement sur le logement qui joue un rôle clé dans la transition énergétique.

### Les 4 trajectoires du DNTE

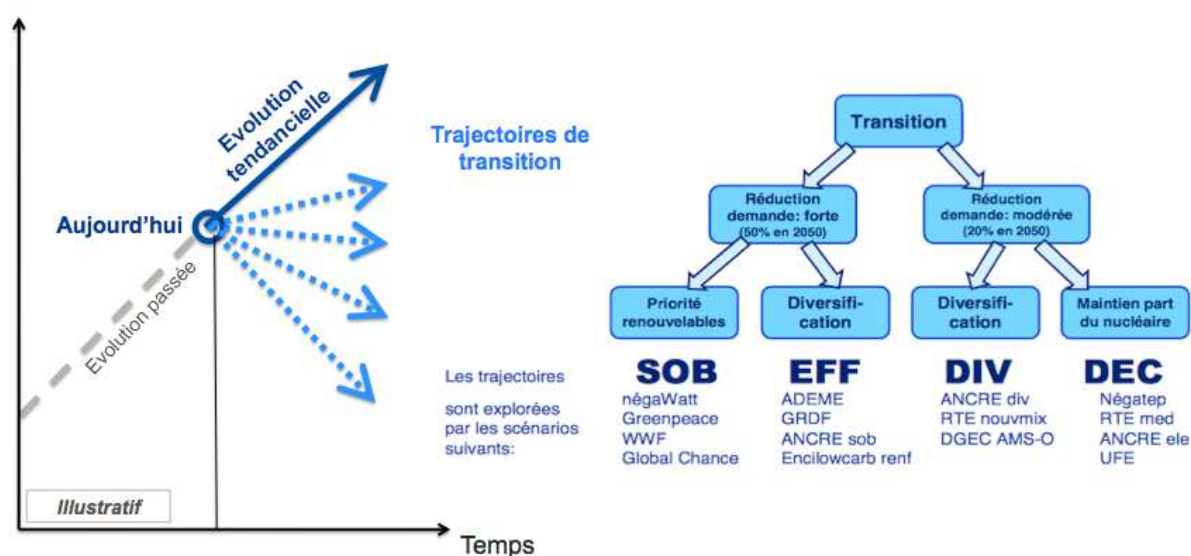
Le Débat National sur la Transition Énergétique a étudié quatre grandes trajectoires énergétiques pour la France à horizon 2050, représentatives de la variété des scénarios existants regroupés par famille (voir schéma figure 1) :

- **La trajectoire « décarboné »** - DEC, inspirée des scénarios Negatep, RTE médian, Ancre ELE et UFE, prévoit une demande énergétique en légère baisse à 2050, avec une croissance forte de la demande électrique. Cette trajectoire repose sur la substitution des énergies fossiles par la biomasse et l'électricité nucléaire.

<sup>17</sup> Cet article est issu des travaux réalisés par Carbone 4 pour le compte du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, publiés dans 'Étude des 4 trajectoires du Débat national pour la transition énergétique' (références en fin d'article).

- **La trajectoire « diversité »** - DIV, inspirée des scénarios ANCRE DIV, RTE nouveau mix et DGEC AMS-O, prévoit une réduction modérée de la demande énergétique et une diversification du mix énergétique.
- **La trajectoire « efficacité »** - EFF, inspirée des scénarios ADEME, GRDF, ANCRE Sob et Encilowcarb renforcé, prévoit une baisse de la demande énergétique importante et une diversification du mix énergétique. A horizon 2030, la trajectoire EFF vise à tirer, de manière ambitieuse mais réaliste, le potentiel maximum des économies d'énergie et des énergies renouvelables.
- Enfin, **la trajectoire « sobriété »** - SOB, inspirée des scénarios négaWatt, Greenpeace, WWF et Global Chance, ambitionne simultanément la sortie du nucléaire et des énergies fossiles. Cet objectif est atteint grâce à une réduction forte de la demande énergétique et au développement des énergies renouvelables.

Figure 1 : Synthèse des 4 trajectoires de la transition énergétique



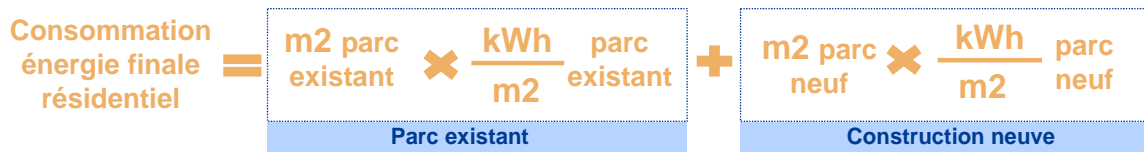
Source : Carbone 4, d'après le Rapport du GT2 du DNTE [6]

**Les quatre trajectoires sont promotrices d'une action volontaire en faveur de la transition énergétique et de la lutte contre le changement climatique.** Elles donnent donc des indications sur les leviers à actionner (nombre de rénovations, évolution de l'efficacité des équipements, etc) et sur les objectifs « intermédiaires » que la France peut se fixer pour atteindre ses objectifs énergétiques et climatiques, tant en termes de politiques sectorielles que de politique énergétique.

### Des visions contrastées de l'évolution de la demande énergétique dans les logements

La consommation d'énergie finale dans le secteur résidentiel peut être décomposée comme étant égale au produit des surfaces de logements et des consommations énergétiques moyennes par unité de surface (figure 2). Les exercices de prospective énergétique détaillent généralement leur analyse pour différencier le parc neuf (construit sur la période 2010-2050) et le parc ancien (construit avant 2010). L'analyse du parc ancien est également généralement segmentée en fonction du type de logement (maisons individuelles, logements collectifs, logement social) et de l'année de construction, les logements construits avant 1975 (avant la mise en place de réglementations thermiques) ayant en moyenne des performances thermiques inférieures à ceux construits après cette date.

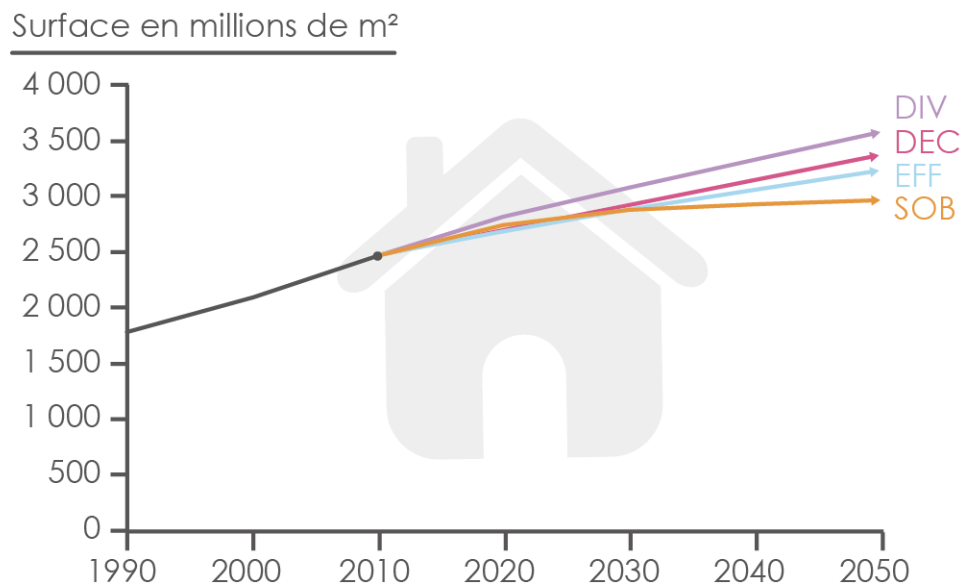
**Figure 2 : Schéma de principe : modélisation prospective des consommations d'énergie dans le secteur résidentiel**



Source : Carbone 4 [5]

L'évolution des surfaces des logements est dimensionnée par le rythme de construction des logements neufs et de destruction des logements existants, et par l'évolution des surfaces moyennes de logement par personne. La surface totale de logements à horizon 2050 diffère significativement entre les 4 trajectoires, se situant entre 3 et 3,6 milliards de m<sup>2</sup> (pour 2,5 milliards en 2010). L'impact de cette variation sur la demande d'énergie finale est de l'ordre de 2 Mtep en 2050.

**Figure 3 : Évolution de la surface des résidences principales de 1990 à 2050 dans les 4 trajectoires du DNTE**



Source : Analyse Carbone 4 [5]

### La rénovation thermique, axe prioritaire, compte tenu de la part des logements existants

**60 % à 70 % du parc de logements de 2050 étant déjà construits**, la réduction des consommations d'énergie du parc résidentiel existant est un axe prioritaire de la transition énergétique. Les 4 trajectoires envisagent un programme de rénovation thermique du parc résidentiel ambitieux sur la période 2010-2050. Ces programmes diffèrent sur trois critères principaux :

- le nombre de logements rénovés par an ;
- la priorisation des logements à rénover, en fonction de la date de construction du logement, de sa note énergétique et du type d'énergie utilisée pour le chauffage ;

- les gains attendus sur les consommations de chauffage, traduisant des rénovations plus ou moins lourdes du bâti.

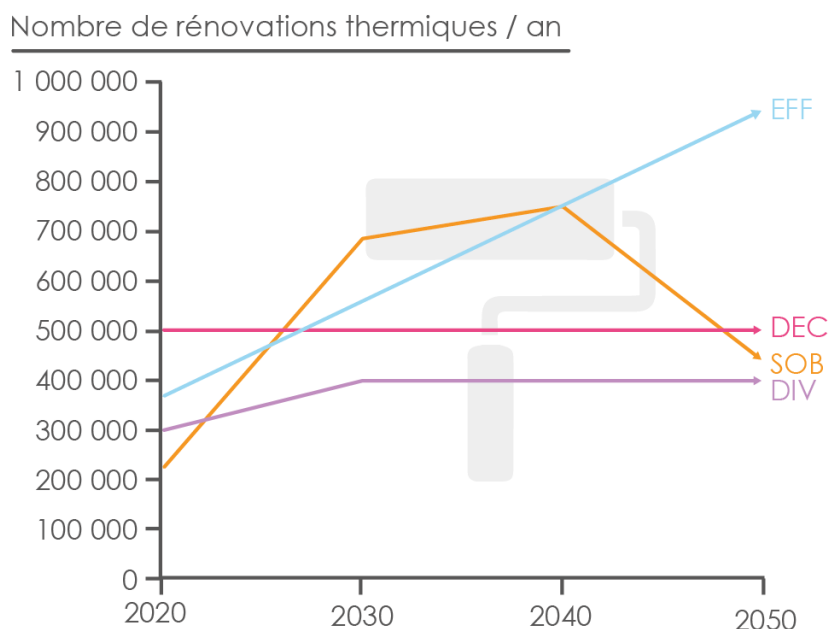
La **trajectoire DEC** propose la rénovation de 500 000 logements par an, avec des gains sur l'énergie de chauffage de l'ordre de 50 %. La rénovation concernerait prioritairement les logements chauffés au fioul et au gaz (67 % du parc ancien), plus énergivores en moyenne que les logements chauffés à l'électricité (dont les dates de construction sont plus récentes). Dans cette trajectoire, tout le parc de logements chauffés avec des énergies fossiles est rénové en 2050, et le chauffage au fioul a été abandonné.

La **trajectoire DIV** propose la rénovation de 350 000 logements par an en moyenne, avec des gains moyens sur l'énergie de chauffage de l'ordre de 50 %. Dans cette trajectoire, 55 % du parc de logements anciens est rénové à horizon 2050. Cette trajectoire propose également de développer fortement l'apport de chaleur par réseau (réseaux de chaleur, alimentés par l'énergie nucléaire ou la biomasse) et grâce aux énergies renouvelables directes (bois-énergie, solaire basse température).

La **trajectoire EFF** propose un objectif de rénovation thermique plus ambitieux avec la rénovation de 650 000 logements par an en moyenne sur la période 2010-2050. D'ici à 2050, 100 % du parc de logements anciens est rénové. La trajectoire EFF prévoit également une diversification des sources d'énergie, avec par exemple un fort développement des pompes à chaleur.

Enfin, la **trajectoire SOB** propose de rénover 600 000 logements par an en moyenne sur la période 2010-2050, avec une forte réduction des consommations d'énergie de chauffage, de 65 % en moyenne. Cette trajectoire préconise en effet de réaliser des rénovations lourdes en une seule fois et au « bon niveau » (c'est-à-dire pour atteindre 50 kWhep/m<sup>2</sup>/an chauffage) pour exploiter au maximum le gisement d'économies d'énergie dans le résidentiel. Dans cette trajectoire, la rénovation lourde des logements énergivores construits avant 1975 est prioritaire et est lancée rapidement. Au total, plus de 80 % du parc de logements existants est rénové à horizon 2050.

**Figure 4 : Nombre de rénovations thermiques annuelles dans le résidentiel envisagées par les 4 trajectoires du DNTE**



Source : Analyse Carbone 4 [5]

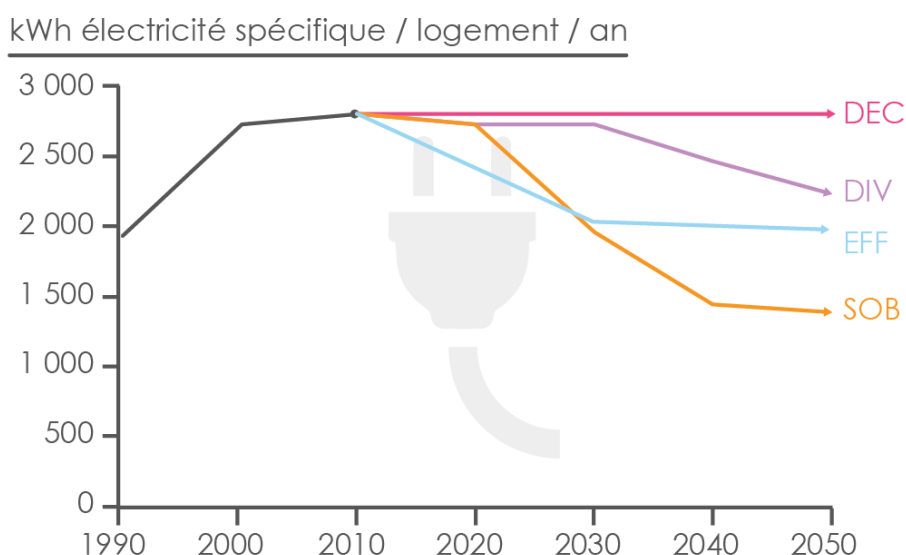


## Autres leviers d'action

Afin de réduire les consommations d'énergie des logements, les 4 trajectoires considèrent également une amélioration de l'efficacité des équipements (chauffage, eau chaude sanitaire, cuisson, climatisation), et une diffusion des technologies performantes (pompes à chaleur, chaudières biomasse, chauffe-eau thermodynamiques, etc.). Dans les trajectoires DIV et EFF, ce levier permet par exemple de réduire les consommations d'énergie de l'ordre de 10 Mtep à horizon 2050.

Le dernier levier actionné par les 4 trajectoires est la maîtrise ou la réduction des consommations d'électricité spécifique<sup>18</sup>. En effet, les consommations d'électricité spécifique du secteur résidentiel ont augmenté de 89 % sur la période 1990-2010 (et de 47 % par logement), et représentent 15 % des consommations d'énergie finale du secteur résidentiel en 2010. Les 4 trajectoires considèrent des hypothèses très différentes sur l'évolution des consommations d'électricité spécifique, d'une stabilisation au niveau actuel (DEC) à une baisse volontariste de 50 % par rapport à 2010 (SOB). La réduction des consommations d'électricité spécifique nécessite par exemple la généralisation d'équipements d'électroménager performants (typiquement les équipements avec une note énergétique A++ aujourd'hui), la diffusion de technologies d'éclairage efficaces, une réduction de la consommation des appareils en veille et une maîtrise des nouveaux usages.

**Figure 5 : Évolution de la consommation d'électricité spécifique des logements de 1990 à 2050 dans les 4 trajectoires du DNTE**



Source : Analyse Carbone 4 [5]

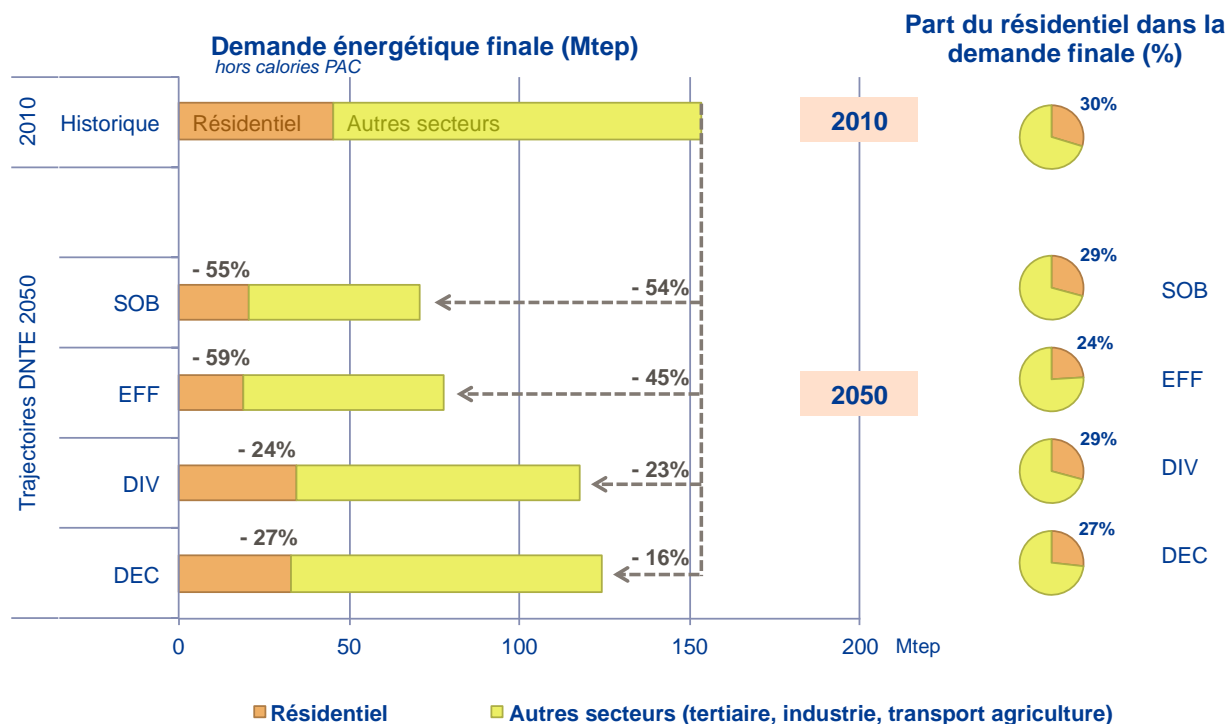
## Une participation contrastée du secteur résidentiel dans la réduction de la demande d'énergie finale

Les quatre trajectoires du DNTE affichent des niveaux contrastés de réduction de la demande énergétique dans les logements, de -25 % à -60 % en 2050 par rapport à 2010. Cette baisse se traduit par des consommations moyennes dans le résidentiel (tous usages) par m<sup>2</sup> de surface comprises entre 70 et 110 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an en 2050 (hors calories des PAC). Dans les trajectoires SOB et EFF, qui visent au global une forte réduction de la demande énergétique, le logement représente ainsi environ 20 Mtep en 2050 (contre 45 Mtep en 2010). Dans les trajectoires DIV et DEC, dans lesquelles la réduction de la demande énergétique est plus modérée, les consommations énergétiques des

<sup>18</sup> L'électricité spécifique désigne l'électricité utilisée pour les services qui ne peuvent être rendus que par l'électricité : éclairage, fonctionnement des appareils ménager blancs (lave-linge, lave-vaisselle, réfrigérateur, etc.), bruns (audiovisuel et multimédia) et gris (micro-informatique). La consommation d'électricité spécifique n'est pas traitée dans la réglementation thermique 2012 (à l'exception de l'éclairage et de la ventilation).

logements représentent environ 33 Mtep en 2050. Dans les quatre trajectoires du DNTE, les consommations des logements continuent à représenter 25 à 30 % de la demande finale en 2050 (figure 6).

**Figure 6 : Évolution de la demande énergétique finale totale et du secteur résidentiel sur la période 2010-2050 dans les 4 trajectoires du DNTE, et part du résidentiel dans la consommation totale**  
(hors calories des pompes à chaleur, hors consommations non énergétiques)



Lecture du graphique : de 2010 à 2050, la consommation d'énergie finale totale baisse de 23 % dans la trajectoire DIV ; en 2050 le secteur résidentiel représente 29 % de la demande finale totale, et la consommation d'énergie finale dans le secteur résidentiel a baissé de 24 % par rapport à 2050.

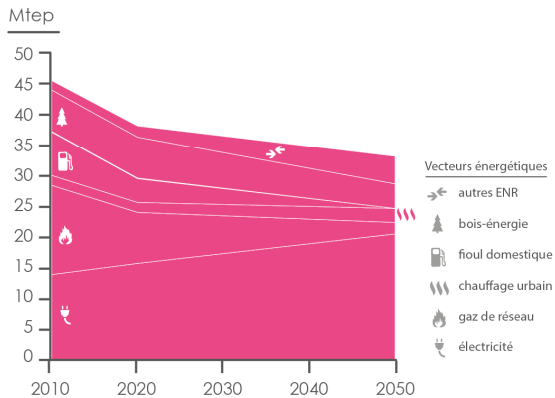
Source : Analyse Carbone 4 élaborée à partir de l'étude [5]

### Un impact contrasté sur les sources d'énergie

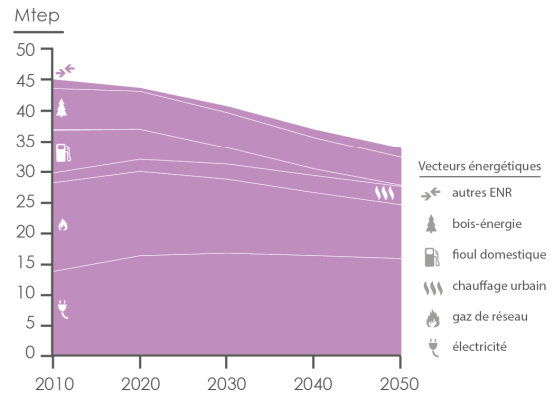
Le mix énergétique final du résidentiel en 2050 varie également en fonction des trajectoires, du fait de priorisations différentes sur la pénétration des différentes énergies (figure 7). L'électricité représente par exemple 32 % du mix en 2050 dans la trajectoire SOB, contre 62 % dans la trajectoire DEC.

**Figure 7 : Évolution de la demande finale énergétique dans le résidentiel**  
(hors calories air, eau et sol des pompes à chaleur)

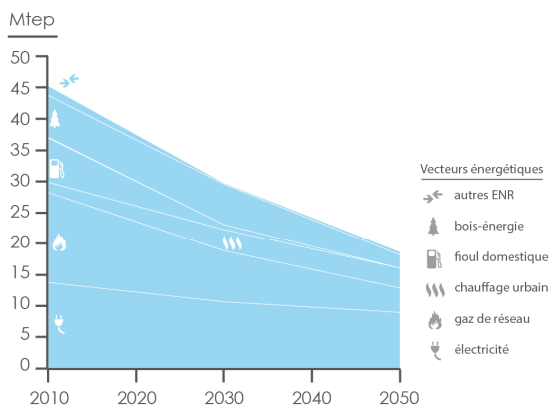
Demande finale résidentiel : trajectoire DEC



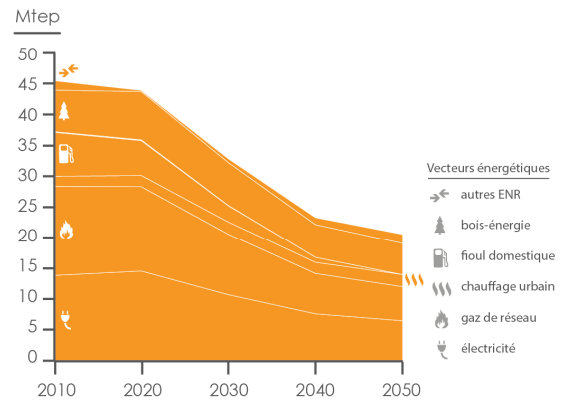
Demande finale résidentiel : trajectoire DIV



Demande finale résidentiel : trajectoire EFF



Demande finale résidentiel : trajectoire SOB



Source : Analyse Carbone 4 [5]

### Des choix stratégiques nécessaires pour orienter la transition énergétique

L'analyse permet de mettre en avant des divergences fortes de vision entre les 4 trajectoires. Une réduction de l'ordre de -50 % des consommations nécessite en effet de maîtriser l'augmentation de la surface des logements, de réduire les consommations d'électricité spécifique et de lancer un programme ambitieux de rénovations thermiques lourdes des logements. Ces divergences font ressortir la **nécessité d'effectuer des choix stratégiques d'orientation** pour la transition énergétique. Certains de ces choix doivent s'opérer à court terme, compte-tenu du temps nécessaire au système énergétique pour évoluer et des objectifs ambitieux à atteindre en 2050.

### Encadré : La démarche

L'Étude des 4 trajectoires du Débat national pour la transition énergétique' a été réalisée sur une période de trois mois début 2014 par Carbone 4, cabinet de conseil en stratégie spécialisé sur l'énergie et le climat. Ce travail a été commandité par le MEDDE et le comité de pilotage a réuni le CGDD, la DGEC, le CGSP, l'ADEME et la DG Trésor.

Le travail d'analyse est basé sur les rapports publiés par le DNTE (et en particulier les rapports des groupes 2 et 4), sur les analyses produites par le groupe des experts du DNTE et sur les publications des scénarios qui incarnent les trajectoires. Des réunions de travail ont été organisées avec les porteurs de scénarios, afin de pouvoir approfondir la compréhension des scénarios et de collecter certaines variables clés complémentaires. Enfin, une relecture critique du rapport a été effectuée par les membres du comité de pilotage et par les porteurs de scénarios ayant été sollicités dans le cadre de cette étude.

L'étude comparative complète est disponible sur le site internet du MEDDE :

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports-au-Conseil-national-du.html>

### Bibliographie

[1] **ADEME**, L'exercice de prospective de l'ADEME, « Visions 2030-2050 », disponible sur : <http://www2.ademe.fr>

[2] **ANCRE**, Scénarios de l'ANCRE pour la transition énergétique, Rapport 2013, disponible sur : <http://www.allianceenergie.fr/>

[3] **Carbone 4**, Maîtrise de la demande énergétique dans le bâtiment résidentiel. Un grand programme de rénovation. Octobre 2012

[4] **Carbone 4**, Enjeux énergétiques et maîtrise de la demande dans le bâtiment résidentiel. Mai 2012

[5] **Carbone 4**, Étude des 4 trajectoires du DNTE, Une vision pédagogique des 4 trajectoires étudiées dans le cadre du Débat National sur la Transition Énergétique, Février 2014

[6] **DNTE**, Rapport du Groupe de travail du Conseil National du Débat National sur la Transition Énergétique, Groupe n°2 : « Quelle trajectoire pour atteindre le mix énergétique en 2025 ? Quels types de scénarios possibles à horizons 2030 et 2050, dans le respect des engagements climatiques de la France ? »

[7] **NegaWatt**, Scénario négaWatt 2011-2050, Hypothèse et méthode, Rapport technique, Hypothèses, méthodes et résultats. Mai 2014, disponible sur : <https://www.negawatt.org/>

[8] Sauvons le Climat, Diviser par quatre les rejets de CO<sub>2</sub> dus à l'énergie : le scénario Negatep. Claude Acket et Pierre Bacher, révision A2 janvier 2012, disponible sur : [www.sauvonsleclimat.org](http://www.sauvonsleclimat.org)

## Les déterminants de la température de chauffage des logements : entre consensus et incertitudes

Dimitri Fuk Chun Wing,  
CGDD/SEEIDD

Avec 66 % des consommations énergétiques du parc résidentiel en France, le chauffage est l'usage le plus consommateur d'énergie dans ce secteur et représente donc un important levier d'économies d'énergie. La température des logements représente une bonne approximation des niveaux de consommations énergétiques, sachant qu'en moyenne une baisse de 1°C de la température des logements induit une baisse de 7 % de la consommation.

Or les déterminants de la température de chauffage des logements ne font pas tous consensus au sein de la littérature et leur rôle n'est pas toujours connu avec précision, ce qui constitue une difficulté pour la définition de politiques publiques adaptées.

Afin d'apporter des éléments d'éclairage, le CGDD a mené des travaux économétriques sur les principaux déterminants généralement évoqués dans la littérature. Les résultats mettent en évidence plusieurs variables impactant les niveaux de température telles que le type de chauffage (collectif ou individuel), l'énergie de chauffage (combustibles ou électricité), la date de construction du logement ou encore la zone climatique. En revanche, les effets du niveau de revenu, de l'âge des occupants, du type de logement (individuel ou collectif) sont plus incertains.

Analyser les comportements de chauffage des ménages permet de proposer des solutions adaptées afin d'améliorer le confort, mais aussi de diminuer les consommations énergétiques dans les logements.

Les travaux économétriques réalisés pour expliquer les températures de chauffage adoptées par les ménages dans leurs logements, ont pour objectif de mieux comprendre les déterminants des températures adoptées par les ménages<sup>19</sup>. Ils s'appuient sur une enquête réalisée par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)<sup>20</sup>. Ils apportent un éclairage complémentaire sur la significativité de certains déterminants évoqués dans la littérature, sans pour autant toujours pouvoir trancher.

### Convergences et divergences relevées dans la littérature

S'il existe un relatif consensus pour définir certaines variables comme déterminantes pour expliquer les températures dans les logements, des divergences apparaissent sur certains points.

Parmi les références bibliographiques examinées<sup>21</sup>, un consensus existe pour dire que la date de construction du logement impacte le niveau de température. Ce dernier aurait tendance à être plus élevé dans les logements les plus récents. Certains paramètres sont plus déterminants que d'autres : il y a ainsi un consensus sur le rôle joué par le type de logement (individuel ou collectif) ou la superficie du logement. En revanche, le lien entre le type de chauffage et le niveau de température ne fait pas consensus. Concernant les caractéristiques des ménages, le cycle de vie de l'habitant est souvent référencé comme ayant un impact sur le niveau de température. L'âge et le revenu, qui varient tout au long du cycle de vie, peuvent être des facteurs explicatifs à ces variations de températures. Selon certains auteurs, la structure du ménage apparaît également comme particulièrement significative.

<sup>19</sup> Cet article restitue les travaux menés par Lucile Penot-Antoniou et Rym Zobiri en 2013, « Les déterminants de la température de chauffage adoptée par les ménages », Etudes et documents n°83, MEDDE CGDD, avril 2013.

<sup>20</sup> Campagne Nationale Logements réalisée entre 2003 et 2005 par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)

<sup>21</sup> Voir bibliographie

## Les températures relevées par enquête

Les travaux économétriques réalisés s'appuient sur une enquête menée dans le cadre de la campagne nationale logements par l'OQAI, entre le 1<sup>er</sup> octobre 2003 et le 21 décembre 2005<sup>22</sup>. Les données ont été collectées auprès d'un échantillon de 567 ménages en France métropolitaine. L'étude portant sur les températures de chauffage adoptées par les ménages, seuls les logements enquêtés durant la période de chauffe, du mois d'octobre au mois d'avril, sont pris en compte. L'étude s'appuie donc sur un échantillon de 373 logements.

Les températures sont enregistrées dans les trois pièces à vivre du logement : la chambre, la cuisine et le séjour. Tous les logements ne possèdent pas toujours ces trois types de pièces, d'où les effectifs différents pour chaque pièce. Les températures enregistrées ont été relevées toutes les 10 minutes pendant la semaine d'enquête.

La température moyenne est légèrement supérieure à 19°C dans la chambre et la cuisine (tableau 1). Elle est supérieure de plus de 1,5°C dans le séjour. Les températures maximales sont élevées, à plus de 25°C.

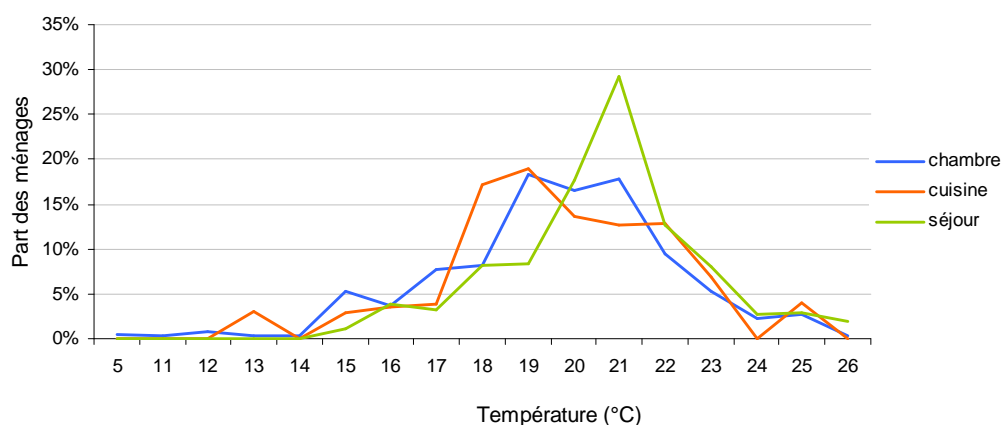
**Tableau 1 : Températures de chauffage par pièce**

	Effectif	Température moyenne (°C)	Température minimale (°C)	Température maximale (°C)
Chambre	308	19,5	5,4	25,5
Cuisine	92	19,5	12,5	24,9
Séjour	263	20,6	14,9	25,5

Source : OQAI, calcul CGDD

La température la plus souvent enregistrée (le mode) diffère d'une pièce à l'autre (graphique 1). Dans la cuisine et dans la chambre le mode de température se situe à 19°C avec respectivement 19 % et 18 % des ménages, et la moitié des ménages fixe une température supérieure à 19°C dans ces deux pièces. Dans le séjour, le mode se trouve à 21°C avec près de 30 % des ménages et 75 % des ménages chauffent à plus de 19°C dans cette pièce. Ces écarts peuvent s'expliquer par le fait que les ménages passent habituellement plus de temps dans le séjour que dans la chambre ou la cuisine.

**Graphique 1 : Répartition des températures adoptées par les ménages**



Source : OQAI, calcul CGDD

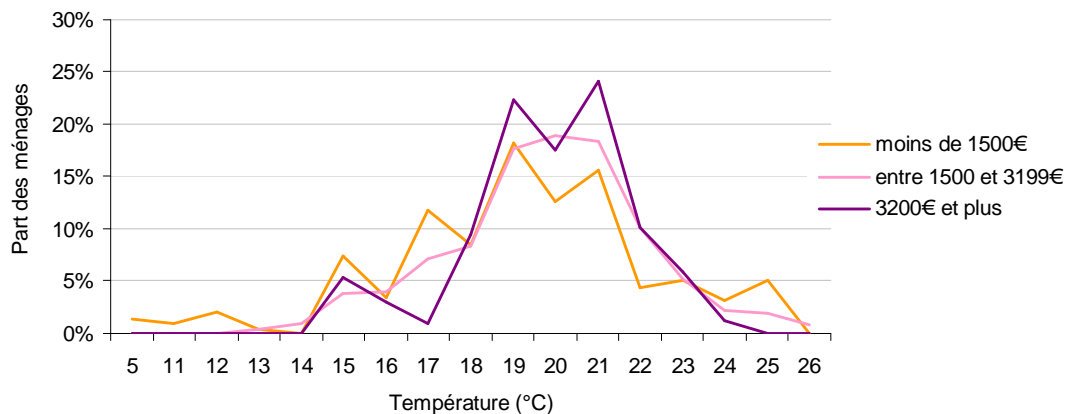
<sup>22</sup> À noter que l'objectif premier de l'enquête OQAI était de dresser un état de la qualité de l'air intérieur du parc de logements français. La température a été relevée en tant que facteur explicatif potentiel de certaines situations de pollution.



## Températures adoptées suivant les caractéristiques des ménages

Plus le ménage est aisé, plus la température de son logement a tendance à être élevée. Dans la cuisine, si 60 % des ménages ayant un revenu mensuel inférieur à 1 500 € se chauffent à moins de 20°C, ils ne sont plus que 45 % lorsque le revenu mensuel dépasse 3 200 €. Le même effet revenu est enregistré dans la chambre et le séjour.

**Graphique 2 : Température de chauffage dans la chambre par tranche de revenu mensuel des ménages**



Source : OQAI, calcul CGDD

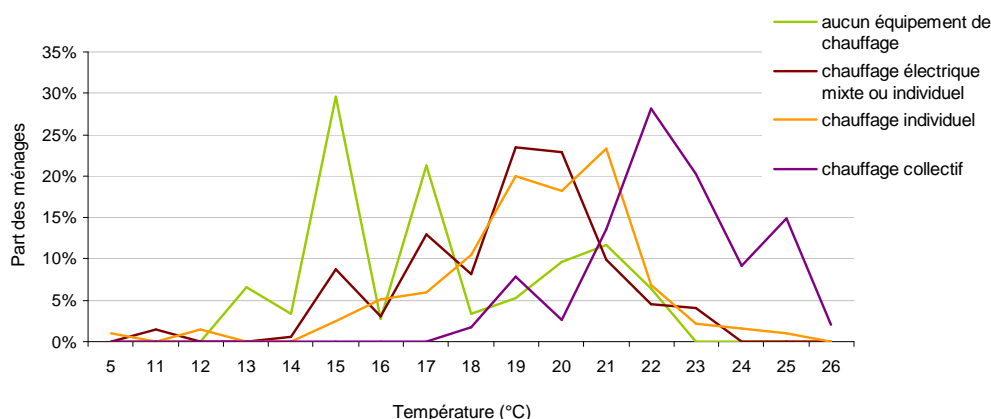
Il ne semble pas y avoir de relation monotone entre l'âge et la température. Les personnes de plus de 77 ans se chauffent en grande majorité à plus de 19°C dans la chambre et le séjour (respectivement 82 % et 95 %). Ce sont les classes d'âge comprises entre 48 et 67 ans qui dépassent le moins souvent ce niveau de température. Chaque tranche d'âge peut avoir des raisons différentes de se chauffer à plus de 19°C : les jeunes parce qu'ils passent beaucoup de temps dans leurs chambres, les personnes âgées car elles sont plus sensibles au froid, et les tranches d'âge restantes en présence d'enfants au sein du ménage.

## Températures adoptées suivant les caractéristiques des logements

Plus la date de construction du logement est récente, plus la part des ménages qui se chauffent à plus de 19 °C est importante. C'est le cas pour 84 % des ménages qui chauffent leur séjour à plus de 19°C dans un logement construit après 1974. Ils sont respectivement 63 % et 57 % dans la cuisine et dans la chambre. Dans les logements construits entre 1949 et 1974, ils sont 73 % à se chauffer au-dessus de 19°C dans le séjour. Enfin, dans les logements construits avant 1949, ils sont respectivement 69 %, 44 % et 33 % à se chauffer à plus de 19°C dans le séjour, la chambre et la cuisine.

La température de chauffage adoptée par les ménages varie également suivant l'équipement de chauffage. En présence d'un chauffage collectif, le coût de la consommation énergétique est souvent supporté par l'ensemble de la copropriété, ce qui n'incite pas à limiter la température du logement, à la différence d'un logement équipé d'un chauffage individuel, pour lequel le ménage est facturé en fonction de ses propres consommations. Dans chaque pièce, plus de 90 % des ménages possédant un chauffage collectif se chauffent à plus de 19°C. Ces pourcentages sont compris entre 30 % et 70 % lorsqu'un système de chauffage individuel est installé. Par ailleurs, près de 70 % des ménages ne possédant pas de chauffage central se chauffent à une température inférieure à 19°C dans leurs chambres.

**Graphique 3 : Température de chauffage de la chambre par type de chauffage**



Source : OQAI, calcul CGDD

### L'analyse économétrique

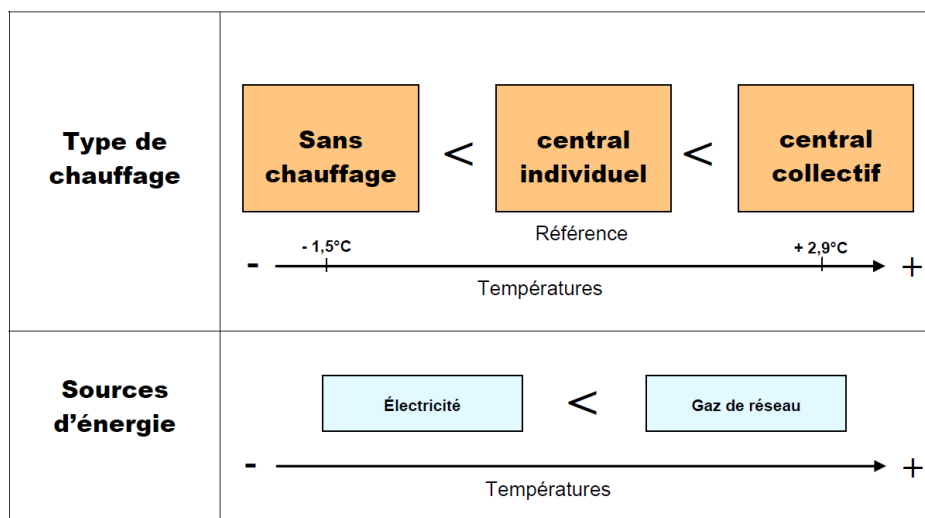
Des régressions linéaires ont été mises en œuvre (voir l'encadré méthode) pour identifier les principaux déterminants des températures adoptées par les ménages dans les différentes pièces de leurs logements (cuisine, chambre, séjour).

La température moyenne adoptée par la catégorie de référence (voir l'encadré méthode) diffère selon chaque pièce : elle est de 18,7°C dans la chambre, de 21,0°C dans la cuisine et de 20,0°C dans le séjour.

### Le type de chauffage et la source d'énergie influent sur la température de la chambre et du séjour

Dans la chambre, la température baisse de 1,5°C lorsque le ménage ne possède pas de chauffage central par rapport à une situation où le ménage a un chauffage central individuel. La température augmente de 2,9°C en présence d'un chauffage central collectif par rapport à la situation de référence avec chauffage central individuel. Lorsque l'énergie utilisée est autre que du fioul domestique ou du GPL (soit, en général, de l'électricité), la température diminue de 2,6°C par rapport à l'utilisation de gaz de réseau. Le prix de l'électricité sensiblement plus élevé que les autres énergies peut expliquer cet écart. Dans le séjour, l'équipement de chauffage a un effet similaire à celui enregistré dans la chambre alors que dans la cuisine, les variables d'équipement et d'énergie de chauffage ne sont pas significatives.

### Échelle de températures dans les chambres et séjour



### ***Le niveau de revenu rarement significatif***

Concernant les ressources du ménage, la modalité « revenu compris entre 1 100 € et 1 499 € » est significative pour la cuisine et le séjour, la température moyenne étant inférieure de 1,7°C dans la cuisine mais supérieure de 0,9°C dans le séjour par rapport à la catégorie de référence. La modalité « revenu compris entre 535 € et 1 099 € » présente un effet négatif de 0,9°C pour l'ensemble chambre et séjour alors que la modalité « moins de 535 € » un effet positif de 1,2°C. En définitive, on ne retrouve pas de croissance systématique des températures avec le niveau de revenu. D'autres régressions ont été testées en introduisant la variable de revenu comme une variable continue. Dès lors, la variable de revenu ne ressort comme significative que pour la chambre et le cas mixte chambre et séjour (cas du studio). Cet effet revenu est très faible et vite plafonné car, en supprimant les revenus inférieurs à 1 099 €, la variable apparaît vite comme non significative.

### ***La température varie selon la zone climatique***

La température adoptée par les ménages diffère selon chaque pièce suivant la zone climatique. Par exemple, dans la cuisine, les ménages vivant dans la zone climatique H3 (sud de la France, voir carte annexe 3) ont une température moyenne inférieure de 2,2°C par rapport à la catégorie de référence (H1), soit de 18,8°C, alors qu'elle est de 19,7°C pour la zone climatique H2. À l'inverse, dans la chambre, en zone H3 la température augmente de 1,3°C par rapport la zone climatique de référence.

### ***Le nombre de personnes constituant le ménage, une variable parfois significative***

Dans la chambre, lorsque le ménage est constitué de trois personnes, la température moyenne est supérieure de 1,1°C par rapport à la catégorie de référence où deux personnes composent le ménage; lorsqu'elles sont 4, elle est supérieure de 0,9°C à cette référence. L'effet est différent dans la cuisine où la température diminue de 1,3°C lorsque trois personnes composent le ménage, mais elle augmente de 1,5°C avec quatre personnes par rapport à la situation de référence. Il ne semble donc pas exister de relation monotone évidente entre le nombre de personnes constituant le ménage et la température dans le logement.

### ***Plus la construction est récente plus la température est élevée***

La date de construction des logements est une variable explicative significative pour le séjour et la chambre. Dans la chambre, la température moyenne des ménages vivant dans un bâtiment construit entre 1949 et 1974 est supérieure d'environ 0,6°C à celle des bâtiments construits avant 1945. Cette température est supérieure de 0,95°C et 0,6°C respectivement dans les chambres et séjours des bâtiments construits après 1975.

## **Convergence et divergences avec la littérature**

La date de construction, souvent significative, confirme ce qui est observé dans d'autres études : la température est plus élevée dans les logements les plus récents. Quant à l'âge des occupants, les régressions ont tendance à confirmer que la température est plus élevée chez les personnes plus âgées. Par ailleurs, rien ne permet de confirmer que les jeunes vivent également dans des logements plus chauffés contrairement à ce qui est suggéré dans la littérature. Le type de chauffage semble principalement jouer un rôle dans le séjour et dans la chambre. La température y est plus élevée lorsque le logement est équipé d'un chauffage collectif. Il n'est pas significatif dans la cuisine.

En revanche, le type de logement (individuel ou collectif) n'a pas d'impact sur la température. Si pour certains auteurs l'isolation joue un rôle sur les niveaux de température, cette hypothèse n'est pas confirmée avec les travaux économétriques réalisés à partir de l'enquête OQAI. La zone climatique où se situe le logement semble être un déterminant significatif même si cette variable est rarement citée dans la littérature. La température dans les chambres est plus élevée dans les régions à climat doux. En revanche, c'est le contraire dans la cuisine. Quant au revenu, cette variable est rarement significative. Dans le cas où elle est significative, l'effet est très vite plafonné, ce qui semble en opposition avec nombre d'auteurs. Enfin, le nombre de personnes dans le ménage, rarement cité, est parfois significatif en particulier dans la cuisine où, plus la taille du ménage est grande, plus la température y est élevée.

### Encadré méthode

**La méthode suivie :** La variable à expliquer, la température, est quantitative. Les variables explicatives, qualitatives, ont été transformées en variables muettes prenant la valeur 0 ou 1, 1 signifiant la présence d'une caractéristique, et 0 l'absence de celle-ci. Le but est de savoir de combien augmente ou diminue la température par rapport à la catégorie de référence selon chaque modalité des variables explicatives.

Les résultats obtenus à l'aide d'une régression linéaire, en retenant 12 régresseurs qualitatifs susceptibles d'impacter la température de chauffage, sont présentés dans une précédente publication [1]. Pour éviter toute colinéarité, lorsque n modalités existent pour une variable, seules n-1 variables muettes sont introduites. La n-ième modalité fait alors partie de la catégorie de référence.

**La référence choisie :** La catégorie de référence correspond aux ménages ayant une ressource comprise entre 1 500 € et 2 099 € par mois, constitués de deux personnes dans un logement individuel construit avant 1948. Leurs logements sont équipés d'un chauffage central individuel au gaz, sans cheminée, et ils n'ont pas réalisé des travaux de réhabilitation, d'isolation ni de menuiseries. Les personnes de référence du ménage sont des hommes âgés entre 48 et 57 ans, et vivent dans la zone climatique H1 (voir carte en annexe du numéro). La catégorie de référence sélectionnée représente les modalités qui apparaissent le plus souvent dans la base de données.

### Bibliographie

1. **Penot-Antoniou L., Zobiri R.** « Les déterminants de la température de chauffage adoptée par les ménages », Etudes et documents n°83, MEDDE CGDD, avril 2013.
2. **Arnault S., Briant P., Devaliere I.** « La précarité énergétique : avoir froid ou dépenser trop pour se chauffer », Insee Première n°1351, mai 2011
3. **Cavaiès J., Joly D., Brossard T., Cardot H., Hilal M., Wavresky P.** « La consommation d'énergie des ménages en France », Rapport INRA, novembre 2011
4. Chiffres Clés du Bâtiment, Ademe, 2009
5. **Dujin A., Maresca B.** « La température ne dépend pas de la sensibilité écologique », Consommation et mode de vie n°227 Crédoc, mars 2010.
6. **Dujin A., Moussaoui I.** « Performances énergétiques dans le tertiaire : l'apprentissage des occupants est l'enjeu majeur », Consommation et mode de vie n°251 Crédoc, mai 2012.
7. **Ghewy X., Gregoire P., Pasquier J-L., Roy A., Sailleau N.** « Consommation des ménages et environnement », MEDDTL - CGDD – SOeS, Repères, mars 2011.
8. **Giraudet L-G, Guivarch C., Quirion P., Penot-Antoniou L.** « Evaluation des mesures du Grenelle de l'environnement sur le parc de logements », Etudes et Documents n°58, CGDD, novembre 2011.
9. **Girault M.** « Les économies de chauffage depuis 25 ans dans le résidentiel », MEEDAT, Notes de synthèse du SES, juin 2000.
10. **Girault M.** « Baisse de la consommation d'énergie de chauffage dans les logements depuis 2001 », MEEDAT, Notes de synthèse du SESP, septembre 2008.
11. **Girault M., Lecouvey F.** « Projection tendancielle de la consommation d'énergie des logements », Notes de synthèse du SES n°137, octobre 2001.
12. **Gossay J., Lavaissière D., Tabardin J-F., Lob-Ferraggioli J., Tranain C., Vaujany F.** « Logements collectifs surchauffés : comment agir ? », Institut de l'écologie en milieu urbain.
13. **Maresca B., Dujin A., Picard R.** « La consommation d'énergie dans l'habitat entre la recherche de confort et impératif écologique », CREDOC Département « Evaluation des politiques publiques », cahier de recherche n° 264, décembre 2009.
14. **Penot-Antoniou L., Têtu P.** « Modélisation économétrique des consommations de chauffage des logements en France », Etudes et documents n°21, MEEDDM CGDD, mai 2010.
15. **Poquet G., Dujin A.** « Pour les ménages, la recherche du confort prime encore sur les économies d'énergie », Consommation et mode de vie n°210, CREDOC, mars 2008.

## **2ème partie : Les politiques publiques et leur évaluation**





## Du normatif au réaliste : amélioration de l'évaluation technico-économique du bénéfice des rénovations énergétiques des logements

Benoît Allibe, EdF R&D

La rénovation énergétique du parc de logements existants est un élément incontournable des politiques énergétiques françaises pour atteindre des objectifs ambitieux de réduction des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre (GES). L'évaluation ex-ante de ces politiques nécessite des indicateurs et des modèles non normatifs afin de cibler et dimensionner correctement les mesures à établir. En intégrant de nombreux éléments de réalisme (effet rebond, barrières non expliquées à l'efficacité énergétique, hétérogénéité des préférences et du prix des équipements, etc.) dans un modèle technico-économique de dynamique de la demande d'énergie, l'étude montre qu'une modélisation normative peut donner des résultats trop optimistes, à la fois en termes de gisements d'économies d'énergie et de délais nécessaires pour exploiter ces gisements. D'un point de vue de politique climatique, les résultats de l'étude suggèrent qu'une politique volontariste d'efficacité énergétique ne suffit pas pour atteindre des objectifs de réduction d'émissions de GES, tels que le Facteur 4, rendant incontournable une réduction importante du contenu carbone des énergies utilisées.

L'évaluation des bénéfices énergétiques et économiques qui peuvent être attendus des rénovations thermiques des logements peut être réalisée à l'aide de données et méthodes dont le degré de réalisme varie fortement, en particulier en ce qui concerne la représentation des comportements des ménages (usage des technologies et choix d'investissement en rénovation).

Les éléments présentés montrent qu'en calibrant la modélisation sur des données observées (de consommation et de parts de marché) à la place de données théoriques ou normatives, les résultats de simulations peuvent varier sensiblement. Les résultats les plus réalistes sont, de manière générale, moins optimistes à la fois quant à la réduction possible des consommations et vis-à-vis de la vitesse possible de réduction de ces consommations. La baisse de consommation maximum réaliste pour le chauffage résidentiel ne peut être « que » d'un facteur 2 à 3, et cela à l'horizon de plusieurs dizaines d'années. Concernant la réduction des émissions de GES, des objectifs plus ambitieux (comme une réduction d'un facteur 4) peuvent cependant être atteints en ayant recours à des technologies et énergies à faible contenu carbone.

L'étude utilise la modélisation bottom-up, la mieux adaptée pour l'évaluation des politiques énergétiques spécifiques à un secteur (comme le secteur résidentiel) dans le cas de diffusion de technologies spécifiques (ex : crédit d'impôt développement durable (CIDD)). Elle prend en compte différents moyens de rendre cette modélisation plus réaliste en termes de dynamique des consommations, en particulier en y intégrant une représentation des comportements des ménages. En effet, dans les modèles bottom-up classiques, les comportements des ménages, à la fois en termes d'usage quotidien de leurs équipements et en termes de choix d'investissement lors de la rénovation de leur logement, sont traités de manière normative (utilisation d'un comportement « normal » théorique), ce qui implique de nombreux biais et nécessite une prudence particulière quant à l'interprétation de leurs résultats quantitatifs.

### Du normatif au (plus) réaliste en termes de modélisation statique et dynamique de la consommation du secteur résidentiel

L'utilisation d'une modélisation non normative de la dynamique des consommations semble fondamentale pour dimensionner au mieux les politiques publiques futures (évaluation ex-ante) et attribuer au mieux les effets de politiques spécifiques passées (évaluation ex-post), pour éviter par

exemple d'attribuer à l'efficacité énergétique des baisses de consommations qui seraient en fait dues à une adaptation des comportements quotidiens de chauffage consécutive à une augmentation de prix des énergies.

### **Des différences fondamentales entre performance théorique et consommation observée : modélisation des malfaçons techniques et des comportements quotidiens de chauffage des ménages**

Le modèle de calcul thermique de référence concernant les logements existants en France est le Diagnostic de Performance Énergétique (DPE). En effet, par son caractère obligatoire depuis 2007, le DPE est devenu le langage commun des acteurs du logement existant (particuliers, politiques, entreprises, chercheurs...). Appliqué à un logement, le DPE permet d'estimer la consommation de chauffage et d'eau chaude sanitaire (et le cas échéant de climatisation) à l'aide d'un calcul dans lequel le comportement des habitants est normé. Ce choix est tout à fait adapté à l'estimation de la performance d'un logement car la performance de celui-ci doit lui être intrinsèque et ne pas dépendre de la façon dont les habitants l'utilisent. À l'inverse, l'utilisation des résultats de ce calcul pour estimer la consommation effective d'énergie du logement est potentiellement biaisée car les comportements réels du ménage peuvent être très éloignés de la norme utilisée dans le code de calcul. D'autre part, le code de calcul est aussi normatif vis-à-vis de la performance des équipements et éléments du bâti des logements, en faisant par exemple l'hypothèse d'un parfait respect de la réglementation thermique et d'un parfait fonctionnement des équipements. Or, ces deux hypothèses peuvent s'avérer fausses car le respect des réglementations est partiel et certaines malfaçons peuvent être observées lors de l'installation des équipements (chaudières à condensation ne condensant pas, isolation partielle d'une paroi...).

#### **Le modèle de correction des consommations théoriques**

Pour analyser les différences entre les résultats d'un DPE, estimateur de performance, et les consommations réelles d'un logement, les données issues d'une enquête réalisée par EDF R&D [Cayla, 2011] ont été exploitées. Cette enquête a permis d'obtenir, sur un échantillon de 913 ménages équipés d'un chauffage individuel, une description détaillée des caractéristiques socio-économiques des ménages ainsi que des caractéristiques techniques des logements, de leurs équipements et des consommations énergétiques. Sur la base de ces informations, un DPE a été calculé<sup>23</sup> pour chacun des logements de l'échantillon. En comparant les résultats du DPE aux factures relevées chez les ménages, il a été possible d'observer les différences entre la performance (consommation théorique) et la consommation effective de chauffage. L'analyse statistique de ces différences [Allibe, 2012] a permis de montrer que la performance thermique du logement, la rigueur du climat et le prix de l'énergie de chauffage les influencent sensiblement. Cette analyse a permis d'établir un modèle de correction des consommations théoriques (ramenées en énergie finale) calculées par le DPE (Figure 1). Ce modèle permet de représenter en une seule équation quatre phénomènes :

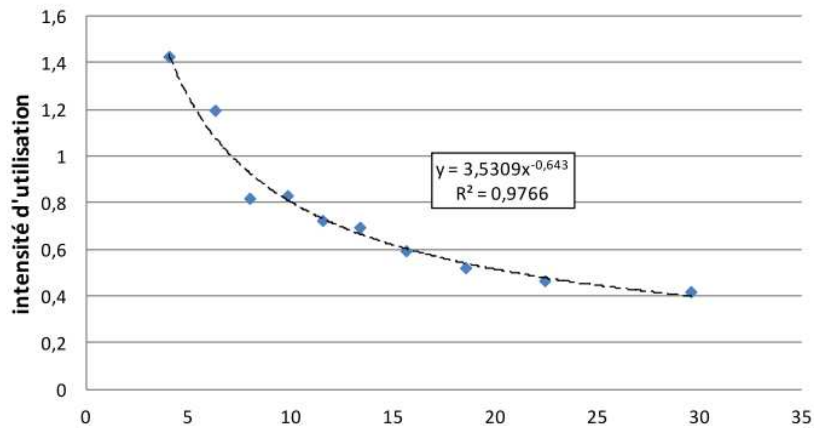
- **L'effet rebond**, qui consiste en une augmentation du volume de service demandé (en l'occurrence le confort thermique) consécutive à une amélioration de la performance technique de l'équipement qui fournit ce service, par exemple lors d'une rénovation.
- **La restriction de confort thermique** dans les logements dans lesquels le prix du service « chauffage » est le plus élevé (du fait du prix de l'énergie, de la faible performance du logement ou de la rigueur du climat). Cette restriction peut être appelée « *prebound effect* » [Sunikka-Blank et Galvin, 2012].
- **L'élasticité prix** (court terme) de la demande de chauffage, qui consiste en une augmentation (respectivement réduction) de la demande consécutive à une baisse (respectivement hausse) du prix de l'énergie.
- Dans une moindre mesure, **la malfaçon technique**, détaillée précédemment.

<sup>23</sup> Avec la première méthode officielle proposée [MECSL, 2008].

### Mesuré par l'intensité d'utilisation, l'impact du comportement des ménages est très important

La modélisation de ces phénomènes fait intervenir la notion **d'intensité d'utilisation**, qui est définie comme le ratio entre consommation observée et consommation théorique (de chauffage dans le cas présent). Cette quantité peut être interprétée comme la position relative du confort thermique effectif des ménages par rapport au confort normatif utilisé comme hypothèse du DPE. Ainsi, une valeur inférieure à 1 indique une restriction de confort par rapport à la norme utilisée dans le DPE. En multipliant l'intensité d'utilisation modélisée par le résultat d'un calcul DPE (ramené en énergie finale), l'estimation de consommation est sensiblement plus proche des consommations observées à l'échelle de groupes de logements.

Figure 1 : Intensité d'utilisation en fonction du coût du service normé



Lecture : Le coût du service normé de chauffage est la facture que paierait un ménage s'il consommait l'énergie de chauffage calculée par le DPE. Chaque point du graphique représente l'intensité d'utilisation moyenne de 90 logements de l'échantillon de l'enquête d'EDF R&D [Cayla, 2011].

L'observation des résultats montre que les ménages habitant dans les logements les moins performants, avec l'énergie de chauffage la plus chère et vivant dans les climats français les plus froids, ont en moyenne une consommation de chauffage observée (estimée à partir de la facture énergétique du ménage) nettement inférieure à celle calculée par le DPE, et qui peut ne représenter que 40 % de cette dernière.

Un corollaire de ce résultat est que les économies d'énergie (et de facture énergétique) pouvant être faites sur ces logements plafonnent à 40 % de celles calculées avec le DPE (on ne peut pas économiser l'énergie que l'on ne consomme pas). On observe donc que le comportement quotidien des ménages (gestion quotidienne du confort thermique) a un impact direct et très important sur le gisement d'économies d'énergie pouvant être fait sur un logement.

### Intégration des barrières et obstacles à l'efficacité énergétique dans la modélisation des choix technologiques des ménages

Une méthode technico-économique usuelle pour simuler un choix d'investissement dans un modèle bottom-up est celle de la minimisation du coût global actualisé (Équation 1).

$$CGA = I_0 + \sum_{i=1}^N \frac{C_i - B_i}{(1+a)^i}$$

avec  $I_0$  le coût initial,  $C_i$  et  $B_i$  les coûts et bénéfices à l'année  $i$ ,  $N$  la durée de vie de la technologie,  $a$  le taux d'actualisation

Cependant, de nombreuses observations montrent que, même si les technologies les plus efficaces peuvent être les plus rentables vis-à-vis de ce critère, elles ne prennent généralement pas la majorité des parts de marché. Ceci a mené à la définition du « gap » de l'efficacité énergétique (*energy*

*efficiency gap* [Jaffe et Stavins, 1994]) qui peut être expliqué par différentes barrières et obstacles à l'efficacité énergétique comme l'aversion au risque (propre à presque toute innovation), la contrainte de capital (les ménages les moins aisés éprouvent des difficultés à payer le surcoût de la technologie la plus efficace par rapport au standard du marché), les coûts de transaction (par exemple liés à la difficulté de trouver un artisan qualifié pour l'installation d'une technologie nouvelle et performante) ou encore des problèmes d'information (incitations divergentes, asymétrie d'information entre les ménages et les professionnels de l'énergie et du bâtiment...) [Jaffe et al., 2004].

Lorsqu'elles sont représentées dans un modèle technico-économique, ce qui est déjà un pas vers plus de réalisme, ces barrières sont généralement intégrées à la modélisation du choix d'investissement par l'utilisation de taux d'actualisation dits « implicites », généralement très élevés pour les technologies les plus efficaces (de l'ordre de plusieurs dizaines de pour cents [Train, 1985]). Cependant, elles peuvent aussi être représentées comme un coût additionnel lors de l'achat des technologies, pour présenter ces barrières non pas comme une plus forte préférence pour le présent mais comme des difficultés rencontrées dans le processus d'achat d'une technologie efficace. Ce choix de représentation des barrières en coût supplémentaire à l'achat a été notamment fait dans le modèle BEUS, développé dans le cadre d'une thèse encadrée par EDF R&D et le CIRED [Allibe, 2012]. La confrontation des simulations de ce modèle avec les données de marché [OPEN, 2009] a permis d'estimer<sup>24</sup> ces coûts supplémentaires. La Figure 2 présente ainsi une estimation quantitative des barrières à l'efficacité énergétique sur le marché de la rénovation en France en 2009.

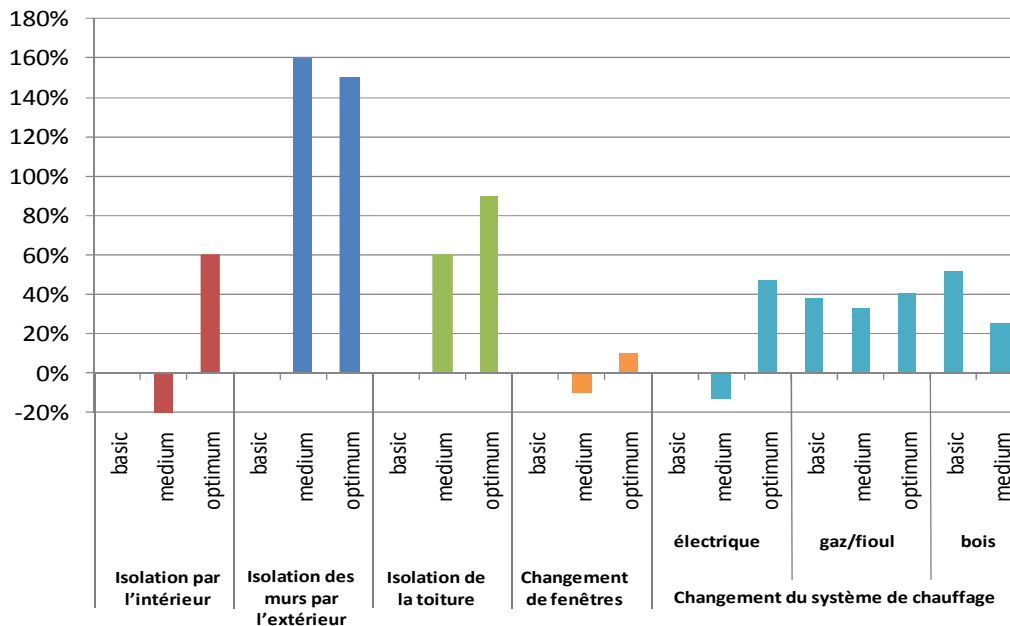
La facture énergétique et le coût d'investissement dans un équipement sont des coûts objectifs et assez facilement mesurables mais ne sont cependant pas les seuls à être pris en compte par les ménages. En effet, de nombreux coûts et bénéfices non énergétiques interviennent dans le processus de décision [Urge-Vorsatz et al., 2009] : le confort thermique, la perte d'espace habitable consécutif à l'isolation de murs par l'intérieur ou *a contrario* l'augmentation de la valeur patrimoniale du logement après sa rénovation, la gêne occasionnée par des travaux de rénovation du bâti, etc. La prise en compte de ces éléments dans la modélisation de l'achat de technologies par les ménages permet d'expliquer certaines observations de choix peu rationnels d'un point de vue purement énergétique (par exemple la faible part de logements isolés par l'intérieur dans les zones où le prix du foncier est très important).

### **Marché de la rénovation : des hétérogénéités importantes autant sur l'offre que sur la demande**

La dynamique des consommations d'énergie du secteur résidentiel repose en grande partie sur l'évolution des parts de marché des technologies présentes sur le marché de la rénovation énergétique au cours du temps. Ce marché est composé de la demande (les ménages et leurs logements) et de l'offre (entreprises de rénovation des logements). La première partie de cet article, de même que la majorité de la littérature scientifique, est focalisée sur la demande, tandis que l'offre est généralement modélisée de manière assez frustrante dans les modèles technico-économiques. En effet, les technologies y sont généralement caractérisées avec un prix unique et l'évolution de ce prix est plus généralement le fait d'hypothèses de la part du modélisateur que de mécanismes dédiés (comme l'apprentissage technologique).

<sup>24</sup> La procédure d'estimation est détaillée dans la thèse dont sont issus les travaux présentés [Allibe, 2012].

**Figure 2 : Estimation des coûts de transaction et autres barrières à l'efficacité énergétique, exprimés en pourcentage du prix de l'équipement, sur le marché de la rénovation des logements**



*Lecture : Les appellations basic, médium et optimum se réfèrent à différents niveaux de performance [OPEN, 2009]. Par hypothèse, aucune barrière n'est associée au niveau basic pour l'isolation et au chauffage électrique basic (convecteurs), qui représentent les options technologiques les moins chères sur le marché. Les résultats sont à interpréter comme suit : pour expliquer la part de marché de la performance « médium » sur le marché de la rénovation de la toiture uniquement par un arbitrage coût d'investissement / gains sur factures, il faudrait ajouter 60 % à son prix de marché. Ces 60 % peuvent être interprétés comme l'ensemble des barrières à l'achat qui limitent la pénétration de cette technologie malgré les gains sur facture énergétique qu'elle permet.*

Un paramètre fondamental dans la modélisation d'un marché est son hétérogénéité [Rivers et Jaccard, 2005]. Dans un marché très hétérogène, même une technologie très peu avantageuse en moyenne peut conserver des parts de marché (grâce à des sous-marchés de niche sensiblement différents du reste du marché), tandis que dans le cas contraire (demande homogène, décisions homogènes) la meilleure technologie peut prendre l'intégralité des parts de marché. On comprend donc que si une subvention est donnée à une technologie de manière à la rendre plus rentable que les autres en moyenne, l'impact de cette subvention sur les parts de marché et la consommation d'énergie sera d'autant plus faible que le marché de cette technologie est hétérogène.

La mise en évidence du fort impact de l'hétérogénéité du marché sur la dynamique des consommations et de la forte hétérogénéité du marché de la rénovation des logements peuvent être vues comme un argument supplémentaire pour la réglementation appliquée au secteur de la rénovation des logements. Cependant, ce marché est constitué de nombreuses petites entreprises qui pourraient être moins habituées à la mise en pratique de réglementations que les grosses entreprises de la construction de logements neufs, habituées depuis plusieurs dizaines d'années aux réglementations thermiques (qui ne sont cependant toujours pas totalement respectées [OPECST, 2009]). Si la solution de la réglementation du marché de la rénovation semble une solution adaptée d'un point de vue théorique, il est cependant fort probable que sa mise en œuvre effective nécessite un temps important.

Lorsqu'on étudie en détail l'offre commerciale de technologies liées à la rénovation des logements, on peut observer qu'il n'existe pas un seul prix de technologie pour un niveau de performance mais bien une distribution parfois très large de prix auxquels sont confrontés les ménages, participant ainsi à l'hétérogénéité du marché [Laurent et al., 2011].

Quant à elle, l'hétérogénéité de la demande peut venir de trois sources principales :

- La variété des configurations techniques au sein du parc de logements (performance énergétique et climat local).
- L'hétérogénéité des logiques d'achat ou préférences pour le présent. Ceci peut être modélisé en attribuant des taux d'actualisation différents selon les caractéristiques des ménages. En particulier, il apparaît que ce taux d'actualisation peut varier fortement en fonction des revenus des ménages [Hausmann, 1979].
- L'hétérogénéité des préférences des ménages. Tous les ménages ne perçoivent pas les technologies de la même manière et il est important de prendre en compte la diversité des réticences et affinités des personnes vis-à-vis des différentes technologies.

## Illustration de l'impact du réalisme de la modélisation sur l'estimation des gisements d'économies d'énergie et de la vitesse à laquelle ils peuvent être exploités

### **Hypothèses communes aux simulations**

Pour illustrer l'impact de l'introduction d'éléments plus réalistes dans la modélisation de la dynamique des consommations énergétiques du secteur résidentiel, deux scénarios de forte réduction des émissions de GES, décrits dans les sections suivantes, ont été simulés sur la période 2010-2050 à l'aide du modèle BEUS [Allibe, 2012] qui intègre la majorité des éléments de réalisme cités précédemment. Ces scénarios sont basés sur un certain nombre d'hypothèses communes dont la vocation n'est pas la précision mais la simplicité :

- L'évolution du prix des énergies fossiles est tirée du « World Energy Outlook » 2011 [IEA, 2011]. L'augmentation du prix de vente au particulier est indexée sur la croissance des prix sur le marché de gros, à 70 % pour le gaz et à 90 % pour le fioul. L'évolution du prix de l'électricité est celle du scénario « 50 % nucléaire à 2030 » de l'Union Française de l'Électricité [UFE, 2011] puis extrapolée à 2050. Enfin, le prix du bois est considéré constant sur la période de simulation par prolongation de la tendance historique des dernières décennies.
- Les performances et durées de vies des équipements sont considérées constantes au cours du temps. L'apprentissage technologique n'est appliqué qu'au prix des énergies et non pas à la performance de celles-ci. Les équipements qui n'assurent pas le chauffage ne sont pas changés durant la période de simulation. Cependant, certains systèmes de production d'eau chaude sanitaire sont remplacés lorsqu'ils produisent aussi le chauffage (chaudières double service).
- Le contenu carbone des énergies est considéré constant et le revenu des ménages augmente de 1,5 % par an jusqu'à 2050.

Les paragraphes suivants présentent tout d'abord un scénario de rénovation très performante des logements français, sur lequel sont testées trois variantes de modélisation des comportements de chauffage des ménages. Les résultats de simulation pour ces variantes illustrent l'impact de l'ajout de réalisme dans la modélisation des comportements quotidiens des ménages. Un deuxième scénario est présenté, dans lequel une très forte taxe carbone est imposée. Pour ce scénario, trois nouvelles variantes de modélisation sont testées, se différenciant les unes des autres par le réalisme de la représentation du marché de la rénovation thermique des logements. Les résultats de simulation illustrent l'impact d'une représentation réaliste des comportements d'investissement des ménages et de l'hétérogénéité des contextes d'investissement.

### **Variantes de représentation des comportements quotidiens pour un même scénario technique (isolation renforcée et équipements de chauffage « bas carbone »)**

#### **Description du scénario et des variantes**

Dans ce scénario, les parts de marché des technologies sont entièrement fixées par le modélisateur, comme dans la majorité des scénarios produits par des modèles ingénieur. Les deux hypothèses principales de ce scénario, proches du scénario atteignant la plus grande baisse d'émissions de GES dans les travaux « Habitat Facteur 4 » du CLIP [Traisnel et al., 2010], sont les suivantes : 1) seules sont installées les options technologiques les plus performantes (optimum) lors des rénovations d'éléments du bâti des logements (murs, plancher, fenêtres, toiture, façade) et 2) pour le renouvellement des équipements de chauffage, ceux-ci sont remplacés à 50 % par du chauffage performant au bois, et à 50 % par des pompes à chaleur.

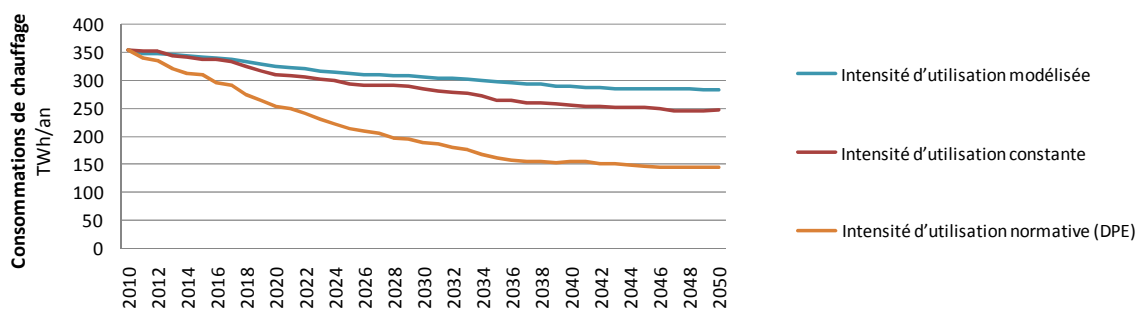


Pour illustrer l'impact d'une modélisation réaliste des comportements quotidiens de chauffage, trois variantes sont proposées sur ce scénario :

- **Intensité d'utilisation normative (DPE)** : pour chaque rénovation, les économies d'énergie théoriques (calculées par le DPE) sont déduites des consommations observées des logements (sans effet rebond)
- **Intensité d'utilisation constante** : dans cette variante, le comportement de chauffage des ménages est considéré constant. Les économies d'énergies dues aux rénovations sont calculées par le DPE puis multipliées par l'intensité d'utilisation observée dans les logements. Cette modélisation prend en compte la restriction de confort des ménages mais pas l'effet rebond.
- **Intensité d'utilisation modélisée** : dans cette variante, l'intensité d'utilisation des équipements de chauffage par les ménages est recalculée à chaque pas de temps d'après l'équation présentée sur la Figure 1. Cette variante est la plus « réaliste » grâce à l'intégration de la restriction de confort, la malfaçon, l'effet rebond et l'élasticité prix court terme de la demande de chauffage.

*Résultats de simulation : plus le comportement de chauffage des ménages est modélisé de manière réaliste, moins le gisement d'économies d'énergie est important*

**Figure 3 : Consommations de chauffage du secteur résidentiel français sur la période 2010-2050 selon la modélisation du comportement quotidien de chauffage (normative, constante, modélisée)**



Les résultats de simulation (Figure 3) montrent l'évolution des consommations de chauffage du parc résidentiel français sous ces hypothèses et selon chaque variante. On peut tout d'abord observer que les deux variantes dans lesquelles une intensité d'utilisation non normative est modélisée présentent des consommations en 2050 sensiblement plus élevées que la variante normative (DPE). Les résultats illustrent l'impact quantitatif de la restriction de confort (écart entre la trajectoire DPE et celle avec intensité constante) et de l'adaptation dynamique du confort au prix du service par effet rebond et élasticité prix (écart entre la trajectoire à intensité constante et celle à intensité modélisée). Le niveau élevé des consommations « réalistes » à 2050 s'explique par la forte pénétration des équipements de chauffage au bois, dont les rendements énergétiques sont sensiblement plus faibles que les autres par hypothèse (rendements normatifs du DPE, non améliorés dans le temps).

### **Variantes de représentation du marché de la rénovation pour un même scénario économique (taxe carbone très forte)**

#### **Description du scénario et des variantes**

Dans ce scénario, les parts de marché des technologies sont endogènes, calculées avec le module d'investissement prenant en compte les barrières à l'efficacité énergétique, les coûts et bénéfices non énergétiques ainsi que l'hétérogénéité de l'offre et de la demande. Les deux hypothèses centrales de ce scénario sont les suivantes : 1°) prolongation du CIDD jusqu'en 2020 avec les niveaux de 2010, et, 2°) mise en place d'une taxe carbone très élevée commençant à 100 €/tCO<sub>2eq</sub> en 2010 et augmentant

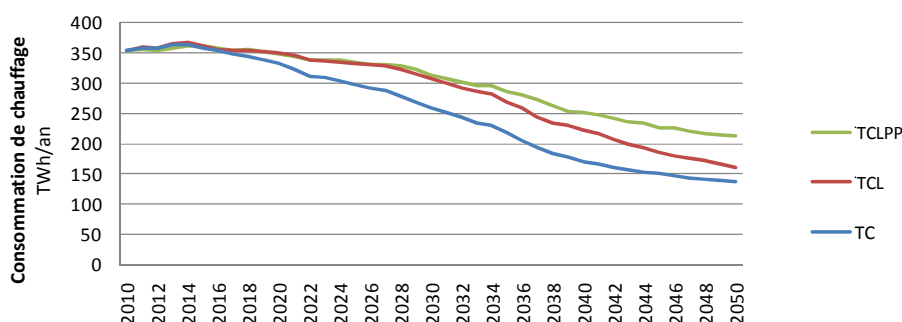
progressivement jusqu'à 1 000 €/tCO<sub>2eq</sub> en 2050, de manière similaire au scénario de plus forte taxe carbone proposé dans les travaux de thèse de Giraudet (2011).

Pour illustrer l'impact de la façon de modéliser l'investissement sur la dynamique des consommations, trois variantes du scénario sont proposées et diffèrent par le nombre de sources d'hétérogénéité du marché représentées :

- **Technologies de la demande et climat (TC)** : dans cette variante, seule l'hétérogénéité de la demande est prise en compte. Cette hétérogénéité est due à la diversité des configurations technologiques des logements de l'échantillon représenté ainsi qu'à la variété des climats locaux de ces logements (des climats spécifiques à chaque département sont modélisés).
- **Technologies de la demande, climat et logique d'investissement (TCL)** : en plus des hétérogénéités mentionnées ci-dessus est rajoutée l'hétérogénéité de la préférence pour le présent parmi les ménages. Celle-ci est prise en compte en attribuant un taux d'actualisation à chaque ménage en fonction du quintile de revenu dans lequel il se trouve.
- **Technologies de la demande, climat, logique d'investissement, hétérogénéité des prix des équipements et des préférences individuelles (TCLPP)** : en plus des hétérogénéités de la variante TCL, sont ajoutées la prise en compte d'une distribution de prix pour chaque équipement (au lieu d'un prix moyen) et du caractère aléatoire des préférences individuelles (un coût est ajouté à chaque technologie proposée aux ménages en tirant aléatoirement dans une distribution normale centrée sur 0 et avec un écart type de 200 euros).

**Résultats de simulation : plus le marché de la rénovation (offre et demande) est modélisé de manière réaliste, moins les économies d'énergie sont rapides**

**Figure 4 : Consommations de chauffage du secteur résidentiel français sur la période 2010-2050 selon la modélisation de l'hétérogénéité du marché de la rénovation des logements**



Sources d'hétérogénéité : techniques et climatiques (TC), logique d'achat des ménages (L), prix des équipements et préférences individuelles (PP)

Les résultats de simulation (Figure 4) montrent clairement que, sous une forte contrainte économique censée orienter très fortement les investissements dans un sens particulier, plus le marché est hétérogène, plus l'effet de la contrainte est limité sur la dynamique des consommations. Ceci s'explique par le fait que plus le marché est hétérogène, plus il existe de situations particulières (niches) dans lesquelles les technologies les moins pertinentes en moyenne continuent à présenter un intérêt. On peut ainsi observer que lorsque le marché est représenté dans sa version la moins hétérogène (TC), la consommation diminue plus rapidement et atteint un plateau vers 2045 alors que ce n'est pas le cas des deux autres courbes, où le marché est encore en évolution à cette date. La prise en compte de l'hétérogénéité du marché de la rénovation thermique des logements mène à des réductions de consommation d'énergie sensiblement moins rapides que lorsque l'on considère un marché homogène, dans lequel les technologies les plus rentables en moyenne prennent toutes les parts de marché.

## Bibliographie

**Allibe, B.**, 2012, « Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français à long terme – Amélioration du réalisme comportemental et scénarios volontaristes », PhD thesis, 2012

**Cayla J-M.**, 2011, "Les ménages sous la contrainte carbone – Exercice de modélisation prospective des secteurs résidentiel et transports avec TIMES", PhD thesis

**Giraudet L.-G.**, 2011, "Les instruments économiques de maîtrise de l'énergie : Une évaluation multidimensionnelle", PhD thesis

**Hausman, J.A.**, 1979, "Individual discount rates and the purchase and utilization of energy-using durables", The Bell Journal of Economics, 10, p.33-54

**Hourcade, J.-C., M. Jaccard, C. Bataille and F. Gherzi**, 2005, "Hybrid modeling: New answers to old challenges, Introduction to the special issue of The Energy Journal", Special Issue "Hybrid modelling of energy-environment policies: reconciling bottom-up and top-down", International Association for Energy Economics.

[IEA, 2011] World Energy Outlook 2011, International Energy Agency

**Jaffe, A.B., R.G. Newell, R.N. Stavins**, 2004, "Economics of energy efficiency", 79-90 in Cleveland, C.J. (ed), Encyclopedia of Energy, Volume 2, San Diego and Oxford (UK): Elsevier

**Jaffe, A.B., R.N. Stavins**, 1994, "The energy-efficiency gap. What does it mean?", Energy Policy, 22, p.804–881

**Laurent, M-H., B. Allibe, D. Osso**, 2011, "Energy efficient technologies for all! Testing the efficiency of an innovative conditional subsidy on refurbishment market", Proceedings of the ECEEE Summer Study 2011, paper 2-231

[MECSL, 2008] Ministère de l'Emploi, de la Cohésion Sociale et du Logement, Arrêté du 6 mai 2008 portant confirmation de l'approbation de diverses méthodes de calcul pour le diagnostic de performance énergétique en France métropolitaine, NOR DEVU0810970A, Journal Officiel de la République Française n°0114 du 17 mai 2008, page 8063, 96p

[OPECST, 2009] La performance énergétique des bâtiments : comment moduler la règle pour mieux atteindre les objectifs ?, Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

[OPEN, 2009] Observatoire Permanent de l'amélioration Énergétique du Logement, Campagne 2009, Résultats 2006/2008, ADEME, BIIS, CAH.

**Rivers, N., M. Jaccard**, 2005, "Combining top-down and bottom-up approaches to energy-economy modeling using discrete choice methods", The Energy Journal, 26(1), p.83-106

**Sunikka-Blank, M., R. Galvin** (2012), "Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption", Building Research & Information, 40(3), p.260-273

**Train, K.**, 1985, "Discount rates in consumer's energy-related decisions: a review of the literature", Energy, 10, p.1243-1253

**Traisnel, J-P., D. Joliton, M-H. Laurent, S. Caffiaux, A. Mazzenga**, 2010, « Habitat Facteur 4- Étude d'une réduction des émissions de CO2 liées au confort thermique dans l'habitat à l'horizon 2050 », Les Cahiers du CLIP n°20, novembre 2010, 104p

[UFE, 2011] « Electricité 2030: quels choix pour la France? », Union Française de l'Électricité, Dossier de Presse de la conférence de presse du 7 novembre 2011

**Urge-Vorsatz D., A. Novikova, M. Sharmina**, 2009, "Counting good: quantifying the co-benefits of improved efficiency in buildings", ECEEE summer study 2009, 1-6 June 2009, Nice, France



## L'enquête Performances de l'habitat, équipements, besoins et usages de l'énergie (Phébus) : quel dispositif pour quels enseignements ?

Céline Rouquette, Dominique François, Guillaume Houriez, CGDD/SOeS

L'enquête Phébus a été menée pour la première fois en France en 2013. Il s'agit de coupler à un diagnostic de performance énergétique, une enquête auprès des ménages sur leurs consommations d'énergie, leurs comportements énergétiques et leurs revenus. Les données ainsi collectées permettent de relier les caractéristiques énergétiques du logement et les comportements de leurs occupants, ouvrant la voie à de nombreuses études dans le domaine des consommations d'énergie dans le logement. La précarité énergétique peut être étudiée sous plusieurs angles : part du revenu consacrée au chauffage, sensation de froid, taux d'effort relatif à un confort théorique, etc. L'effet « rebond » pourra être mesuré et mieux appréhendé en fonction des comportements des ménages.

Au moment où la France s'est fixé des objectifs ambitieux de réduction des consommations d'énergie dans les bâtiments à l'horizon 2020 et un plan de rénovation de 500 000 logements d'ici 2017, Phébus livre une première photographie de la performance thermique du parc de logements. La nécessité de suivre dans le temps la convergence vers les objectifs, nous conduit à réfléchir à la mise en œuvre d'autres enquêtes du même type dans un futur proche, forts de l'expérience acquise sur ce projet pilote. Dans cette perspective, la mobilisation de systèmes d'informations publics et privés existants constitue un enjeu important en termes de coûts et de cohérence des informations produites.

Le secteur du bâtiment a été identifié comme principal gisement d'économies d'énergie immédiatement exploitable, par le Grenelle de l'environnement, qui a aussi souligné un manque de connaissance de l'état technique du parc des bâtiments anciens. Cet enjeu énergétique a été confirmé par l'Agence internationale de l'énergie, dans son rapport d'audit de la politique énergétique française paru en 2009, recommandant de maintenir la priorité sur l'habitat en matière d'efficacité énergétique.

C'est dans ce contexte que le SOeS a décidé dès 2008 de monter une enquête statistique permettant de combler les lacunes en matière de connaissance de la performance thermique du bâti français. La genèse a été longue et complexe (voir annexe en fin de numéro) puisque c'est en 2013 que l'enquête Phébus a pu être collectée sur le terrain. La France est relativement pionnière avec ce dispositif : seuls le Royaume-Uni et les Pays-Bas avaient, en Europe, déjà mené des enquêtes similaires.

### *Des problématiques complexes*

L'enquête éclaire notamment deux aspects :

- Quelles sont les actions prioritaires à mener (mieux isoler les toitures, changer les fenêtres, rénover les chaudières, etc.) ?
- Quelle est l'importance relative des différents publics concernés, en aidant à quantifier ceux pour qui une décision de travaux d'économie d'énergie relève, compte tenu de leurs revenus, d'actions d'information, d'incitation ou d'assistance ?

Plus généralement, les déterminants des consommations d'énergie des ménages sont encore très mal connus faute d'enquêtes de qualité suffisante et suffisamment détaillées pour les appréhender.

La précarité énergétique est une préoccupation montante pour les pouvoirs publics, avec la hausse des coûts de l'énergie et la stagnation des revenus des ménages. Ce phénomène est caractérisé dans la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement comme suit : « *Est en situation de précarité énergétique une personne qui éprouve dans son logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ses besoins élémentaires en raison de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat* ». Elle est abordée dans Phébus en mettant en relation les données de performance énergétique du logement (second volet) avec celles notamment sur les consommations d'énergie (premier volet) et les revenus des ménages (appariement *a posteriori* avec les sources fiscales). La richesse des informations collectées dans Phébus permet de calculer différents indicateurs : pour le logement, taux d'effort énergétique, froid ressenti, conjonction de bas revenus et de besoins énergétiques élevés au vu de la qualité thermique du logement. Il est également intéressant comparer les besoins énergétiques modélisés et les dépenses énergétiques réelles pour objectiver les situations de privation, et de contrôler si les ménages les plus modestes subissent la tarification la plus élevée ou non.

Même si la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement n'y fait pas référence, l'énergie pour le transport représente également une charge élevée. Phébus comprenant un volet beaucoup plus détaillé que les enquêtes traditionnelles de l'Insee, sur les dépenses de carburants et les pratiques de mobilité quotidienne des ménages, il est aussi possible de calculer des indicateurs de précarité énergétique incluant cette dimension, importante en France compte tenu du mitage de l'habitat, comme le souhaite l'Observatoire national de la précarité énergétique.

### Un dispositif couplant deux volets

Originalité, Phébus est constituée de deux parties : la première se présente sous la forme d'un questionnaire en vis-à-vis pour collecter des informations sur les « Caractéristiques du Logement, de ses Occupants et Dépenses Énergétiques » (Clode), organisée comme une enquête statistique classique. La seconde consiste en un Diagnostic de Performance Énergétique (DPE) des logements enquêtés. Les deux volets de l'enquête Phébus ont été réalisés à partir du même échantillon représentatif, avec pour objectif d'obtenir *in fine* 5 000 logements répondants aux deux volets en France métropolitaine.

Les thèmes abordés dans le premier volet « Phebus-Clode » sont les suivants :

- les caractéristiques générales du logement et des occupants ;
- les travaux d'amélioration de l'habitat effectués depuis 2007 et pouvant avoir un impact sur l'efficacité énergétique ;
- les équipements ménagers et automobiles ;
- les usages et comportements énergétiques (fréquence d'utilisation des équipements ménagers les plus « énergivores », utilisation des véhicules motorisés pour les trajets domicile-travail, scénarios d'occupation des logements, mesure de la satisfaction en termes de chauffage, évaluation des restrictions que les ménages s'imposent en termes de consommation d'énergie pour pouvoir payer leurs factures) ;
- les consommations d'énergie.

Par ailleurs, il a été décidé de réaliser un diagnostic de performance énergétique (DPE) *ad hoc* des logements tirés au sort. Car, si l'Ademe centralise, depuis le 1er avril 2013, les DPE réalisés à l'occasion des changements d'affectation des logements, cette nouvelle base de données n'était pas disponible ni adaptée pour cette première édition de Phébus.

### Performances énergétiques

La performance énergétique se définit dans des conditions d'usage standard fixées et ne prend pas en compte les comportements des occupants. Elle tient compte cependant des conditions climatiques moyennes du logement liées à sa localisation : il s'agit d'une consommation dite conventionnelle et non d'une consommation réelle. Le DPE positionne le logement dans une échelle graduée de A à G,



appelée "étiquette énergie" pour la consommation d'énergie et « étiquette GES » pour les émissions de gaz à effet de serre. Il comprend des recommandations de travaux pour améliorer la qualité thermique du logement.

### Un niveau de performance moyen du parc actuel : les étiquettes « Énergie » et « GES » D ou E sont les plus fréquentes

Plus de la moitié (53,6 %) du parc des résidences principales en France métropolitaine a une étiquette énergétique moyenne (D ou E), ce qui correspond à une consommation comprise entre 151 et 330 kWhEP/m<sup>2</sup>/an. Un tiers offre une performance thermique faible (F ou G) et seulement 14 % sont performantes (A, B ou C) (tableaux 1 et 2). Les logements très énergivores (F ou G) sont plus nombreux parmi les appartements que les maisons individuelles.

En matière d'émissions de gaz à effet de serre, 40 % des logements sont classés en D ou E, un tiers en A, B ou C, et un quart en F ou G. Les appartements émettent davantage que les maisons individuelles ; les appartements équipés d'un chauffage collectif émettent plus que ceux équipés d'un chauffage individuel.

**Tableaux 1 et 2 : répartition des étiquettes selon le type de logement**

Etiquette ENERGIE en %									
Type de logement	A <= 50 kWhEP/m <sup>2</sup> .an	B 51 à 90 kWhEP/m <sup>2</sup> .an	C 91 à 150 kWhEP/m <sup>2</sup> .an	D 151 à 230 kWhEP/m <sup>2</sup> .an	E 231 à 330 kWhEP/m <sup>2</sup> .an	F 331 à 450 kWhEP/m <sup>2</sup> .an	G > 450 kWhEP/m <sup>2</sup> .an	N/A	Total
Maison individuelle	0,4	1,9	12,9	25,7	30,7	15,5	12,6	0,4	100,0
Appartement	0,2	2,2	10,0	21,9	28,0	15,4	19,1	3,2	100,0
Total	0,3	2,0	11,7	24,1	29,5	15,4	15,3	1,6	100,0

Etiquette GES en %									
Type de logement	A <= 5 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an	B 6 à 10 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an	C 11 à 20 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an	D 21 à 35 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an	E 36 à 55 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an	F 56 à 80 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an	G > 80 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an	N/A	Total
Maison individuelle	8,1	9,9	18,1	18,3	19,6	14,0	11,5	0,4	100,0
Appartement	3,7	6,3	17,5	20,8	20,4	12,1	16,0	3,2	100,0
Total	6,3	8,4	17,8	19,4	20,0	13,2	13,4	1,6	100,0

Lecture : l'étiquette ENERGIE A correspond à une consommation d'énergie primaire d'au plus 50 kWh par m<sup>2</sup> et par an (voir encadré méthodologique 2) ; l'étiquette GES A correspond à une quantité de CO<sub>2</sub> émise d'au plus 5 kg par m<sup>2</sup> et par an.

Source : SOeS, enquête Phébus 2013

### L'impact mitigé des réglementations thermiques

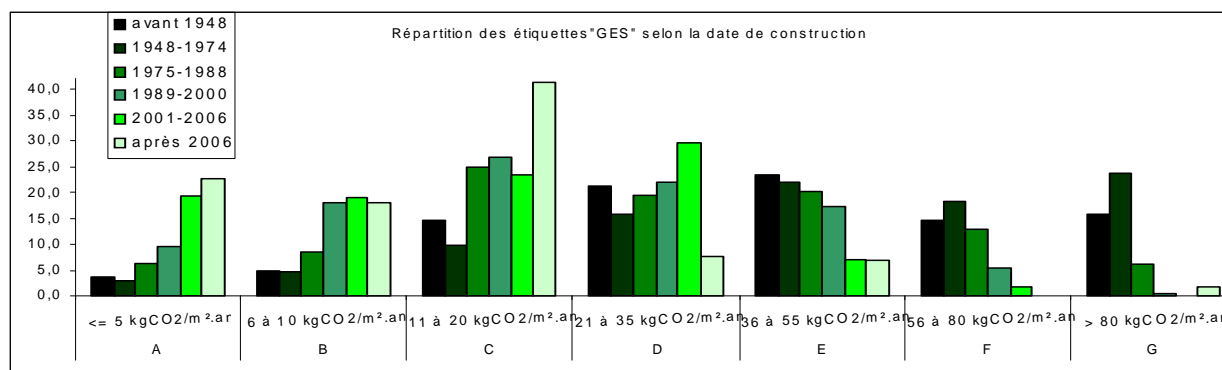
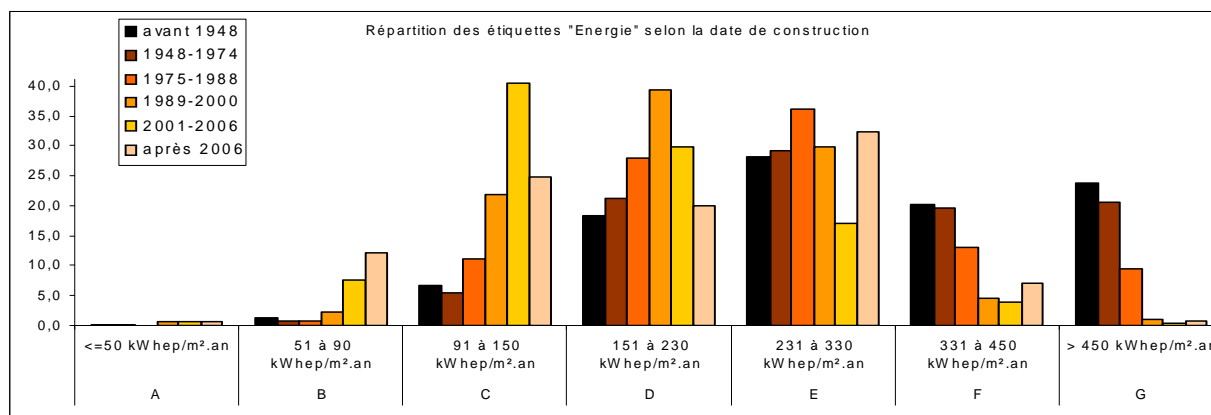
Plus de 60 % des logements existants en 2012 ont été construits avant la première réglementation thermique, la RT 1974. Applicable aux logements construits à partir du 1er janvier 1975, elle poursuit un objectif de réduction de consommation énergétique en fixant des normes minimales de construction qui se durcissent au fil du temps avec les réglementations qui lui ont succédé en 1988, 2000, 2005 et 2012.

La RT 1974 marque un tournant dans la construction avec une diminution progressive (voire une disparition) des logements construits en classe F ou G au profit des classes E à B (graphiques 1 et 2). À partir de 2001, la moitié des logements construits sont en classes C ou B, contre moins de 10 % avant 1975. La classe A, correspondant aux normes de la RT 2012 avec une consommation d'énergie inférieure à 50 kWhEP/m<sup>2</sup>/an, reste l'exception : elle représente 0,3 % des logements.

L'information fournie par le DPE reste conventionnelle. Le DPE prend en compte la date de construction du logement alors que celui-ci peut avoir depuis été réhabilité ou rénové et donc offrir une meilleure performance thermique. Inversement, le mauvais entretien de logements récents peut entraîner une dégradation précoce. Par ailleurs, à l'exception de la RT 2012, les réglementations précédentes n'imposaient pas de seuil maximal de consommation d'énergie. Enfin, les choix des

énergies utilisées notamment pour le chauffage ont un impact sur la consommation d'énergie et le « tout électrique » dans les constructions plus récentes est plutôt énergivore.

### Graphiques 1 et 2 : répartition des étiquettes « énergie » et « GES » selon la date de construction



Lecture : 18,3 % des logements construits avant 1948 ont une étiquette « énergie » D, 21,2 % pour ceux de 1948 à 1974, 28,1 % de 1975 à 1988, 39,2 % de 1989 à 2000, 29,9 % de 2001 à 2005 et 20,0 % après 2005.

Source : SOeS, enquête Phébus 2013

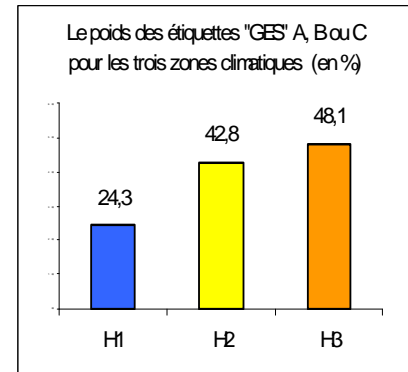
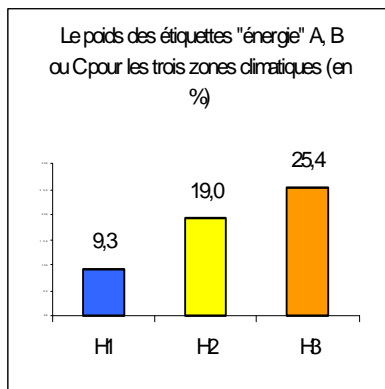
Tous ces éléments combinés nuancent l'impact des réglementations thermiques sur la performance énergétique et expliquent l'absence de linéarité entre date de construction et consommation d'énergie.

C'est moins vrai pour les émissions de GES qui suivent historiquement le cycle des réglementations. Ceci est dû en partie à l'usage progressif de l'électricité qui émet peu ou pas de CO2 (notamment pour celle d'origine renouvelable ou nucléaire) à l'inverse du fioul domestique, du gaz et des autres combustibles fossiles.

#### Les zones climatiques particulièrement clivantes

L'impact de la zone climatique est très déterminant à la fois pour les consommations d'énergie et les émissions de GES. Ainsi, les logements performants en termes de consommation d'énergie (étiquettes A, B ou C) sont plus répandus dans pourtour méditerranéen plus clément (zone H3), qu'en zone plutôt tempérée de l'ouest du pays et de l'arrière-pays méditerranéen (H2), et dans la zone la plus froide (H1), située au nord et à l'est du pays (H1) (graphiques 3 et 4).

### Graphiques 3 et 4 : poids des étiquettes A, B ou C pour les trois zones climatiques



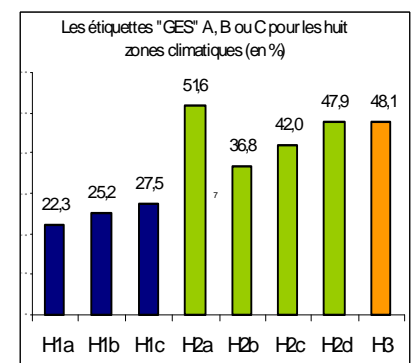
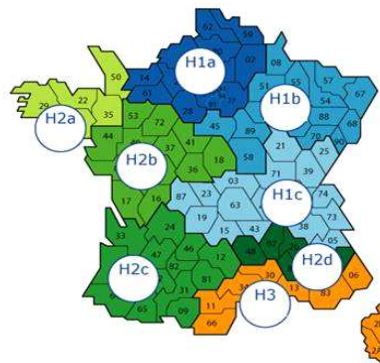
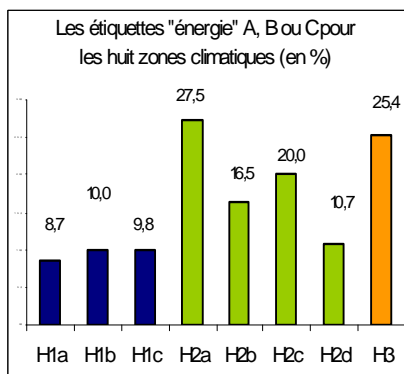
Source : SOeS, enquête Phébus 2013

Si la distribution des étiquettes « énergie » est très homogène dans la zone climatique H1, il n'en n'est pas de même pour la zone H2 : des écarts importants existent notamment entre la Bretagne (H2a), où les logements les plus performants représentent 27,5 % du parc, du fait du climat océanique aux hivers doux, et la zone climatique de l'arrière-pays du Sud-Est (H2d), où, du fait des contreforts de montagne, la part des logements les moins énergivores tombe à 10,7 % (graphiques 5 et 6).

Pour les émissions de GES les dispersions intra-zones sont assez fortes : ainsi dans la zone H2, la Bretagne (H2a) est aussi la moins émettrice ainsi que le Sud-Est (H2d), de même que la région centrale (H1c) pour la zone H1.

### Graphiques 5 et 6 : poids des étiquettes A, B ou C pour les huit zones climatiques

Source : SOeS, enquête Phébus 2013



**H1** : La zone la plus froide située au nord-est et composée de 3 régions **H1a**, **H1b**, **H1c** avec une région **H1b** à l'est un peu plus froide que les deux autres

**H2** : Une zone plutôt tempérée comprenant 4 régions : **H2a**, **H2b** et **H2c** situées à l'ouest coté atlantique et bénéficiant du rôle régulateur de l'océan et une région **H2d** bénéficiant du climat méditerranéen

**H3** : Une zone plutôt chaude en bordure de la méditerranée et la Corse

### Des énergies de chauffage spécifiques selon les zones

En plus de la localisation géographique, les énergies de chauffage utilisées, assez spécifiques selon les zones, expliquent aussi ces écarts : plus de gaz, de réseaux de chaleur et dans une moindre mesure de fioul en H1, plus d'électricité en H2 et surtout en H3 et davantage de bois en H2 (tableau 3).

De surcroît, au sein des zones, les énergies de chauffage utilisées peuvent être très disparates : ainsi dans la zone H1a on utilise plus le gaz naturel et les réseaux de chaleur et moins le fioul ; dans la zone H2a davantage l'électricité et beaucoup moins le bois qu'en H2d notamment et les poids des différentes énergies sont assez proches de celles de la zone H3.

**Tableau 3 : principales énergies de chauffage selon les zones climatiques**

Principales énergie de chauffage	Zone climatique		
	H1	H2	H3
Bois	4,9	7,5	3,0
Electrique	31,1	41,2	50,9
Fioul	15,1	13,7	10,7
Gaz naturel	40,6	32,8	34,8
Réseau de chaleur	7,0	1,9	0,0
Total	100,0	100,0	100,0

Lecture : dans la zone H1, 4,9 % des ménages se chauffent au bois, 31,1 % à l'électricité, 15,1 % au fioul, 40,6 % au gaz naturel et 7,0 % avec un réseau de chaleur.

Source : SOeS, enquête Phébus 2013

### Consommation d'énergie et émissions de GES : une corrélation pas toujours vérifiée

Le type d'énergie utilisé dans le logement a un impact déterminant sur les étiquettes « énergie » et « GES » selon le chauffage principal du logement (tableaux 4 et 5).

**Tableaux 4 et 5 : répartition des étiquettes selon l'énergie principale**

Energie principale	Etiquette ENERGIE (%)							N/A	Total
	A <=50 kWhep/m <sup>2</sup> .an	B 51 à 90 kWhep/m <sup>2</sup> .an	C 91 à 150 kWhep/m <sup>2</sup> .an	D 151 à 230 kWhep/m <sup>2</sup> .an	E 231 à 330 kWhep/m <sup>2</sup> .an	F 331 à 450 kWhep/m <sup>2</sup> .an	G > 450 kWhep/m <sup>2</sup> .an		
Bois	0,8	2,3	7,0	19,3	31,9	18,6	19,9	0,0	100,0
Electrique	0,3	0,8	6,5	21,1	31,0	18,2	21,3	0,8	100,0
Fioul	0,4	1,7	8,3	20,4	29,5	23,4	16,2	0,3	100,0
Gaz naturel	0,3	3,2	18,8	28,0	27,2	11,1	10,1	1,3	100,0
Réseau de chaleur	0,0	3,7	6,9	32,6	43,8	5,5	2,8	4,6	100,0

Energie principale	Etiquette GES (%)							N/A	Total
	A <= 5 kgCO2/m <sup>2</sup> .an	B 6 à 10 kgCO2/m <sup>2</sup> .an	C 11 à 20 kgCO2/m <sup>2</sup> .an	D 21 à 35 kgCO2/m <sup>2</sup> .an	E 36 à 55 kgCO2/m <sup>2</sup> .an	F 56 à 80 kgCO2/m <sup>2</sup> .an	G > 80 kgCO2/m <sup>2</sup> .an		
Bois	62,8	18,7	8,3	5,8	2,4	0,7	1,3	0,0	100,0
Electrique	6,9	18,9	40,4	23,0	9,0	1,1	0,0	0,8	100,0
Fioul	0,0	0,4	2,9	9,4	18,5	29,3	39,2	0,3	100,0
Gaz naturel	0,1	0,2	5,1	22,5	32,7	20,2	18,0	1,3	100,0
Réseau de chaleur	7,6	8,9	12,1	14,9	22,2	15,9	13,7	4,6	100,0

Source : SOeS, enquête Phébus 2013

Cependant il n'y a pas toujours corrélation entre consommation d'énergie et émission de GES : de faibles consommations d'énergie ne vont pas forcément de pair avec de moindres émissions de CO<sub>2</sub>.

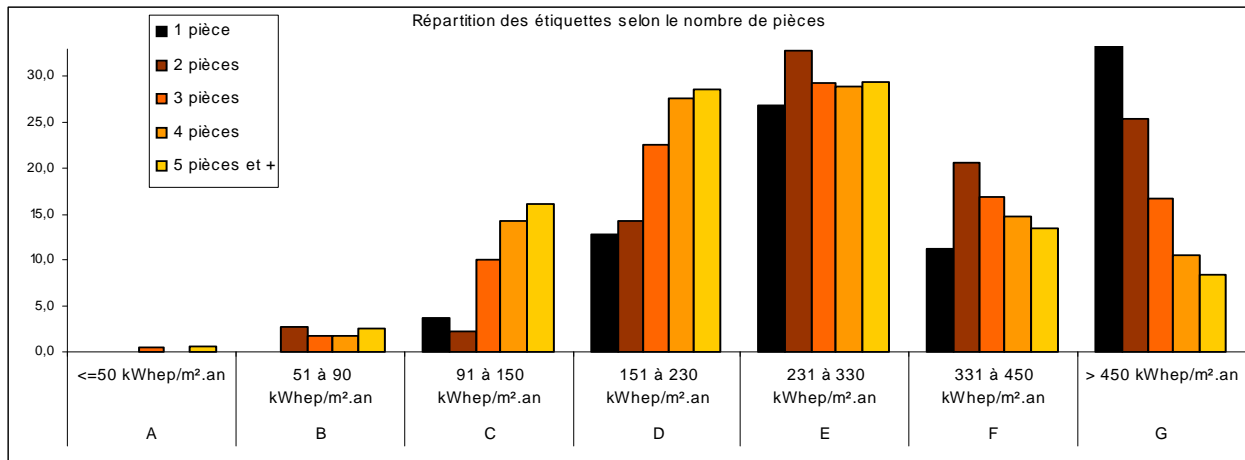
Les énergies utilisées dans les logements les moins énergivores, en particulier, ne sont pas forcément les moins émettrices : ainsi le gaz, utilisé dans 22 % des logements avec une étiquette « énergie » en A, B ou C (contre 9 % pour les autres énergies), émet bien plus de GES que le bois ou l'électricité. Ces deux énergies atteignent respectivement 90 % et 66 % d'étiquettes GES en A, B ou C contre 5,4 % pour le gaz.

### Les petits logements gros consommateurs d'énergie

Si les petits logements (studios, deux pièces) consomment comparativement beaucoup plus d'énergie au mètre carré que les logements de plus grande taille (graphique 7), ils n'émettent pas plus de GES pour autant.

Ils sont pour plus de la moitié chauffés à l'électricité, énergie dont la part décroît avec la taille des logements (un tiers pour les logements de trois pièces ou plus) au profit du gaz, et dans une moindre mesure du fioul.

**Graphique 7 : répartition des étiquettes « énergie » selon le nombre de pièces**



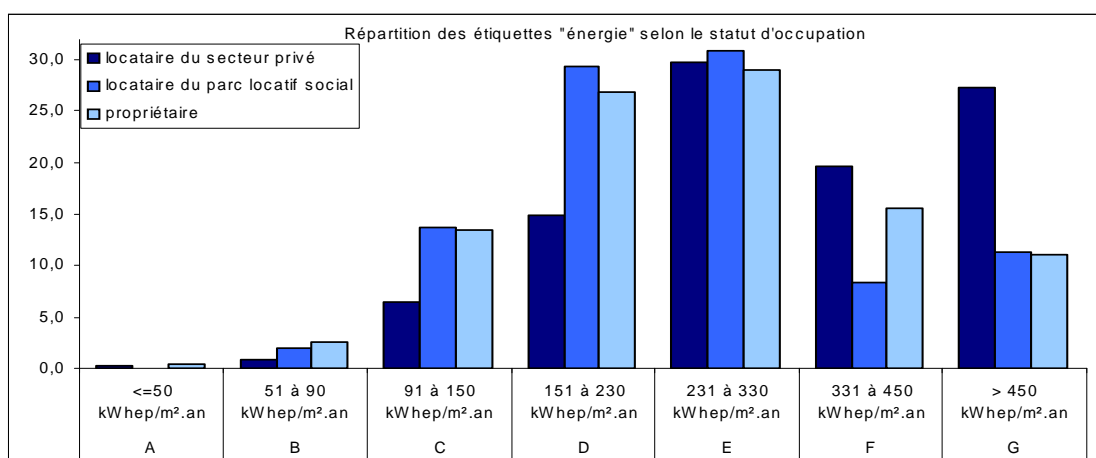
Source : SOeS, enquête Phébus 2013

Il s'agit principalement de logements loués par des bailleurs du secteur privé : la proportion de studios loués est trois fois plus élevée que celle de l'ensemble des logements et le double de celle des deux pièces.

Or la qualité du parc est différente selon le statut d'occupation du logement (graphique 8). Les locations du secteur privé sont plus « énergivores » avec une proportion d'étiquettes « énergie » performante (A, B ou C) inférieure de moitié au reste du parc. Les logements occupés par leurs propriétaires sont comparables à ceux du parc locatif social (organismes HLM, sociétés d'économie mixte et certains organismes agréés).

En revanche, les émissions de GES sont plus élevées dans le parc locatif social en raison des énergies de chauffage utilisées : il s'agit majoritairement de gaz, alors que le chauffage électrique est relativement plus répandu dans le secteur locatif privé. Ces deux énergies sont présentes à égalité pour les logements occupés par leurs propriétaires.

**Graphique 8 : répartition des étiquettes « énergie » selon le statut d'occupation**



Source : SOeS, enquête Phébus 2013

### Des travaux plus conséquents pour les logements anciens

En plus de la description du bâti et du calcul des étiquettes, figurent dans le DPE des recommandations (liste de travaux) visant à réduire les consommations d'énergie du logement. Ces recommandations sont assorties d'indicateurs sur les économies réalisées, l'effort d'investissement ainsi que la rapidité de retour sur investissement consécutif à ces propositions de travaux.

Le nombre moyen de recommandations s'élève à 3,5 pour les maisons individuelles et 3,4 pour les appartements dotés d'un chauffage collectif, à 3,1 pour les appartements pourvus d'un chauffage individuel.

Ce nombre décroît avec la date de construction du logement sous l'incidence des réglementations thermiques successives, avec moins de deux mesures pour les logements construits après les années 2000 contre 4,1 pour ceux construits avant 1948 (tableau 6).

Il varie aussi selon la zone climatique : ainsi le Centre-Est (H1c) et la Bretagne (H2a) sont les meilleurs élèves avec moins de trois mesures. À l'opposé, se trouvent la zone H2d de contreforts montagneux (départements de la Lozère, de l'Ardèche, de la Drôme, des Alpes-de-Haute-Provence et du Vaucluse) et le nord de la France (H1a) avec un nombre de recommandations bien plus élevé (tableau 7).

**Tableaux 6 et 7 : nombre de recommandations selon la réglementation thermique et selon la zone climatique**

Réglementation thermique		moyenne	mediane
sans	avant 1948	4,1	4,0
	1948-1974	3,8	4,0
RT 1974	1975-1988	3,1	3,0
RT 1988	1989-2000	2,3	2,0
RT 2000	2001-2006	1,6	1,0
RT 2005	à partir du 1er janvier 2006	1,8	2,0

Zone climatique	moyenne	
H1a	3,8	<b>3,4</b>
H1b	3,2	
H1c	2,8	
H2a	2,7	<b>3,3</b>
H2b	3,0	
H2c	3,6	
H2d	4,0	
<b>H3</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>

Source : SOeS, enquête Phébus 2013

La liste des recommandations est très concentrée : les dix principales représentent les trois quarts de l'ensemble des recommandations émises, et les vingt premières, 90 % de l'ensemble des quatre-vingts mesures possibles (tableau 8).

La date de construction n'a pas de réel impact sur le type de recommandations. La liste est très comparable pour l'ensemble des logements avec cependant des priorités différentes. Ainsi pour les logements construits après le 1er janvier 2006, par rapport à l'ensemble des logements : le remplacement des vitrages et la nécessité d'isoler se fait moins sentir ; les besoins sont plus concentrés notamment sur des mesures liées aux énergies renouvelables qui apparaissent telles que la mise en place d'un système de production d'eau chaude sanitaire (ECS) solaire ou l'installation d'une pompe à chaleur géothermique.



**Tableau 8 : recommandations figurant dans le diagnostic de performance énergétique**

Recommandations de l'ensemble des logements	%	% cumulé	Recommandations des logements construits après le 1er janvier 2006 ***	%	% cumulé
Installation d'un programmeur	12,0		Remplacement du ballon d'ECS par un ballon électrique NFB	24,2	
Remplacement du ballon d'ECS par un ballon électrique NFB	11,3		Installation d'un programmeur	21,5	
Isolation des murs par l'extérieur	11,2		Remplacement chaudière (gaz à condensation)	5,9	
Remplacement du vitrage	9,2		Isolation des murs par l'extérieur	5,8	
Installation de robinets thermostatiques	7,5		Isolation de la toiture	5,5	
Isolation du plancher bas en sous face	7,2		Remplacement du ballon d'ECS par un chauffe-eau thermodynamique	5,3	
Remplacement chaudière (gaz à condensation)	7,0		Pose d'un insert / poêle	4,2	
Pose d'un insert / poêle	4,0		Installation VMC Hygro B	4,0	
Isolation des murs par l'intérieur	3,5		<b>Isolation du vide sanitaire en sous face</b>	3,6	
Remplacement chaudière (fioul à condensation)	2,9	75,8	Remplacement du vitrage	2,9	83,0
Installation VMC Hygro B	2,9		<b>Envisager la mise en place d'ECS solaire</b>	2,4	
Isolation des combles	2,3		Isolation du plancher bas en sous face	1,6	
Isolation de la toiture	1,7		<b>Murs avec isolant mince = refaire l'isolation</b>	1,5	
Remplacement du ballon d'ECS par un chauffe-eau thermodynamique	1,5		Nature du plafond inconnu - Vérification de l'isolation (combles)	1,2	
Installation VMC Hygro A	1,1		<b>Mise en place d'une régulation en fonction de la température extérieure</b>	1,2	
Remplacement convecteur par panneaux rayonnants	1,0		Installation VMC Hygro A	1,1	
Ventilation insuffisante, Ajout VMR	1,0		Remplacement des convecteurs électriques par des panneaux rayonnants NFC	0,9	
Mise en place d'un thermostat d'ambiance programmable	1,0		<b>Installation d'une pompe à chaleur géothermique</b>	0,8	
Mur inconnu - Vérification du niveau d'isolation	1,0		<b>Isolant dégradé / tassé</b>	0,7	
Nature du plafond inconnu - Vérification de l'isolation (combles)	0,9	90,1	Isolation du terre plein (bâtiment ancien)	0,7	95,2

Source : enquête Phébus, SOeS, 2013

\*\*\* en jaune les mesures nouvelles (parmi les vingt premières) pour les logements d'après 2005

## Phébus, et après ?

Phébus 2013 constitue la première étape d'un dispositif d'évaluation de l'évolution de la performance énergétique du parc de logements. Elle permet d'avoir un « point zéro », au moment du lancement des politiques ambitieuses de rénovation thermique de l'habitat. Il conviendrait de la renouveler régulièrement pour apprécier l'impact des politiques publiques.

De ce point de vue, la reconduction de Phébus contribuerait à l'évaluation du plan de rénovation de l'habitat lancé en octobre 2013. À ce stade des réflexions, une reconduite de Phébus tous les trois à cinq ans offrirait sans doute un rythme adapté pour évaluer l'impact des différentes mesures favorisant la rénovation thermique des logements. Plusieurs pistes d'amélioration, de simplification, et surtout de diminution des coûts sont envisagées.

La première piste serait de mobiliser la base des DPE centralisée par l'ADEME. En effet, tous les DPE réalisés sont transmis par les diagnostiqueurs à l'ADEME, ce qui leur confère un numéro d'enregistrement officiel et les valide juridiquement. Cet échantillon pourrait être complété par un dispositif similaire au Phébus 2013 pour couvrir des parties du parc mal couvertes par la base de flux de DPE obligatoires de l'ADEME.

Une seconde piste à explorer, pour alléger le questionnaire, est la récupération directe des factures de gaz et d'électricité auprès des fournisseurs. Ceci est réalisé dans d'autres pays : les Pays-Bas, mais aussi le Canada, et les États-Unis. Cette modalité permettrait non seulement d'alléger grandement le questionnaire Clode d'une partie complexe et ardue pour les enquêteurs comme pour les ménages, mais aussi de fiabiliser la réponse et de diminuer la non réponse partielle.

*L'exploitation dans les mois à venir de cette première édition de Phébus sera également riche d'enseignements pour les futures éditions. Elle approfondira notamment l'étude des situations de précarité énergétique, sous plusieurs angles (part du revenu consacrée au chauffage, sensation de froid, taux d'effort relatif à un confort théorique, etc.).*

<sup>25</sup> Ce calcul théorique est basé sur des hypothèses de stabilité dans le temps des prix de l'énergie et des taux de TVA. Les éventuelles aides fiscales octroyées par l'État et pouvant minimiser les coûts moyens d'investissement sous forme de subventions ou de crédit d'impôt ne sont pas prises en compte. Enfin, un possible « effet rebond », résultant d'une consommation accrue d'énergie consécutive à la réduction de son coût d'utilisation, n'est également pas pris en compte.

## Bibliographie

### Études du MEDDE

**Calvet L. et Marical F.**, « Le budget « énergie du logement » : les déterminants des écarts entre ménages », Le point sur n°56, CGDD, 2010.

**Calvet L., Marical F., Merceron S. et Theulière M.**, « La facture énergétique des ménages serait 10 % plus faible sans l'étalement urbain des 20 dernières années », France portrait social, Insee Références, 2010.

**Calvet L. et Marical F.**, « Consommation de carburant : effets des prix à court et à long terme par type de Population : estimation à partir d'un pseudo-panel d'enquêtes de 1985 à 2006 », Études et documents n°40, CGDD 2011.

**Cavilhès J., Hilal M.**, « Les émissions directes de CO2 des ménages selon leur localisation », Le point sur n°137, CGDD août 2012.

**François D.**, « Le parc des logements en France métropolitaine, en 2012 : plus de la moitié des résidences principales ont une étiquette énergie D ou E », Chiffres et statistiques n°534, CGDD juillet 2014.

**Goin A. et Schwind H.**, « Précarité énergétique : des instruments d'intervention contrastés », CEDD, 2010.

**Lemaître E., Kleinpeter M.-A.**, « Dépenses de carburant automobile des ménages : relations avec la zone de résidence et impacts redistributifs potentiels d'une fiscalité incitative », Études et documents n°8, CGDD 2009.

**Marcus V. et al.**, « Le recours au crédit d'impôt en faveur du développement durable : une résidence principale sur sept rénovée entre 2005 et 2008 », Le point sur n°65, CGDD 2010.

**Marcus V. et al.**, « Le crédit d'impôt développement durable : 1,4 millions de bénéficiaires en 2010, très majoritairement propriétaires de maisons individuelles », Le point sur n°147, CGDD 2012.

**Penot-Antoniou L., Têtu P.**, « Modélisation économétrique des consommations de chauffage des logements en France », Études et documents n°21, CGDD mai 2010.

### Études de l'Insee

**Besson D.**, « Consommation d'énergie : autant de dépenses en carburants qu'en énergie domestique », Insee Première n°1176, février 2008.

**Caudron B.**, « Pour une prospective de l'amélioration de la performance énergétique du parc des logements lorrains », Insee Lorraine, Économie Lorraine n°223-224, juin 2010.

**Devalière I. et al.**, « La précarité énergétique : avoir froid ou dépenser trop pour se chauffer », Insee Première n°1351, mai 2011.

### Autres références utiles

« Premier rapport de l'ONPE : définitions, indicateurs premiers résultats et recommandations », septembre 2014.

« Energy Policies of IEA Countries - France 2009 Review », Agence internationale de l'Énergie, 2009.

« Budget énergétique des ménages : atlas des territoires vulnérables », Dossier du Certu, novembre 2011.

**Marchal J.** « Modélisation des performances énergétiques du parc de logements – État énergétique du parc en 2008, modèle prospectif à l'horizon 2050 », rapport détaillé, synthèse, Anah, janvier 2008.

Actes du colloque « La précarité énergétique : comprendre pour agir », mars 2012.

**Vanco F., Verry D.**, « La vulnérabilité des ménages face à l'augmentation du prix des carburants : une comparaison française », Version française d'une communication présentée au colloque Eurocities datta du 8-9 janvier 2009 à Namur.

## Quelles politiques pour atteindre les objectifs en matière de performance énergétique des logements ? Analyse de plusieurs mesures avec le modèle Res-IRF

Dimitri Fuk Chun Wing, Noémie Kiefer<sup>26</sup>, CGDD/SEEIDD

Compte tenu des engagements de la France à réduire fortement les consommations énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub> du parc des bâtiments existants, le CGDD a mené des évaluations des impacts de politiques publiques visant à diminuer la consommation d'énergie pour le chauffage dans les logements. Les simulations menées à l'aide du modèle hybride énergie-économie Res-IRF suggèrent que les mesures existantes à ce jour ne suffiront pas à atteindre les objectifs ambitieux fixés. Toutefois, les modélisations menées ne permettent pas d'identifier des mesures à la fois satisfaisantes vis-à-vis des objectifs et socialement acceptables.

Parmi les politiques supplémentaires envisagées ou à l'étude, le CGDD analyse l'impact d'une obligation de rénovation ou de contributions climat énergie élevées, ainsi qu'une modulation de la fiscalité immobilière selon la performance énergétique du logement. L'apport du premier outil est limité, les mesures fiscales ont aussi une efficacité limitée si les niveaux de taxe sont peu élevés. L'impact encore incertain sur le marché immobilier, le coût élevé pour les ménages, ainsi que l'insuffisante structuration de l'offre de travaux et de diagnostic rendent ces dernières politiques difficilement envisageables à court terme.

Pour atteindre ses objectifs de réduction des consommations énergétiques du parc de bâtiments existants de 38 % en 2020 par rapport à 2008 et de division par 4 des émissions de CO<sub>2</sub> tous secteurs confondus en 2050 par rapport à 1990 (« Facteur 4 »), la France a mis en place des mesures visant le parc résidentiel qui représente le principal gisement de réduction des consommations et des émissions des bâtiments. Ces mesures sont réglementaires, telles que la Réglementation Thermique pour les bâtiments neufs, et incitatives, telles que des avantages fiscaux (Crédit d'Impôt Développement Durable), des subventionnements de prêts (Eco-Prêt à Taux Zéro), ou encore des taxes (Contribution Climat-Energie). Des mesures complémentaires, comme l'obligation de rénovation ou la modulation de la fiscalité immobilière, pourraient également être envisagées. L'étude du CGDD se centre sur ces deux dernières mesures après avoir estimé que les mesures actuelles ne permettent pas d'atteindre les objectifs fixés.

### Res-IRF, un outil pour modéliser la performance énergétique du parc de logements français à long terme

Pour évaluer les politiques de rénovation énergétique des logements, le CGDD a utilisé le modèle Res-IRF, développé par le Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED). Il s'agit du module résidentiel d'IMACLIM-R France<sup>27</sup>.

Ce modèle énergie-économie permet de représenter l'évolution du parc et ses consommations de chauffage de 2008 à 2050, en fonction de l'introduction de différentes politiques publiques. Le parc correspond aux résidences principales en France métropolitaine qui sont chauffées à l'électricité, au gaz, au fioul ou au bois. Il est composé des bâtiments construits avant 2008, les seuls susceptibles d'être rénovés, auxquels s'ajoutent ensuite chaque année les logements construits après 2008.

<sup>26</sup> Noémie Kiefer a réalisé un stage de Master 1 Economics and Public Policy, au CGDD en 2013.

<sup>27</sup> Un modèle d'équilibre général du CIRED, qui est hybridé à des modules de simulation technologique.

### Encadré : Le modèle Res-IRF développé par le CIRED

Ce modèle a été réalisé par le Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED) pour le compte du CGDD qui l'a déjà utilisé en 2011 pour évaluer des mesures du Grenelle de l'environnement relatives au parc de logements [3]. Les politiques qui peuvent être évaluées dans la version de base du modèle sont la Réglementation Thermique (RT), le Crédit d'Impôt Développement Durable (CIDD), l'Eco-Prêt à Taux Zéro (Eco-PTZ), l'Obligation de Rénovation (OR), et la taxe carbone appelée également Contribution Climat-Energie (CCE).

Le parc de logements existants en 2008 y est désagrégé par type de décideur (d)<sup>28</sup>, par énergie principale de chauffage (e)<sup>29</sup> et par classe énergétique (q)<sup>30</sup>. Le croisement de ces trois caractéristiques définit des catégories de logements dont les stocks évoluent selon les décisions d'investissement des ménages : changement d'énergie de chauffage, ou rénovation qui permet d'atteindre une étiquette énergétique plus économe. En prenant en compte les différents coûts auxquels les ménages sont confrontés pour chaque catégorie de logement et chaque année, on peut calculer la valeur actuelle nette d'une transition vers au moins une classe énergétique supérieure, et ainsi déterminer le taux endogène de rénovation.

L'originalité de ce modèle tient à la prise en compte de plusieurs déterminants de l'efficacité énergétique. L'effet rebond, qui correspond à une demande de service énergétique accrue à la suite d'une rénovation, est incorporé à travers une fonction reliant le taux d'utilisation des équipements de chauffage à la dépense théorique d'énergie. Le « dilemme propriétaire-locataire » est également pris en compte par des taux d'actualisation des économies d'énergie différenciés selon le décideur, les locataires et propriétaires bailleurs se voyant attribuer un taux d'actualisation plus élevé, limitant l'intérêt des rénovations. Les externalités positives par effet d'imitation et d'apprentissage sont aussi intégrées via une baisse endogène des coûts intangibles et des coûts des travaux. Enfin, des coûts intangibles reflètent l'imperfection de l'information sur la performance finale des travaux (voir l'article de Benoît Allibe dans ce numéro).

La version utilisée ici tient compte des différentes évolutions du modèle depuis 2011 : l'introduction du bois-énergie et des logements sociaux, un recalibrage de la matrice des coûts de transition énergétique et du taux de rénovation initial, un raffinement de certains paramètres (taux d'actualisation, fonction de rénovation, fonction de comportement de l'utilisateur). L'introduction de la taxe foncière et des droits de mutation énergétiques a donné lieu à des développements plus importants, réalisés par le CGDD [4].

### Les mesures existantes resteraient insuffisantes pour atteindre les objectifs fixés

Les mesures déjà mises en œuvre ne devraient permettre d'atteindre qu'à peine la moitié des objectifs de réduction de consommation d'énergie et les deux tiers des objectifs de CO<sub>2</sub>.

Les différents scénarios sont comparés à un scénario de référence qui ne comprend aucune mesure spécifique mise en œuvre. En particulier, la norme thermique de construction reste la RT 2005 sur l'ensemble de la période 2008 - 2050.

Les politiques existantes sont dans un premier temps évaluées individuellement : CIDD et Eco-PTZ mis en place entre 2009 et 2015, RT incluant la RT 2012 (BBC<sup>31</sup>) et RT 2020 (BEPOS<sup>32</sup>), CCE telle que fixée dans la loi de finances pour 2014<sup>33</sup>. Elles sont ensuite évaluées de façon groupée, dans un scénario 'avec mesures existantes' (AME), comprenant l'ensemble des outils cités.

<sup>28</sup> Cinq décideurs : propriétaire occupant en maison individuelle, propriétaire occupant en logement collectif, propriétaire bailleur en maison individuelle, propriétaire bailleur en logement collectif et logement social.

<sup>29</sup> Quatre énergies : électricité, gaz, fioul et bois.

<sup>30</sup> Sept classes qui reprennent les étiquettes du Diagnostic de Performance Energétique (DPE) : G, F, E, D, C, B et A.

<sup>31</sup> Bâtiment basse consommation

<sup>32</sup> Bâtiment à énergie positive

<sup>33</sup> Avec cette contribution climat énergie, le gaz est taxé à 7 €/tCO<sub>2</sub> en 2014, puis 14,4 en 2015 et 21,8 en 2016. Le fioul n'est pas taxé en 2014, puis est taxé à 7,4 €/tCO<sub>2</sub> en 2015 et à 14,8 en 2016.

**Tableau 1 : Résultats des simulations des mesures existantes ou prévues à court terme pour améliorer le bilan énergétique et environnemental du parc des logements existants**

Objectif		Consommation en énergie par rapport à 2008 (kWh/m <sup>2</sup> )		Émissions de CO <sub>2</sub> par rapport à 1990	
		2020	2050	2020	2050
Objectif		-38%			-75%
<b>Ref</b>	Scénario de référence	-14,2 %	-47,6 %	-0,5 %	-32,2 %
<b>CIDD</b>		-15,1 %	-48,1 %	-1,5 %	-32,5 %
<b>Eco-PTZ</b>		-15,3 %	-48,2 %	-1,6 %	-32,6 %
<b>RT</b>		-14,2 %	-47,6 %	-3,5 %	-46,9 %
<b>CCE PLF 2014</b>		-15,8 %	-48,4 %	-3,5 %	-34,2 %
<b>AME</b>	CIDD+Eco-PTZ+RT+CCE	<b>-18,0 %</b>	-49,6 %	-8,5 %	<b>-49,3 %</b>

Source : CGDD (modèle Res-IRF)

Note 1 : Les consommations d'énergie portent sur le parc existant ; les émissions de CO<sub>2</sub> sur l'ensemble du parc, conformément aux objectifs.

Note 2 : Il s'agit de la consommation réelle d'énergie, qui prend en compte l'effet rebond, contrairement à la consommation théorique. Elle est exprimée en énergie primaire qui est l'énergie contenue dans les ressources naturelles, avant une éventuelle transformation (par exemple, le fioul et le gaz sont des énergies primaires)<sup>34</sup>.

Note 3 : Les émissions de CO<sub>2</sub> sont obtenues à partir des consommations énergétiques finales auxquelles sont appliquées les contenus carbone correspondant à leur source d'énergie (271 gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>EF</sub> pour le fioul, 206 gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>EF</sub> pour le gaz et 120 gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>EF</sub> pour l'électricité).

Dans ce dernier scénario AME, les objectifs « Grenelle -38 % » et « Facteur 4 » ne sont pas atteints. La consommation unitaire en énergie du parc existant diminue de 18 % seulement en 2020 par rapport à 2008, et les émissions de CO<sub>2</sub> de 49 % en 2050 par rapport à 1990. Tandis que, isolément, la CCE est la mesure la plus efficace pour se rapprocher du premier objectif grâce au comportement de sobriété qu'elle encourage, c'est la RT qui permet la plus grande réduction des émissions de CO<sub>2</sub> du parc total à l'horizon 2050 (47 %) grâce à la progression de la part du neuf dans le parc total au cours du temps.

### Des mesures complémentaires permettraient de s'approcher des objectifs fixés mais imposeraient de fortes contraintes

Pour atteindre les objectifs, des mesures supplémentaires devront être envisagées. Les scénarii supplémentaires suivants ont donc été évalués :

- **Scénario AMS1** : il s'agit du bouquet de mesures CIDD + éco-PTZ + RT 2012-2020 + CCE, cette dernière étant calibrée de manière à atteindre 75 % de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> entre 1990 et 2050. Cela suppose la mise en place d'une CCE d'une valeur de 54 €/tCO<sub>2</sub> en 2014, croissant à un rythme de 8 % par an jusqu'en 2050 (soit 869 €/tCO<sub>2</sub> en 2050).
- **Obligation de rénovation (OR)** : à chaque changement d'occupant du logement (locataire ou propriétaire), les propriétaires de logements de classe énergétique inférieure au seuil de la classe C doivent effectuer des travaux de rénovation permettant d'atteindre au minimum la classe C. Le taux de rénovation, déterminé de façon endogène dans le modèle, est forcé pour les logements situés sous le seuil afin de correspondre aux cycles de changement d'occupant observés par ailleurs. L'obligation est imposée aux logements classés G en 2016, aux logements classés F en 2020, aux logements classés E en 2024 et enfin à ceux de classe D en 2028.

<sup>34</sup> Alors que l'énergie finale est l'énergie utilisée par le consommateur, c'est-à-dire après transformation des ressources en énergie et après le transport.

- **Scénario AMS2** : il s'agit du bouquet de mesures AME + OR.
- **Scénario AMS3** : il s'agit du bouquet de mesures CIDD + éco-PTZ + RT 2012-2020 + OR + CCE 'Quinet', la valeur du carbone utilisée pour évaluer le montant de CCE suivant les recommandations du rapport Quinet<sup>35</sup> [5], soit 40 €/tCO<sub>2</sub> en 2014, avec une augmentation de 5,8 % par an jusqu'en 2030 puis de 4 % par an ensuite, pour valoir 217 €/tCO<sub>2</sub> en 2050. Si le prix de l'énergie hors taxe carbone est anticipé de façon myope dans le modèle<sup>36</sup>, la taxe carbone l'est en revanche parfaitement à l'égard des ménages, à partir de l'année où elle est mise en place.

**Tableau 2 : Résultats des simulations de mesures supplémentaires pour améliorer le bilan énergétique et environnemental du parc des logements existants**

		Consommation en énergie par rapport à 2008 (kWh/m <sup>2</sup> )		Émissions de CO <sub>2</sub> par rapport à 1990	
		2020	2050	2020	2050
Objectif		-38 %			-75 %
<b>AME</b>	CIDD + EcoPTZ + RT + CCE	-18,0 %	-49,6 %	-8,5 %	-49,3 %
<b>AMS1</b>	CIDD + EcoPTZ + RT + 'CCE-75 %'	-25,6 %	-66,1 %	-21,5 %	-74,8 %
<b>OR</b>		-15,2 %	-53,0 %	-1,6 %	-36,2 %
<b>AMS2</b>	AME + OR	-19,0 %	-54,5 %	-9,5 %	-52,9 %
<b>AMS3</b>	CIDD + EcoPTZ + RT + OR + 'CCE Quinet'	-23,6 %	-60,6 %	-17,7 %	-63,3 %

Source : CGDD (Modèle Res-IRF)

Notes : voir les notes sous le tableau 1.

D'après les simulations réalisées avec Res-IRF, l'atteinte du facteur 4 nécessiterait une contribution climat énergie élevée (cf. scénario AMS1). Néanmoins, une telle taxe ne permettrait pas d'atteindre l'objectif de réduction de la consommation énergétique de -38 % en 2020, même si elle permettrait de s'en rapprocher avec une baisse de 26 %. Un problème d'acceptabilité sociale apparaîtrait également avec une taxe comportant des montants aussi importants.

La mise en œuvre d'une obligation de rénovation pourrait être envisagée de manière complémentaire à l'ensemble des instruments existants. Évaluée de manière isolée sur les modalités spécifiées supra, cette obligation conduirait à une baisse de la consommation d'énergie sur le parc existant de 15 % ; à l'horizon 2020, son efficacité serait relativement limitée à cause de sa mise en place tardive et progressive. Sa combinaison au scénario AME (scénario AMS2) permettrait d'agir également sur le parc neuf avec la RT et sur les émissions de CO<sub>2</sub> avec la CCE, atteignant ainsi -53 % d'émissions en 2050. Les résultats seraient encore améliorés si l'OR était associée à un paquet de mesures intégrant une contribution climat énergie plus dynamique, telle que celle préconisée par le rapport Quinet (scénario AMS3) : la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2050 y atteindrait alors 63 % tout en se rapprochant des objectifs de consommation énergétique pour 2020.

<sup>35</sup> Fixée à 32 €/tCO<sub>2</sub> en 2010.

<sup>36</sup> L'anticipation myope des prix de l'énergie signifie que les acteurs font leur calcul de coût généralisé avec les prix de l'énergie observés au moment de la décision d'investissement.



## Opportunité économique de mesures de fiscalité immobilière : entre efficacité et acceptabilité

La fiscalité immobilière est souvent évoquée comme un outil pouvant inciter à la rénovation thermique. Il s'agit notamment de modulations sur la taxe foncière sur les propriétés bâties (TFPB) ou sur les droits de mutation à titre onéreux (DMTO). Toutefois, pour être incitatives, ces modulations devraient être fixées à des niveaux élevés, dont la question de l'acceptabilité sociale se pose. S'ajoutent aussi dans le second cas des limites liées à la mise en œuvre de la mesure.

### Description des politiques évaluées

Ces deux éléments de la fiscalité immobilière ont été explorés dans cette étude. Le critère de modulation retenu est la classe énergétique du logement fournie par le Diagnostic de Performance Énergétique (DPE). Ces modulations prendraient la forme d'un montant de taxe additionnel, établi par unité de surface du logement pour chacune des étiquettes énergie. Il s'agirait d'un malus ou d'un bonus-malus, les classes fortement consommatrices étant davantage taxées. Tandis que la modulation de la TFPB créerait une incitation périodique, une modification des DMTO n'aurait d'impact sur les ménages qu'au moment des achats immobiliers. Les recettes perçues par l'État pourraient faire l'objet d'une redistribution sous forme d'aides à la rénovation (non simulée ici).

Pour établir un standard de comparaison, on calcule les montants incitatifs de ces taxes. Les montants de malus incitatifs peuvent être définis comme les montants de taxe nécessaires pour rendre rentables les opérations de rénovation vers une classe de référence donnée. Ces montants sont calculés pour chaque étiquette de DPE. Par leur principe même, les bonus-malus doivent quant à eux inciter à rénover jusqu'à la meilleure classe, c'est-à-dire la classe A. L'étiquette énergie à laquelle ils sont neutres (c'est-à-dire, ni bonus, ni malus pour cette étiquette) peut cependant être adaptée. Pour cela, on prend les montants de malus incitant à la rénovation vers la classe A et on leur soustrait le montant de malus qui était imposé à la classe que l'on souhaite « neutre ».

### Évaluation de l'opportunité de la modulation de la taxe foncière sur les propriétés bâties (TFPB)

#### Des montants incitatifs difficilement envisageables

La TFPB annuelle incombe à tout propriétaire d'un terrain bâti au 1<sup>er</sup> janvier de l'année. Elle est basée sur les caractéristiques du bien au travers de la valeur locative cadastrale, à laquelle est appliqué un taux d'imposition. Le taux d'imposition moyen est de 34,29 %<sup>37</sup> et le montant moyen de TFPB pour une maison individuelle peut être évalué à 700 euros<sup>38</sup>.

En faisant varier les montants de malus et de bonus-malus avec la classe C choisie comme référence (graphique 1), on observe que les montants de malus incitatifs sont très élevés par rapport à la TFPB existante moyenne, ce qui réduit fortement leur acceptabilité sociale. Par exemple, avec un malus nul en C, les propriétaires de maisons individuelles de classes G, F et E subiraient en moyenne plus d'un doublement de leur taxe foncière suite à la mise en place de la modulation énergétique.

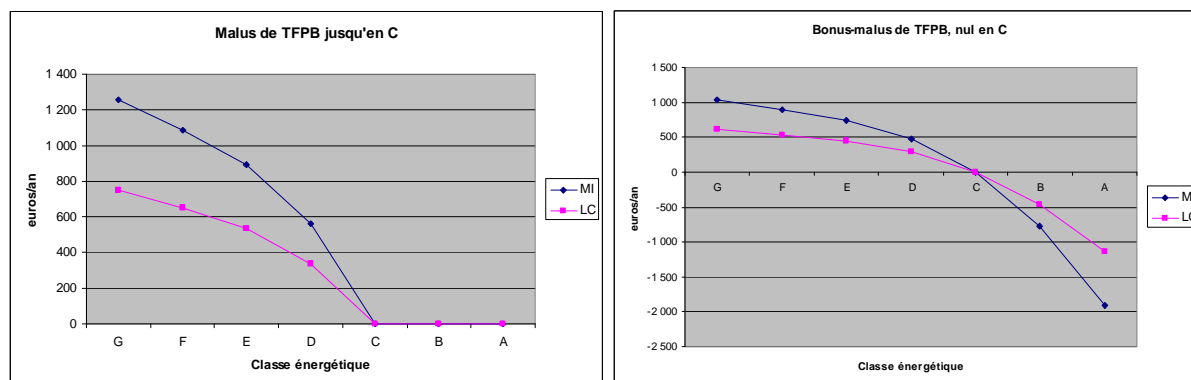
Dans la suite de l'évaluation, les modulations testées reprennent le profil des montants incitatifs mais ces derniers sont réduits de manière proportionnelle<sup>39</sup>, de sorte que le malus maximum ne dépasse pas un certain plafond, fixé ici à la TFPB moyenne. Dans les graphiques ci-dessous, les maisons individuelles sont désignées par « MI » et les logements collectifs par « LC ».

<sup>37</sup> Valeur pour la TFPB en 2011.

<sup>38</sup> Calcul à partir de l'enquête logement 2006.

<sup>39</sup> On ne garde qu'un certain pourcentage des valeurs incitatives, identique pour chaque étiquette.

**Graphique 1 : Montants incitatifs à la rénovation des logements, pour un malus de TFPB jusqu'en C et un bonus-malus de TFPB nul en C**



### Intégration de la TFPB dans Res-IRF

Afin d'évaluer l'impact d'une TFPB énergétique, une nouvelle politique a été créée dans Res-IRF. Elle est caractérisée par son année de mise en œuvre et les montants annuels de la modulation de la TFPB pour chaque type de décideur et chaque étiquette de DPE (matrice 5x7 «  $FONC_{d,q}$  »).

Les dépenses de TFPB énergétique sont traitées comme un coût supplémentaire et sont intégrées dans le calcul du coût sur le cycle de vie d'une transition de classe [4] :

$$LCC_{d,e,q_i,q_f} = CINV_{q_i,q_f} + IC_{d,e,q_i,q_f} + CENER_{d,e,q_f} + FONC_{d,q_f}$$

Où

$LCC_{d,e,q_i,q_f}$ : coût sur le cycle de vie d'une transition de la classe  $q_i$  à la classe  $q_f$ , pour un décideur  $d$  et une source énergétique  $e$

$CINV_{q_i,q_f}$ : coûts des travaux pour une transition de la classe  $q_i$  à la classe  $q_f$

$IC_{d,e,q_i,q_f}$ : coûts intangibles

$CENER_{d,e,q_f}$ : dépenses d'énergie associées à la classe d'arrivée

$FONC_{d,q_f}$ : coût lié à la modulation de la taxe foncière, sommée et actualisée sur la durée de vie de l'enveloppe du bâtiment

L'expression de la valeur actuelle nette moyenne d'une rénovation est ainsi modifiée pour intégrer les montants de TFPB que le ménage aura à payer :

$$VAN_{d,e,q_i} = CENER_{d,e,q_i} + FONC_{d,q_i} - \sum_{k>q_i} MS_{d,e,q_i,k} LCC_{d,e,q_i,k}$$

où  $MS_{d,e,q_i,q_f}$  correspond à la probabilité de réalisation associée à la transition  $q_i$  vers  $q_f$ .

Enfin, le nombre de logements rénovés dans chaque catégorie  $RENO_{d,e,q_i}$  est obtenu en multipliant la fraction de logements rénovés  $f_{a,b}(VAN_{d,e,q_i})$  par le nombre de logements rénovables  $stockEI_{d,e,q_i}$  :

$$RENO_{d,e,q_i} = f_{a,b}(VAN_{d,e,q_i}) \times stockEI_{d,e,q_i} = \frac{1}{1 + a \exp(-bVAN_{d,e,q_i})} \times stockEI_{d,e,q_i}$$

L'introduction de la taxe foncière, en modifiant la VAN liée à chaque opération, modifie alors le taux de rénovation et la répartition des rénovations selon la classe d'arrivée.

### Résultats des simulations pour la TFPB

Plusieurs scénarios de modulations ont été évalués pour un montant maximal de la modulation appliquée égal à la TFPB moyenne, mais différent par la classe visée en objectif (C ou A) pour laquelle le montant de malus s'annule.

**Tableau 3 : Résultats des simulations pour certains scénarios de TFPB incitatifs à la rénovation thermique des logements**

	Consommation en énergie par rapport à 2008 (kWh/m <sup>2</sup> )		Émissions de CO <sub>2</sub> par rapport à 1990	
	2020	2050	2020	2050
Objectif	-38 %			-75 %
<b>AME</b>	-18,0 %	-49,6 %	-8,5 %	-49,3 %
<b>TFPB1<sup>40</sup></b>	-18,9 %	-52,1 %	-9,4 %	-50,7 %
<i>Variation par rapport à AME</i>	-0,9	-2,5	-0,9	-1,4
<b>TFPB2<sup>41</sup></b>	-19,0 %	-55,5 %	-9,8 %	-54,8 %
<i>Variation par rapport à AME</i>	-1,0	-5,9	-1,3	-5,5
<b>TFPB3<sup>42</sup></b>	-20,2 %	-60,7 %	-11,1 %	-58,5 %
<i>Variation par rapport à AME</i>	-2,2	-11,1	-2,6	-9,2

Voir les notes sous le tableau 1.

En matière de réduction de la consommation énergétique et des émissions de CO<sub>2</sub>, l'introduction de la TFPB énergétique conduit à un gain de quelques points de pourcentage de réduction par rapport au scénario comprenant les mesures existantes (AME) selon les montants choisis : de -0,9 % à -2,2 % pour la consommation énergétique dans l'existant à l'horizon 2020 et de -1,4 % à -9,2 % pour les émissions de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2050.

Pour conclure, et comme attendu, les mesures les plus efficaces pour transformer le parc sont celles qui incitent à rénover jusqu'à la classe A, mais ces scénarios impliquent également des montants de modulations importants (de l'ordre de 500 à 3000 € pour les logements de classe B à G) et dont l'acceptabilité par les ménages est susceptible de poser difficulté. Il est par ailleurs à noter que les gains effectifs sont atténués par l'effet rebond, c'est-à-dire par un relâchement de la sobriété énergétique des ménages, qui peut effacer jusqu'à environ 25 % des gains attendus à l'horizon 2050.

### Évaluation de l'opportunité de la modulation des Droits de Mutation à Titre Onéreux (DMTO)

#### Des montants incitatifs élevés mais plus facilement acceptables par leur caractère ponctuel

Les DMTO sont payés par l'acheteur d'un bien immobilier achevé depuis plus de 5 ans. Ils forment la plus grande partie des « frais de notaires » et sont calculés sur le prix de vente. Puisque le taux global d'imposition est en 2011 de 5,09 %, et que le prix moyen d'un logement ancien en 2007 était de 193 000 €<sup>43</sup>, on retiendra que les DMTO moyens peuvent être évalués à 9 800 €.

Dans le cas d'un malus et d'un bonus-malus, en considérant la classe C comme référence, on observe que les montants de malus incitatifs de DMTO sont très élevés par rapport à leur montant moyen de 9 800 € (graphique 2).

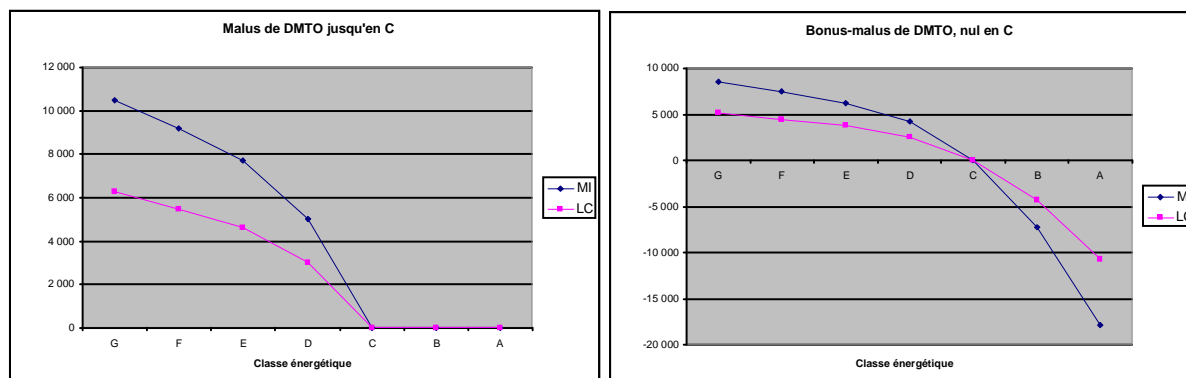
<sup>40</sup> Malus jusqu'en C. Maximum de modulation = TFPB existante moyenne, soit 56 % des valeurs incitatives

<sup>41</sup> Malus jusqu'en A. Maximum de modulation = TFPB existante moyenne, soit 24 % des valeurs incitatives

<sup>42</sup> Bonus-malus nul en B. Malus max = TFPB moyenne, soit 38 % des valeurs incitatives théoriques

<sup>43</sup> INSEE, 2010.

**Graphique 2 : Montants incitatifs à la rénovation thermique des logements pour un malus de DMTO jusqu'en classe C et un bonus-malus de DMTO nul en C**



Les propriétaires des classes G, F, E et D subiraient en moyenne une augmentation de 43 à 91 % de leurs DMTO, soit une augmentation importante mais qui reste inférieure à un doublement. Sachant que ces mesures ne s'appliqueraient qu'à une petite partie des propriétaires et à un moment plus favorable aux rénovations, les montants incitatifs de DMTO paraissent plus acceptables que ceux calculés pour la modulation de la TFPB énergétique. L'existence de bonus serait cependant problématique, notamment si, comme dans l'exemple ci-dessus, ceux-ci étaient plus élevés que le montant moyen de DMTO que les ménages doivent payer. En effet, cela signifierait que l'État devrait verser de l'argent à chaque transaction d'un bien économe en énergie.

### Introduction des DMTO dans Res-IRF

L'introduction des DMTO dans Res-IRF a nécessité des modifications du modèle. Afin de pouvoir faire évoluer les modulations de DMTO au cours du temps, trois périodes ont été définies. À chacune de ces périodes correspond une matrice 7x7 de montants unitaires de DMTO énergétiques, qui représentent ces coûts supplémentaires affectés à chaque hypothèse de transition (ou d'absence de transition) entre deux classes énergétiques.

Contrairement à la TFPB énergétique, les DMTO ne s'appliquent qu'aux logements en mutation, c'est-à-dire ceux qui changent de propriétaires. Les taux annuels des logements en mutation retenus sont différenciés par type de propriétaire : 3,5 % pour les propriétaires occupants, 1,8 % pour les propriétaires bailleurs et 0,3 % pour le logement social<sup>44</sup>. Pour des raisons de simplicité, le modèle suppose que ces taux de mutation sont exogènes et ne sont pas affectés par les modulations fiscales étudiées, ce qui ne serait probablement pas le cas en réalité.

Pour les logements en mutation, les DMTO sont inclus dans le calcul du nouveau coût sur le cycle de vie et de la valeur actuelle nette d'une rénovation. Ainsi, avec les mêmes notations que pour la TFPB :

$$LCC_{d,e,qi,af} = DMTO_{qi,af} + CINV_{qi,af} + CENER_{d,e,af} + FONC_{d,af} + IC_{d,e,qi,af}$$

$$VAN_{d,e,qi} = DMTO_{qi,qi} + CENER_{d,e,qi} + FONC_{d,qi} - \sum_{k>qi} MS_{d,e,qi,k} LCC_{d,e,qi,k}$$

L'introduction des droits de mutation, en modifiant la VAN liée à chaque opération, modifie alors le taux de rénovation et la répartition des transitions spécifiques aux logements faisant l'objet d'une mutation.

<sup>44</sup> La construction de ces taux de mutation à partir du nombre de résidences principales vendues chaque année est présentée dans l'étude de N. Kiefer [4].

## Résultats des simulations pour les DMTO

Deux scénarios ont été évalués :

- **Scénario DMTO1** : un malus prenant l'étiquette A comme cible de rénovation. Les montants de malus sont baissés homothétiquement de manière à ce que le montant maximal appliqué soit égal aux DMTO moyens (44 % des valeurs incitatives sont ainsi retenues).
- **Scénario DMTO2** : un bonus-malus prenant progressivement les étiquettes C, B et A comme classe neutre, respectivement en 2015, 2030 et 2045. Les bonus sont réduits homothétiquement lorsque la classe C est neutre, de sorte que le montant maximum distribué aux logements A ne dépasse pas le montant moyen de DMTO.

**Tableau 4 : Résultats des simulations pour certains scénarios de DMTO**

	Consommation en énergie par rapport à 2008 (kWh/m <sup>2</sup> )		Émissions de CO <sub>2</sub> par rapport à 1990	
	2020	2050	2020	2050
Objectif	-38 %			-75 %
<b>AME</b>	-18,0 %	-49,6 %	-8,5 %	-49,3 %
<b>DMTO1</b>	-18,1 %	-49,9 %	-8,6 %	-49,5 %
<i>Variation par rapport à AME</i>	-0,1	-0,3	-0,1	-0,2
<b>DMTO2</b>	-18,1 %	-50,6 %	-8,7 %	-50,1 %
<i>Variation par rapport à AME</i>	-0,1	-1,0	-0,2	-0,8

Voir les notes sous le tableau 1.

Quant à la réduction de la consommation énergétique et des émissions de CO<sub>2</sub>, l'introduction des DMTO présente une efficacité au maximum d'un point de pourcentage par rapport au scénario AME. Cette politique apparaît beaucoup moins efficace que celle faisant intervenir la taxe foncière, essentiellement parce qu'elle ne concerne chaque année que les logements changeant d'occupants, qui représentent moins de 3 % du parc.

De même que pour la TFPB, les mesures les plus efficaces pour transformer le parc sont celles qui incitent à rénover jusqu'à la classe A, dans le cas de scénarios impliquant des montants de modulations importants (de l'ordre de 6 000 à 27 000 € pour les logements de classe B à G).

### Une efficacité limitée par une nécessaire acceptabilité sociale et des incidences qui restent à approfondir

Des modulations de la taxe foncière et des droits de mutation, si elles sont contenues dans des montants considérés comme acceptables par les ménages, permettraient un gain environnemental relativement faible par rapport aux politiques déjà existantes.

Ces politiques relevant de la fiscalité immobilière, il conviendrait par ailleurs d'analyser leur impact sur le marché immobilier et notamment sur les ménages les plus modestes. La TFPB et les DMTO feraient en effet porter une charge supplémentaire aux propriétaires de logements les moins performants, qui sont très probablement occupés plutôt par les ménages aux revenus les plus faibles. Cela pourrait se traduire d'un côté par une baisse du patrimoine des ménages modestes, et de l'autre par une augmentation de celui des ménages aisés. Cette perte patrimoniale pour les propriétaires de logements moins performants s'ajouterait à celle engendrée par l'apparition progressive d'une valeur verte<sup>45</sup> sur le marché ([1] et [2]). De plus, la modulation des DMTO, si elle est conséquente, pourrait, en augmentant les coûts de transaction immobilière, affecter la mobilité des ménages et impacter de manière négative le marché du travail.

Par ailleurs, ces mesures se heurtent à d'autres limites : la mise en œuvre de telles politiques nécessiterait que soit évaluée en amont la capacité de la filière professionnelle de la rénovation énergétique à répondre à la demande (voir article du CSTB dans le présent numéro), sans qu'une tension sur le marché ne vienne augmenter les coûts de rénovation. La fiabilité du DPE devrait également être garantie pour que des mesures fiscales de cette nature puissent reposer sur ce diagnostic.

<sup>45</sup> « Valeur nette additionnelle d'un bien dégagée grâce à une meilleure performance environnementale » (ADEME, 2011)

## Bibliographie

- [1] **ADEME. Berthon C., Chotard D., Giraudet L.-G., Laurenceau S., Million M.** « Analyse préliminaire de la valeur verte pour les logements », septembre 2011, 115 pages.
- [2] **DINAMIC.** « Valeur verte des logements d'après les bases Notariales », avril 2013, 68 pages.
- [3] **Giraudet L.-G., Guivarch C., Quirion P., Penot-Antoniou L.** « Évaluation des mesures du Grenelle de l'environnement sur le parc de logements », Etudes et Documents N°58 CGDD, novembre 2011.
- [4] **Kiefer N.**, « Opportunité de la fiscalité immobilière comme outil de politique publique en faveur de la rénovation thermique des logements », Rapport de stage de Master 1 Economics and Public Policy, 2013, consultable sur demande.
- [5] **Quinet A., Baumstark L., Célestin-Urbain J., Pouliquen H., Auverlot D., Raynard C.**, 2008, « La valeur tutélaire du carbone », Rapport de la commission présidée par Alain Quinet, Conseil d'Analyse Stratégique, La Documentation française, Paris.



## Qualité des travaux de rénovation, asymétries d'information et garanties de performance énergétique

Louis-Gaëtan Giraudet,  
École des Ponts Paris Tech, CIRED

**La performance d'une rénovation énergétique dépend, entre autres facteurs, d'actions non observables de la part des entreprises réalisant les travaux et des occupants du bâtiment. Cette propriété engendre des asymétries d'information, qui mettent en défaut la capacité du marché à produire des rénovations performantes. Le coût social du problème est vraisemblablement très supérieur au coût de contrôle de la qualité, justifiant ainsi une action corrective des pouvoirs publics. Le label « reconnu garant de l'environnement » (RGE), qui conditionnera les aides publiques à compter du 1er janvier 2015, est une première étape dans cette direction. Des systèmes de garanties sont également à l'étude au Plan Bâtiment Durable. Dans le secteur résidentiel, une garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI) paraît plus efficace qu'une garantie de résultat énergétique sur l'usage (GRE).**

La performance énergétique des bâtiments est source de nombreuses incertitudes. Ses déterminants climatiques sont en partie aléatoires et ses déterminants architecturaux sont spécifiques à chaque bâtiment. Ses déterminants humains, comme la qualité d'installation des équipements ou le comportement d'utilisation de l'énergie des occupants, sont imparfaitement observables. Il n'est donc pas rare que la consommation d'énergie mesurée ex post diffère sensiblement de celle simulée ex ante (Metcalf et Hasset, 1999). Pour cette raison, la rénovation énergétique des bâtiments peut être considérée comme un « bien de croyance », dont la qualité est inconnue lors de l'achat et ne se révèle jamais complètement à l'usage. Cette caractéristique est propice aux asymétries d'information, qui mettent en défaut la capacité des marchés à offrir des biens et services de bonne qualité.

Les défauts de qualité dans le secteur du bâtiment ne sont pas nouveaux (Landier et Benayoun, 2003). Ils sont à l'origine de la loi dite « Spinetta » qui, en 1978, instaura la garantie décennale sur les ouvrages. L'émergence des préoccupations relatives à l'énergie dans le bâtiment renouvelle toutefois cette problématique, comme l'ont récemment mis en lumière deux associations de consommateurs. L'UFC-Que Choisir a consulté 29 professionnels pour la rénovation énergétique de cinq maisons individuelles. Les rapports d'audit, propositions et devis récoltés présentaient une grande hétérogénéité et les professionnels supposés plus qualifiés n'offraient pas de solutions plus satisfaisantes (Que Choisir, 2014). L'association Consommation, logement et cadre de vie, à partir de l'analyse de 300 dossiers traités en 2013, a constaté que 71 % des litiges en matière de travaux et de construction dans les logements provenaient de malfaçons et de non-conformités (CLCV, 2014).

La résolution des défauts de qualité est nécessaire à l'atteinte des objectifs ambitieux du Grenelle de l'environnement dans le secteur du bâtiment. Différentes solutions sont étudiées par les pouvoirs publics depuis 2011. Ainsi, au 1er janvier 2015, l'octroi de toutes les aides publiques pour la rénovation énergétique sera conditionné à la réalisation des travaux par des entreprises labellisées « reconnu garant de l'environnement » (RGE). De plus, une réflexion est en cours au Plan Bâtiment Durable sur deux systèmes de garanties de qualité : une garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI), qui porterait sur des consommations d'énergie conventionnelles du bâtiment, et une garantie de résultat énergétique sur l'usage (GRE), qui porterait sur les consommations réelles (PBD, 2013).

Nous proposons ici un éclairage économique sur les questions suivantes : Quel est le coût social des défauts de qualité liés à la rénovation énergétique des bâtiments ? Quelle est l'efficacité des différentes politiques publiques envisagées pour les résoudre ? Au préalable, nous définissons l'asymétrie d'information à l'origine des défauts de qualité : l'aléa moral.

## Asymétries d'information et rénovation énergétique : quand la mauvaise qualité chasse la bonne

Les problèmes d'aléa moral surviennent dans l'élaboration d'un contrat lorsqu'une des parties peut réaliser des actions inobservables (ou coûteuses à observer) *ex post*. De telles situations sont fréquentes dans la vie courante. Le comportement de vigilance d'un assuré est invérifiable par son assureur ; de même, la qualité des réparations effectuées par un garagiste est invérifiable par le propriétaire du véhicule. Dans ce contexte, l'aléa moral opère comme une « anticipation de défaut auto-réalisatrice » : l'assureur s'attend à ce que le client relâche sa vigilance lorsqu'il souscrit un contrat d'assurance, de même que l'automobiliste s'attend à ce que la réparation effectuée par le garagiste soit de mauvaise qualité. Toute velléité par le vendeur d'offrir une qualité supérieure est vaine, puisque l'acheteur, ne pouvant apprécier la qualité à sa juste valeur, refuse de payer la prime associée.

Comme dans les situations précédentes, l'élaboration d'un contrat de rénovation énergétique entre un artisan et le propriétaire-occupant du bâtiment implique des actions cachées<sup>46</sup>. Prenons l'exemple de travaux d'isolation destinés à réduire la consommation d'énergie de chauffage d'un logement. Le traitement de l'étanchéité des murs avant la pose de panneaux isolants est inobservable par le profane en thermique du bâtiment. La détection d'éventuels défauts d'installation est coûteuse et nécessite l'emploi de thermo-photographies. Ce contexte informationnel peut inciter l'artisan à négliger le traitement préalable de l'étanchéité du mur.

Un planificateur bienveillant souhaiterait amener le marché à produire la qualité optimale, celle dont le coût marginal de fourniture par l'artisan égalise les économies financières marginales réalisées par le propriétaire-occupant sur sa facture énergétique. Cette qualité serait naturellement produite par le marché si les actions des artisans étaient parfaitement observables ; les forces concurrentielles élimineraient en effet les artisans qui offriraient une qualité inférieure. Dans le contexte plus vraisemblable où les actions des artisans sont inobservables, les forces concurrentielles nivellent la qualité par le bas : tous les artisans se contentent d'offrir la qualité qui minimise leur coût de fourniture, sans considération pour la facture énergétique du client. Un artisan qui proposerait une qualité supérieure ne trouverait pas d'acheteur, aucun n'étant prêt à payer le surcoût<sup>47</sup> d'une qualité qu'il ne peut observer.

En l'absence d'intervention publique visant à améliorer l'information sur les marchés, il est donc impossible pour les parties d'élaborer un contrat de rénovation énergétique qui spécifie un niveau de qualité optimal. Ainsi, la qualité de chaque rénovation est sous-optimale et certaines rénovations qui auraient pu avoir lieu en information parfaite ne sont pas réalisées. Cette asymétrie d'information explique pourquoi des opportunités d'investissement d'efficacité énergétique en apparence rentables ne sont pas réalisées (Jaffe et Stavins, 1994)<sup>48</sup>.

## Le coût social des défauts de qualité justifie une intervention publique

### Un coût social élevé...

Quelle perte représente l'installation d'une isolation à un niveau de qualité sous-optimal pour les parties contractantes ? En l'absence de données systématiques sur les défauts de qualité, précisément difficiles à recenser, il est délicat de répondre à cette question. Quelques ordres de grandeur peuvent toutefois être établis. D'après les fiches de calcul des certificats d'économies d'énergie, l'isolation d'une maison chauffée au gaz en zone climatique H2 (voir annexe de fin de document) permet d'économiser 2 500 kWh/m<sup>2</sup> cumulés sur 35 ans et actualisés à 4 %<sup>49</sup>. Supposons

<sup>46</sup> La rénovation énergétique est également sujette à un autre type d'asymétrie d'information : l'anti-sélection, qui survient lorsque certaines caractéristiques de la transaction sont inobservables *ex ante*. Par exemple, les devis fournis par les entreprises sont souvent très hétérogènes, de telle sorte qu'il est difficile de sélectionner un artisan compétent. On peut toutefois considérer que l'aléa moral est le problème fondamental qui engendre ces problèmes d'anti-sélection.

<sup>47</sup> Ce surcoût peut avoir une part variable, liée par exemple au coût d'un isolant de meilleure qualité ou d'une main d'œuvre plus qualifiée, et une part fixe, liée par exemple à des frais de formation.

<sup>48</sup> Voir sur ce point l'article de Dorothee Charlier dans la présente revue.

<sup>49</sup> Ces hypothèses numériques reflètent des critères de choix public, qui ne coïncident pas nécessairement avec les critères de choix privé. Par exemple si, en raison d'asymétries d'information, les marchés immobiliers ne reconnaissent pas la « valeur verte » des logements efficaces en énergie, alors un propriétaire investisseur utilisera un horizon temporel plus proche de sa période prévue de résidence dans le logement que la durée de vie théorique de l'investissement. De même, s'il n'évalue par les économies d'énergie de façon purement rationnelle, alors son taux d'actualisation sera supérieur à 4 %.

qu'un défaut de qualité réduise ces gains de 50 %. Valorisé à un prix du gaz naturel de 0,08 €/kWh, ce défaut de qualité représente un manque à gagner cumulé actualisé de 100 €/m<sup>2</sup> pour le propriétaire-occupant. Cette perte est toutefois compensée par un moindre coût des travaux. En supposant que la qualité optimale coûte 50 €/m<sup>2</sup> et la qualité minimale 25 €/m<sup>2</sup>, le gain sur le coût des travaux représente 25 €/m<sup>2</sup>. Le défaut de qualité a donc un coût unitaire net de 75 €/m<sup>2</sup>. Rapporté à une surface moyenne de murs à isoler de 100 m<sup>2</sup>, ce coût s'élève à 7 500 € par logement. Extrapolé à un nombre annuel d'opérations d'isolation de 100 000 logements, l'aléa moral représenterait chaque année pour la collectivité une perte d'environ 750 millions d'euros cumulée sur 35 ans et actualisée à 4 %.

Au-delà des valeurs numériques, naturellement sujettes à discussion<sup>50</sup>, certaines hypothèses peuvent laisser penser que ce calcul surévalue les pertes sociales. Dans le modèle d'aléa moral le plus simple, le marché est dans une situation d'équilibre où toutes les rénovations sont effectuées à un niveau sous-optimal. Il est certainement plus réaliste d'envisager un modèle dans lequel une frange d'artisans, motivés par la construction d'une réputation, offre une qualité optimale. Aujourd'hui cependant, seuls quelques dizaines de milliers d'artisans du bâtiment sur les près de 350 000 que compte le marché français possèdent un label assimilé « reconnu garant de l'environnement » (RGE).

D'autres éléments, au contraire, laissent supposer que notre calcul sous-évalue le coût social. Les pertes de confort pour l'occupant induites par la qualité sous-optimale ne sont pas prises en compte. Toutefois, dans une modélisation microéconomique standard du problème, on peut considérer que l'effet de la qualité sur le confort est négligeable par rapport à son effet sur la valeur actuelle nette du projet. De même, les pertes sur la marge dite « extensive », c'est-à-dire les investissements qui auraient eu lieu si la qualité avait été optimale mais qui n'ont pas lieu lorsqu'elle est sous-optimale, peuvent être négligées<sup>51</sup>.

### ... qui dépasse les coûts de contrôle...

En première approximation, on peut donc considérer que les bénéfices sociaux d'une intervention publique qui viserait à corriger l'aléa moral s'élèvent à 7 500 € pour la seule isolation d'un logement. Toutefois, une telle intervention publique a un coût, qui correspond au coût de contrôle de la qualité. En assimilant ce coût à celui d'un audit énergétique, dont les prix rapportés dans l'étude de l'UFC-Que Choisir varient de 290 à 390 €, on arrive à la conclusion que le bénéfice social net d'une intervention publique reste largement positif. Cette conclusion justifie la mise en place d'instruments économiques visant à corriger l'aléa moral.

### ... et le coût social des externalités liées à la consommation d'énergie

Il est également intéressant de comparer les bénéfices sociaux générés par la correction de l'aléa moral à ceux générés par l'internalisation des externalités associées à la consommation d'énergie. Dans le cas de l'aléa moral, les investissements d'efficacité énergétique sont réalisés à un niveau sous-optimal. Il en résulte une consommation d'énergie excessive, qui pourrait être évitée si l'investissement était réalisé à un niveau optimal. L'inefficacité économique marginale associée peut être assimilée au prix de l'unité d'énergie consommée en excès, soit 0,08 €/kWh dans notre exemple. Dans le cas des externalités environnementales, l'absence de signal-prix sur les émissions de dioxyde de carbone associées à la consommation d'énergie induit également un niveau d'investissement sous-optimal et une consommation excessive d'énergie. Toutefois, l'inefficacité économique marginale associée est beaucoup plus faible, puisque le coût social des émissions de CO<sub>2</sub>, évalué en France à 32 € par tonne de CO<sub>2</sub> (Quinet, 2009), est équivalent à un coût de 0,007 €/kWh pour chaque unité de gaz naturel consommée.

Cette comparaison suggère que l'internalisation des externalités environnementales est loin d'être la principale justification d'une intervention publique dans le secteur du bâtiment. Même si la consommation d'énergie ne générerait pas d'externalités environnementales, la collectivité aurait tout intérêt à agir pour corriger les défauts de qualité rencontrés dans les opérations de rénovation énergétique des bâtiments.

<sup>50</sup> Nous laissons au lecteur le soin de refaire les calculs avec les valeurs numériques qu'il juge les plus appropriées.

<sup>51</sup> La démonstration mathématique de ces deux approximations est fournie dans une version technique du présent article (Giraudet et Houde, 2014). Les simulations qui y sont réalisées sur le marché américain montrent que la perte de précision sur les pertes sociales est de moins de 10 %.

## L'efficacité des solutions politiques en question

### *Les garanties étudiées par le Plan Bâtiment Durable*

Plusieurs solutions sont actuellement envisagées par le Plan Bâtiment Durable (PBD) pour remédier aux défauts de qualité de rénovation énergétique des bâtiments. La garantie de performance énergétique intrinsèque (GPEI) porte sur la consommation d'énergie conventionnelle du bâtiment. Si cette consommation correspond au niveau de qualité de travaux que nous avons défini précédemment comme optimal, alors on peut considérer que la GPEI supprime totalement l'aléa moral. La vérification de la consommation conventionnelle nécessite toutefois l'instrumentation du bâtiment, qui représente un coût. Au final donc, la GPEI réduit les pertes sociales liées à l'aléa moral mais ne les élimine pas complètement.

Le PBD étudie également une garantie de résultat énergétique sur l'usage (GRE), qui porterait sur la consommation d'énergie réelle du bâtiment. La GRE présente un avantage par rapport à la GPEI : la consommation d'énergie réelle figure sur la facture énergétique ; elle est donc beaucoup plus facilement observable que la consommation conventionnelle. En revanche, la GRE suscite des actions cachées de la part du propriétaire-occupant, et donc un nouvel aléa moral. Dans la mesure où une meilleure isolation diminue le coût marginal du degré Celsius de chauffage, on peut s'attendre à ce que l'occupant augmente sa température de chauffage après la rénovation. Cet « effet rebond » est en grande partie inobservable : même si les nouvelles technologies de l'information permettent de mieux suivre les comportements d'usage de l'énergie, l'ouverture intempestive des fenêtres, par exemple, n'est pas encore systématiquement détectée.

Ainsi, la GRE pose un problème de « double aléa moral » où l'artisan comme le propriétaire-occupant peuvent réaliser des actions cachées. La garantie oblige l'artisan à offrir un certain niveau de qualité ; autrement, il doit indemniser le client pour la consommation excessive induite par l'absence de qualité. Dans le même temps, la perspective d'une indemnisation réduit le coût marginal du degré de chauffage pour le propriétaire-occupant et génère un effet rebond. Anticipant un tel comportement, l'artisan ne peut améliorer la qualité offerte jusqu'à son niveau optimal, puisqu'alors l'effet rebond induirait une indemnisation trop élevée. En raison de ce double aléa moral, il est impossible pour les parties d'élaborer un contrat qui spécifie une consommation d'énergie réelle. Le contrat ne peut être qu'incomplet, c'est-à-dire ne prévoir qu'un remboursement partiel des économies d'énergie manquantes. Cette clause est en tout point comparable aux franchises incluses dans les contrats d'assurance.

En définitive, la comparaison de la GPEI et de la GRE en termes d'efficacité économique est ambiguë. Elle dépend d'un arbitrage entre le coût de contrôle de la consommation conventionnelle pour la GPEI et les pertes liées au second aléa moral pour la GRE. Alors que les coûts de contrôle peuvent être grossièrement approchés, comme nous l'avons fait dans la partie précédente, le calcul des pertes associées au second aléa moral est moins évident. Le modèle microéconomique développé dans une version technique du présent article suggère que les pertes liées au second aléa moral sont supérieures au coût de contrôle de la consommation conventionnelle (Giraudet et Houde, 2014).

### *Les spécificités du logement loué et du tertiaire*

Les remarques faites jusqu'à présent s'appliquent au cas du propriétaire-occupant d'un logement. Dans les situations où le maître d'ouvrage des travaux et l'occupant du bâtiment sont deux personnes distinctes, c'est-à-dire dans tous les cas où l'occupant souscrit un contrat de location qui inclut le paiement des charges énergétiques, le second aléa moral n'a pas lieu d'être. Les occupants du bâtiment ne payant pas le coût marginal de l'énergie, ils n'ont pas de raison de modifier leur comportement après la réalisation de travaux. Cette considération permet d'expliquer pourquoi les contrats de performance énergétique sont pratiqués dans le secteur tertiaire (Chong et al., 2013), dans lequel les bâtiments loués sont majoritaires, alors qu'ils sont quasiment absents du secteur résidentiel. Ainsi, dans le secteur tertiaire ou dans l'habitat locatif, la GRE peut s'avérer supérieure à la GPEI : la consommation conventionnelle et la consommation réelle sont identiques à une constante près, mais la seconde est moins coûteuse à observer.

### L'intérêt du label 'RGE'

Du point de vue économique qui nous intéresse, la labellisation « reconnu garant de l'environnement » (RGE) présente les mêmes caractéristiques que la GPEI : le label peut théoriquement amener l'artisan à offrir la qualité optimale, mais ses compétences doivent être contrôlées régulièrement. La conditionnalité de l'octroi des aides publiques pour la rénovation énergétique (crédit d'impôt développement durable, éco-prêt à taux zéro) à la réalisation des travaux par des entreprises labellisées RGE est une solution intéressante pour résoudre à la fois les problèmes d'externalités environnementales et les problèmes d'aléa moral. Cette observation appelle cependant deux remarques. D'abord, il faut rappeler que les subventions à l'efficacité énergétique ne sont qu'une solution de second rang<sup>52</sup> pour internaliser les externalités associées à la consommation d'énergie (Giraudet et Quirion, 2008). De plus, pour qu'il soit justifié de traiter simultanément l'externalité environnementale et l'aléa moral, l'effet rebond doit être inférieur à 100 %. En effet, si le propriétaire-occupant consomme plus d'énergie après les travaux qu'avant, alors il est préférable de maintenir une mauvaise qualité de travaux afin d'éviter les émissions de CO<sub>2</sub> générées par une consommation d'énergie accrue en cas de meilleure qualité... Il s'agit cependant là d'une hypothèse d'école, puisque l'effet rebond habituellement observé sur les consommations de chauffage est estimé entre 10 et 30 % (Sorrell et al., 2009).

### Conclusion

Notre analyse suggère que l'incertitude technologique inhérente à la rénovation énergétique des bâtiments crée des incitations socialement inefficaces. L'artisan de rénovation est incité à réduire la qualité de son travail, tandis que le propriétaire-occupant est incité à relâcher son comportement de consommation s'il souscrit une garantie sur les économies d'énergie. Par conséquent, ni la consommation d'énergie conventionnelle ni la consommation réelle ne peuvent faire l'objet d'un engagement contractuel. Sur un marché non régulé, la qualité de rénovation est donc sous-optimale et certains propriétaires-occupants renoncent à investir.

Les pertes financières annuelles causées par les problèmes d'aléa moral sur l'ensemble des postes de rénovation énergétique des bâtiments en France sont vraisemblablement de l'ordre du milliard d'euros en valeur cumulée actualisée. Ces pertes sont près de dix fois supérieures au coût social des émissions de CO<sub>2</sub> générées sur le même périmètre. Elles peuvent toutefois être significativement réduites par des systèmes de garantie. Une garantie sur la consommation d'énergie conventionnelle comme la GPEI peut en théorie éliminer complètement les pertes, mais génère des coûts de contrôle. Une garantie sur la consommation réelle comme la GRE réduit les coûts de contrôle, mais nécessite des clauses contractuelles de type franchise. La GRE paraît plus appropriée au secteur tertiaire qu'au secteur résidentiel. Dans tous les cas, les bénéfices sociaux nets de ces interventions sont largement positifs.

Le problème de double aléa moral étudié ici fournit une explication nouvelle au « paradoxe de l'efficacité énergétique », selon lequel les investissements d'efficacité énergétique ne sont pas réalisés à un niveau aussi élevé que leur rentabilité théorique le suggère (Jaffe et Stavins, 1994). Jusqu'à présent, les explications à ce paradoxe se sont concentrées sur une possible irrationalité des consommateurs (Allcott et Greenstone, 2012), portées en cela par l'émergence de l'économie comportementale. Notre analyse suggère que l'économie industrielle peut également être utile pour intégrer le comportement des entreprises d'efficacité énergétique.

### Remerciements

*L'auteur remercie, sans toutefois les engager quant au contenu final, Eric Lagandré, Olivier Sidler, Martin Guer, Jonathan Louis, Aurélie Tricoire et Pierre Douillard pour leurs précieux commentaires lors de la rédaction de cet article.*

<sup>52</sup> Les subventions peuvent être considérées comme un instrument de premier rang si l'imperfection de marché à corriger est l'externalité positive d'adoption des technologies efficaces (c'est-à-dire les effets d'imitation et d'entraînement induits par les utilisateurs précoces d'une nouvelle technologie). Toutefois, dans les discours publics, les subventions à l'efficacité énergétique sont généralement justifiées par la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Si tel est le problème à résoudre, les instruments basés sur un signal-prix (taxe ou permis d'émission) offrent la solution de premier rang.



## Références

**Allcott, H., M. Greenstone, 2012**, "Is There an Energy Efficiency Gap?", *Journal of Economic Perspectives*, 26(1):3-28

**Chong, E., A. Le Lannier, C. Staropoli, 2013**, « Les contrats de performance énergétique à l'heure du bilan: l'éclairage de l'économie des contrats », *Economies et sociétés*, 47(2):365-380.

**CLCV [Consommation, logement et cadre de vie], 2014**, « Enquête sur les litiges en matière de travaux et construction : Des consommateurs parfois prisonniers », <http://www.clcv.org/images/CLCV/fichiers/proprietaires/Enquete-travaux.pdf>

**Giraudet, L.-G., P. Quirion, 2008**, "Efficiency and distributional impacts of tradable white certificates compared to taxes, subsidies and regulations", *Revue d'économie politique*, 118(6): 885-914

**Giraudet, L.-G., S. Houde, 2014**, "Double moral hazard and the energy efficiency gap", E2e Working Paper 009, <http://e2e.haas.berkeley.edu/pdf/workingpapers/WP009.pdf#page=1>

**Jaffe, A.B., R.N. Stavins, 1994**, "The energy-efficiency gap: What does it mean?", *Energy Policy*, 22(10) :804-810

**Landier, D., O. Benayoun, 2003**, « Malfaçons dans les bâtiments publics », *Annales des Mines*, 25-28

**Metcalfe, G.E., K.A. Hassett, 1999**, "Measuring the Energy Savings from Home Improvement Investments: Evidence from Monthly Billing Data", *Review of Economics and Statistics*, 81(3):516-528

**PBD [Plan Bâtiment Durable], 2013**, « Garantie de performance énergétique : garantie décennale et GPEI »,

[http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/RAPPORT\\_FINAL\\_GPE2\\_3\\_juillet\\_2013\\_V5\\_-\\_Jouvent\\_-\\_Huet.pdf](http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/RAPPORT_FINAL_GPE2_3_juillet_2013_V5_-_Jouvent_-_Huet.pdf)

**Quinet, A., 2009**, *La valeur tutélaire du carbone*, La Documentation française, Paris, 424 pages

**Que Choisir, 2014**, « Rénovation énergétique des logements : c'est mal parti », n° 526, pp.50-54. Voir également le rapport complet de l'étude : « Rénovation énergétique des logements : la piètre performance des professionnels impose une reconstruction du système », 38 pages, <http://www.quechoisir.org/immobilier-logement/achat-vente-travaux/renovation/etude-renovation-energetique-des-logements-la-pietre-performance-des-professionnels-impose-une-reconstruction-du-systeme>

**Sorrell, S., J. Dimitropoulos, M. Sommerville, 2009**, "Empirical estimates of the direct rebound effect: A review", *Energy Policy*, 37(4):1356-1371



## Les travaux de rénovation thermique dynamisés par le crédit d'impôt développement durable

Jeanne-Marie Daussin-Benichou, INSEE,  
Amélie Mauroux, CGDD/SEEIDD,  
Marie-Laure Nauleau, CIRED/ADEME<sup>53</sup>

**Créé en 2005 pour inciter les ménages à entreprendre des travaux de rénovation et favoriser la diffusion des énergies renouvelables, le crédit d'impôt dédié au développement durable (CIDD) a été utilisé dans deux cas sur trois pour les travaux de rénovation thermique. L'étude qui a été menée sur l'impact de ce dispositif sur les travaux sur l'enveloppe thermique du logement (isolation des parois vitrées et opaques) suggère que le CIDD a eu un effet positif sur la décision d'investir des ménages, celui-ci devenant significatif deux à trois ans après la création du CIDD. Nos résultats mettent également en évidence un ajustement à la hausse des dépenses consacrées aux équipements ouvrant droit au CIDD lorsque le niveau de subvention a été augmenté entre 2006 et 2008 pour une partie des ménages.**

La rénovation énergétique du parc de logements est un enjeu majeur pour atteindre les objectifs fixés en termes de réduction de consommation d'énergie et d'émission de CO<sub>2</sub>. Le crédit d'impôt dédié au développement durable (CIDD) permet aux ménages de déduire de leurs impôts une partie de leurs dépenses visant l'amélioration de l'efficacité énergétique de leur logement principal et la diffusion des sources d'énergie renouvelable. L'objectif est la diminution des consommations résidentielles d'énergie. Outre l'installation d'équipements utilisant une énergie renouvelable (panneaux photovoltaïques, éolienne,...), ce crédit d'impôt cible les travaux de rénovation suivants : les interventions d'isolation du bâti (isolation des combles ou des murs, pose de fenêtres à double vitrage,...) et le remplacement des systèmes de chauffage (chaudières à condensation et à bois, pompes à chaleurs,..., voir encadré CIDD). Il vise non seulement à inciter les ménages à réaliser davantage de travaux en augmentant la rentabilité des investissements mais aussi à les orienter vers les équipements et les matériaux les plus performants.

### Une politique phare de la rénovation thermique

Le CIDD a rencontré un grand succès : entre 2005 et 2010, 6,2 millions de logements en ont bénéficié au moins une fois, soit près d'un quart des résidences principales. Après une hausse continue entre 2005 et 2008, le nombre de ménages bénéficiaires du CIDD a diminué en 2009 (figure 1). Cette baisse est consécutive à la réduction de plusieurs taux de crédit d'impôt et à la révision de la liste des équipements ouvrant droit au CIDD. Elle survient aussi après une montée en charge rapide du dispositif. Les logements dans lesquels les travaux étaient les plus rentables ont donc peut-être déjà bénéficié du CIDD. En 2009 et 2010, les montants déclarés se sont stabilisés à 8 milliards d'euros par an (figure 2).

L'étude menée évalue l'impact du dispositif sur les investissements dans la rénovation thermique résidentielle. Elle a mobilisé deux sources de données complémentaires : l'Enquête « Maîtrise de l'Énergie » (MDE) de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe-TNS SOFRES) et les fichiers fiscaux (voir encadré Données). L'enquête MDE interroge les ménages sur leurs pratiques énergétiques et notamment sur l'ensemble des travaux de rénovation thermique qu'ils ont entrepris, qu'ils puissent ou non bénéficier du CIDD<sup>54</sup>. Antérieure à l'introduction du CIDD, elle permet d'analyser l'impact de la mise en place du dispositif sur la prise de décision de réaliser des travaux de rénovation thermique. Les données administratives issues des fichiers fiscaux sont exhaustives mais portent uniquement sur les dépenses de rénovation ouvrant droit au CIDD, à savoir

<sup>53</sup> Les travaux de M.-L. Nauleau ont été réalisés dans le cadre d'une thèse financée par l'Ademe. Les résultats et interprétations issus de l'exploitation de l'enquête ADEME TNS-SOFRES "Maîtrise de l'énergie" sont ceux de l'auteure et ne reflètent en aucun cas l'opinion de l'Ademe ni celui de la TNS-SOFRES.

<sup>54</sup> Pour bénéficier du CIDD l'équipement doit vérifier des critères de performances énergétiques et doit être installé par un professionnel.

le prix des équipements les plus performants. Sous certaines conditions, elles ont pu être mobilisées pour apprécier la sensibilité des investissements moyens en équipements performants à des changements de taux de crédit d'impôt.

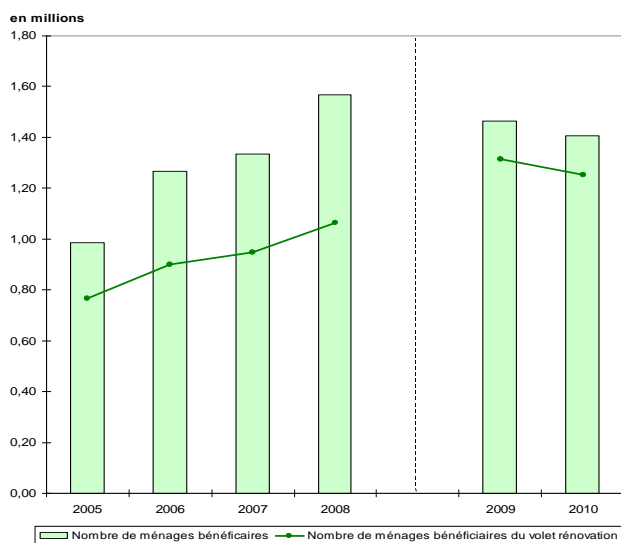
### La rénovation thermique, principale utilisation du crédit d'impôt développement durable

La rénovation thermique est le premier motif d'utilisation du dispositif (figure 1). L'isolation thermique et l'installation de systèmes de chauffage performants concernent deux tiers des bénéficiaires chaque année entre 2005 et 2008 (hors chaudières à bois et pompes à chaleur) et neuf sur dix en 2009, après l'intégration de ces deux équipements dans les séries (voir encadré Données).

Les dépenses en matériaux d'isolation thermique et systèmes de chauffages (hors chaudières à bois et PAC) ont représenté les deux tiers du total déclaré en 2005 et un peu plus de la moitié en 2008 (figure 2). En 2009 et 2010, la part de ces dépenses a très fortement augmenté du fait de l'intégration des chaudières à bois et des PAC.

La rénovation thermique a représenté 44 % des 7,8 milliards d'euros versés aux ménages sous forme de crédits d'impôts (dépense fiscale totale) entre 2005 et 2008 et 68 % des 4,6 milliards d'euros versés entre 2009 et 2010 (chaudières à bois et PAC incluses). Le taux de subvention moyen (rapport entre le crédit d'impôt reçu et le montant déclaré) pour les dépenses de rénovation thermique (hors chaudières à bois et PAC) est en légère baisse depuis 2006.

Figure 1 : Ménages bénéficiaires du CIDD

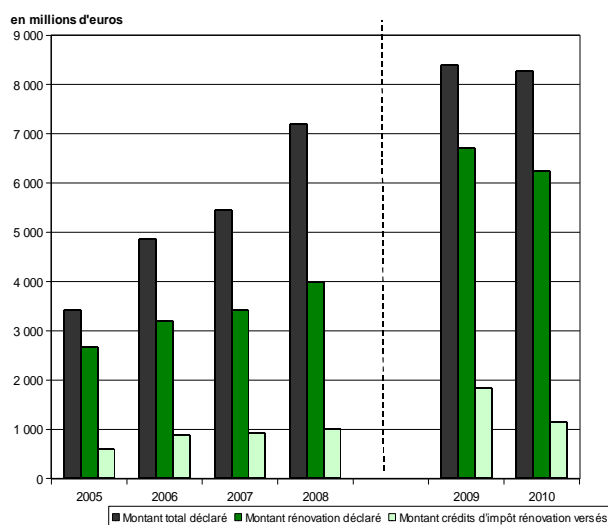


Source : DGFIP, exhaustif fiscal 2005 - 2010 (l'année est celle de réalisation des travaux), calculs CGDD-Insee.

Lecture : en 2005, un peu moins de 1 million de ménages ont bénéficié du CIDD, dont 800 000 au titre du volet rénovation thermique (hors chaudières à bois et PAC).

Note : Il y a une rupture de séries en 2008 du fait des changements de taux de crédit d'impôts applicables aux chaudières à bois et aux PAC (voir encadré Données) : ces équipements ne sont pas inclus dans les séries de 2005 à 2008, ils le sont en 2009 et 2010.

Figure 2 : Montants déclarés au titre du CIDD et crédits d'impôt versés



Source : DGFIP, exhaustif fiscal 2005 - 2010 (l'année est celle de réalisation des travaux), calculs CGDD-Insee.

Lecture : en 2005, 3,4 milliards d'euros ont été déclarés au titre du CIDD, tous travaux confondus, 2,7 milliards pour le volet rénovation thermique (hors chaudières à bois et PAC). Un peu plus de 600 millions d'euros ont été versés aux ménages pour leurs travaux de rénovation thermique.

Note : Il y a une rupture de séries en 2008 du fait des changements de taux de crédit d'impôts applicables aux chaudières à bois et PAC (voir encadré Données) : de 2005 à 2008 les montants sont hors chaudières à bois et PAC, en 2009 et 2010 ils les incluent.

## Travaux de rénovation thermique et travaux ouvrant droit au CIDD

### **Être propriétaire occupant d'une maison individuelle et avoir de hauts revenus favorisent l'investissement dans la rénovation thermique**

Alors qu'ils ne représentent que 45 % de la population, les propriétaires occupants de maisons individuelles représentent 76 % des ménages qui investissent dans des travaux de rénovation thermique et 82 % des bénéficiaires du CIDD parmi les ménages interrogés dans l'enquête MDE en 2009 et 2010 (tableau 1). À l'inverse, les ménages locataires d'un appartement représentent 31 % de la population mais seulement 6 % des investisseurs et moins de 1 % des ménages déclarant avoir bénéficié du CIDD. Parmi les ménages propriétaires, les ménages les plus aisés sont surreprésentés au sein des ménages réalisant des travaux, d'autant plus lorsqu'il s'agit de travaux subventionnés au titre du CIDD.

Sept logements rénovés sur dix sont relativement anciens (construits avant 1974) et 6 sur 10 sont situés dans les départements les plus froids (zone de H1 de la réglementation thermique, voir carte en annexe de la Revue, tableau 1 colonne 2). Les logements construits avant 1949 font néanmoins relativement moins souvent l'objet de travaux de rénovation ouvrant droit au CIDD : ils représentent 42 % des logements rénovés mais seulement 38 % des logements ayant bénéficié du dispositif (tableau 1, colonnes 2 et 3).

### **Les ménages qui bénéficient le plus du CIDD sont aussi ceux qui rénovent le plus**

Les propriétaires occupants de maisons ont perçu 84 % des crédits d'impôt reversés en 2009 et 2010, ce qui en fait les premiers bénéficiaires du CIDD (colonne 5). Les écarts lors de la redistribution des montants de crédit d'impôt sont néanmoins le reflet direct des écarts de propension à faire des travaux de rénovation thermique (colonne 2) et à installer des équipements et matériaux permettant de bénéficier du CIDD (colonnes 3 et 4). Le taux moyen de subvention est relativement homogène quelles que soient les caractéristiques du ménage (maison ou appartement, quintile de revenu,...) et se situe autour de 23 % en 2009 et 2010.

### **Un recours au CIDD différencié selon les types de travaux**

Entre 2006 et 2008, les ménages ont majoritairement entrepris des travaux d'isolation du bâti : 46 % ont changé les parois vitrées (pose de double vitrage, de portes-fenêtres, etc.) et 35 % ont isolé les parois opaques (murs par l'intérieur ou par l'extérieur, toitures, combles, planchers bas, tableau 2). La part des ménages réalisant des travaux d'isolation des parois opaques est en légère augmentation entre 2009 et 2011. Les travaux portant sur les systèmes de chauffage concernent surtout le changement de chaudières (19 -18 %). Les systèmes de régulation, les chauffages au bois et les PAC ne représentent chacun au plus que 7 % de l'ensemble des travaux.

En moyenne, presque trois ménages sur quatre qui réalisent des travaux de rénovation thermique font installer par un professionnel des équipements ou matériaux ouvrant droit au CIDD et peuvent donc bénéficier du dispositif. Cette proportion passe à 86 % lorsqu'il s'agit des parois vitrées avec isolation, des chauffages au bois et des PAC. La moindre utilisation pour l'isolation des parois opaques (47 %) ou pour l'installation de systèmes de régulation (58 %) s'explique en grande partie par le fait que les travaux ne sont pas réalisés par un professionnel déclaré (encadré 1). Concernant les systèmes de chauffage conventionnels (chaudières à gaz ou au fioul), le taux de bénéficiaires du CIDD a fortement baissé entre 2006-2008 et 2009-2011 (de 79 % à 62 %). L'absence de subvention sur ces investissements peut principalement s'expliquer par le choix d'équipements ne vérifiant pas les critères de performance énergétique imposés par le CIDD. En moyenne, le coût total des travaux de rénovation est plus élevé quand une partie des dépenses est subventionnée par le CIDD que lorsque les dépenses sont exclues du dispositif (tableau 2).

**Tableau 1 : Réalisation de travaux de rénovation thermique et bénéficiaires du CIDD rénovation**

	Exhaustif fiscal	Enquête Maîtrise de l'Énergie		Exhaustif fiscal		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Ensemble des ménages (en %)	Ménages réalisant des travaux de rénovation thermique (en %)	Ménages réalisant des travaux et envisageant de bénéficier du CIDD (en %)	Ménages bénéficiaires du CIDD (en %)	Montants déclarés au titre du volet rénovation du CIDD (en %)	Crédits d'impôts perçus au titre du volet rénovation du CIDD (en %)
<b>Ensemble des ménages</b>						
<b>Caractéristiques des ménages</b>						
Locataire d'un appartement	31	6	0,3	2	2	2
Locataire d'une maison	11	4	1	3	3	4
Propriétaire d'un appartement	13	14	17	15	11	10
Propriétaire d'une maison	45	76	82	81	84	84
<b>Année de construction du logement</b>						
Avant 1948	35	42	38	32	32	33
Entre 1949 et 1974	28	31	31	28	27	25
Entre 1975 et 1981	10	13	15	13	14	13
Entre 1982 et 1988	8	7	8	11	11	10
Après 1988	19	8	8	16	16	19
<b>Zone climatique de réglementation thermique</b>						
H1 (ex Nord Est)	59	60	58	56	57	57
H2 (ex Ouest)	29	33	34	35	35	36
H3 (ex Pourtour méditerranéen)	11	7	8	8	8	7
<b>Ménages propriétaires</b>						
<b>Revenu</b>						
1e quintile	10	8	7	3	2	2
2e quintile	16	15	14	7	6	6
3e quintile	21	21	20	15	13	13
4e quintile	24	25	25	28	27	26
5e quintile	28	31	33	46	52	53

Source : DGFIP exhaustif fiscal 2009-2010 et Ademe-TNS Sofres, Enquête "Maîtrise de l'Énergie" 2009-2010, calculs Cired-CGDD-Insee - Champ : rénovation thermique, y compris chaudières à bois et PAC.

Lecture : en moyenne entre 2009 et 2010, 31 % des ménages était locataires d'un appartement.

Note : les champs des travaux de rénovation ont été harmonisés entre les deux sources (voir encadré Données). Les différences de répartition des ménages qui disent envisager de bénéficier du CIDD (colonne 3) et ceux qui en ont effectivement bénéficié (colonne 4) peuvent s'expliquer par la différence de nature des sources, l'une étant déclarative et l'autre administrative. Les écarts sur la répartition en fonction des revenus (colonnes 3 et 4) proviennent de différences de définition entre ces deux sources. Dans l'enquête MDE il s'agit des revenus salariaux alors que dans les données fiscales il s'agit des revenus imposables. De plus, du fait de la formulation des questions, l'enquête MDE sous-estime potentiellement le taux de réalisation des travaux des ménages locataires.

**Tableau 2 : Travaux de rénovation thermique et bénéficiaires du CIDD entre 2006 et 2011**

	Fréquence dans les travaux de rénovation		Part de travaux subventionnés par le CIDD		Montant moyen des travaux			
	(en %)		(en %)		subventionnés par le CIDD (en euros)		hors CIDD (en euros)	
	2006/2008	2009/2011	2006/2008	2009/2011	2006/2008	2009/2011	2009/2011	
Isolation de parois vitrées	46	47	86	84	4 659	4 870	2 311	3 253
Isolation de parois opaques	35	39	47	48	3 404	4 522	1 599	1 975
Système de régulation de chauffage	7	6	58	36	542	534	384	390
Chaudière (gaz, fioul)	19	18	79	62	4 999	6 008	4 051	4 243
Chauffage au bois	7	7	88	85	4 008	4 457	1 506	2 876
Pompe à chaleur	6	4	96	79	12 521	13 507	5 517	9 125

Source : ADEME-TNS SOFRES, Enquête "Maîtrise de l'Énergie" 2006-2011, calculs Cired. Lecture : entre 2006 et 2008, 46 % des travaux de rénovation ont inclus l'isolation de parois vitrées. Parmi les ménages ayant réalisé l'isolation de parois vitrés entre 2006 et 2008, 86 % ont fait installer par un professionnel un équipement ouvrant droit au CIDD.

Note : le total des fréquences de travaux est supérieur à 100 % car certains ménages réalisent plusieurs travaux.

### Encadré 1 : Pourquoi tous les ménages ne recourent-ils pas au CIDD ?

Deux raisons sont principalement avancées par les répondants à l'enquête MDE pour ne pas installer un équipement ouvrant droit au CIDD : d'une part le choix d'équipements ou de matériaux standards qui ne vérifient pas les critères de performance imposés par le CIDD, et, d'autre part, l'installation par un professionnel non déclaré ou par le ménage lui-même (auto-production). Les équipements et matériaux plus performants étant plus chers à l'achat, les ménages peuvent faire face à des problèmes de trésorerie. L'investissement dans des équipements plus performants mais plus chers peut également ne pas être rentable, notamment si le temps de retour de l'investissement excède la durée d'occupation prévue du logement. Cela peut conduire les ménages à choisir des équipements non subventionnés. L'importance des coûts de main-d'œuvre (en principe exclus du CIDD<sup>55</sup>) peut quant à elle conduire les ménages à arbitrer en faveur de l'autoproduction. Les ménages peuvent enfin ne pas connaître l'existence du dispositif.

Le choix de l'autoproduction est plus important pour l'isolation thermique des parois opaques (motif évoqué par 75 % des ménages n'utilisant pas le CIDD, tableau 3), travaux pour lesquels les coûts de main-d'œuvre sont plus importants, tandis que le choix d'équipements non « CIDD » concerne davantage les chaudières (motif évoqué par 58 % des ménages n'utilisant pas le CIDD).

**Tableau 3 : « Pour quelles raisons n'envisagez-vous pas de bénéficier du CIDD ? », enquête MDE 2006 à 2011**

Motif(s) évoqué(s), en %	Équipement(s) installé(s)					
	Isolation de parois vitrées	Isolation de parois opaques	Système de régulation de chauffage	Chaudière (gaz, fioul)	Chauffage au bois	Pompe à chaleur (PAC)
Inéligibilité des équipements/matériaux	22	28	46	58	29	56
Auto-production	40	75	53	15	77	4

Source : ADEME-TNS SOFRES, Enquête "Maîtrise de l'Énergie" 2006-2011, calculs Cired.

Lecture : parmi les ménages n'ayant pas bénéficié du CIDD au titre de travaux d'isolation de parois vitrés entre 2006 et 2011, 22 % déclarent que cela est dû à l'inéligibilité des matériaux.

Note : l'auto-production comprend les travaux réalisés par le ménage ou par un professionnel non déclaré.

## Effet du CIDD sur la décision de travaux de rénovation et sur l'installation d'équipements performants

### L'introduction du CIDD en 2005 a stimulé les travaux d'isolation thermique

La création du CIDD semble avoir encouragé plus de ménages propriétaires à réaliser des travaux de rénovation thermique dans leur logement qu'auparavant. Après une relative stabilité, les taux de travaux portant sur le bâti réalisés par les propriétaires ont ainsi commencé à augmenter légèrement à partir de 2005, année de mise en place du CIDD (figure 3). Cette hausse s'est accentuée en 2009, avant une stabilisation voire une légère diminution. Les installations de chauffages au bois augmentent également après 2005. Au contraire, les taux de rénovation des systèmes de chauffage plus conventionnels (chaudières performantes et appareils de régulation), sont restés stables entre 2002 et 2011. Le CIDD ne semble pas avoir joué sur la décision d'investir dans ces équipements. Comme l'achat d'un système de chauffage est principalement déclenché par le remplacement d'un équipement défectueux ou vétuste, l'effet potentiel du CIDD pourrait donc davantage porter sur les montants dépensés que sur la décision d'investir.

Les estimations économétriques menées sur les données de l'enquête MDE (voir encadré Méthodes) confirment un effet positif du CIDD sur la décision d'investir dans des travaux d'isolation thermique du bâti (parois vitrées et opaques)<sup>56</sup>. Cet effet n'est toutefois significatif qu'à partir de 2007 pour les parois opaques et de 2008 pour l'ensemble des travaux d'isolation. Cela suggère une période de latence de deux à trois ans avant que le CIDD ne produise ses effets. Ce résultat peut être mis en regard de la progression de la connaissance du dispositif par les ménages de notre échantillon d'estimation : 59 %

<sup>55</sup> Depuis 2009, les frais de main-d'œuvre pour l'isolation des parois opaques sont subventionnés par le CIDD.

<sup>56</sup> Le trop faible nombre d'observations dans l'enquête MDE pour les systèmes de chauffage et les PAC ne permet pas de mener une évaluation économétrique semblable pour ces types de travaux (voir encadré Méthodes).

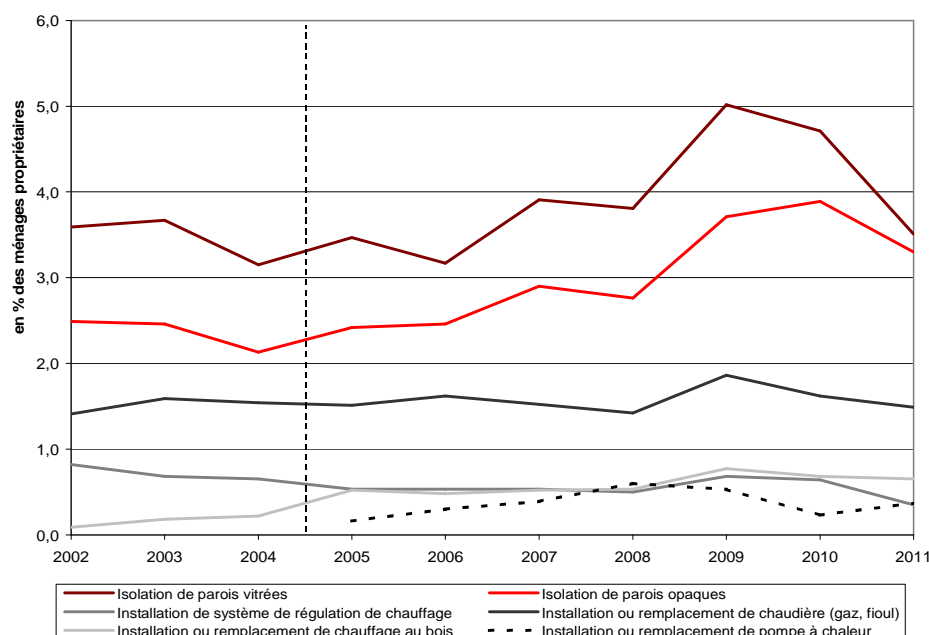


le connaissaient en 2005 contre 80 % en 2007 et 84 % en 2008. En moyenne, sur la période 2008-2011, parmi les ménages réalisant des travaux d'isolation, un ménage sur quatre n'aurait pas investi si ce dispositif n'avait pas existé. C'est en 2009 que l'effet du CIDD sur les décisions de réaliser des travaux a été le plus fort, vraisemblablement en raison d'une réforme qui a inclus les frais de pose dans l'assiette de remboursement du CIDD pour les travaux d'isolation des parois opaques. L'effet du CIDD décline à partir de 2010, surtout pour l'isolation des parois vitrées, de manière concomitante à la baisse des taux du CIDD. Ces résultats suggèrent que le niveau de subvention influe sur l'effet incitatif du CIDD.

D'après ces estimations, parmi les ménages qui ont bénéficié du CIDD, la part de ceux qui auraient réalisé des travaux même en l'absence du dispositif passe de 85 % en 2008 à 61 % en 2010 pour les travaux d'isolation des parois vitrées (avant de remonter à 70 % en 2011), et de 78 % en 2007 à 42 % en 2011 pour les travaux d'isolation des parois opaques.

D'après les déclarations des ménages interrogés dans l'enquête MDE (encadré 2), le CIDD n'aurait eu aucun effet sur la décision d'investir de 54 % des ménages ayant isolé les parois vitrées, 62 % s'agissant des parois opaques. L'écart entre les résultats d'estimations et les déclarations peut en partie correspondre aux situations où le ménage a réalisé des travaux qu'il aurait certes décidé même sans CIDD mais pour lesquels il a dépensé plus qu'initialement prévu grâce à la subvention (modalité de réponse absente dans l'enquête).

**Figure 3 : Réalisation de travaux de rénovation thermique entre 2002 et 2011 en France métropolitaine (en % des propriétaires occupants)**



Source : ADEME-TNS SOFRES, Enquête "Maîtrise de l'Énergie" 2002-2011 ; calculs Cired.

Champ : ménages propriétaires occupants.

Lecture : en 2002, 3,6 % des propriétaires occupants ont réalisé des travaux d'isolation de parois vitrées dans leur logement.

Note : les types de travaux sont comptabilisés séparément, un ménage qui réalise des travaux incluant une isolation de parois opaques et une installation d'une chaudière à bois la même année est comptabilisé à deux reprises.



## Encadré 2 : Influence du CIDD sur les décisions de travaux ?

Dans l'enquête MDE, les ménages qui ont bénéficié du CIDD sont interrogés sur l'effet que le dispositif a eu sur leur décision de réaliser des travaux de rénovation thermique. Dans le cas de travaux d'isolation et de remplacement des systèmes de chauffage conventionnels (chaudière gaz et fioul), plus d'un tiers des ménages évoque directement l'effet du CIDD sur la prise de décision (« entreprendre des travaux », « ne plus différer les travaux »). Pour l'installation d'appareils de régulation de chauffage, les ménages déclarent très majoritairement que le CIDD n'a eu aucun impact. Dans les deux cas, la proportion de ménages déclarant que le CIDD n'a eu aucun effet décroît de 2006 à 2010. Au contraire, pour l'installation de systèmes de chauffages moins courants (chauffage au bois et PAC), le CIDD a accéléré le processus de décision de presque un ménage sur deux. Dans une moindre mesure, le CIDD a conduit les ménages à recourir à des professionnels pour des travaux qu'ils auraient sinon réalisés eux-mêmes.

**Tableau 4 : Effets évoqués du CIDD sur la décision d'investissement**

	Isolation de parois vitrées	Isolation de parois opaques	Système de régulation de chauffage	Chaudière (gaz, fioul)	Chauffage au bois	Pompe à chaleur (PAC)
<i>Entreprendre des travaux non envisagés</i>	8%	11%	3%	10%	7%	27%
<i>Ne plus différer la décision d'investir dans des travaux envisagés</i>	37%	25%	7%	29%	41%	51%
<i>Faire réaliser les travaux par un professionnel</i>	5%	9%	11%	2%	12%	2%
<i>Aucun</i>	54%	62%	81%	61%	48%	28%

Source : ADEME-TNS SOFRES, Enquête "Maîtrise de l'Énergie" 2006-2011 ; calculs Cired.

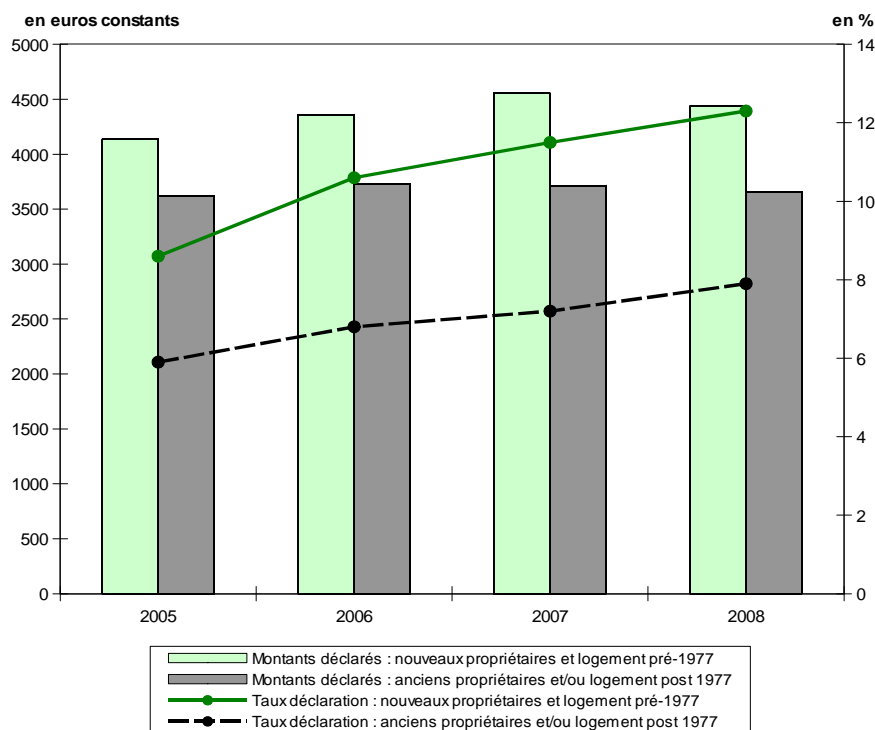
Lecture : parmi les ménages ayant bénéficié du CIDD au titre de travaux d'isolation de parois vitrées entre 2006 et 2011, 8 % déclarent que le CIDD les a conduits à entreprendre des travaux qu'ils n'auraient pas envisagés sinon.

## L'investissement dans les équipements les plus performants est sensible au niveau de l'incitation fiscale

À partir des données fiscales, l'étude a tenté d'analyser comment les investissements portant sur les équipements ouvrant droit au CIDD s'ajustent au niveau de l'incitation fiscale. Il n'est pas possible d'obtenir un résultat pour tous les ménages ni toutes les dépenses. Un changement de barème intervenu en 2006 pour certaines dépenses de rénovation thermique des nouveaux propriétaires d'un logement ancien permet néanmoins d'apporter quelques éléments de réponse. Entre 2006 et 2008, le taux de crédit d'impôt sur les matériaux d'isolation (parois vitrées et opaques), les chaudières à condensation et les appareils de régulation de chauffage a été porté de 25 % à 40 % pour les ménages propriétaires depuis au plus deux ans d'un logement construit avant 1977. Le taux a été maintenu à 25 % pour les autres ménages. Contrairement aux résultats précédents, les résultats suivants portent uniquement sur l'effet du passage du taux de crédit d'impôt de 25 % à 40 % sur la décision d'installer un équipement ouvrant droit au CIDD et sur les montants moyens dépensés pour ces équipements (hors main-d'œuvre et coûts des autres matériaux et équipements installés mais hors champ du CIDD) et non sur l'introduction du CIDD, ni sur l'ensemble des travaux de rénovation thermique.

Dès 2005, la proportion de bénéficiaires du CIDD ainsi que les dépenses moyennes en équipements « CIDD » étaient plus élevées chez les nouveaux propriétaires de logements construits avant 1977 que chez les autres propriétaires (figure 4). À partir de 2006 et du relèvement du taux à 40 %, leur taux de déclaration de travaux (courbe pleine) semble augmenter plus rapidement que celui des ménages n'ayant pas bénéficié de cette hausse de taux (courbe en pointillés, + 3,7 points entre 2005 et 2008 contre + 2 points pour les autres propriétaires). De même, entre 2005 et 2008, le montant moyen (corrige de l'inflation sur le secteur de l'entretien et amélioration du logement) dépensé par les propriétaires de logements anciens a augmenté de 7,4 points tandis que celui des autres propriétaires augmentait à peine plus vite que l'inflation (+ 2 % entre 2005 et 2008). La hausse du taux de crédit d'impôt de 2006 semble donc avoir non seulement encouragé plus de ménages à installer des équipements ouvrant droit au CIDD mais aussi à ajuster à la hausse les montants consacrés à ces équipements.

**Figure 4 : Taux de déclaration et montants déclarés par les propriétaires d'un logement achevé entre 1969 et 1988**



Source : DGFIP exhaustif fiscal 2005-2008 (l'année est celle de réalisation des travaux), IPEA SOeS, calculs CGDD-Insee.

Champ : propriétaires occupant depuis 5 ans ou moins un logement achevé entre 1969 et 1988.

Note : Les ménages éligibles sont propriétaires de leur logement depuis moins de trois ans et leur logement a été construit avant 1977. Les montants sont corrigés de l'inflation sur le secteur de la rénovation thermique à partir de l'indice de prix Entretien Amélioration génie climatique (IPEA, SOeS).

Lecture : les ménages éligibles dépensent en moyenne 4 130 euros en travaux de rénovation thermique en 2005 contre 4 360 en 2006 (en euro 2005).

Ces observations sont confirmées par une analyse économétrique (voir encadré Méthodes). Toutes choses égales par ailleurs, le relèvement du taux de crédit à partir de 2006 a significativement accru le nombre de ménages éligibles qui ont installé des équipements « CIDD ». Environ un tiers de la hausse du nombre de bénéficiaires parmi les ménages éligibles viendrait de la majoration du taux pour ces ménages. De même, après 2006 les ménages qui ont bénéficié d'une hausse de taux de crédit d'impôt ont ajusté à la hausse leurs dépenses moyennes en équipements « CIDD » de rénovation thermique. En 2006, ils ont déclaré 20 % de plus que ce qu'ils auraient déclaré s'ils n'avaient pas bénéficié de cette majoration de taux, 36 % de plus en 2007 et 2008<sup>57</sup>. Un euro de dépense publique supplémentaire causé par ce relèvement de taux de CIDD entre 2006 et 2008 a généré en moyenne 1 euro de dépense privée brute supplémentaire en 2006 et 1,5 euro en 2007 et 2008. La hausse des dépenses observée s'est faite pour un reste à charge moyen des ménages (défini comme les dépenses d'équipement « CIDD » nettes du crédit d'impôt) quasi constant (- 8 % en 2006, + 7 % en 2007 et 2008). Ces dépenses non prévues peuvent correspondre soit à un effet quantité : le ménage investit dans des équipements « CIDD » supplémentaires qu'il n'aurait pas installé à un taux plus bas ; soit à un effet qualité : le ménage investit dans un équipement plus performant.

<sup>57</sup>

Ces résultats sont nets de la hausse des prix unitaires des équipements et des matériaux (effet prix) car les montants sont corrigés de l'inflation sur le secteur de l'entretien amélioration.

## **Encadré : Données d'enquête et données administratives, deux sources complémentaires**

L'évaluation de l'impact du crédit d'impôt dédié au développement durable sur les travaux de rénovation thermique du logement est conduite sous deux angles complémentaires. Deux sources de données ont été mobilisées : l'enquête « Maîtrise de l'énergie » (TNS-Sofres pour l'ADEME) et l'exhaustif fiscal (DGFIP).

### ***Enquête « Maîtrise de l'énergie »***

Supervisée par l'Agence de Développement et de Maîtrise de l'Énergie (ADEME) et réalisée par la TNS-Sofres, l'enquête « Maîtrise de l'énergie » interroge chaque année depuis plus de dix ans une dizaine de milliers de personnes sur leurs opinions, usages et investissements relatifs à la consommation énergétique de leur logement. Elle fournit des données sur la situation socio-économique du ménage, sur son niveau d'information en matière énergétique, notamment sur les politiques publiques existantes, ainsi que sur les caractéristiques de son logement. Parmi les ménages qui répondent avoir réalisé des travaux l'année précédente (7 à 12 % de l'échantillon), un second questionnaire les interroge spécifiquement sur leurs investissements dans l'efficacité énergétique de leur logement. Cette phase de l'enquête renseigne sur les types de travaux, les montants et les modalités de paiement, ainsi que les aides publiques dont les ménages ont bénéficié. Elle fournit enfin de l'information qualitative sur les motivations, les démarches et les difficultés des ménages concernant leurs travaux. En utilisant les données de l'enquête de 2002 à 2011, l'étude présentée ici constitue un panel non équilibré de 23 879 ménages observés 2,4 ans en moyenne, le renouvellement moyen de l'enquête d'une année sur l'autre étant de 49 %.

### ***Impôt sur le revenu et taxe d'habitation***

La seconde source de données mobilisées est l'exhaustif fiscal fourni par la DGFIP, issu du rapprochement entre les déclarations d'impôts sur le revenu et les fichiers de taxe d'habitation. Nous ne disposons pour cette étude que des fichiers fiscaux de 2006 à 2011. Ils portent sur les revenus et sur les travaux réalisés entre 2005 et 2010. La nature administrative de cette source garantit son exhaustivité et sa très grande fiabilité. Néanmoins l'information sur les travaux réalisés au titre du CIDD et sur les équipements installés est très peu détaillée. Les montants sont agrégés en fonction des taux de crédit d'impôt auxquels les équipements sont subventionnés de sorte qu'il n'est pas possible de connaître le type d'équipement(s) et/ou matériaux exactement installé(s). Par conséquent la mise à jour des listes des équipements subventionnés et les changements de taux auxquels ils sont soumis provoquent des ruptures de séries lorsque l'on s'intéresse uniquement au volet rénovation du CIDD. C'est le cas en 2009 avec la baisse du taux sur les chaudières à bois et les pompes à chaleur de 50 % à 40 %. En effet, entre 2005 à 2008, il n'est pas possible d'intégrer les chaudières à bois et les PAC au volet rénovation du CIDD car elles sont soumises au même taux de 50 % que l'installation d'équipements utilisant une source d'énergie renouvelable (panneaux photovoltaïques, panneaux solaires thermiques, éoliennes) et elles sont donc exclues du champ de l'analyse. À partir de 2009, le taux sur les chaudières à bois et les PAC est ramené à 25 et 40 % de sorte que ces travaux sont réintégrés dans la catégorie des travaux de rénovation. À partir du 22 septembre 2010, le taux de crédit d'impôt sur les panneaux photovoltaïques est abaissé au même taux que certains travaux de rénovation.

Contrairement à l'enquête « Maîtrise de l'Énergie » qui porte sur l'ensemble des travaux de rénovation, les fichiers fiscaux comportent uniquement les déclarations se rapportant aux dépenses en équipements ouvrant droit au CIDD. Pour assurer une homogénéité des champs entre les deux sources, seuls les types de travaux de rénovation pouvant bénéficier du CIDD ont été inclus dans l'analyse de l'enquête MDE. Par ailleurs, les définitions du revenu diffèrent : l'enquête MDE renseigne sur les revenus salariaux du ménage (salaires annuels, primes, pensions, allocations,...) alors que, dans les fichiers fiscaux, il s'agit de revenus fiscaux imposables (revenus d'activité salariée et indépendante, pensions d'invalidité, retraites hors minimum vieillesse, pensions alimentaires reçues déduction faite des pensions versées, certains revenus du patrimoine, revenus sociaux imposables comme les indemnités de maladie et de chômage mais hors Revenu de Solidarité Active). Il n'a pas été possible d'harmoniser ces champs mais les distributions sont relativement proches. Une présentation par quintile a donc été privilégiée. Par ailleurs, pour garantir la comparabilité des sources il a été nécessaire de procéder à un redressement et à un recalage de l'enquête MDE sur la structure des logements et des ménages fiscaux.

**Encadré : Méthodes*****Impact de l'introduction du CIDD sur les travaux de rénovation thermique***

Les résultats sur la création du CIDD présentés dans cet article sont tirés de Nauleau (2014). Les données de l'enquête « Maîtrise de l'Énergie » permettent d'évaluer l'impact de la création en 2005 du CIDD sur la fréquence des travaux de rénovation en comparant les décisions d'investissement avant (2002/2004) et après (2005/2011) l'introduction du CIDD. Afin d'identifier quelle part de la hausse du taux de rénovation est due au CIDD, la méthode dite « en différence » doit s'assurer de la stabilité de la proportion de ménages faisant des travaux avant 2005 et contrôler les déterminants de la prise de décision susceptibles d'évoluer dans le temps, tels que les prix de l'énergie ou les préférences des ménages. Les estimations intègrent également le fait que les ménages sont suivis sur plusieurs années afin d'améliorer la qualité de l'estimation. L'étude se concentre sur les travaux d'isolation thermique (parois vitrées et opaques), la méthode n'étant pas applicable aux autres types de travaux. En effet, les données de l'enquête ne permettent pas d'estimer économétriquement l'effet du CIDD sur l'installation des systèmes de chauffage. Le nombre insuffisant d'observations pour les chauffages au bois et l'absence de suivi des pompes à chaleur avant 2005 ne permettent pas non plus d'estimer l'effet du CIDD sur ces équipements.

***Sensibilité des investissements en équipements performants au niveau des taux de CIDD***

Les résultats sur les changements de barèmes du CIDD sont tirés de Mauroux (2012) et Benichou-Daussin et Mauroux (2014). La réactivité des propriétaires aux changements de barème du crédit d'impôt est analysée à partir des données fiscales. Cette étude tire profit d'une hausse de taux dont n'a bénéficié qu'un petit nombre de ménages. Entre 2006 et 2008, le taux de crédit d'impôt portant sur les chaudières à condensation, les matériaux d'isolation et les appareils de régulation de chauffage a été porté de 25 % à 40 % mais uniquement pour les ménages propriétaires depuis deux ans ou moins d'un logement construit avant 1977.

Par analogie avec l'expérimentation médicale, le groupe de ménages qui a bénéficié de la hausse des taux est appelé « groupe de traitement » et le groupe de ménages qui n'en a pas bénéficié « groupe de contrôle ». Néanmoins, contrairement aux expérimentations médicales, les ménages ne sont pas affectés aléatoirement dans chacun des groupes et peuvent donc avoir des comportements différents même avant l'administration du « traitement ». En comparant l'évolution de leur comportement (taux de déclaration et montants déclarés au titre du CIDD) avant et après le changement de taux à celle du reste des ménages, il est possible de distinguer ce qui relève de l'évolution tendancielle des comportements de ce qui est imputable à la hausse de taux. Cette méthode dite en « différence de différences » permet d'isoler l'effet de la hausse du taux de crédit d'impôt sur le comportement des ménages qui en ont bénéficié.

**Bibliographie****Ademe –TNS-SOFRES**

« Enquête Maîtrise de l'Énergie », Bilan 2011 – Phase 1 Note de synthèse.

**Clerc M-E., Marcus V. et Mauroux A.**

« Le recours au crédit d'impôt en faveur du développement durable. Une résidence principale sur sept rénovée entre 2005 et 2008 », Le point sur n°65, septembre 2010, CGDD, SEEIDD.

**Daussin-Benichou J-M. et Mauroux A.**

« Turning the heat up. How sensitive are households to fiscal incentives on energy efficiency investments? », Document de travail n° G2014-06, juillet 2014, INSEE.

**Marcus V., Meilhac C. et Penot-Antoniou L.**

« Le crédit d'impôt développement durable : 1,4 million de bénéficiaires en 2010, très majoritairement propriétaires de maisons individuelles », Le Point sur n°147, septembre 2012, CGDD, SEEIDD.

**Mauroux A.**

« Le crédit d'impôt dédié au développement durable : une évaluation économétrique », Document de travail n° G2012-11, octobre 2012, INSEE.

**Nauleau M-L.**

« Free-Riding on Tax Credits For Home Insulation in France; An Econometric Assessment Using Panel Data », Energy Economics, vol. 46, novembre 2014.

## Le tiers financement, un outil innovant pour optimiser la rénovation énergétique au sein des copropriétés

Sihame Hini, Kleber Pinto-Silva,  
UVSQ, REEDS

*(Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines,  
Recherche en Économie, Éco-invention Ingénierie du Développement Durable)*

La rénovation énergétique des copropriétés est un enjeu incontournable pour atteindre les objectifs environnementaux du secteur du bâtiment dont le chauffage est un des principaux déterminants. Représentant le quart des logements du parc privé, les copropriétés sont particulièrement énergivores et nécessitent des rénovations globales et ambitieuses. Or, elles rencontrent des difficultés spécifiques qui sont autant de freins dans la mise en œuvre de projets de travaux lourds. Pour surmonter ces difficultés, le tiers financement apparaît comme un outil innovant avec son offre complète qui permet le montage du dossier regroupant l'ingénierie financière, les travaux de rénovation et la garantie de performance énergétique. Il implique l'ensemble des acteurs, de l'utilisateur du logement en passant par le syndic, la copropriété et les professionnels en charge des travaux. Le tiers financement tel qu'il est présenté aujourd'hui pourrait sans doute être optimisé s'il intègre une forme de sobriété par une approche sociologique et organisationnelle. L'approche sociotechnique prenant en considération cet aspect met en évidence diverses dimensions des bienfaits d'une opération de rénovation. Elle réduit les aléas, accélère le retour sur investissement et garantit la maîtrise de l'utilisation de l'énergie par chacun des acteurs tout en limitant l'effet rebond.

La rénovation énergétique des bâtiments est un levier majeur à la fois pour l'économie et l'écologie. En France, le secteur du bâtiment représente 43 % de la consommation finale d'énergie. Il est responsable de 23 % des émissions des GES (CEDD, 2013).

Face à ce constat, la France a mis en place un cadre normatif particulièrement ambitieux en matière d'économies d'énergie dans le bâtiment. Un renforcement de la réglementation thermique sur les nouvelles constructions s'est ainsi accompagné de la définition d'un objectif de réduction de 38 % de la consommation d'énergie des bâtiments existants d'ici 2020. À cet effet, il est prévu d'encourager les rénovations lourdes de logements existants, afin d'atteindre d'ici 2017, 500 000 rénovations importantes par an dont 380 000 dans les logements privés.

Les copropriétés constituent une part très importante du parc résidentiel privé et freinent le rythme des rénovations énergétiques par la complexité de leur gouvernance. Leurs difficultés s'ajoutent à celles rencontrées plus généralement. Dans la conjoncture économique actuelle, la rénovation des logements à des fins énergétiques n'est pas la priorité des ménages. Ceci est particulièrement le cas des ménages modestes et de ceux touchés par le phénomène de précarité énergétique. Il faut ajouter la complexité des démarches devant être entreprises pour faire une rénovation (CDC, 2010 [5]). La constitution d'un dossier pour bénéficier des aides attribuées aux projets de rénovation énergétique demande beaucoup d'efforts et nécessite des connaissances à la fois techniques, environnementales, réglementaires et financières.

Pour relancer le rythme de la rénovation et inciter les propriétaires à réaliser des travaux de rénovation énergétique, il est donc nécessaire de mettre en œuvre des mécanismes permettant de réussir des opérations de rénovation lourde « en une seule fois » [5].



## Copropriétés : un parc important et plus énergivore que la moyenne

Une copropriété est une organisation soumise à un régime juridique défini par la loi n° 65-557 du 10 juillet 1965<sup>58</sup> qui désigne tout immeuble bâti ou groupe d'immeubles bâtis dont la propriété est répartie, entre plusieurs personnes, par lots comprenant chacun une partie privative et une quote-part de parties communes [8]. Chaque copropriété est gérée par une assemblée de copropriétaires. Les logements en copropriété représentaient en 2006, 8,4 millions de logements soit 27,3 % de l'effectif total des 30,8 millions du parc de logements. Les trois quarts des copropriétés ont été construites après 1949, sans faire l'objet d'une réglementation thermique [2]. 44 % de leurs occupants sont des locataires et 51 % des propriétaires occupants<sup>59</sup>.

Les copropriétés présentent de moins bonnes performances énergétiques que la moyenne de l'ensemble du parc résidentiel : elles représentent 30 % des logements avec une moyenne de 260 kWh/m<sup>2</sup>/an [10]. C'est un parc qualifié d'«énergivore» qui mérite une attention particulière. Cependant, la rénovation énergétique est moins fréquente dans les copropriétés en raison de plusieurs obstacles qui freinent les démarches et les décisions pour le lancement de travaux de rénovation.

## Des freins multidimensionnels à différentes échelles ralentissant le rythme des rénovations des parcs gérés en copropriété

La rénovation énergétique des copropriétés implique la mobilisation d'un nombre important d'acteurs : résidents, bailleurs et professionnels. Au-delà du fait que l'élaboration d'un dossier de travaux soit une tâche très difficile, les copropriétés rencontrent des difficultés spécifiques pour démarrer un projet de rénovation énergétique parmi lesquelles :

- le statut et le fonctionnement de la copropriété, notamment le mode de prise de décision et la règle de majorité ;
- les compétences de la copropriété sur la rénovation sont très limitées pour lancer un audit, recueillir les données préalables nécessaires sur l'immeuble, comprendre et se décider sur les scénarios possibles ;
- l'absence de certitude sur les résultats et le temps de retour sur investissement ;
- les aides et subventions difficiles à mobiliser par les copropriétés ;
- des résistances/hostilités/indifférence de certains copropriétaires en raison des coûts induits, le plus souvent parce qu'ils ne perçoivent pas l'intérêt d'une rénovation énergétique.
- les charges courantes pèsent déjà lourd (chauffage, eau chaude et froide, maintenance, ...- voir Figure 2).

Plusieurs mécanismes d'ordre réglementaire ou incitatif sont déjà déployés pour aider les copropriétés à rénover leur bien (réglementation thermique, obligation de diagnostic énergétique, fonds travaux, prêts bonifiés, etc., voir encadré). Pourtant, malgré toutes ces mesures, les travaux de rénovation peinent à démarrer. Il apparaît donc nécessaire de mettre en place de nouveaux mécanismes permettant d'enclencher des opérations de rénovation. Le modèle économique du «tiers financement» pour la rénovation énergétique est un modèle qui vient répondre à cette problématique.

<sup>58</sup> Loi n° 65-557 du 10 juillet 1965 fixant le statut de la copropriété des immeubles bâtis

<sup>59</sup> Idem



### **Encadré : Les mécanismes d'ordre réglementaire et/ou incitatif déjà déployés pour aider les copropriétés à rénover leur bien**

Plusieurs préconisations sont déjà mises en œuvre, dont la réglementation thermique des bâtiments existants s'appliquant aux bâtiments résidentiels et tertiaires (articles L. 111-10 et R.131-25 à R.131-28 du Code de la construction et de l'habitation, et leurs arrêtés d'application<sup>1</sup>).

Des obligations existent également, en termes de réalisation d'un diagnostic de performance énergétique (DPE) pour les bâtiments équipés d'une installation collective de chauffage ou de refroidissement (dans un délai de cinq ans à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2012), et de réalisation d'un audit énergétique pour les copropriétés de plus de 50 lots équipées d'une installation collective de chauffage ou de refroidissement et construites avant le 1<sup>er</sup> juin 2001.

Le fonds travaux, par ailleurs, qui deviendra obligatoire à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2017 avec la nouvelle loi ALUR3 instaurée dans un souci de maîtrise des coûts. Le syndic, en accord avec le conseil syndical, devra dès lors établir un budget prévisionnel pour que les copropriétaires puissent avoir une meilleure visibilité sur les dépenses futures. Une cotisation annuelle obligatoire doit être votée à la majorité de l'article 254 pour financer les travaux hors budget prévisionnel et/ou prescrits par les lois et règlements, avec un montant ne pouvant être inférieur à 5 % du budget prévisionnel.

Afin de financer les travaux de rénovation, une surélévation d'un étage pour créer des parties privatives est également possible. Elle s'opère à la majorité de l'article 265, et s'impose au copropriétaire du dernier étage tout en donnant à ce dernier la priorité du droit d'achat.

Des collectivités aident d'autre part les différents acteurs de la copropriété par des mécanismes d'accompagnement, comme les espaces infos énergie. Ces derniers ont pour but de former et d'informer, aussi bien les syndics que les conseillers syndicaux, sur le fonctionnement de leur bâtiment et les différentes aides auxquelles ils sont éligibles lors des décisions pour faire des travaux. Cet accompagnement peut contribuer à rassurer les différents acteurs de la copropriété et facilite bien souvent la prise de décision.

Enfin, des aides financières sont mises en œuvre pour aider et inciter les copropriétés à faire les travaux de rénovation énergétique de leur bien. Elles peuvent être directes, comme celles qui proviennent directement de l'Etat ou des collectivités territoriales, ou bien indirectes, comme les prêts bonifiés (ex : Eco-PTZ pour les particuliers, Eco-prêt logement social), ou les incitations fiscales comme le crédit d'impôt. À cela s'ajoute la possibilité d'obtenir des certificats d'économie d'énergie.

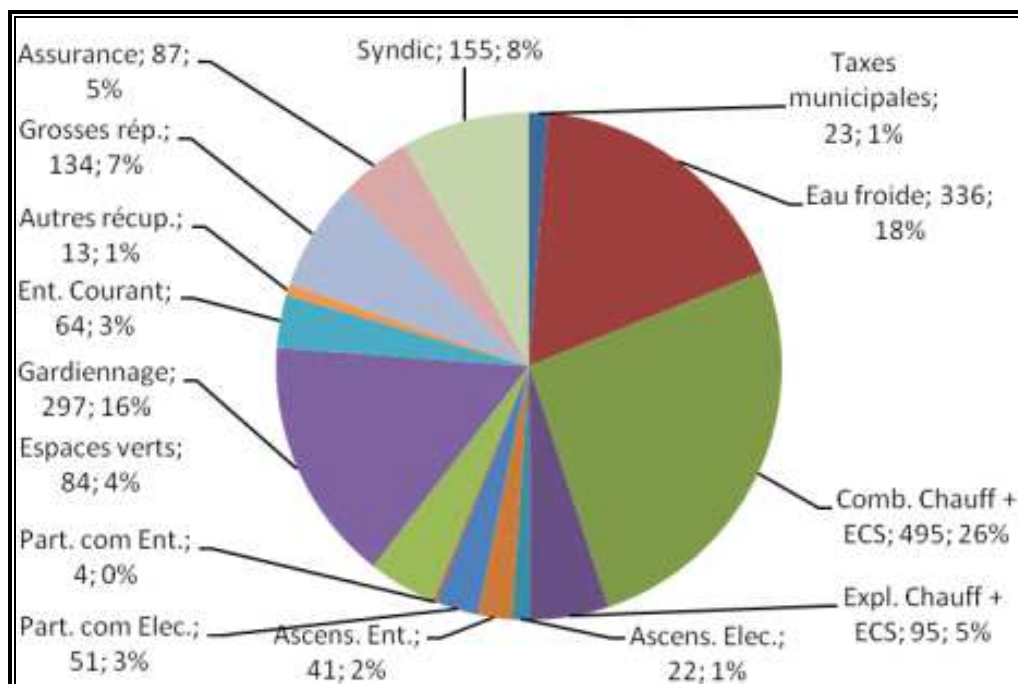
### **Tiers financement et tiers investissement : quelles définitions adopter pour comprendre et faciliter le déploiement du modèle ?**

Le **"tiers financement"** (TF) visant la rénovation énergétique est un modèle économique qui consiste à proposer une offre intégrée, incluant le financement des travaux, dans une approche globale et incluant une gestion technique et opérationnelle du projet, y compris postérieurement aux travaux » [10]. Cet outil permet au propriétaire d'un bâtiment de faire financer une partie ou toute la rénovation par un organisme tiers. La société de tiers financement peut être une société d'économie mixte, publique ou privée. Le mécanisme du TF utilise la mise en place d'un engagement contractuel de garantie de la performance énergétique, afin de sécuriser le propriétaire du bâtiment.

Le **"tiers investissement"** de la rénovation énergétique est un modèle économique qui consiste à allouer des capitaux à des projets de rénovation énergétique, en contrepartie de créances garanties sur le montant des économies d'énergies futures réalisées dans le bâtiment, car celles-ci permettront un retour sur investissement » [11].

Le tiers financement est un modèle qui englobe toutes les possibilités de financement, y compris l'apport du tiers investisseur. Le tiers investissement est en l'occurrence un cas particulier du tiers financement.

**Figure 2 : Charges locatives annuelles de copropriété (en euro et en %).  
Logement type de 65 m2 - Chauffage collectif Gaz - Zone H1, 2008**



Source : Caroline Costa et al, 2012 [8]

### Tiers financement : comment ça marche ?

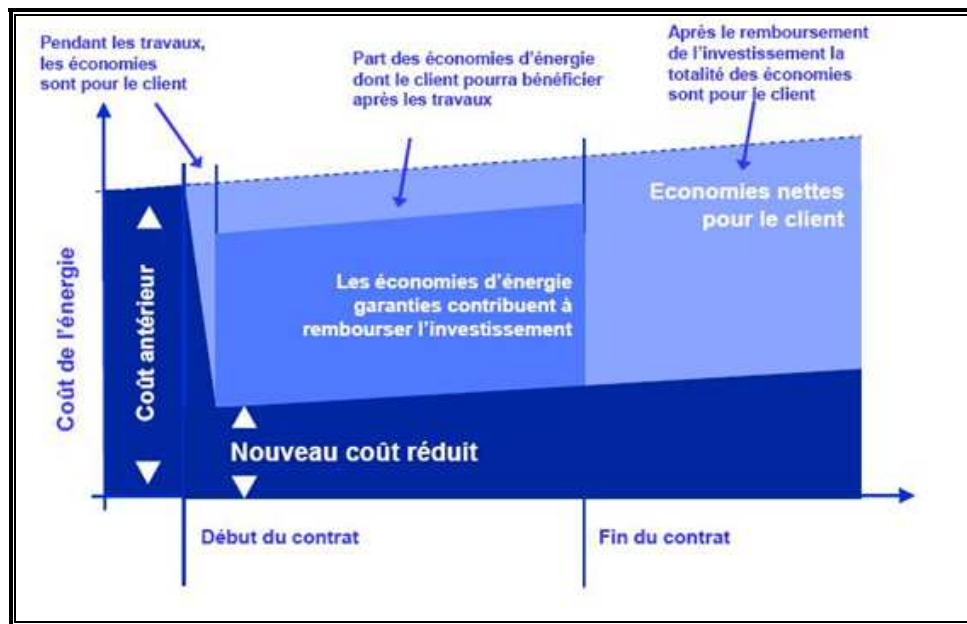
Selon l'étude menée par la CDC [5], le tiers financement a vocation à couvrir trois compétences :

1. Mettre en œuvre un ensemble de compétences immobilières
2. Développer l'ingénierie financière de l'opération
3. Apporter à ses clients la garantie de performance énergétique

Le principe de tiers financement est d'établir un contrat avec le maître d'ouvrage pour élaborer un service "clé en main" : organiser le montage d'un projet de rénovation (conception de projet, réalisation) en rassemblant différents acteurs professionnels multidisciplinaires (financier, professionnels du bâtiment) et réunir toutes les possibilités de financement au-delà de la capacité d'autofinancement du maître d'ouvrage (aides et subventions de l'État, prêts bancaires bonifiés, certificats d'économie d'énergie), avec une partie de financement assurée directement par le tiers investisseur. Ce dernier est remboursé par la suite au cours d'une période définie contractuellement sous forme d'un loyer.

La société de tiers financement peut ne pas mobiliser les acteurs du BTP pour l'offre de rénovation si elle se limite à une activité de conseil, ou si elle agit en tant qu'opérateur intégré.

Figure 3 : Principe du mécanisme de « tiers financement »



Source : Caisse des dépôts (CDC) [5]

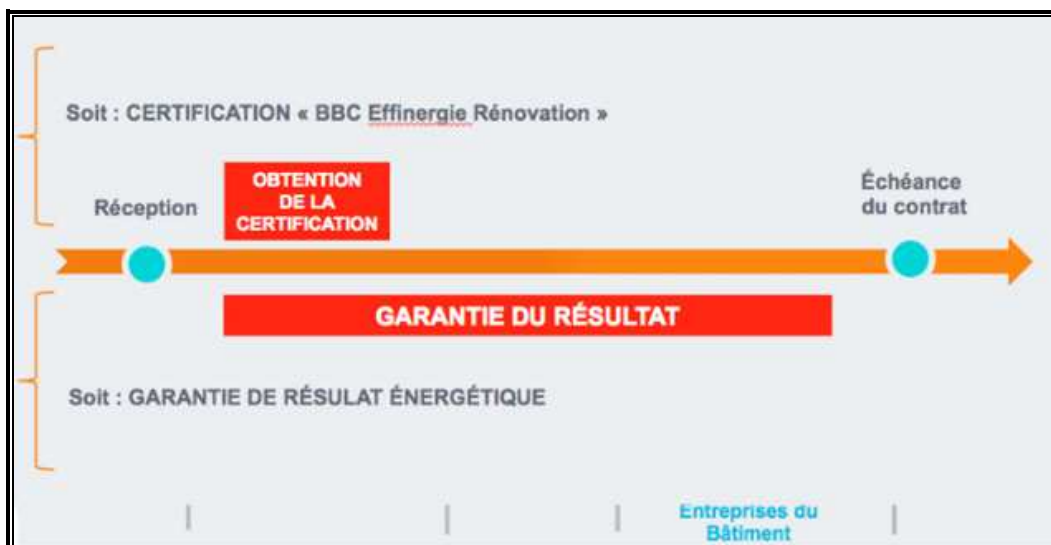
Le TF permet donc la sécurisation des financements par les économies futures. Ce modèle soulage le propriétaire de la charge du financement de l'opération en le rapportant sur un tiers. Les économies d'énergie peuvent financer 20 à 70 % [5] de l'opération selon la taille, l'état et le type de bâtiment concerné, tout en prenant en compte les scénarios d'évolution des prix de l'énergie.

L'intérêt principal de la rénovation énergétique sous le mécanisme de tiers financement est de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, la rénovation énergétique sous le mécanisme de tiers financement est génératrice de multiples externalités sociétales et économiques positives, par exemple en aidant à limiter le poids de la précarité énergétique des copropriétaires à faibles revenus et à valoriser la valeur du bien, etc. Le tiers financement est un outil complémentaire qui permet de revaloriser le bien immobilier en garantissant sa performance énergétique et de réduire les dépenses du poste énergie.

### Un exemple de tiers financement déjà opérationnel : Énergies POSIT'IF

Créée sous le modèle du tiers financement, la Société d'Économie Mixte (SEM) Énergies POSIT'IF est une société public-privé mise en place par la région Île-de-France. Son rôle principal est d'apporter un ensemble technique et une ingénierie financière aux copropriétés, tout en assurant un service de la rénovation énergétique des logements. Énergies POSIT'IF est un interlocuteur qui a pour objectif d'accompagner les différents organismes dans le cadre d'une mission de rénovation énergétique globale. C'est une société qui garantit des économies d'énergies et de la performance énergétique des bâtiments après travaux. La figure 4 ci-dessous illustre les composantes de l'offre de la rénovation énergétique d'Énergies POSIT'IF.

**Figure 4 : SEM Énergies POSIT'IF, un modèle de tiers financement : les différentes étapes de projets**



Source : [http://www.energiespositif.fr/?page\\_id=653](http://www.energiespositif.fr/?page_id=653)

En somme, le tiers financement est un outil innovant grâce à son approche globale qui offre à la fois une ingénierie financière et un rôle d'ensemblier immobilier tout en garantissant des économies d'énergie futures

### **Le tiers financement : un outil d'amélioration de la performance énergétique, mais pas seulement**

L'incertitude due au contexte énergétique à moyen et long terme, la conjoncture économique, le prix de l'énergie en constante évolution et l'épuisement des ressources invitent à infléchir les modes de consommation. Ainsi, il paraît indispensable d'intégrer, en complément de l'efficacité énergétique, une notion de sobriété et de frugalité dans le montage de projet de rénovation énergétique.

Les financements sont des outils apportant une aide mais restent insuffisants pour impulser la rénovation énergétique des copropriétés. Le tiers financement tel qu'il se présente aujourd'hui se concentre sur deux axes majeurs, qui sont l'ingénierie financière et l'ensemblier de compétences immobilières. À cela s'ajoute un troisième axe avec la garantie de la performance énergétique sans laquelle offrir un service complet aux copropriétaires sans suivre les efforts au niveau de la maîtrise de l'énergie et la sobriété énergétique peut causer une surconsommation d'énergie lorsque les logements sont mieux isolés (effet rebond<sup>60</sup>). D'autre part, installer lors des travaux de rénovation énergétique des technologies nouvelles ou complexes à l'usage, sans la formation et l'information des professionnels auprès des ménages, entraîne des résultats moins efficaces et un allongement des retours sur investissement.

### **L'effet optimisateur de l'approche sociotechnique**

Face à ces enjeux, une organisation et un travail en synergie des différents acteurs professionnels et copropriétaires peut agir comme un complément permettant de couvrir le surinvestissement nécessaire à une plus grande amélioration de la performance énergétique.

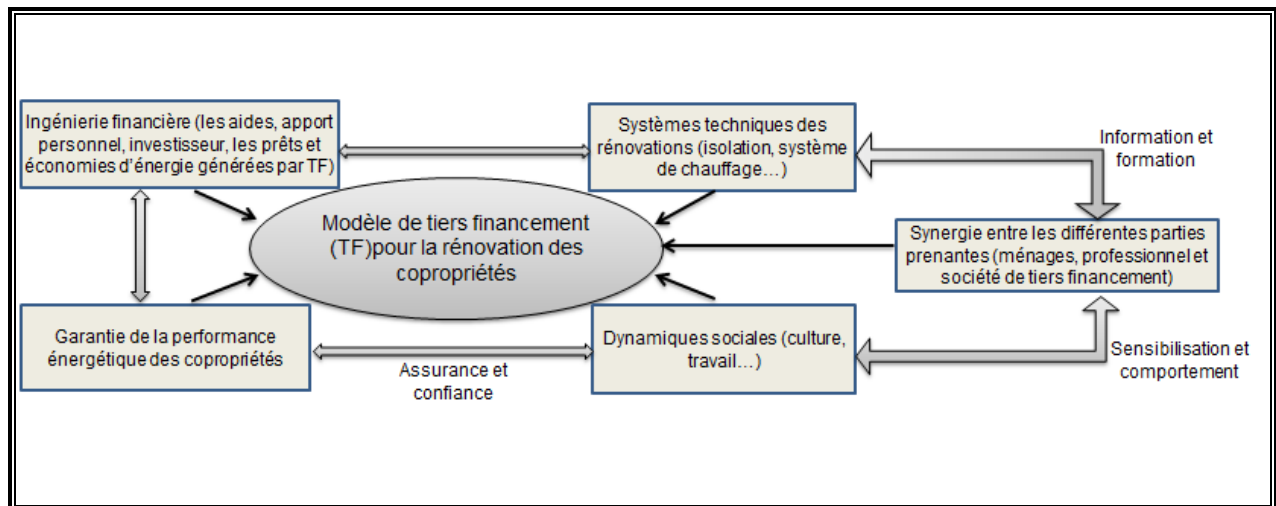
Le principe de l'approche sociotechnique vient justement pour créer une adéquation entre les différentes parties. Rappelons que l'approche sociotechnique est une discipline scientifique portant sur les interactions entre l'humain et la technique. Elle « se base sur une présentation systémique de l'organisation. Elle doit considérer les structures, les personnes, le support technologique et les tâches » [6], tout en reliant les aspects organisationnels et humains.

<sup>60</sup> L'effet rebond est défini comme « l'augmentation de consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, liées à l'effort, au danger, à l'organisation... » [http://www.lesenr.fr/lesactualites/Schneider\\_I\\_Ecologiste.pdf](http://www.lesenr.fr/lesactualites/Schneider_I_Ecologiste.pdf)

Son intégration au mécanisme de tiers financement avec les réponses technologiques et financières déjà existantes, par une approche organisationnelle et socioculturelle, est inhérente à l'efficacité et à l'optimisation des résultats et ce pour soulever les contraintes liées à la non-adéquation entre l'efficacité énergétique et le comportement des ménages. Un accompagnement des copropriétaires face à la nouvelle technologie et aux problématiques énergétique et climatique en sensibilisant ces derniers envers la maîtrise de l'énergie est nécessaire. La figure 5 ci-dessous montre l'intérêt que peut avoir cette démarche en donnant à chaque acteur, professionnel ou non, impliqué dans la rénovation énergétique des copropriétés, la possibilité de contribuer à l'efficacité des résultats.

Les acteurs impliqués dans le mécanisme de tiers financement, de l'utilisateur du logement en passant par le syndic, la copropriété et les professionnels en charge des travaux, doivent se concerter et travailler en synergie pour arriver à des résultats positifs réduisant les aléas et les effets pervers (effet rebond). L'intégration d'une approche sociotechnique à ce type de mécanisme peut accélérer le retour sur investissement, garantir des économies d'énergie, mais également garantir la maîtrise de l'utilisation de l'énergie par chacun des acteurs.

**Figure 5 : L'intérêt d'une approche sociotechnique dans le modèle de tiers financement**



Source : figure réalisée par les auteurs

## Bibliographie

[1] **ADEME**, 2013, « *Chiffres clés du bâtiment* »

[2] **ADEME**, janvier 2013, « *Habitat collectif : mener une rénovation énergétique en copropriété* »

[3] **Bosvieux Jean**, mai 2010, « *Le logement en copropriété* », Anil habitat actualité

[4] **Bray Dominique**, janvier 2012, « *Prévenir et guérir les difficultés des copropriétés : une priorité des politiques de l'habitat* », ANAH

[5] **Caisse des dépôts (CDC)**, mai 2010, « *Utiliser le 'tiers Investissement' pour la rénovation thermique du patrimoine bâti français* »

[6] **Chaperon B**, 2006, « *Évaluation des systèmes d'information pour une optimisation de management des forces de vente* »

[http://www.systemesdinformation.fr/approche\\_sociotechnique.html#](http://www.systemesdinformation.fr/approche_sociotechnique.html#)

[7] **Conseil économique pour le développement durable (CEDD)**, avril 2013, « *La rénovation thermique des politiques publiques et comportements privés* »

[8] **Costa Caroline et al**, avril 2012, « *La Garantie De Performance Énergétique* », plan bâtiment Grenelle

[9] **Francis Lefèvre**, 2010 « *Copropriété : Assemblées, charges et travaux, comptabilité, conseil syndical et syndic, sécurité, vente et location d'un lot* », Dossier pratique

[10] **OREC** (Observatoire de la rénovation énergétique des logements en copropriété), février 2012, « *Pour des analyses et prévisions détaillées et des contacts privilégiés entre professionnels* », BIPE (bureau conseil)

[11] **Reinmann Inès, Ortega Olivier**, février 2013, « *Les Financements innovants de l'efficacité énergétique* »



## Les politiques en faveur de la rénovation thermique des logements : quelques exemples étrangers

Aude Couriol, DGALN/DHUP,  
Dimitri Fuk Chun Wing, CGDD/SEEIDD

L'Union Européenne s'est fixé des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation d'énergie, chaque pays membre choisissant, en complément des politiques communes européennes, des politiques à mettre en œuvre sur son territoire en vue d'atteindre ces objectifs. La comparaison présentée ici et menée entre quelques pays européens (France, Allemagne, Espagne, Royaume-Uni, Suède), et pour certains sujets les États-Unis, fournit un état des lieux des moyens mis en œuvre en matière de rénovation thermique des logements et analyse les résultats de ces politiques en termes d'efficacité environnementale, énergétique et économique. L'étude en tire des enseignements en vue de l'amélioration des dispositifs français, particulièrement dans le sens de la simplification du système d'aides financières et de précautions pour une généralisation du mécanisme de tiers investissement.

*Cet article synthétise des études réalisées par les services économiques de la DG Trésor pour le compte du MLETR-MEDDE (DHUP et CGDD).*

Les pays de l'Union Européenne ont adopté des objectifs de diminution des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation énergétique des logements, à moyen et à long terme. Le paquet énergie-climat a ainsi défini l'objectif européen des « 3 x 20 » à l'horizon 2020 : réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à leur niveau de 1990, réaliser 20 % d'économies d'énergie et porter à 20 % la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale. Par ailleurs, la directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique adoptée en 2012<sup>61</sup> établit un cadre de mesures afin de réaliser l'objectif d'accroître de 20 % l'efficacité énergétique dans l'Union d'ici 2020 et oblige notamment les Etats membres à mettre en place une stratégie à long terme pour la mobilisation des investissements dans la rénovation du parc national des bâtiments résidentiels et commerciaux, publics et privés.

### Les objectifs en matière d'efficacité environnementale et énergétique

#### **Des objectifs convergents au sein de l'Union Européenne...**

La majorité des pays étudiés ont des objectifs similaires ou plus ambitieux que ceux fixés par l'Union Européenne rappelés ci-dessus, à l'exception de l'Espagne dont les objectifs sont en deçà (tableau 1). Ainsi la France, tout comme le Royaume-Uni, prévoit une réduction des émissions de GES de plus de 70 % à l'horizon 2050. La France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et la Suède prévoient une baisse à l'horizon 2020 de plus de 20 % de la consommation énergétique des bâtiments existants. Les objectifs français sont néanmoins, pour l'horizon 2020, plus ambitieux avec un objectif de réduction de 38 % des consommations énergétiques dans les bâtiments existants. Seuls les niveaux d'exigence et les moyens mis en œuvre pour y parvenir peuvent varier, résultant de conditions climatiques et de prise en compte des enjeux environnementaux différents. Ainsi, la Suède présente des pourcentages de diminution des consommations énergétiques plus faibles mais possède déjà un parc de bâtiments sensiblement moins énergivore que les autres pays.

<sup>61</sup> Objectif visant à économiser 20 % de la consommation d'énergie primaire de l'Union par rapport aux projections d'ici 2020

Tableau 1 : Objectifs environnementaux des pays européens étudiés

	France	Allemagne	Espagne	Royaume-Uni	Suède
Objectifs	<p><b>A horizon 2020 :</b> Baisse des consommations énergétiques des bâtiments existants de 38 % pour atteindre une consommation moyenne de 150 kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>/an.</p> <p><b>A horizon 2050 :</b> Baisse des émissions de GES de 75 % par rapport à 1990 (facteur 4)</p>	<p><b>A horizon 2020 :</b> Réduction de 20 % des besoins de chaleur dans les bâtiments</p> <p><b>A horizon 2050 :</b> Réduction de 80 % des besoins en énergie primaire Constitution d'un parc immobilier neutre en carbone</p>	<p><b>A horizon 2020 (suivi des objectifs européens) :</b> Réduction de 10 % des émissions de CO<sub>2</sub> Réaliser 20 % d'économies d'énergie sur une surface résidentielle de 2 262 millions de m<sup>2</sup></p>	<p><b>A horizon 2020 :</b> Objectif de 15 % d'EnR dans la consommation d'énergie finale Réduction de 34 % des GES</p> <p><b>A horizon 2050 :</b> Réduction de 80 % des GES par rapport aux niveaux de 1990</p>	<p><b>A horizon 2020 :</b> Baisse de 20 % de la consommation énergétique des bâtiments par rapport à 1995</p> <p><b>A horizon 2050 :</b> Baisse de 50 % de la consommation énergétique des bâtiments par rapport à 1995</p>

### ...mais des volontés politiques plus fortes dans certains pays

Néanmoins, malgré des objectifs similaires, **des volontés plus fortes** apparaissent dans la feuille de route de certains pays. En premier lieu, la France, dans le cadre du Plan de Rénovation Énergétique de l'Habitat (PREH), s'est fixé une montée en puissance de la réalisation de travaux de rénovation lourde pour atteindre, à l'horizon 2017, 500 000 **logements rénovés par an** (dont 380 000 logements privés et 120 000 logements sociaux). La Suède ambitionne une **disparition des combustibles fossiles** dans le secteur du chauffage en 2020. De leur côté, les États-Unis ont pour objectif de multiplier par deux l'efficacité énergétique pour le bâti et les équipements de l'habitat à l'horizon 2030 par rapport au niveau de 2010.

### Les instruments pour encourager la rénovation énergétique et les investissements dans l'efficacité énergétique

Pour atteindre ces objectifs, divers types de mesures ont été mis en place : mesures de sensibilisation et d'accompagnement des particuliers, mesures incitatives tant sur les plans financier que réglementaire et développement de la R&D.

#### Généralisation des mesures de sensibilisation et d'accompagnement des particuliers

La sensibilisation du grand public est un facteur clé de succès en matière d'efficacité énergétique afin de susciter un changement de comportement des ménages<sup>62</sup>. Les mesures d'accompagnement à la rénovation énergétique des logements consistent généralement en des **campagnes d'information de grande ampleur** ou en la mise en place d'un **service public de la rénovation énergétique**. Le développement de points d'informations et de conseils pour les particuliers se généralise.

La France a mis en place en 2013 un guichet unique, constitué d'un numéro azur et d'un site internet, consacré à la rénovation énergétique des logements. Un réseau de proximité s'est également créé sur l'ensemble du territoire afin de pouvoir conseiller gratuitement les particuliers sur les plans technique, financier et juridique (450 points rénovation info-service ou PRIS couvrent le territoire).

De même, en Allemagne, plus de 600 points d'informations sont mis à disposition par les associations de consommateurs et les collectivités locales. Ces points délivrent une information individualisée en matière d'économies d'énergie et orientent les particuliers vers des professionnels certifiés, pour des conseils portant sur la performance énergétique des bâtiments, assurant également une mission de contrôle de l'exécution des travaux. Une large palette d'informations est mise à disposition du public : d'une information générale des mesures de soutien existantes (brochures, informations en ligne) à une information spécialisée proposant aussi bien des solutions individualisées que les technologies les plus performantes. Un « configurateur » de rénovation en ligne a été créé afin d'évaluer les besoins de rénovation des particuliers.

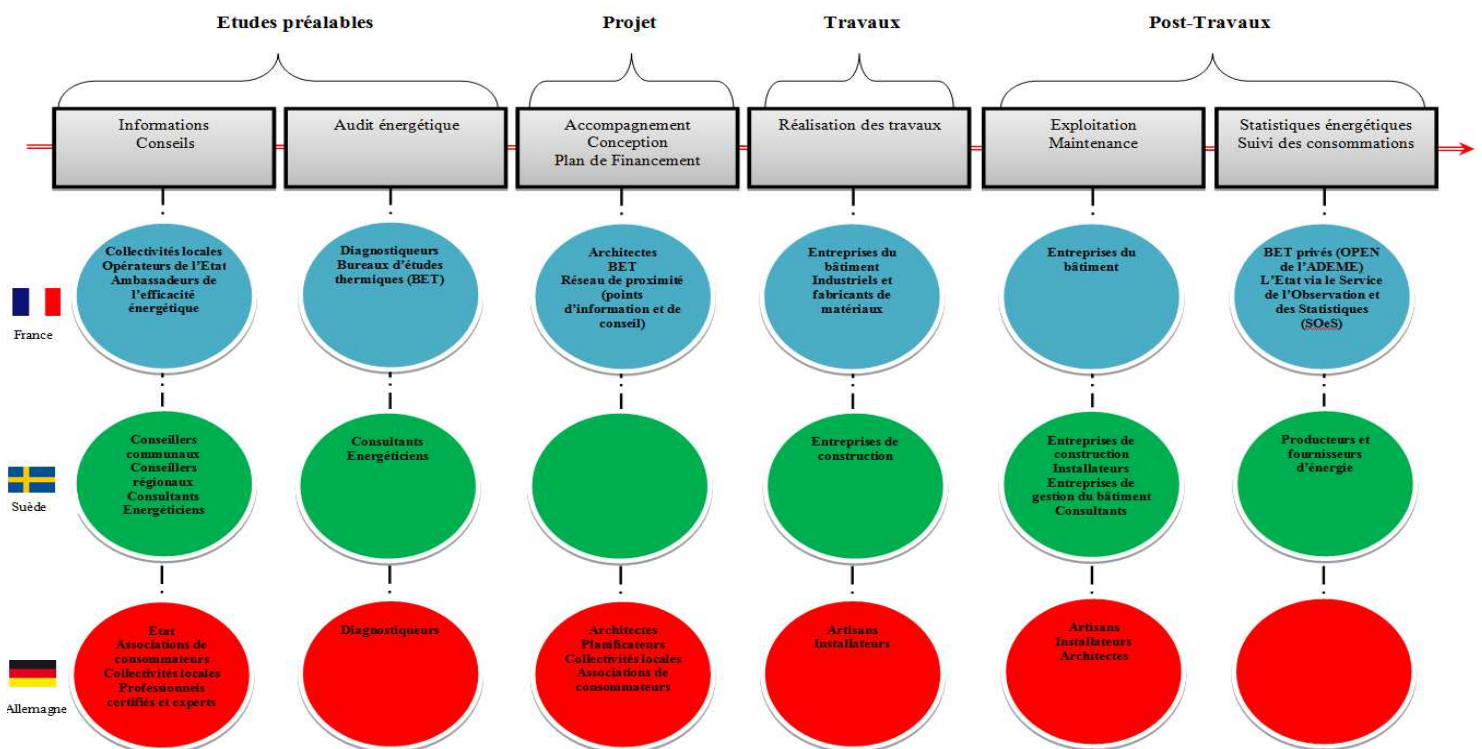
<sup>62</sup> Écologie, de la sensibilisation aux changements de comportement, Centre Ressources Prospectives du Grand Lyon, décembre 2009

En Espagne, l'IDAE<sup>63</sup> (équivalent de l'ADEME en France) mène des actions de formation, de diffusion, de conseil et de financement de projets d'innovation technologique en matière d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables. De même, au Royaume-Uni, une structure indépendante destinée à conseiller les particuliers a été instaurée dès le lancement du Green Deal. En Suède, une plateforme d'échanges a été mise en place dans le programme pour les bâtiments à faible consommation énergétique. Une plateforme pour l'efficacité énergétique dans les immeubles collectifs a aussi été instaurée.

Des mesures d'accompagnement plus singulières peuvent être mises en place : soutien de projets pilotes (maison à énergie positive en Allemagne, programme PREBAT2 en France), subventions dédiées à l'accompagnement en Suède. Les communes reçoivent un soutien financier et disposent de conseillers énergie-climat formés par l'Agence suédoise de l'énergie.

Les mêmes types d'acteurs interviennent tout au long du processus de la rénovation énergétique. Les sources de financement sont plus nombreuses en Suède mais, à l'inverse, l'accompagnement des particuliers y est moins développé qu'en Allemagne ou en France (voir le schéma comparant les différents acteurs entre les trois pays).

**Figure 1 : Les acteurs intervenant dans la rénovation énergétique en France, en Suède et en Allemagne**



Source : d'après les analyses des missions économiques

### Mesures d'incitation financière majoritairement utilisées

*Le crédit d'impôt, les subventions, les prêts bonifiés*

Les outils incitatifs financiers majoritairement utilisés par les pays étudiés sont :

- **le crédit d'impôt** : en France le Crédit d'Impôt Développement Durable (CIDD) est destiné à certains travaux de rénovation énergétique ; en Suède le crédit d'impôt porte sur le seul coût

<sup>63</sup> « Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía »

de la main d'œuvre de la rénovation de bâtiments ; aux États-Unis le crédit d'impôt est réservé aux travaux réduisant la facture énergétique finale de 50 % ou plus ;

- **des subventions** : en France la prime exceptionnelle à 1 350 € pour la réalisation de travaux de rénovation énergétique par des ménages modestes ou le programme « Habiter Mieux » de l'ANAH pour lutter contre la précarité énergétique des plus modestes ; en Allemagne pour le recours aux énergies renouvelables pour le chauffage ; en Espagne via le programme d'aides à la réhabilitation énergétique des bâtiments existants du secteur résidentiel entre 2013 et 2015, en Suède pour la pose de panneaux photovoltaïques ; aux États-Unis un soutien financier variable selon la population et la consommation d'énergie des États ;
- **les prêts bonifiés** : en Allemagne, par l'intermédiaire d'un intervenant unique, la banque nationale KfW<sup>64</sup>, pour les bâtiments aux performances énergétiques après travaux supérieures aux standards de la réglementation thermique ; aux États-Unis, pour le financement de l'amélioration de l'efficacité énergétique de logements existants.

### **Des outils plus spécifiques**

En Allemagne, les programmes incitatifs reposent sur l'ingénierie financière de la KfW, qui est en mesure de lever des fonds importants sur les marchés de capitaux et dispose ainsi de moyens conséquents (plus de 10 milliards d'euros en 2012 pour la performance énergétique des bâtiments, utilisés par la suite notamment sous la forme de crédits à taux bonifié). La KfW bénéficie d'une garantie à 100 % de l'État fédéral allemand, qui lui confère sur les marchés financiers une notation AAA.

En règle générale, les financements de la KfW ne sont pas distribués directement, mais font l'objet d'une intermédiation par les banques commerciales. Ces dernières assument la gestion financière vis-à-vis des clients finaux et supportent l'intégralité des risques financiers, la KfW donnant simplement en amont un accord technique sur chaque dossier relatif à l'éligibilité du projet au programme d'aide. Les taux auxquels la KfW prête aux banques sont très bas, en moyenne 1 % ; ces taux sont fixés pour une durée de 10 ans.

La France est le seul pays proposant un éco-prêt à taux zéro (éco-PTZ), prêt sans intérêt, accessible sans conditions de ressources pour financer un ensemble de travaux de rénovation énergétique. Elle est également le seul pays à proposer une TVA à taux réduit sur les équipements, matériels, travaux induits et installations pour certains types de travaux de rénovation énergétique.

La France a également mis en place un éco-prêt logement social (éco-PLS) à taux incitatif, distribué aux bailleurs sociaux à destination des logements les plus énergivores, et fait bénéficier cette même cible, d'un dégrèvement de taxe foncière sur les propriétés bâties (pour les autres pays étudiés, aucune distinction n'a été faite entre les logements du parc privé et les logements sociaux).

Certaines mesures se dénotent des précédentes par leur caractère innovant. C'est le cas du tiers-investissement, mécanisme de financement des travaux de rénovation énergétique par un tiers via les économies d'énergie réalisées après travaux. En France, certaines régions pilotes (Nord-Pas-de-Calais, Île-de-France ou encore Rhône-Alpes) sont en cours d'expérimentation et intègrent une offre globale (juridique, technique et financière) pour les projets de rénovation énergétique. Ce système est également présent au Royaume-Uni dans le cadre du Green Deal. Ce programme se fonde sur un financement pris en charge par des organismes privés, qui attribuent des prêts à des taux proches de 7 %. Le modèle repose sur la règle suivante : les économies d'énergie prévisionnelles sur la facture doivent être supérieures aux remboursements prévus. Néanmoins, les premiers résultats du Green Deal sont peu convaincants et peuvent s'expliquer par un manque de structuration de la filière de la rénovation énergétique, mais surtout et principalement par sa complexité qui limite le nombre de recours au dispositif.

Aux États-Unis, des emprunts peuvent être réalisés auprès d'un fonds de l'État, d'un prêteur, d'un fournisseur d'électricité avec un remboursement sur la facture d'électricité.

### **Peu de mesures réglementaires pour la rénovation du bâti**

Peu de pays ont une **réglementation thermique portant sur les bâtiments existants** : c'est seulement le cas de deux pays, la France, avec la « Réglementation Thermique des Bâtiments Existants », RTE<sub>ex</sub> (exigences de performance thermique éléments par éléments ou globale), et

<sup>64</sup> « Kreditanstalt für Wiederaufbau »

l'Allemagne avec la réglementation thermique de 2009 « Energieeffizienz Verordnung ». Ces pays vont au-delà de la réglementation européenne, dans la mesure où celle-ci rend seulement obligatoire un **diagnostic de performance énergétique** lors de la location et de la vente pour tous les bâtiments existants<sup>65</sup> (France, Allemagne, Espagne, Royaume-Uni, Suède). Un étiquetage énergétique pour les logements est également obligatoire aux États-Unis, dans 14 États.

### **Mesures impliquant un mécanisme de marché**

En France, le dispositif des **Certificats d'Économies d'Énergie** (CEE) est un mécanisme de marché contribuant à la maîtrise de la demande énergétique. Il repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux fournisseurs d'énergie, alors chargés de promouvoir l'efficacité énergétique auprès de leurs clients.

Des dispositifs équivalents existent au Royaume-Uni ainsi qu'aux États-Unis. Au Royaume-Uni, l'ECO (« Energy Company Obligation ») impose aux fournisseurs d'électricité des actions contre la précarité énergétique via des travaux d'isolation dans les logements de leurs clients. De même, aux États-Unis, des normes sur l'efficacité énergétique, ou « Energy Efficiency Resource Standards (EERS) » mises en place par les États obligent les fournisseurs d'électricité et de gaz à répondre à des objectifs d'économies d'énergie en délivrant des incitations financières aux clients pour l'installation d'équipements économes en énergie.

En Suède, les **taxes**, introduites dès le début des années 1990, tendent à devenir le principal outil des politiques climatiques, comme en témoigne la suppression de la majorité des subventions au début des années 2000. Ces taxes sont notamment présentes **dans le domaine de l'énergie** et sont plus élevées que celles existantes dans les autres pays de l'Union Européenne : la taxe carbone nationale, la taxe sur les produits soufrés, la redevance sur les oxydes d'azote, la taxe énergie sur l'électricité, la taxe énergie sur les combustibles et les exemptions de la taxe énergie ou encore de la taxe carbone pour les biocombustibles.

### **Développement de la R&D dans le secteur de la rénovation énergétique**

La Suède investit de manière conséquente dans des programmes de recherche et développement (R&D) pour l'innovation dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments. Le Programme national de recherche pour l'efficacité énergétique dans le bâtiment vise à soutenir des projets d'efficacité énergétique durant tout le cycle de vie des bâtiments. Sur la période 2013-2017, 15,7 M€ ont été mis à disposition par l'Agence suédoise de l'énergie sur un budget total de 31,4 M€, pour environ 5 millions de logements sur le territoire.

Les États-Unis sont également des investisseurs importants avec 1,77 milliard de dollars d'aides qui ont été versées en R&D dans le secteur de l'efficacité énergétique des bâtiments entre 2009 et 2012, pour environ 120 millions de logements sur le territoire. Le programme Building America, du Ministère de l'énergie, crée des partenariats publics-privés de recherche avec divers laboratoires nationaux et accompagne également la recherche privée par la réalisation d'outils techniques de recherche.

### **Des résultats encourageants mais perfectibles au vu des objectifs à long terme**

Les différents instruments mobilisés pour enclencher et massifier la rénovation énergétique des logements ont amené des résultats prometteurs mais qui restent à améliorer, que ce soit en termes environnemental, énergétique et socio-économique.

#### **Une efficacité environnementale des mesures encore peu étudiée...**

Peu d'études ont été réalisées afin d'analyser l'efficacité environnementale des politiques visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments existants. L'un des seuls indicateurs disponible est le coût d'abattement de la tonne de CO<sub>2</sub>, c'est-à-dire le coût de réduction des émissions nécessaire pour atteindre un objectif de réduction des émissions, ainsi que le pourcentage de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> sur une période donnée.

<sup>65</sup> Il est issu de l'application de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments n°2002/91, dans la perspective de la mise en œuvre du protocole de Kyoto.



La réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est variable et dépend de l'ampleur des politiques menées dans les pays. Ainsi, en Suède, où les pouvoirs publics ont pris en compte très en amont les enjeux environnementaux, les émissions de GES du secteur du bâtiment et de la construction ont diminué de 32 % entre 1996 et 2007. Quant à l'Allemagne, ses programmes (sur la rénovation et la construction) ont permis des économies de 6,7 MtCO<sub>2</sub> entre 2006 et 2013 grâce à la rénovation de 3,3 millions de logements et 1 800 bâtiments communaux. Les politiques espagnole et britannique sont trop récentes pour pouvoir être évaluées. Aux États-Unis, la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans le secteur résidentiel, de l'ordre de 12 % attendue entre 2005 et 2020, est atténuée par une augmentation de 10 % du nombre de logements à l'horizon 2020. Leurs économies dans le secteur résidentiel sont estimées à 555 TWh.

L'estimation par la France du coût d'abattement du CO<sub>2</sub> :

La France est le seul pays à avoir mené une évaluation approfondie sur le coût d'abattement à la tonne de CO<sub>2</sub>, portant sur le CIDD. Le coût d'abattement varie entre 20 et 370 €/tCO<sub>2</sub> selon les équipements. Plus la contrainte sur les émissions fixée par la puissance publique est forte, plus la valeur de la tonne de carbone associée à cet effort est élevée car il faut mobiliser des potentiels de réduction plus coûteux. Les équipements les plus rentables pour le particulier en France au regard du coût d'abattement du CO<sub>2</sub> sont notamment l'isolation thermique des murs et de la toiture. Ces propos restent à nuancer car certaines externalités positives ne sont pas prises en compte, telles que l'indépendance énergétique ou le développement des filières.

### ***...alors que les résultats en termes d'efficacité énergétique semblent prometteurs***

Concernant l'évaluation en termes d'efficacité énergétique des politiques publiques de rénovation énergétique, les variables examinées sont le nombre de logements rénovés ou engagés dans des travaux de rénovation et une estimation des économies d'énergie réalisées, exprimée en €, kWh ou encore en pourcentage.

Ces variables dépendent là aussi de l'ampleur des politiques menées dans les différents pays et de la situation initiale du parc de logements avant leur mise en place. Les pays européens semblent plus avancés en termes de politiques de réduction des consommations énergétiques, avec des objectifs plus ambitieux, plus nombreux et qui portent leurs fruits. L'Allemagne fait figure de leader avec 3,3 millions de logements rénovés entre 2006 et 2013 et une économie de chauffage de 214 M€ en 2010. L'hétérogénéité des résultats observés entre les pays européens provient notamment de caractéristiques climatiques différentes : les pays du Nord, davantage confrontés au froid, tels que la Suède, sont généralement moteurs et plus innovateurs que les pays du Sud, tels que l'Espagne, qui se limitent à appliquer les directives prises par l'Union Européenne.

### ***Des bilans socio-économiques mitigés***

Il n'a pas été possible de mener des études micro-économiques faute de données. **Les informations relatives aux coûts des travaux mériteraient néanmoins d'être approfondies**, comme pour le cas des labels de la banque KfW, afin de mieux connaître le marché de la rénovation énergétique.

La typologie des différents acteurs est similaire dans la plupart des pays : diagnostiqueurs, maîtres d'ouvrage (entreprises, promoteurs, ménages, bailleurs sociaux), maîtres d'œuvre (conseillers en économies d'énergie, architectes, bureaux d'études), entreprises de la construction, industriels et fabricants de matériaux. L'Allemagne et le Royaume-Uni comptent également sur leur marché des planificateurs. En Suède (mais aussi aux États-Unis et au Japon), les fournisseurs d'énergie occupent une place importante sur le marché de la rénovation énergétique.

En développant le marché de la rénovation énergétique, les politiques menées devraient permettre d'augmenter le chiffre d'affaires du secteur et de créer de nouveaux emplois. En Europe, l'Allemagne affiche le plus important chiffre d'affaires pour la rénovation énergétique (27 Md€ en 2012), suivie de la France (18,7 Md€ en 2010) et du Royaume-Uni (17,6 Md£ en 2010/2011).

Par ailleurs, de nombreuses formations des professionnels aux travaux d'économies d'énergie, comme le programme français FEEBat (Formation aux Economies d'Energie pour les entreprises et artisans du Bâtiment) ou la création d'un fonds de 3,5 M£ pour la formation des professionnels dans le programme du Green Deal, permettront de palier le manque de main d'œuvre qualifiée. L'Allemagne, quant à elle, recense dans une base de données en ligne ses experts de la performance énergétique,



bénéficiant d'un label de qualité. Un accroissement de l'activité dans le secteur a permis la création de plus de 52 000 emplois en 2011 en Allemagne.

Le chiffre d'affaires du marché de la rénovation est estimé aux Etats-Unis à 182 Md\$ pour les bâtiments résidentiels, ce qui représenterait plus de 2 millions d'emplois.

Globalement, il est très difficile de comparer les différents résultats des pays étudiés car ceux-ci présentent des caractéristiques climatiques, démographiques, sociales et économiques différentes mais également parce que les indicateurs produits ne sont pas facilement comparables.

### Quels enseignements pour la France ?

Bien que les disparités entre pays soient sur certains points importantes, cette comparaison permet d'établir un état des lieux des politiques menées et fournit des pistes pour faire évoluer la politique française, en tenant compte des différences de contexte, tant énergétique que concernant les besoins spécifiques à chaque pays. La France s'est dotée d'une palette d'outils diversifiés pour promouvoir l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le parc de logements existants. Bien que ces mesures constituent une base solide pour financer la rénovation énergétique, des ajustements ou des compléments pourraient y être apportés au vu des expériences étrangères, afin d'améliorer leur cohérence et leur efficacité pour atteindre des objectifs climatiques et énergétiques ambitieux.

#### ***Simplifier le système d'aides financières***

Ces expériences incitent à simplifier les dispositifs incitatifs existants en France pour aller vers un **système d'aides financières simplifié, unique et central**, qui serait destiné à tous et **adapté** en fonction des revenus des ménages voire de la performance énergétique des travaux de rénovation entrepris. Il s'agirait d'avoir une diversité de types d'outils incitatifs (crédits d'impôts, prêts bonifiés, subventions, etc.) complémentaires, adaptés selon la solvabilité des ménages et alignés pour la réalisation de mêmes types de travaux.

#### ***Développer un système de taxes sur l'énergie***

Par ailleurs, la politique suédoise, exemple d'une politique menée en amont avec des objectifs à long terme, montre que la mise en place d'un **système de taxes sur l'énergie** peut fonctionner. Un tel système pourrait être transposé et appliqué en France dès lors qu'il est mis en œuvre progressivement et en tenant compte des compensations sociales nécessaires. Pour inciter à un changement de comportement du consommateur, le coût des externalités environnementales commence à être intégré dans le prix des énergies, avec la mise en place de la contribution climat-énergie adoptée dans le projet de loi de finances 2014. Il faut également noter que cette mesure permet de limiter l'effet rebond, qui correspond à un relâchement de la sobriété énergétique des ménages.

#### ***Faciliter le financement et la connaissance des coûts des travaux***

Des expérimentations sont actuellement en développement en France dans les régions et pourront conduire à une généralisation à une plus large échelle du tiers-financement. Un fonds national de garantie pourrait concourir à développer ce dispositif. Néanmoins, il semble important que le développement d'un tel système de financement innovant soit progressif, élaboré en concertation avec la filière de la rénovation énergétique et soit suffisamment simple pour que les ménages n'hésitent pas à y avoir recours (cas du Green Deal au Royaume-Uni où la complexité explique en grande partie l'échec du dispositif).

En parallèle, un travail sur la connaissance des **coûts des travaux de rénovation énergétique** devra être mené avec les professionnels en France, comme cela a été fait pour les labels allemands, en vue de déterminer des standards de coût au m<sup>2</sup> selon le niveau de performance énergétique.

#### ***Mobiliser la R&D***

Enfin, concernant l'aspect R&D, il conviendrait de privilégier des objectifs de résultats et non de moyens et d'y consacrer des budgets suffisants. Pour cela, la France pourrait s'appuyer sur les exemples de la Suède et des Etats-Unis précédemment évoqués, où la recherche apparaît comme un moteur pour la rénovation énergétique des bâtiments, notamment grâce à d'importants budgets mobilisés.

**Encadré : Un regard sur le Japon et la Russie*****Peu de rénovations au Japon***

Le Japon se distingue des autres pays puisqu'il n'affiche pas d'objectifs en matière d'amélioration de la performance énergétique et des émissions de CO<sub>2</sub> pour les bâtiments existants. Il met davantage l'accent sur les bâtiments neufs, la durée moyenne de vie d'un bâtiment japonais étant de 30 ans (contre plus de 150 ans en France).

Le Japon verse des subventions pour l'utilisation des matériaux de construction à haute performance énergétique et pour la rénovation énergétique notamment. Il a par ailleurs élaboré un programme qui diffuse des conseils personnalisés pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des maisons individuelles, sous la forme d'une plateforme d'échanges (comme en Suède).

***Un changement des modalités de financement en Russie***

La Russie est un cas particulier, dans le sens où le financement des travaux de rénovation énergétique – en majorité des rénovations lourdes de logements collectifs - incombe à l'État via le fonds GKH. Il s'agit d'un fonds de coopération pour la réforme de l'habitat et des services communaux, dont 8,8 Md€ sont destinés à la rénovation lourde de bâtiments. À partir de 2014, les propriétaires sont mobilisés pour supporter une partie de la charge du financement des travaux de rénovation lourde des immeubles d'habitation, sous la forme d'une taxe.

En Russie, 11,6 % de la surface cumulée des immeubles de logements construits avant 2000 devront avoir bénéficié d'une rénovation lourde d'ici 2020.

## **3ème partie : Les nécessaires évolutions techniques, organisationnelles et des marchés**



## Comment la filière construction peut relever les défis de la transition énergétique

Olivier Teissier, CSTB

**La transition énergétique pose au secteur de la construction des défis en termes de volumes de production et de niveau de performance énergétique des bâtiments. Pour atteindre les objectifs environnementaux que la France s'est fixés, le secteur devrait augmenter de près de 30 % son activité, tout en améliorant les performances des réalisations et en respectant des contraintes de coûts.**

**Si la plupart des technologies nécessaires sont matures, des efforts sont à poursuivre pour améliorer la robustesse et la durabilité de certaines techniques et pour les adapter au marché spécifique de la rénovation énergétique ; la massification du déploiement de ces technologies doit permettre de réduire les coûts.**

**La constitution d'offres plus intégrées apparaît comme un point de passage obligé pour améliorer le niveau de performance des rénovations. R&D, formation, solutions numériques, standardisation et industrialisation, formes contractuelles, etc. sont les leviers pour accompagner la « mutation » des filières.**

**En contrepartie, l'atteinte des objectifs devrait stimuler le secteur de la construction et générer une forte augmentation de l'activité et de l'emploi.**

La loi de 2009 portant engagement national pour l'environnement a fixé des engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre (facteur 4 à l'horizon 2050) et des consommations d'énergie. Dans le secteur résidentiel-tertiaire, l'objectif global est de réduire les consommations d'énergie du parc existant de 38 % à l'horizon 2020.

Dans ce cadre, le secteur du bâtiment se voit assigner une contribution significative. Les solutions techniques étant déjà matures et disponibles, les gisements d'économie d'énergie sont souvent présentés comme accessibles ; ils seraient également porteurs d'emploi local. Pour autant, de nombreuses barrières demeurent, notamment dans le sous-secteur du logement : capacité de financement, décision diffuse, rentabilité réelle des actions, qualité des travaux, capacité de la filière, atomité de l'offre, etc. Une part de ces barrières renvoie à l'organisation et à la compétence de la filière construction qui devra opérer une véritable « mutation », tant en termes de volume que de qualité. Aujourd'hui, le secteur du bâtiment est constitué d'une multitude de TPE-PME, spécialisées dans un seul métier, ayant des capacités d'investissement, d'innovation et de formation limitées (voir encadré 1).

### Encadré 1 : Un poids lourd de l'économie, hétérogène et peu qualifié

Si la comptabilité nationale n'en fait pas un secteur économique à part entière, le « bâtiment » n'en constitue pas moins un ensemble économique de premier plan. Pris dans son ensemble (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, entreprises de travaux, fournisseurs de matériaux, exploitants et services associés), il pèse plus de 10 % du PIB et regroupe près de 600 000 entreprises et 4 millions d'actifs.

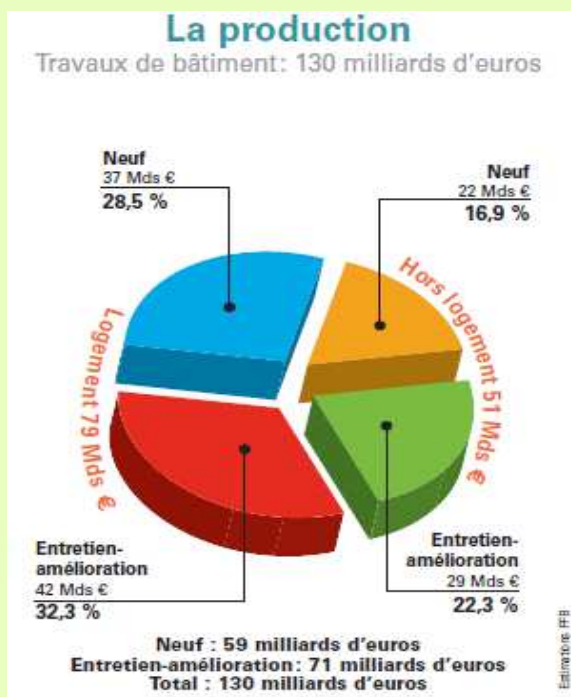
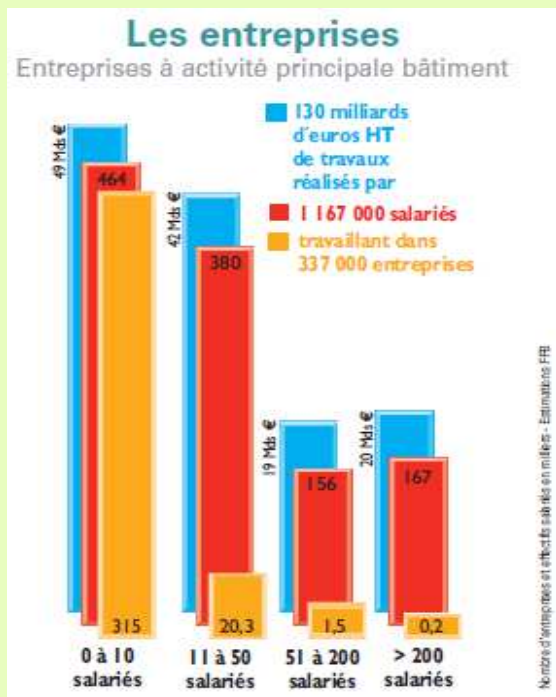
Dans son acception plus stricte (entreprises de travaux), le secteur du bâtiment réalise un chiffre d'affaires de 130 Md€ HT (environ 75 Md€ de valeur ajoutée), il compte 1 167 000 salariés et 315 000 artisans travaillant dans 337 000 entreprises<sup>66</sup>.

<sup>66</sup>

D'après les chiffres clés 2013 de la Fédération française du bâtiment (FFB).

## La rénovation des logements réalisée principalement par les artisans et PME

L'activité se répartit traditionnellement entre la construction neuve (45 %) et l'entretien-amélioration (55 %) et entre le logement (60 %) et le tertiaire (40 %). Les artisans sont très présents dans l'entretien-amélioration, plus de 50 % d'entre eux y réalisent la totalité de leur chiffre d'affaires, contre 25 % pour les PME et 10 % pour les grandes entreprises<sup>67</sup>. Ils sont concentrés dans l'entretien-amélioration du logement, ils y réalisent 60 % de leur chiffre d'affaires, contre 25 % pour les PME et 5 % pour les grandes entreprises. À l'inverse, les grandes entreprises sont concentrées sur la construction neuve et l'entretien-amélioration du tertiaire.



## Un secteur très diffus et peu qualifié

- **sa « fragmentation »** : les entreprises ont des tailles très variables (artisanat, PME, grandes entreprises) et les petites dominent, en nombre comme en chiffre d'affaires. Le processus de construction/rénovation multiplie les intervenants (maître d'ouvrage, concepteur, ingénierie, constructeur,...) dont les métiers sont spécialisés ;
- **son industrialisation limitée**, du fait d'une production discontinue et éphémère (opération par opération, chantier « forain ») ; la singularité des chantiers est encore plus forte en rénovation qu'en construction neuve ;
- **des effectifs « tournants » peu qualifiés** : l'effectif ouvrier représente 75 % des effectifs des entreprises de construction, les employés-techniciens-agents de maîtrise 18 % et les ingénieurs-cadres 7 %. Par ailleurs, la filière se caractérise par un fort taux de rotation (près de 10 % par an) et un recours important à l'emploi intérimaire ; sur 150 000 actifs qui entrent dans la filière chaque année, seulement un tiers est issu d'une formation du secteur bâtiment ;
- **un faible niveau de recherche-développement** : le ratio de R&D sur la valeur ajoutée est extrêmement bas dans le secteur, de l'ordre de 0,1 % (0,2 % tout au plus), très largement inférieur à la moyenne nationale (de l'ordre de 2 %). Cela ne signifie pas que cette filière n'innove pas, mais qu'il y aurait des marges de progrès ;
- **des configurations productives d'acteurs multiples** structurées par le mode de passation de la commande (et le statut du maître d'ouvrage), la réglementation et aussi par les compétences des acteurs.

67

D'après le baromètre 2013 entretien-amélioration du bâtiment, édité par le MEDDE, l'ANAH et le Club de l'amélioration de l'habitat.



## Les enjeux de la transition énergétique en termes de volume de production

L'objectif de réduction des consommations d'énergie se décline en objectifs de rénovation sur les différents segments du parc de bâtiments.

### Des objectifs annuels ambitieux pour la rénovation des logements

Le Plan de rénovation énergétique de l'habitat (PREH) de 2013 a amplifié les objectifs du secteur résidentiel, fixant à 500 000 par an le nombre de rénovations « lourdes » (qui ont un impact significatif sur l'isolation thermique) à atteindre à l'horizon 2017 soit 120 000 dans le parc social et 380 000 dans le parc privé dont 50 000 chez les ménages précaires. Au regard du rythme actuel, de l'ordre de 200 000 par an<sup>68</sup>, ces objectifs apparaissent ambitieux.

Appliqué sur 40 ans, ce niveau permettrait de rénover 20 millions de résidences principales. Or, pour rénover l'ensemble du parc existant d'ici 2050, il faudrait plutôt viser un rythme de l'ordre de 650 000 à 700 000 par an. Le saut quantitatif par rapport au rythme actuel est donc très important, de l'ordre d'un facteur 3 à 4 en production de rénovations lourdes.

Il ne faut toutefois pas négliger l'impact des rénovations « légères », diffuses dans l'ensemble du parc, déjà très nombreuses et qui sont de nature à participer à l'amélioration énergétique. D'après l'enquête OPEN de l'ADEME, 2,5 millions de résidences principales, soit près d'une sur dix, feraient l'objet chaque année de travaux ayant un impact énergétique, pour un montant total de l'ordre de 15 milliards d'euros (sur les 40 Md€ de l'entretien-amélioration du logement). Ces rénovations diffuses interviennent au fil de l'eau ; elles ont été particulièrement stimulées depuis 2005 par le crédit d'impôt développement durable (CIDD), qui bénéficie chaque année à 5 % de l'ensemble du parc (et 10 % des propriétaires de maison individuelle).

Aussi bien en termes de coût que de performance réelle, les conditions de réalisation d'une rénovation « lourde » sont mal documentées. Par construction, compte tenu de l'hétérogénéité du parc, les coûts peuvent être très variables. Dans le logement social, les statistiques de l'éco-prêt logement social (éco-PLS) font ressortir sur les dernières années un coût moyen de rénovation de 25 k€ à 33 k€ par logement, ce qui représente un coût de l'ordre de 400 à 550 €/m<sup>2</sup> (en supposant une surface moyenne de 60 m<sup>2</sup> pour les logements collectifs). Ces coûts sont plus élevés que les 250 à 300 €/m<sup>2</sup> qui servent régulièrement de référence ; ils incluent non seulement les actions visant à améliorer la performance thermique, mais également l'ensemble des autres opérations d'amélioration de l'accessibilité, du confort, de l'esthétique, etc.

### Des objectifs porteurs d'activité et d'emplois

En termes de volume d'activité, les rénovations lourdes envisagées ci-dessus pourraient générer entre 15 et 35 Md€ de chiffre d'affaires par an (en supposant une surface moyenne de 90 m<sup>2</sup> par logement), selon les hypothèses sur les volumes (500 000 à 700 000) et sur les coûts unitaires (300 à 550 €/m<sup>2</sup>). Par comparaison, le rythme actuel correspondrait à une activité comprise entre 6 et 10 Md€. Le surcroît d'activité pourrait donc atteindre de 10 à 25 Md€ par an, selon les hypothèses, ce qui représenterait jusqu'à 66 % d'augmentation de l'activité d'entretien-amélioration ou 33 % d'augmentation de l'ensemble de la production du secteur du logement (en rapportant ce surcroît d'activité à l'ensemble du chiffre d'affaires associé au logement).

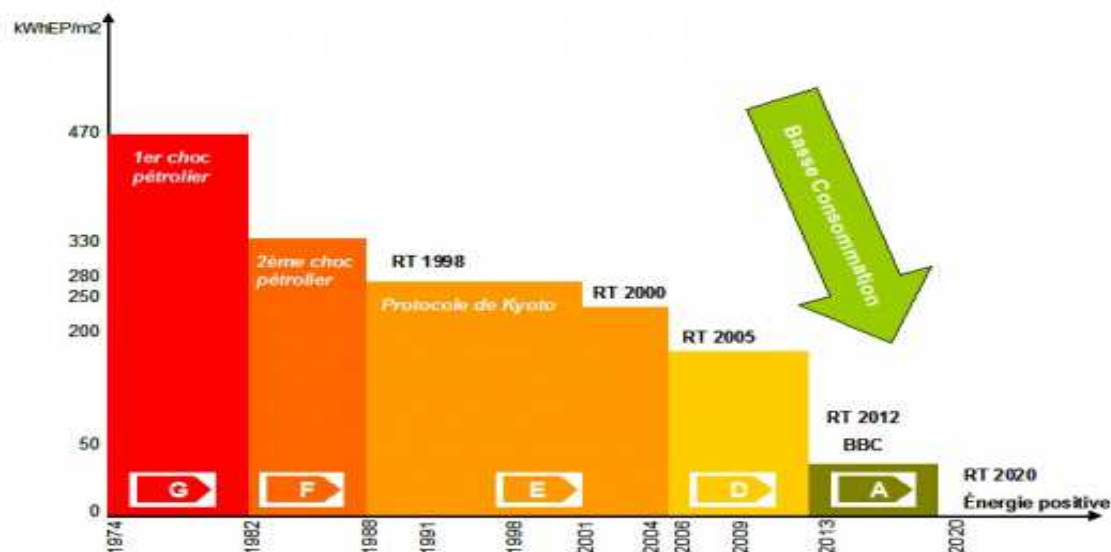
Le secteur tertiaire est plus hétérogène, les données plus éparses, mais on peut supposer que les mêmes raisonnements et les mêmes ratios s'appliquent. Au total, la mise à niveau de l'ensemble du parc de bâtiments vers le standard « BBC » pourrait donc générer une augmentation d'un tiers de la production du secteur. Cela représenterait de l'ordre de 500 000 emplois pour l'ensemble du secteur (logement et tertiaire). Compte tenu des hypothèses retenues, ce chiffre apparaît comme un majorant. À l'inverse, il correspond à une hypothèse conservatrice en ce qui concerne la durabilité des rénovations thermiques ; il se pourrait que le maintien des performances « BBC » nécessite des interventions régulières ne serait-ce que pour la mise à niveau de l'étanchéité à l'air, de la résistance thermique des isolants ou l'entretien des équipements.

<sup>68</sup> D'après l'enquête OPEN de l'ADEME, le nombre de rénovations 3 étoiles, correspondant à des rénovations de qualité, serait de l'ordre de 135 000/an en 2010 et 2011 (le montant moyen de ces rénovations est de 20 500 €). Ce volume porte uniquement sur le parc privé ; il convient d'y ajouter le nombre de rénovations lourdes dans le parc social. Selon l'USH, celui-ci serait le double du nombre d'éco-prêts logement social (éco-PLS) octroyés aux bailleurs sociaux ; il serait donc proche de 60 000/an. Au total, le nombre de rénovations lourdes serait de l'ordre de 200 000 par an.

## Les enjeux en termes de qualité et de performance

Au-delà des besoins en termes de volume, la réalisation des objectifs 2050 passe par l'obtention de performances énergétiques très élevées dans les bâtiments neufs et rénovés. En effet, la réglementation thermique 2012 (RT 2012) et la perspective d'une RT2020 correspondant au bâtiment à énergie positive marquent une accélération par rapport aux évolutions incrémentales que le secteur a connu depuis la première RT de 1974. Elle impose définitivement la logique de performance à celle de moyens.

### Graphique : Illustration de l'évolution des exigences de la réglementation thermique



### La norme BBC bien préparée dans les logements collectifs sociaux...

Le suivi des demandes du label BBC-Effinergie permet de rendre compte de l'anticipation par les acteurs de la mise en œuvre de la RT2012 puisque le label a été conçu comme un outil de préparation de la RT. Sans surprise, les statistiques Effinergie<sup>69</sup> montrent que le marché du logement collectif a bien été préparé au passage à la RT2012, celui du marché de bureau également, mais qu'en revanche, le marché de la maison individuelle, plus diffus, a été moins préparé à la mise en œuvre de la nouvelle RT et devrait faire l'objet d'une vigilance particulière.

### ... mais la consommation réelle d'énergie reste difficile à mesurer

Les premiers retours d'expérience portant sur la mesure quantitative de l'énergie effectivement consommée dans ces logements BBC donnent des résultats mitigés. La campagne de mesure la plus large est en cours dans le cadre du programme PREBAT<sup>70</sup>. Certains logements font mieux que le seuil de référence des 50 kWh/m<sup>2</sup>.an, mais d'autres sont largement en-deçà en termes de performance effective, et pour des raisons très diverses. Dans ces opérations, souvent des vitrines techniques, les plus gros écarts ne relèvent pas de la conception ni de la mise en œuvre, mais plutôt des conditions d'utilisation des logements : température de consigne nettement supérieure à 19°C, large ouverture des fenêtres lorsque le chauffage n'est pas individualisé, etc. Ils rappellent que la consommation d'énergie réelle est la résultante d'un ensemble de paramètres, notamment humains, à prendre en compte dès la conception et que l'atteinte stricte des seuils réglementaires est loin d'être assurée, en particulier pour les constructions banalisées sans maîtrise d'ouvrage professionnelle.

<sup>69</sup> Dans le logement collectif, environ 70 % du marché a fait l'objet en 2011 et 2012 de demandes de label BBC-Effinergie, contre environ 10 % pour celui des maisons individuelles.

<sup>70</sup> Un premier colloque de restitution intitulé "Bâtiments exemplaires basse consommation : quelles performances réelles ?" a été organisé le 29 novembre 2013 par la DHUP et l'ADEME.

Les bailleurs sociaux, en avance dans la mise en œuvre des constructions BBC, ont déjà tiré un certain nombre d'enseignements et ont adapté leur stratégie. Après quelques années d'expérimentation et d'apprentissage, ils semblent avoir optimisé la conception des bâtiments BBC en revenant sur des modes constructifs maîtrisés et moins onéreux : isolation thermique par l'intérieur lorsque le climat le permet, systèmes traditionnels à boucle d'eau chaude (plutôt que systèmes thermodynamiques), VMC hydroréglable B (plutôt que double flux), eau chaude sanitaire au gaz (le solaire est moins prescrit car plus onéreux, plus difficile d'entretien et surestimant la couverture des besoins). D'autres contre-performances sont à craindre, en particulier que le renforcement de l'isolation n'entraîne une augmentation de l'inconfort d'été ou que les dispositifs de ventilation ne soient pas suffisamment bien réglés et entretenus pour renouveler suffisamment l'air intérieur. Dans le premier cas, le recours à la climatisation viendrait annuler les efforts d'économie d'énergie, dans le second, l'impact sur la santé publique pourrait être sensiblement plus important que le gain pour le climat.

### **Des enjeux scientifiques et techniques, des enjeux sociaux**

La question des performances énergétiques est au moins aussi prégnante en rénovation qu'en construction neuve. Le label BBC-Effinergie rénovation fixe un objectif de consommation maximale en énergie primaire à 80 kWhEP/m<sup>2</sup>.an, modulé selon la zone climatique et l'altitude, mais les demandes sont restées très limitées<sup>71</sup>. Pour le logement social, l'éco-prêt (éco-PLS) fixe un objectif minimum de 150 kWhEP/m<sup>2</sup>.an, correspondant au label « HPE rénovation ». Si ce niveau semble plus réaliste, il reste pour l'heure insuffisant au regard des exercices prospectifs à l'horizon 2050<sup>72</sup>. Encore plus qu'en construction neuve, les retours d'expérience manquent encore pour qualifier les performances réellement atteignables et estimer le rapport coût-efficacité des actions d'efficacité énergétique. Le programme PREBAT et les observatoires développés par les bailleurs sociaux devraient éclairer cette question dans les prochaines années.

Ainsi, même si la plupart des technologies sont matures (voir encadré 2), respecter les seuils de la basse consommation représente encore un enjeu scientifique et technique. Au-delà des enjeux énergétiques, les évolutions de la société imposent de plus en plus de contraintes au bâtiment et appellent des performances sans cesse croissantes : enjeux sanitaires et de sécurité, adaptation au vieillissement et maintien à domicile, conception du bâtiment dans le cadre bâti et à l'échelle urbaine, nécessité de rester financièrement abordable pour tous et de ne pas renforcer les vulnérabilités sociales

#### **Encadré 2 : La maturité des technologies et des enjeux de durabilité et des coûts**

Pour la plupart des technologies du secteur, que ce soient les enveloppes ou les équipements, les prototypes et les développements industriels sont déjà acquis. Globalement, on peut considérer que les progrès technologiques attendus relèvent de l'incrémental. Il reste cependant des efforts importants à fournir notamment sur la durabilité (les isolants minces ou les matériaux bio-sourcés<sup>73</sup>) et les coûts (les pompes à chaleur sont des solutions performantes mais restent à des prix élevés). La massification des rénovations devrait permettre de gagner sur ce terrain, par l'industrialisation de solutions globales standardisées. Elle offre également la perspective de développer des offres nationales compétitives structurées par une politique industrielle.

#### **Adapter les matériaux aux contraintes de rénovation**

Pour les matériaux de construction traditionnels, les technologies sont matures. Cependant l'exacerbation des contraintes énergétiques, environnementales, sanitaires, économiques, ou de disponibilité de la ressource conduisent à réinterroger leurs performances pour leur intégration dans les

<sup>71</sup> D'après l'Observatoire Effinergie, les demandes de label concernent seulement 12 000 logements collectifs en 2012 et représentent moins de 1 000 logements individuels en cumulé.

<sup>72</sup> Dans les scénarios de l'ANCRE 2014, la diminution de 60 % de la consommation de chauffage apparaît comme une condition nécessaire à l'atteinte du facteur 4 à l'horizon 2050. Un tel niveau se rapproche du seuil du label BBC-Effinergie.

<sup>73</sup> Les matériaux biosourcés sont des matériaux issus de la biomasse d'origine végétale ou animale. Ils couvrent aujourd'hui une large gamme de produits et trouvent de multiples applications dans le domaine du bâtiment et de la construction, en tant qu'isolants, mortiers, panneaux, matériaux composites, colles, etc.

différents systèmes. L'émergence prononcée des matériaux bio-sourcés pose dès à présent la question de la durabilité des performances, de leur résistance au feu ainsi que celle de leur impact sanitaire. Pour ce qui est de l'isolation, les différentes solutions cohabitent ; les parts de marché respectives de l'isolation par l'intérieur ou l'extérieur dans la construction ne semblent finalement pas bouleversées par la nouvelle RT2012. L'isolation par l'extérieur devrait se développer plutôt dans l'habitat individuel. Les super isolants ou isolants minces seront vraisemblablement réservés à l'habitat urbain dense sous contrainte architecturale et foncière, où l'isolation par l'intérieur paraît la mieux adaptée.

### **Optimiser la production de chaleur à toutes les échelles**

Pour les équipements de production de chaleur, les chaudières à condensation atteignent d'ores et déjà des rendements très élevés, les perspectives d'amélioration sont limitées. Les technologies de pompe à chaleur, micro turbine cogénération gaz, pile à combustible stationnaire offrent en revanche des perspectives de progrès. Les pompes à chaleur restent encore d'un coût très élevé, particulièrement pour la rénovation. L'industrialisation des technologies devrait permettre une forte pénétration de ce type de solution, notamment pour la capacité chauffage-refroidissement et les applications géothermiques. Pour la géothermie individuelle les solutions technologiques existent mais l'offre système complète (forage, PAC, diffuseurs, stockage) n'est pas concurrentielle. Pour la biomasse bois énergie, les solutions collectives s'apparentent à des installations industrielles, où sont mises en place des technologies adaptées au traitement des effluents et des émissions de particules. L'impact sur la qualité de l'air des particules (PM 2,5 – 1) sera le challenge à relever pour toutes les applications, par l'amélioration de la combustion, ainsi que le post traitement des cendres. Le développement des réseaux de chaleur à l'échelle de l'îlot urbain ou du quartier semble une solution prometteuse, notamment alimentés par la biomasse et les pompes à chaleur ; l'équation économique reste toutefois à évaluer dans la mesure où la rénovation des bâtiments fait chuter la densité de demande de chaleur.

### **Améliorer la robustesse des solutions et limiter leur impact environnemental et sanitaire**

Pour la ventilation, les technologies actuelles, simple flux hygroréglable et double flux, doivent encore améliorer leur robustesse en fonctionnement, notamment au regard des impacts sanitaires de la qualité de l'air intérieur (COV, Particules, moisissures) et du renforcement de l'étanchéité à l'air. Là encore il reste également à développer la logique de système complet de ventilation, pilotable, par l'industrialisation de solutions globales (système + réseau de distribution).

Pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS), les technologies sont proches de la maturité tant pour les chauffe-eau solaires que thermodynamiques. La contrainte économique limite encore leur déploiement. L'industrialisation et la standardisation des solutions devraient permettre de dépasser ce point, tout en garantissant une plus grande robustesse.

Concernant l'éclairage, les technologies fluo-compactes et LED sont matures industriellement. Les impacts sanitaires (rayonnement électromagnétique, longueurs d'onde...) et environnementaux (analyse en cycle de vie) offrent encore des marges de progrès.

Pour l'électricité spécifique, des innovations sont attendues dans la suite des progrès réalisés dans l'industrie (notamment les rendements des moteurs, la miniaturisation, etc.). Cependant l'économie d'énergie unitaire a tendance à être annulée par la multiplication des équipements (brun et blanc).

Enfin, des gains en termes d'efficacité énergétique peuvent être obtenus par une meilleure intégration de ces différentes technologies à l'échelle des systèmes bâtiment – quartier – ville. Le développement des outils de simulation et de gestion à ces échelles est en cours et devra être renforcé drastiquement ; ils sont nécessaires à l'émergence de « réseaux intelligents ». Au-delà des outils de simulation et de gestion, la performance dans la durée passe surtout par une meilleure organisation de la filière, une meilleure intégration entre les acteurs, de la conception à la gestion.

## **Les grandes évolutions organisationnelles pour répondre à ces enjeux**

Compte tenu de la maturité relative des technologies, la transition énergétique dans le secteur renvoie donc plutôt à des enjeux économiques et d'organisation. Le basculement progressif d'engagements de moyens vers des engagements de résultats (ou de performance) devrait entraîner des évolutions sensibles dans le secteur. Au-delà des seules questions techniques et technologiques, il pose un certain nombre de questions juridiques (marchés publics, bail vert, engagement solidaire des entreprises, périmètre de l'ensemblier), assurantielles (garantie décennale), économiques, etc. Il

appelle une meilleure organisation de la filière, une meilleure intégration entre les acteurs, de la conception à la gestion, pour assurer la performance dans la durée.

Certains auteurs appellent de leur vœu une « mutation » radicale du secteur et prennent en modèle les progrès réalisés au cours des dernières décennies par des industries comme l'automobile ou l'aéronautique. D'autres acteurs préfèrent parler d'évolutions incrémentales et progressives, aussi bien de l'offre que de la demande : adaptation des compétences plutôt que nouveau métier ; innovation incrémentale pour assurer la robustesse plutôt que nouvelle technologie difficile à mettre en œuvre ; rénovation progressive plutôt que réhabilitation unique et massive ; etc.

### ***Vers une organisation plus intégrée des métiers***

En tout état de cause, les acteurs s'accordent sur la nécessité de progresser vers une organisation plus intégrée des métiers – conception, réalisation, gestion, suivi – afin d'assurer la performance sur le long terme. Pour accompagner les acteurs dans ce modèle intégré et plus collaboratif, des outils logiciels sont en cours de développement et devraient se généraliser. Ils permettent d'une part de rendre cohérents et interopérables toutes les applications métiers pour l'ingénierie (architecte, énergie et environnement, structure et sécurité, contrôle, etc.), les entreprises (différents corps de métier), les industriels, les gestionnaires, à partir d'une représentation partagée et homogène du bâtiment (maquette numérique - Building Information Model, BIM).

Le développement de nouvelles formes contractuelles est également un moyen pour une meilleure intégration de la chaîne de production et d'exploitation. Marchés de Conception réalisation entretien maintenance (CREM ou REM), Contrats de performances énergétiques (CPE), commissionnement, etc. sont autant de solutions émergentes qui pourraient changer les pratiques et améliorer les performances.

Une autre voie vers plus d'intégration est le développement de formes « d'industrialisation ». Celle-ci est attendue pour le développement de certains produits et parties d'ouvrages, notamment pour réduire les coûts et permettre leur implémentation à large échelle : photovoltaïque sur toiture, produits hybrides (structure et énergie), système intégré de ventilation et réseau de distribution, etc. À l'échelle du bâtiment, on vise plutôt la standardisation de solutions de rénovation, performantes et économiquement accessibles. L'évolution des constructions industrielles, principalement en Asie, Amérique du Nord, Japon, s'appuie sur des filières spécifiques (bois, acier) ; elle doit néanmoins être étudiée pour en tirer les enseignements sur l'organisation de certaines filières.

### ***Des approches systémiques aux échelles du quartier ou du réseau***

Au-delà des bâtiments, les enjeux de la transition énergétique conduisent à développer des approches systémiques aux échelles supérieures, îlot, quartier et ville. En effet, ces échelles deviennent déterminantes pour un certain nombre de problématiques comme la production locale d'électricité et de chaleur, les réseaux « intelligents », les systèmes de stockage, etc. L'îlot à énergie positive a vraisemblablement plus de pertinence que le bâtiment à énergie positive, en termes d'optimisation technico-économique. La recherche travaille aujourd'hui à l'élaboration de simulateurs permettant l'évaluation de solutions aux différentes échelles.

### ***La rénovation énergétique intégrée dans le parcours résidentiel et le cycle de valorisation patrimoniale***

Dans ce contexte général, la rénovation du parc ancien comporte de nombreuses spécificités par rapport à la construction neuve. En particulier, elle ne doit pas être envisagée par le seul prisme de l'énergie. D'une part, dans de nombreux cas, une réhabilitation lourde n'a pas un temps de retour suffisant pour convaincre ni le maître d'ouvrage ni le banquier. Même si les prix de l'énergie semblent durablement orientés à la hausse, ils sont encore largement insuffisants pour déclencher seuls des travaux et les incitations publiques sont fluctuantes. Par ailleurs, les ménages ne fondent pas tous leurs choix sur la rentabilité économique. En termes de logement en particulier, ils semblent plus sensibles au confort, à l'esthétique ou à la santé qu'à l'énergie. Profiter d'actions visant par exemple à améliorer le confort pour faire de l'isolation semble plus pertinent que le contraire. Le coût de l'isolation devient alors marginal par rapport à l'opération de confort. Le cas particulier de l'adaptation des logements et immeubles pour la fin de vie est un cas illustratif de ce point de vue. Imposer, lors de ravalement de façade, un devis systématique pour de l'isolation est également un exemple d'action simple déjà localement mis en œuvre.



### **La difficulté particulière de la rénovation des immeubles**

Développer des solutions de rénovation d'immeubles en occupation constitue également un enjeu très important en termes d'organisation. Les ménages ont peu de possibilités de se reloger pendant les travaux (particulièrement les 60 % de propriétaires) ; les opérations élémentaires successives dans le temps sont d'ailleurs plus probables que la rénovation intégrale (pour des raisons conjuguées de mise en œuvre et de financement). Dans le même sens, le manque à gagner pour les bailleurs peut plomber le bilan financier de l'opération.

### **Un fort enjeu de formation**

Ces évolutions relativement profondes en termes d'organisation – prise en compte systématique de l'efficacité énergétique, plus large intégration des métiers, considération à l'échelle du quartier, etc. – supposent des acteurs formés aux nouvelles exigences qu'elles soient industrielles, réglementaires ou performancielles. Elles nécessitent un accompagnement des acteurs par des formations largement renouvelées (initiales et continues). Le secteur de la formation est également appelé à évoluer, en intégrant notamment les NTIC et les outils de simulation (multicritères, multiphysiques, hybrides). Une industrie de la formation en ligne sous la forme de « serious games » devrait émerger, ainsi que des applications sur « smartphones » pour de la formation in situ. Pour autant, même si l'industrialisation et la standardisation se développent, la formation par le geste restera au cœur des différents métiers, en particulier pour la mise en œuvre.

### **Les conditions de succès pour la recherche et le développement**

Compte tenu des enjeux, l'augmentation des efforts de R&D paraît indispensable pour permettre aux acteurs d'assurer la transition énergétique dans le secteur. Cet effort doit porter sur le développement des technologies et leur « intégrabilité » dans le bâtiment, mais également sur les différentes facettes pouvant conduire à la « mutation » du secteur (logiciels experts et simulation, économie et sciences humaines, formation, etc.).

### **Un contexte favorable...**

La France possède des acteurs de la construction et de l'énergie qui, individuellement, sont des leaders mondiaux sur leur marché. Favoriser leur mise en collaboration pour développer des solutions intégrées pourrait tirer le marché de la rénovation thermique et d'y jouer un rôle moteur. Les initiatives des Instituts d'excellence en matière d'énergies décarbonées (IEED), des Instituts pour la transition énergétique (ITE) comme « Efficacity » ou « Paris Saclay Efficacité énergétique - PS2E » regroupent les acteurs industriels (industriels, entreprises, ingénierie, logiciel, transport) et la recherche académique dans un partenariat public privé fort ; ils sont de nature à favoriser ces rapprochements dans la durée et la diffusion des innovations.

### **... à compléter avec des retours d'expériences**

Enfin, une des conditions de succès tant au niveau des performances techniques, économiques et d'usage, réside dans la mise en place d'un système d'observatoires et de retour d'expérience des solutions mises en œuvre. Dans le cas de la construction neuve cela relève du suivi de démonstrateurs. Pour la rénovation, compte tenu de la plus grande diversité liée à l'hétérogénéité du parc, il s'agit d'identifier le plus en amont possible les points critiques quant à l'obtention des performances. La valorisation et la communication autour de démonstrateurs visibles et connus localement du public peut être un puissant levier pour déclencher des travaux. Cela offrirait aussi la possibilité aux entreprises « précurseurs » de faire valoir leur compétence et d'avoir un effet d'entraînement sur la profession.



## Les innovations techniques et les expérimentations d'entreprises : proposer des solutions adaptées aux bâtiments résidentiels existants

Céline Aubert, CGDD/DRI

*La rénovation thermique des bâtiments résidentiels est un enjeu majeur de la transition énergétique engagée par le gouvernement. Le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) soutient notamment dans ce contexte l'innovation technique. Il s'emploie à intensifier l'effort public de financement de l'innovation dans les écotecnologies liées au bâtiment.*

*Les avancées technologiques doivent permettre d'adapter le conditionnement et la mise en forme des matériaux à la rénovation. Au-delà des innovations prises individuellement, il s'agit d'industrialiser les processus, de réduire les coûts et de favoriser une rapidité de mise en œuvre. Pour soutenir une rénovation massive du parc de logements, la recherche et l'innovation doivent permettre la commercialisation d'offres de bouquets de travaux qui combinent de manière raisonnée différentes solutions. Il s'agit de définir une offre intégrée en développant une filière industrielle française pour la rénovation énergétique des bâtiments, pour qu'en ressortent des solutions performantes et économiques : optimiser les solutions techniques existantes ou en créer de nouvelles, développer des solutions de financement adaptées permettant la rénovation des bâtiments privés et développer des solutions d'assurance garantissant la performance des bâtiments rénovés.*

Des matériaux et procédés innovants peinent à se développer tandis que des verrous techniques et financiers freinent la rénovation thermique des bâtiments résidentiels à grande échelle. Alors que le secteur du BTP contribue à 11 % du produit intérieur brut du pays, il ne représente que 0,1 % des dépenses de recherche et développement (R&D) (Reinmann, 2011). Le CGDD accompagne tous les aspects de la rénovation par **les programmes de R&D** et par le lancement et le suivi d'**appels à projets** (AAP) technologiques structurants. Il a initié le **réseau « Bâtiment durable »** des pôles de compétitivité (cf. encadré 1) qui constitue un outil important pour faire émerger des produits industriels innovants, conduire des actions collectives en vue de lever les obstacles à l'innovation et identifier et diffuser les concepts innovants susceptibles d'améliorer la performance environnementale des bâtiments. Il aborde le volet technologique de la rénovation énergétique suivant trois entrées : l'enveloppe du bâtiment, les équipements et les systèmes constructifs.

### Encadré 1. Le réseau « Bâtiment durable » des pôles de compétitivité



Un pôle de compétitivité réunit sur un **territoire** et une **thématique** donnés des **entreprises** de toutes tailles (grandes entreprises, ETI, PME, TPE), des unités de **recherche** (universités, laboratoires) et des établissements de **formation**. Ce **partenariat** vise à soutenir l'innovation et favorise le développement de projets collaboratifs de R&D. Il donne une visibilité aux acteurs du pôle en France et à l'international et a vocation à créer de la croissance et de l'emploi sur les marchés porteurs (Griot et Kher, 2011).

19 pôles constituent le réseau « **Bâtiment durable** » initié par le CGDD en 2009. Ils mutualisent leurs réflexions et leurs actions relatives à l'innovation, à la formation, au financement, au développement international et aux partenariats européens pour devenir des « usines à produits d'avenir » (Ministère du redressement productif, 2012).

### Encadré 2. Le Fonds unique interministériel (FUI)

Le FUI est une aide financière destinée aux projets collaboratifs des pôles de compétitivité. Le but est de développer de nouveaux produits ou services à fort contenu innovant et conduisant à une mise sur le marché dans un délai de 5 ans. Le projet doit être labellisé par un ou plusieurs pôles de compétitivité, comporter des travaux de R&D réalisés en majorité sur le territoire de ces pôles et garantir des retombées économiques pour le territoire national.

Un réseau représentatif de la R&D :

- Bien qu'il ne regroupe que le quart des pôles de compétitivité français, le réseau « Bâtiment durable » joue un rôle majeur dans la R&D du secteur. 9 projets sur 10 relatifs au bâtiment durable présentés aux financements du FUI le sont par des membres du réseau.

- Sur les trois dernières années, la rénovation thermique a bénéficié de 9,5 millions d'euros d'aides publiques dans le cadre du FUI (BETC, 2013).

## Améliorer l'enveloppe du bâtiment

Concrètement, il s'agit d'innover dans les matériaux, dans des isolants plus performants, de réduire les ponts thermiques, autrement dit de renforcer l'**isolation**. Les projets en ce sens abondent. Par exemple, le projet **PAREX.IT** (Parement extérieur pour l'isolation thermique) a été retenu au 10<sup>e</sup> appel à projets du Fonds Unique Interministériel (cf. encadré 2) sur label des pôles de compétitivité Tenerrdis, Axelera et Capénergies. Il vise à développer un enduit d'isolation thermique par l'extérieur (Figure 1). Ce dernier est à base d'aérogel de silice, un super isolant minéral. Sa mise en œuvre, monocouche, est similaire à celle des enduits projetés, ce qui facilitera le travail des façadiers qui pourront utiliser les machines mélangeuses et projeteuses du commerce dans leurs travaux de rénovation.

**Figure 1 : Un enduit d'isolation par l'extérieur pour les bâtiments développé par la société ParexLanko**

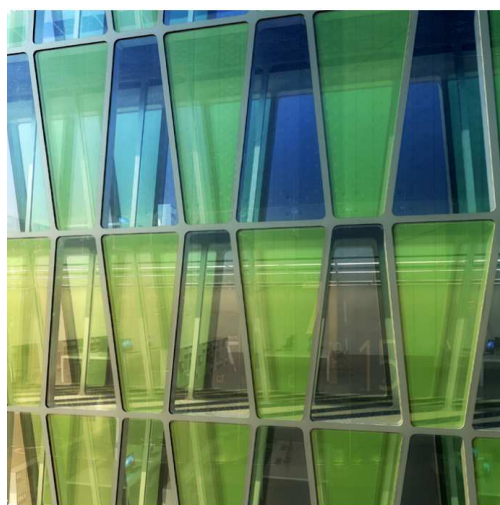


La performance énergétique s'obtient aussi en agissant sur l'ensemble du **cycle de vie** des matériaux utilisés. Cela met en première ligne les **matériaux recyclés** ou **biosourcés**<sup>74</sup>. Dans ce dernier cas, le projet **SINFONI** (Structuration d'une filière technique lin et chanvre à usages matériaux), sélectionné en juillet 2012 dans le cadre des Investissements d'Avenir au titre des Projets Structurants des Pôles de Compétitivité (PSPC), a permis de lever 14,5 millions d'euros pour mettre au point des procédés industrialisables dans les domaines des bétons, des composites et pour les produits d'isolation du bâtiment.

Il importe aussi de travailler sur la **protection** des bâtiments. Derrière ce terme se trouvent les éléments auxiliaires au bâti qui le protègent littéralement du froid, du soleil, du vent... en bref des agressions extérieures. Un bel exemple en est le projet **SYMBIO2**, lauréat du FUI 15, qui consiste à cultiver des microalgues au sein de biofaçades (Figure 2). Le principe constructif est celui d'un mur-rideau intégrant des photobioréacteurs plans et verticaux dans une façade de bâtiment dotée d'une double-peau. La ventilation de cette dernière, de type ventilation naturelle assistée contrôlée, permet de réguler la température des photobioréacteurs qu'elle abrite. La biofaçade est également conçue pour limiter les consommations énergétiques du bâtiment équipé : elle sert de zone tampon, d'ombrière et de système de climatisation naturelle par l'extérieur. Outre ces échanges thermiques, un circuit d'échanges chimiques permet de valoriser les eaux usées du bâtiment pour nourrir les cultures de microalgues. Le projet, porté par l'entreprise Séché Environnement, touche de ce fait deux marchés : celui des ingrédients de spécialité pour l'alimentation humaine et animale et celui des façades à haute performance environnementale adaptées à la rénovation.

<sup>74</sup> Les matériaux biosourcés réunissent l'ensemble des matériaux issus de la biomasse. Ils sont soit présents dans les organismes vivants, soit synthétisés par ces derniers, soit obtenus par transformation mécanique (matériaux composites) ou par transformation chimique (polymères biosourcés).

**Figure 2 : Symbiose innovante entre microalgues et bâtiment : des photobioréacteurs plans sont intégrés architecturalement et techniquement en mur-rideau (X-TU Architects)**



### Innover sur les équipements du bâtiment

Les équipements désignent tout ce qui concerne la consommation énergétique, son pilotage et la production d'énergie.

Intégrer les moyens de production d'énergie directement aux lieux de consommation, dans ce cas le bâti, est un des points clef de la politique du MEDDE. Dans cette perspective, le projet **SOLENBAT** (Soleil en batterie) a été retenu au 15<sup>e</sup> appel à projet FUI (FUI 15). Il traite de la thématique de l'autoconsommation énergétique pour le bâtiment, dont le résidentiel en rénovation. Il vise à mettre au point un dispositif combinant production d'énergie solaire photovoltaïque, stockage de l'électricité produite et pilotage du système. Ce dernier est conçu dans une optique d'indépendance énergétique. Il permettrait de couvrir une grande partie des besoins d'énergie : 60 à 80 % pour un bâtiment situé dans le Nord de la France et 100 % pour une construction dans le Sud. L'objectif du projet est de proposer des solutions en rupture avec la logique prédominante de puissance maximale du panneau photovoltaïque : sa stratégie vise au contraire à ne pas privilégier le rendement maximum instantané, mais à maximiser les plages de production en hiver, permettant une production plus en adéquation avec les besoins de consommation.

Dans une logique d'efficacité énergétique, le projet **ADVANCED CHILLER**, labellisé par le pôle Alsace Energivie et déposé en 2013 au 17<sup>e</sup> appel à projets du FUI, vise à développer un équipement de climatisation basé sur la technologie de production de froid par adsorption<sup>75</sup>. Cette solution, développée par un consortium de PME alsaciennes menées par la société Airépur, sera optimisée du point de vue de son encombrement et de son poids afin de favoriser son installation directement dans les bâtiments. La technologie développée utilise la chaleur fatale<sup>76</sup>, d'origine industrielle ou solaire, ou issue d'un surplus de production d'énergie, pour la transformer en froid, ce qui confère un coût d'exploitation très faible à ces équipements. Elle n'utilise pas de fluide frigorigène nocif pour l'environnement, l'adsorbat employé a peu d'impact et elle consomme peu d'électricité. Cette technologie innovante, empreinte d'économie circulaire, pourrait ainsi lever les freins de mise en marché que connaissent actuellement les dispositifs du même genre.

<sup>75</sup> L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des atomes ou des molécules de gaz ou de liquides (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant).

<sup>76</sup> Ce terme désigne ici la chaleur qui serait perdue si on ne l'utilisait pas au moment où elle est disponible (par exemple l'électricité issue des éoliennes ou des panneaux solaires).

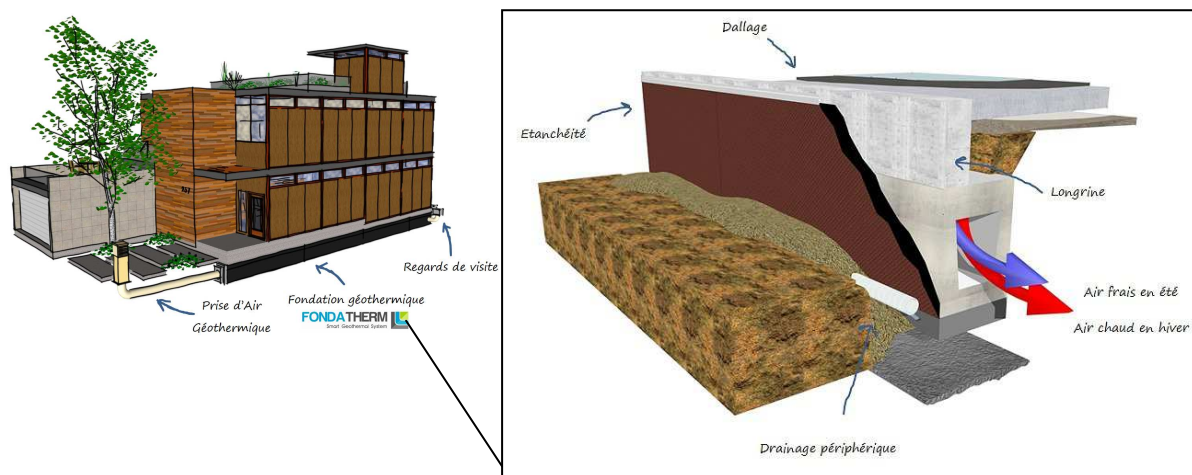
Le projet **COMETE** (Cloud pour la maison intelligente et l'efficacité énergétique), lui aussi déposé au FUI 17 après label des pôles Arve Industries et Tenerrdis, a pour but de développer de nouveaux équipements et services pour les systèmes de contrôle domotiques permettant d'aller plus loin que les solutions actuelles. Il s'agit d'améliorer le pilotage, le confort et la sobriété énergétique des bâtiments résidentiels en utilisant la mise en réseau des équipements et les possibilités de calcul offertes par Internet et le Cloud<sup>77</sup>. Ce projet rhônalpin, qui s'appuie sur des expertises régionales complémentaires devrait permettre une montée en gamme et en compétences de tous les acteurs de la filière, du fabricant à l'installateur.

Le projet **APACHE**, présenté par les pôles de compétitivité Derbi et Advancity au 17<sup>e</sup> appel à projets du FUI, vise au développement d'une nouvelle génération de pompes à chaleur à très haute efficacité pour les maisons individuelles. Le nouveau type de compresseur développé par l'entreprise boostHEAT permet de diviser par deux la consommation de gaz par rapport à une chaudière à condensation. Les partenaires du projet ont trois ans pour définir, développer, tester sur le terrain et préparer l'industrialisation de ce nouveau produit. Dans l'habitat existant, le système APACHE devrait permettre un retour sur investissement de l'ordre de trois ans. Les partenaires du projet envisagent également de mettre en place un business model innovant en créant une offre proposant au consommateur de s'abonner à la chaleur, sans besoin d'investir dans l'équipement de chauffage ni voir sa facture énergétique augmenter.

### Développer des systèmes constructifs innovants

Un système constructif désigne la manière d'agencer les matériaux. Un dispositif innovant, mis au point dans le cadre du 16<sup>e</sup> appel à projets du FUI entend doter les acteurs du secteur d'un nouveau système constructif permettant d'améliorer la performance énergétique des bâtiments. Le projet **Fondatherm**, co-labellisé par les pôles Tenerrdis et Advancity, vise à développer des pieux géothermiques. Ces éléments en béton préfabriqué permettraient d'assurer à la fois le rôle de fondation et de source d'énergie renouvelable pour le bâtiment. L'impact environnemental du chantier est minimisé et la fondation ne nécessite pas d'emprise au sol en plus du bâtiment, contrairement aux systèmes géothermiques classiques qui se placent généralement dans la surface disponible autour du bâtiment. Cette technologie devient accessible à des propriétaires sans terrain et est un atout pour les zones urbaines où la ressource foncière disponible est rare et chère.

**Figure 3 : La seule fondation brevetée en béton, entièrement préfabriquée, permettant de récupérer l'énergie géothermique du sol : un système clef en main proposé par Ceschin SAS**



<sup>77</sup> Le Cloud ou Cloud computing (« Nuage » en français) désigne l'ensemble des processus qui consiste à utiliser la puissance de calcul et/ou de stockage de serveurs informatiques distants à travers un réseau, généralement Internet. Il permet une dématérialisation de l'infrastructure informatique.

## Bibliographie

**Aubert** Céline (2013), « Accompagner le réseau 'Bâtiment durable' des pôles de compétitivité », CGDD/DRI, 4 p.

**Franz** Michel (2013), « Le réseau 'Bâtiment durable', 18 pôles de compétitivité porteurs d'innovation », Le Point sur, n°154, CGDD/DRI, 4 p.

**Griot** Alain, **Kehr** Jean-Michel (2011), « Projets de R&D dans les pôles de compétitivité : une sensibilisation croissante au développement durable », Le Point sur n°77, CGDD/DRI, 4 p.

**Ministère du Redressement Productif** (2012). Communiqué de presse du 4 décembre 2012 « Les pôles de compétitivité deviennent des usines à produits d'avenir », n°238, Paris, 1 p.

**Reinmann** Inès, **Farge** Yves (2011). Leviers à l'innovation dans le secteur du bâtiment. Rapport intermédiaire – janvier 2011. Plan Bâtiment Grenelle, Groupe de travail 'Innovation et recherche', 34 p.



## Analyse comparative en Europe du coût des matériaux et équipements de construction et des structures de marché<sup>78</sup>

Pierre Gadrat, ALCIMED, François Ménard, DGALN/PUCA

La question des coûts de construction intervient de façon récurrente tant dans les débats relatifs à l'offre de logements abordables en France que ceux relatifs au prix à payer pour la production de bâtiments plus efficaces sur le plan énergétique. L'hypothèse est ainsi fréquemment émise que les différences observées entre la France et ses voisins dans le rythme de transformation de son parc de bâtiments, en particulier de logements, seraient imputables à un coût élevé des matériaux, des équipements et de leur mise en œuvre.

L'étude pilotée par la DGALN a retenu le modèle du petit résidentiel de 10 à 30 logements. Elle a montré des prix similaires en France et en Allemagne avec un surcoût important au Danemark, et les prix les moins élevés en Italie. Cependant, le choix de ce modèle montre des limites, car il existe pour chaque pays étudié des différences dans les matériaux et équipements utilisés, différences qui ont nécessairement un impact sur les coûts. Par ailleurs, la formation de la main d'œuvre ou la politique de subvention ont été identifiées comme ayant une incidence à plus long terme sur la construction des coûts.

Les prix élevés de la construction, des matériaux et équipements ainsi que de la main d'œuvre, sont évoqués comme blocage à la rénovation massive et rapide du parc de logements français, pourtant nécessaire dans le cadre de la transition énergétique de la France. Le Plan Urbanisme, Construction, Architecture (PUCA), organe incitatif de recherche de la DGALN, a donc confié en 2011 au bureau d'études Alcimed, la réalisation d'une étude comparative sur les coûts en France, en Allemagne, au Danemark et en Italie qui éclaire sur la structure des coûts et identifie les leviers permettant de les abaisser.

### Différences de prix, différences de coûts : des liens controversés

Les raisons couramment avancées pour expliquer les prix élevés de l'immobilier en France sont multiples : « rareté » du foncier, multiplicité des acteurs, fiscalité élevée, rémunération des intervenants en pourcentage du prix de la construction, financement du logement social par le logement privé, organisation des opérations de construction, contexte réglementaire...

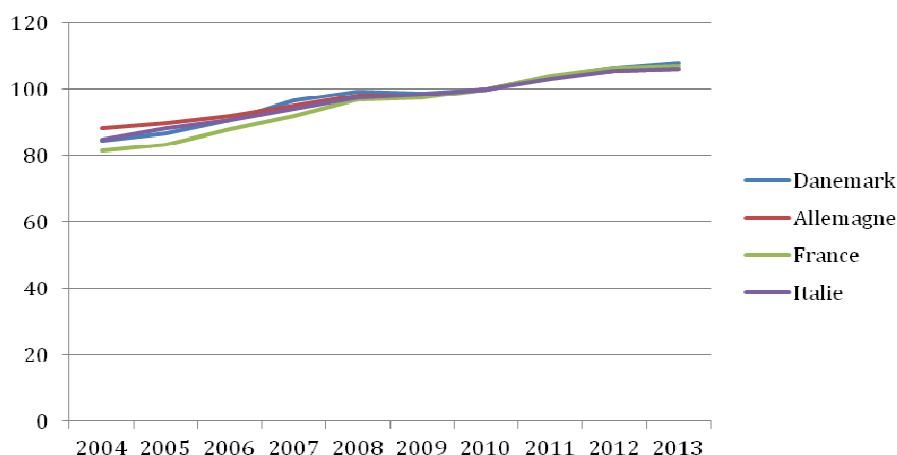
Non seulement ces prix sont élevés, mais ils connaissent également une augmentation. Parmi les raisons invoquées, il y a l'allongement de la durée des prêts mais celle-ci n'explique pas tout. Cette augmentation concerne en effet l'ensemble des segments, y compris le logement social. Si l'on s'en tient aux seuls logements locatifs sociaux, leur prix de revient total (foncier, construction, honoraires et divers) a fortement augmenté.

D'où l'hypothèse que l'augmentation des coûts de construction interviendrait dans cette hausse. C'est ce que soutiennent certaines études, en comparant la France avec d'autres pays européens, l'Allemagne notamment.

Outre le fait que les coûts de construction soient plus élevés en France que dans d'autres pays européens, c'est leur augmentation qui apparaît plus rapide (figure 1), même si les courbes semblent converger aujourd'hui.

<sup>78</sup> Il s'agit d'une synthèse issue de l'étude Alcimed (2011), Analyse du coût des matériaux et équipements de construction en France, Danemark, Allemagne et Italie, réalisée pour le PUCA, rapport, 105 p.

**Figure 1 : Indice des coûts de la construction, nouveaux bâtiments résidentiels – données annuelles (2010 = 100)**



Source : Eurostat 2014

Pour certains auteurs<sup>79</sup>, les écarts de prix observés entre différents pays reflèteraient des coûts différenciés mais également des marges qui augmenteraient du fait de politiques d'aide à la pierre qui auraient un effet inflationniste.

Pour d'autres acteurs, tels que la Fédération Française du Bâtiment (FFB), l'augmentation des prix relèverait principalement de l'augmentation des coûts de construction, lesquels seraient liés aux plus grandes exigences réglementaires apparues ces dernières années, à la sécurisation des chantiers contre le vol et à la complexité d'opérations obéissant à une logique de densification.

En particulier, d'après la FFB, l'écart des hausses enregistrées « s'expliquerait quasi-exclusivement par la hausse bien plus rapide des prix des matériaux en France »<sup>80</sup>.

Il est difficile de connaître l'évolution comparée en structure des différents postes de dépenses, en France et dans d'autres pays de l'Union Européenne. Les grandes masses sont toutefois proches. Or, c'est bien le coût du travail et, en second, le coût des matériaux qui forme l'essentiel de ce coût dans les pays industrialisés. Pour la France, ils sont aujourd'hui respectivement de 43 % et 32 % (Tableau 1).

**Tableau 1 : Structuration des coûts de construction en France par poste de l'index BT01 (bâtiments résidentiels et non résidentiels)**

Poste	Coût du travail	Matériaux	Frais divers	Matériel	Transport	Énergie	Total
Part	43 %	32 %	15 %	4 %	3 %	3 %	100 %

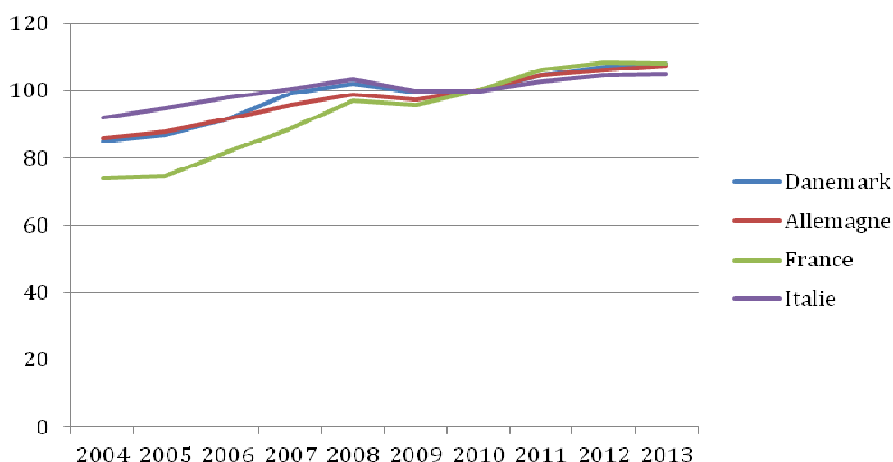
Source : INSEE 2014

Or, les données disponibles sur Eurostat témoignent en effet de la hausse du prix des matériaux (Figure 2), ce qui tendrait à justifier l'argument avancé par la FFB.

<sup>79</sup> Trannoy A et Wasmer E. (2013), page 46.

<sup>80</sup> Fédération Française du Bâtiment (2013), op.cit. page 43.

**Figure 2 : Indice du prix des matériaux, nouveaux bâtiments résidentiels – données annuelles (2010 = 100)**



Source : Eurostat 2014

Force est donc de constater la difficulté à expliquer de manière consensuelle l'augmentation des prix de la construction et les quelques éléments présentés ici justifiaient à eux seuls d'examiner plus en détail et sur un cas type les différences les plus notables. C'est pourquoi le PUCA a exploré le coût comparé des matériaux et équipements en France, Allemagne, Danemark et Italie dans le cadre de la construction neuve d'un bâtiment résidentiel collectif de 10 à 30 logements, à hautes performances énergétiques.

Réalisé par le bureau d'études ALCIMED, l'étude a permis :

- d'établir un référentiel commun de matériaux et équipements, puis
- d'analyser les coûts des matériaux et équipements.

En voici les principaux éléments, résultats et enseignements.

#### **Encadre méthode 1 : Définir le périmètre de l'étude : sélectionner des éléments et des modes constructifs, significatifs et comparables**

Tout d'abord, une première liste de postes de construction à étudier a été dressée sur trois critères principaux :

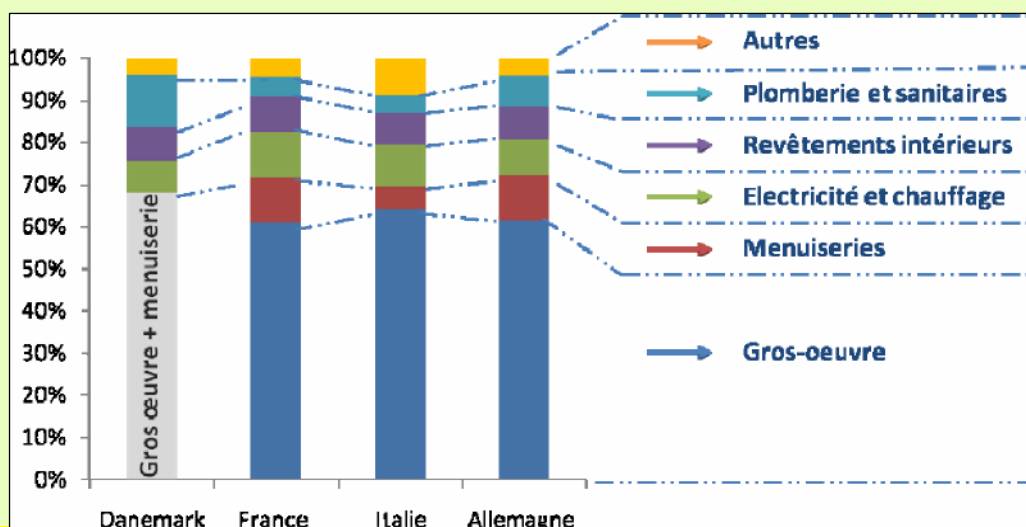
- le poids dans le coût global de la construction ;
- le lien avec l'efficacité énergétique ;
- le contexte réglementaire associé (normes et subventions).

La distribution globale des coûts de construction est très similaire d'un pays à l'autre, indépendamment des modes constructifs. Comme le montre la figure 3, les principaux postes de coûts sont les lots du gros œuvre, de la menuiserie, des installations électriques et de chauffage, et des travaux de plomberie/sanitaire.

L'étude du poids des différents lots de construction dans le coût global des logements collectifs, des enjeux réglementaires associés et de leurs impacts sur l'efficacité énergétique a ainsi permis de sélectionner les 9 postes de construction clés suivants : Maçonnerie, Isolation thermique des murs, Isolation thermique des toitures, cloison, fenêtre, pompe à chaleur, ventilation, chaudière, système photovoltaïque.

.../...

**Figure 3 : Distribution des coûts de construction au Danemark, en France, Italie et Allemagne (2010)**



Distributions à partir des facturations des lots fournis-posés incluant les taxes (estimation Alcimed)

Sources : pour le Danemark : Estimation ALCIMED à partir de la publication du Socialministeriet (Ministère danois des affaires sociales) 2006 en supposant le poids des revêtements intérieurs égal à 50 % des revêtements de surface totaux ; pour la France : AQC (Agence Qualité Construction) ; pour l'Italie : ANCE ALESSANDRIA (Association des entrepreneurs privés de la construction de la province d'Alessandria) ; pour l'Allemagne : BKI (Chambre allemande des architectes) Baukosten 2010

**Tableau 4 : Postes de construction sélectionnés**

Poids du lot dans le coût global	Lots	Enjeu réglementaire	Impact sur l'efficacité énergétique	Postes de construction
Fort >50%	Gros-oeuvre	Faible	Fort	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Maçonnerie</li> <li>✓ Isolation mur</li> <li>✓ Isolation toiture</li> <li>✓ Cloisons</li> </ul>
Moyen 5-15%	Menuiserie	Modéré	Fort	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fenêtre</li> </ul>
	Electricité/Chauffage	Modéré	Fort	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pompe à chaleur</li> <li>✓ Ventilation</li> <li>✓ Chaudière</li> </ul>
	Revêtements intérieurs	Faible	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aucune sélection</li> </ul>
Faible <5%	Plomberie/Sanitaires	Faible	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aucune sélection</li> </ul>
Non identifié	Production d'électricité	Fort	Fort	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Panneaux photovoltaïques</li> </ul>

Source : Alcimed 2011

Cette liste a ensuite été étudiée dans chaque pays cible afin de caractériser techniquement les matériaux et équipements associés à chaque poste en fonction des modes constructifs nationaux. Cette démarche a permis de définir de manière précise des matériaux et équipements présents de manière significative dans l'ensemble des pays de l'étude.

Le niveau de maturité ainsi que les caractéristiques techniques devaient être comparables entre les pays pour éviter les différences de prix dues uniquement aux effets d'échelle, à l'organisation émergente des filières ou à une variation trop importante de performance.<sup>81</sup>

<sup>81</sup> Afin de s'affranchir des différences de pouvoir d'achat entre les pays, des prix harmonisés sont calculés en tenant compte des Indices de Niveaux de Prix (INP) fournis par EUROSTAT pour l'année 2009.

Une liste d'une dizaine de matériaux et équipements a ainsi été retenue :

<u>Postes de construction</u>	<u>Matériaux et équipements de référence</u>
Maçonnerie	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Béton prêt-à-l'emploi</li> <li>OU</li> <li>✓ Brique d'argile</li> </ul>
Isolation thermique des murs	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ITE avec polystyrène expansé à enduit minéral</li> <li>OU</li> <li>✓ ITE avec polystyrène expansé à enduit hydraulique</li> </ul>
Isolation thermique des toitures	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Laine de verre</li> <li>OU</li> <li>✓ Laine de roche</li> </ul>
Cloison	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Plaque de plâtre de 12,5mm d'épaisseur pour système de cloison sur ossature métallique</li> </ul>
Fenêtre	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ PVC double-vitrage 4-16-4mm</li> <li>✓ Lame d'air</li> <li>✓ Couche de faible d'émissivité</li> <li>U : 1,3 W/m²K</li> </ul>
Pompe à Chaleur	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pompe à chaleur air/air</li> </ul>
Ventilation	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Système centralisé de ventilation double flux avec récupération de chaleur</li> <li>OU</li> <li>✓ Système de ventilation simple flux</li> </ul>
Chaudière	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Chaudière gaz à condensation murale individuelle étanche double-service de puissance P: 23kW avec ballon de stockage d'eau de 75-100L</li> </ul>
Système photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Système photovoltaïque sur toiture</li> <li>✓ 3-10kWh</li> <li>✓ modules en Silicium monocristallin</li> <li>-&gt; Totalement intégré au bâti</li> <li>OU</li> <li>-&gt; Surimposé</li> </ul>

*In fine*, les postes de construction sélectionnés, ainsi que les équipements et matériaux de référence associés, permettent de comparer l'effet des politiques publiques sur les coûts. Ce sont également ceux qui permettent de réduire les principales déperditions thermiques, autrement dit, ceux qui correspondent au principal levier d'augmentation de l'efficacité énergétique des bâtiments.

### Des facteurs explicatifs des prix multiples et différents selon les pays

Afin de caractériser les facteurs explicatifs des coûts, une fiche détaillée a été élaborée pour chacun des matériaux/équipements. Chaque fiche détaillait les éléments suivants :

- Choix du matériau ou équipement de référence
- Le niveau de prix par pays du matériau ou équipement retenu
- Discussion des différences de prix observées à partir de 6 clés de lecture :
  - Constitution de la chaîne de valeur
  - Environnement concurrentiel
  - Niveau de maturité des éléments considérés
  - Descriptif technique
  - Construction des prix
  - Réglementation
- Synthèse : un tableau présentant le classement des pays par niveau de prix et les principaux facteurs influençant les prix « fourni/posé ».

Le choix de ces six clés de lecture était indispensable pour pouvoir remettre les prix dans des contextes nationaux et préciser ce que reflétaient ces prix.

À titre d'exemple, le tableau 3 synthétise le récapitulatif de l'ensemble des éléments repérés en ce qui concerne la maçonnerie. Des tableaux similaires ont été réalisés pour chacune des huit autres entrées<sup>82</sup>, démontrant une grande variabilité des facteurs explicatifs des prix selon les pays.

**Tableau 3 : Synthèse des principaux facteurs influençant les prix « fourni/posé » pour la maçonnerie<sup>83</sup>**

	Classement*	Facteurs influençant les prix à la hausse	Facteurs influençant les prix à la baisse
<b>Danemark</b>	2,6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système de construction (deux parois)</li> <li>• Prix du matériau béton</li> <li>• Acteur unique capable de fournir tous les éléments du double mur</li> <li>• Entreprises familiales de fabrication de briques</li> <li>• Réseau de distribution indirecte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marge brut du poseur très faible (jamais plus de 10 %)</li> <li>• Concurrence de plus en plus forte sur le secteur du béton</li> </ul>
<b>France</b>	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût de la matière première ciment</li> <li>• Valorisation du ciment comme produit spécial et non-commodité</li> <li>• Position dominante des gros acteurs sur un marché concentré</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concurrence de petits acteurs sur les marchés locaux</li> <li>• Concurrence naissante de la brique</li> <li>• Réglementation thermique poussant la brique</li> </ul>
<b>Allemagne</b>	0,6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pression concurrentielle faible selon certaines zones géographiques</li> <li>• Réglementation thermique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pression concurrentielle très forte sur la majorité du territoire</li> <li>• Réseau de distribution directe</li> <li>• Important maillage du pays en manufactures de briques</li> </ul>
<b>Italie</b>	0.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réseau de distribution indirecte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Important maillage du pays en manufactures de briques</li> <li>• Coût de la pose</li> </ul>

\* Classement des prix « fourni-posé » harmonisés sur l'INP

Source : Enquête menée par Alcimed

### **La position de la France: des prix similaires aux prix allemand, généralement plus faibles qu'au Danemark mais souvent plus élevés qu'en Italie**

À l'issue de cette analyse comparée, matériau par matériau, et selon ces 6 clés de lecture, il apparaît pour chaque pays des profils de prix très différents.

Sur l'ensemble des matériaux et équipements étudiés (Figure 4), il ressort que :

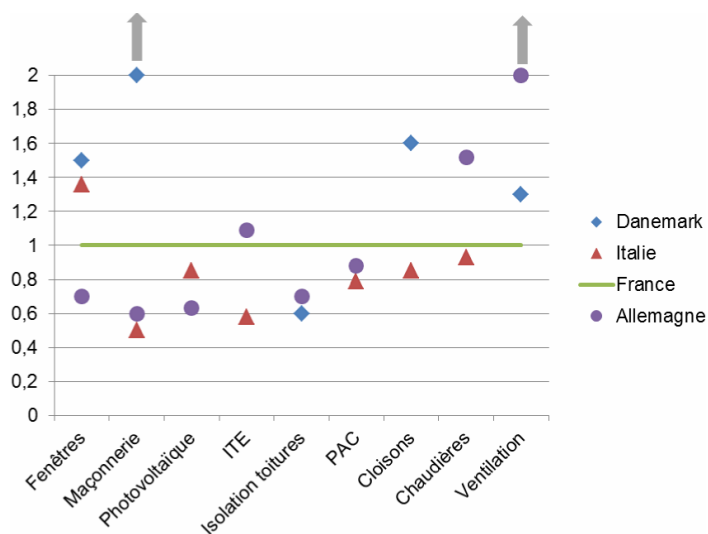
- Le Danemark apparaît clairement comme le pays où les prix des matériaux et équipements sont les plus chers. Les prix relevés sont systématiquement plus élevés qu'en France, à l'exception de l'isolation des toitures.
- Le marché danois des matériaux de construction est dominé par l'amont avec une concurrence limitée au sein de fabricants et des distributeurs et une utilisation très développée des marges arrière avec des méthodes de construction des prix particulièrement opaques. Les prix danois sont également désavantagés par un coût de la main d'œuvre élevé et de fortes exigences en termes d'efficacité énergétique qui induisent souvent à la fois des matériaux plus performants et une pose plus compliquée.
- Tous les prix allemands sont similaires ou inférieurs aux prix français, à l'exception de la ventilation mécanique – très peu développée outre-Rhin et qui ne constitue donc généralement pas un poste de coût - et des chaudières – pour lesquelles il existe un niveau de service supérieur inclus dans le prix.
- Les prix italiens des matériaux et équipements de l'étude sont globalement les plus bas de l'étude. Ils sont tous inférieurs aux prix français, à l'exception des fenêtres PVC (mais celles-ci sont peu répandues en Italie et il existe sur le marché une forte variation des prix).

<sup>82</sup> Pour le détail, consulter l'étude : [http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/activites/Rapport\\_cout\\_materiaux\\_jul2011.pdf](http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/activites/Rapport_cout_materiaux_jul2011.pdf)

<sup>83</sup> Seuls les modes constructifs majoritaires de chaque pays sont comparés ici : double mur au Danemark, béton banché en France, briques en Italie et Allemagne.



**Figure 4 : Positionnement des prix fourni/posé harmonisés sur l'INP des matériaux et équipements de référence**



Plus globalement, si on calcule un indice global indicatif du coût de construction lié aux matériaux et équipements étudiés, les prix français apparaissent comme supérieurs à l'Italie et sensiblement similaires à l'Allemagne. Ils restent très inférieurs aux niveaux observés au Danemark, qui sont parmi les plus élevés d'Europe (Tableau 5).

**Tableau 5 : Indices globaux indicatifs**

Pays	Indice global indicatif <sup>84</sup>
Danemark	1,689
Allemagne	1,056
<b>France</b>	<b>1,000</b>
Italie	0,770

### Plusieurs leviers permettant d'agir sur les coûts de la construction

L'approche globale permet un premier classement des pays entre eux mais ne permet pas une identification et une explication précise des distorsions des prix de la construction.

Cependant, une analyse au niveau des filières permet d'identifier 3 principaux leviers ayant un impact sur l'organisation et la structuration de filière et par conséquent, sur le coût des matériaux de construction.

#### La formation

Les filières qui reposent sur la mise en œuvre de nouvelles technologies ou sur la mise en œuvre de techniques « de pointe » sont particulièrement sensibles au savoir-faire des professionnels.

Une main d'œuvre insuffisamment qualifiée entraîne des surcoûts notamment en termes de compétitivité au niveau de la pose, mais elle entraîne également des problématiques de sous-performance et enfin des défauts de qualité (retour sur chantier, litige...). Plus globalement, l'introduction de matériaux ou bien d'équipements mal maîtrisés et/ou mal posés, entraîne inexorablement une désaffection du marché pour ces produits (exemple des systèmes de pompe à chaleur et d'isolation thermique par l'extérieur dans les années 1970).

<sup>84</sup> Indice global indicatif du coût de construction lié aux matériaux et équipements. Il combine ceux des matériaux et équipements étudiés, à l'exception des PAC et des installations photovoltaïques. La contribution de chacun des éléments est pondérée en utilisant des coefficients multiplicatifs similaires pour tous les pays. Les matériaux et éléments participent au coût global à : 35 % pour la maçonnerie, 15 % pour l'isolation des murs, 12,5 % pour les chaudières et ventilation, 10 % pour les fenêtres et cloison et 5 % pour l'isolation des toits.

À court terme, un défaut de formation ne peut pas être directement lié à une distorsion de prix entre les pays. Néanmoins, à plus long terme, la présence d'une main d'œuvre formée garantit la mise en place de filières compétitives où les coûts de pose ou d'installation sont parfaitement optimisés.

Il existe un enjeu imminent aujourd'hui sur l'isolation thermique par l'extérieur qui est une filière émergente en France. Techniquement, cette filière nécessite un changement profond au niveau de la pose (« passage du centimètre au millimètre »). La pérennité de cette filière est clairement liée à sa capacité à former une main d'œuvre qualifiée et nombreuse afin de soutenir son développement et garantir un taux de pénétration élevé.

### ***La politique de subvention***

Une réflexion sur la politique de subvention, aussi bien sur sa légitimité que sur la stratégie d'attribution, à savoir le montant, la durée ou encore le retrait, est aujourd'hui nécessaire.

Les subventions accordées à une filière pour aider à son émergence peuvent avoir des effets aussi bien positifs que négatifs, suivant la manière dont elles ont été appliquées. Par exemple, l'historique de développement de la filière photovoltaïque en Allemagne s'oppose à celui de la filière française. L'instauration d'un tarif dégressif de rachat de l'électricité s'est accompagnée de la bonne structuration de la filière allemande et à un positionnement très compétitif. Face à cela, la France a accumulé du retard du fait d'un maintien des tarifs de rachat élevés combinés à des crédits d'impôt qui n'ont finalement profité qu'aux installateurs et non aux consommateurs. En conséquence, l'Allemagne apparaît beaucoup plus compétitive que la France sur cette filière. Les changements réglementaires engendrés par la mise en place de la RT 2012 auront un impact sur la mise en œuvre de l'enveloppe du bâtiment. Ces changements pourraient favoriser la mise en place ou le renforcement de certaines filières émergentes, comme la filière isolation thermique par l'extérieur. Dans ce contexte, la mise en place de subventions maîtrisées pourrait être considérée afin d'instaurer des filières stables et compétitives.

### ***La question des marges arrière***

La politique des marges arrière a une influence directe sur la constitution des prix et provoque des distorsions. Cependant, dans la plupart des cas et dans l'ensemble des pays étudiés, les marges arrière sont difficiles à quantifier. On constate notamment un marché danois des matériaux de construction dominé par l'amont avec une concurrence limitée au sein des fabricants et des distributeurs. L'utilisation des marges arrière y est très développée et les méthodes de construction des prix en sont, de ce fait, plus opaques. La France, où la distribution joue également un rôle prépondérant, connaît aussi ce type de phénomène. Il est néanmoins difficile de généraliser, le rôle de la distribution n'étant pas le même selon les filières..

Ces marges arrière sont parfois développées directement entre les fabricants et les professionnels installateurs. Les filières fondées sur la relation installateurs/fabricants (tel le secteur chauffage-climatisation en France) sont sans doute plus concernées que les autres.

En Italie, au contraire, on constate souvent une concurrence plus forte en amont, une distribution directe aux entrepreneurs et constructeurs plus développée, et une structure de prix plus transparente.

En général, il semble que les filières qui reposent sur des matériaux et des équipements pour lesquels la part de la pose est prédominante sont sujettes à des pratiques de marges arrière plus importantes. Ainsi, la filière chauffage et sanitaire connaît des pratiques de marges arrière moins importantes pour les chaudières que pour les radiateurs, dont le coût matériel est faible par rapport à la main d'œuvre nécessaire pour l'installation. Des marges arrière allant jusqu'à 60-70 % sont évoquées sans qu'il soit possible de statuer sur leur réelle importance.

En raison de ces pratiques différentes, l'approche globale ou par filière montre ses limites. Une investigation sur des matériaux et équipements ciblés permettrait d'approfondir la compréhension de ces politiques ainsi que les spécificités par type de filière.

### Encadré méthode 2 : Les limites de la méthode

La méthodologie qui consiste à définir une construction « modèle » (c'est-à-dire, dans le cadre de cette étude, un petit bâtiment résidentiel collectif de 10 à 30 logements) comparable dans différents pays se heurte aux spécificités locales. En effet, il est important de souligner qu'il existe pour chaque pays un écart plus ou moins important avec le logement modèle lié à :

- des choix réglementaires différents,
- des choix de technologies différents,
- des maturités de filières différentes,
- des modes constructifs différents.

Ces différentes spécificités introduisent donc une distorsion au niveau de la définition d'un référentiel de comparaison, qui a au final une influence sur les niveaux de prix de la construction. Cette distorsion des prix entre pays liée à des paramètres locaux est difficile à extraire dans la comparaison des prix. En conséquence, l'approche retenue dans le cadre de cette étude permet d'obtenir un premier niveau macroscopique d'analyse<sup>85</sup>.

---

<sup>85</sup> Pour une analyse plus fine, il apparaît nécessaire d'utiliser une référence moins soumise aux spécificités locales. Dans ce but, il pourrait être pertinent de retenir une référence dans le secteur non résidentiel, en prenant par exemple comme référentiel un bâtiment d'une chaîne hôtelière internationale. Pour ce type de logement, il est généralement important d'assurer pour le client un cadre connu, indépendant de la localisation. Cette référence permettrait vraisemblablement de limiter les distorsions liées à des choix technologiques particuliers.

## Annexes

### Annexe 1 : Phébus, la genèse

Céline Rouquette, Guillaume Houriez, CGDD/SOeS

Les données collectées par Phébus constituent un ensemble d'informations unique permettant de relier les caractéristiques énergétiques du logement et les comportements de leurs occupants, ouvrant la voie à de nombreuses études dans le domaine des consommations d'énergie dans le logement. Si cet ensemble de données apparaît indispensable, la mise en œuvre de cette première édition, projet pilote, a été longue et complexe. Elle s'est inspirée de deux exemples européens aux Pays Bas et au Royaume Uni et de leurs enseignements.

#### Le montage de Phébus : une opération longue et complexe

Un partenariat a été recherché avec l'Insee dans le cadre de l'enquête nationale logement (ENL). Il s'agissait, pour un sous-échantillon, de coupler au questionnaire de l'ENL la réalisation d'un DPE. Toutefois, les incertitudes sur la programmation de l'enquête logement, initialement prévue en 2011 mais repoussée d'année en année, ont conduit le SOeS à concevoir un dispositif autonome, comportant une enquête ménages dédiée et un DPE.

Pour mener sa réflexion le SOeS s'est entouré d'un « comité des utilisateurs » associant des experts du domaine de l'énergie et de l'habitat, les services de l'État et leurs opérateurs concernés, des fédérations professionnelles et des entreprises privés dans le domaine de l'énergie qui ont ainsi participé à la conception des deux volets du dispositif (enquête ménages et DPE) entre fin 2011 et mi-2012. Il est rapidement apparu que l'indépendance vis-à-vis de l'ENL était une opportunité pour bâtir une enquête ménages spécifique ayant pour objectif de mesurer finement les consommations d'énergie, les comportements énergétiques des ménages, les restrictions de chauffage, etc. La conception de ce nouveau dispositif a également permis, lorsque le comité des utilisateurs l'a jugé nécessaire, de s'affranchir des modalités d'interrogation de l'ENL plus encline à conserver celles des anciennes éditions qu'une enquête entièrement nouvelle. Néanmoins la collaboration du SOeS avec l'Insee à travers leurs participations croisées aux travaux de conception de Phébus et de la nouvelle édition de l'ENL finalement réalisée en 2013-2014, a permis de consolider les deux questionnaires ménages sur leurs parties communes. Cette cohérence contribue à la comparabilité des résultats sur des thèmes communs tels que la précarité énergétique mesurée par le taux d'effort des ménages.

L'indépendance du dispositif vis-à-vis de l'ENL a donc eu des effets très positifs sur la capacité à concevoir un système d'informations performant sur les consommations d'énergie des ménages, mais elle a eu en contrepartie un coût financier : l'enquête ménage spécifique développée dans le cadre de Phébus a représenté environ la moitié du coût total de l'opération. Le SOeS et plus globalement le Commissariat général au développement durable (CGDD) ne pouvait pas supporter seul l'ensemble des coûts.

Le CGDD a donc entrepris de rechercher des financements externes dès l'installation du comité des utilisateurs, puis pendant toute la phase de conception. Après une année et demi de recherche, plusieurs partenariats financiers ont été noués principalement avec d'autres services de l'État et leurs opérateurs, mais aussi avec des fédérations professionnelles et des entreprises privées. Au total, ces partenariats ont contribué à financer un peu plus de 20 % du coût global de l'opération (enquête ménages et DPE).

## Un précédent : des expériences aux Pays-Bas et au Royaume-Uni

L'enquête néerlandaise sur le logement (WoON en néerlandais) avait été lancée pour la première fois en 2005, sur 67 000 ménages échantillonnés dans le registre de population. La participation à l'enquête était volontaire. Parmi les 40 000 répondants, 5 150 ont accepté de répondre à un module sur l'énergie. La performance énergétique du logement était modélisée. Avec l'accord des ménages, les données étaient appariées à leurs données fiscales, aux données du cadastre sur les caractéristiques du bâti, mais aussi à leurs consommations de gaz et d'électricité sur deux ans. Un premier volet était un entretien de 45 minutes avec le ménage échantillonné, conduit à 80 % par téléphone. De plus, une inspection physique du logement, d'une durée de 50 minutes environ, était conduite par des enquêteurs, recrutés parmi des étudiants en ingénierie et en architecture.

Au Royaume-Uni, le dispositif développé est mené tous les ans, sur 18 000 ménages, sur la base du volontariat, par des enquêteurs de l'office statistique britannique, avec une inspection physique de 8 000 logements, deux à trois semaines après la visite, conduite par un réseau d'environ 200 inspecteurs expérimentés géré par une entreprise de diagnostics agréée. Ces informations permettent de produire différents indicateurs, dont l'étiquette de performance énergétique, le niveau de consommation énergétique rapporté au revenu pour évaluer le risque de précarité énergétique.

Les principaux enseignements de ces deux expériences étrangères pour l'équipe initiale de conception de Phébus, en 2008 – 2010, ont été les suivants :

- les deux volets des enquêtes mobilisent des compétences distinctes : la technique d'enquête auprès des ménages, une qualification technique en matière de bâtiment ;
- la préparation de l'enquête exige du temps. La formation des intervenants est un point important de la préparation. La gestion de l'enquête (coordination des deux volets, minimisation des déplacements) et le contrôle de qualité de données (validation avant traitement) sont des tâches essentielles.

Le dispositif Phébus, construit pour poursuivre des objectifs similaires à ceux de nos voisins britannique et néerlandais, s'est donc largement inspiré de leurs expériences : couplage d'un entretien et d'un diagnostic thermique du logement, recours à des professionnels différents pour ces deux parties, association au projet des services de l'État ou des opérateurs concernés par ces problématiques.

## Annexe 2 : Descriptif des dispositifs incitatifs pour le parc privé

Aude Couriol, DGALN/DHUP,  
Amélie Mauroux, Dimitri Fuk Chun Wing, CGDD/SEEIDD

### Le Crédit d'impôt développement durable

Le crédit d'impôt développement durable permet de déduire de l'impôt sur le revenu 15 % ou 25 % (selon l'ampleur des travaux) des dépenses réalisées pour certains travaux d'amélioration de la performance énergétique<sup>86</sup>. Si ce crédit d'impôt est supérieur au montant de l'impôt dû, ou si le contribuable est non-imposable, l'excédent est remboursé.

#### Qui ?

Le CIDD est applicable pour les travaux réalisés jusqu'au 31 décembre 2015 pour les propriétaires occupants ainsi que pour les locataires.

#### Quel logement ?

Le logement, maison individuelle ou appartement, doit être utilisé comme habitation principale. Les logements éligibles sont les logements achevés depuis plus de 2 ans.

#### Quels équipements et quels travaux ?

Pour bénéficier du crédit d'impôt au taux de 25 %, les dépenses payées doivent constituer un « bouquet de travaux » correspondant à la combinaison d'au moins deux actions efficaces d'amélioration de la performance énergétique, parmi les 6 catégories listées ci-dessous, réalisées (c'est-à-dire payées) au titre d'une même année ou sur deux années consécutives<sup>87</sup> :

- isolation des parois opaques (murs) ;
- isolation des parois opaques (toiture) ;
- isolation des parois vitrées ;
- équipements de chauffage ou de production d'eau chaude fonctionnant au bois ou autre biomasse ;
- équipements de production d'eau chaude sanitaire (autre énergie renouvelable) ;
- chaudières, équipements de production d'énergie utilisant une source d'énergie renouvelable (sauf panneaux solaires photovoltaïques), pompes à chaleur.

Les équipements doivent être fournis par l'entreprise qui effectue leur installation et respecter des critères techniques fixés par les dispositions fiscales en vigueur.

Cependant, les ménages bénéficiant du plafonnement de la taxe d'habitation, comme défini au II de l'article 1 417 du CGI, peuvent bénéficier du CIDD pour une action seule au taux de 15 %.

Certains travaux ne font pas partie des catégories de bouquets de travaux éligibles et peuvent bénéficier d'un taux de 15 %, en action seule pour les ménages modestes. C'est le cas par exemple, de l'isolation thermique des planchers bas, de l'installation d'appareils de régulation et de programmation de chauffage, de l'installation de volets isolants, etc....

Depuis la création du CIDD en 2005, les taux de crédit sont régulièrement révisés (voir Tableau). La notion de bouquet de travaux a été introduite en 2012. Jusqu'au 31 décembre 2013, les taux de crédit étaient différenciés par nature de travaux.

<sup>86</sup> Barèmes en vigueur depuis le 1er janvier 2014 (à la date du 1<sup>er</sup> juillet 2014).

<sup>87</sup> Dans ce dernier cas, le contribuable devra porter, sur sa déclaration d'impôt de la deuxième année, l'ensemble des dépenses payées durant cette période.



**Tableau : Taux de subvention en pourcentage des dépenses d'investissement ouvrant droit au CIDD**

En %	2005	2006-2008	2009	2010	2011	2012-2013	
						1 action	Plusieurs actions
<b>Isolation du bâti :</b>							
- Parois opaques	25	25 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>	25	22	15	23
- Parois vitrées	25	25 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>	15	13,5	10	18
<b>Systèmes de chauffage :</b>							
- Appareils de régulation du chauffage	25	25 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>	25	22	15	0
- Chaudière basse température	15	15	0	0	0	0	0
- Chaudière à condensation	25	25 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>	15	13,5	10	18
- Chauffage au bois	40	50	40	25 / 40 <sup>(2)</sup>	22 / 36 <sup>(2)</sup>	15 / 26 <sup>(2)</sup>	23 / 34 <sup>(2)</sup>
- Pompe à chaleur	40	50	40	25 / 40	22 / 36	15 / 26	23 / 34
<b>Production d'énergie renouvelable :</b>							
- solaire thermique, éolien, etc.	40	50	50	50	45	32	40
- photovoltaïque	40	50	50	25	22	11	0

<sup>(1)</sup> taux majoré à 40 % en cas de durée d'occupation inférieure à 3 ans dans un logement construit avant 1977.

<sup>(2)</sup> taux majoré à 40 %, 36 % puis 26 % ou 34 % en cas de remplacement d'un ancien système de chauffage au bois.

Lecture : En 2005, le taux de crédit d'impôt pour l'isolation des parois vitrées est de 25 %.

Note : La subvention des travaux d'isolation du plafond au titre du CIDD ne commence qu'en 2008. À partir de 2009, les frais de main-d'œuvre sont subventionnés par le CIDD pour les travaux d'isolation sur parois opaques.

### Quels montants ?

Le montant du crédit d'impôt est égal au produit d'un taux, qui dépend de l'investissement réalisé, et des dépenses engagées à l'exclusion de la main d'œuvre sauf précision contraire. Le montant des dépenses éligibles est plafonné par période de cinq années pour les propriétaires occupants :

- 8 000 € pour une personne seule
- 16 000 € pour un couple
- le plafond est majoré de 400 € par personne à charge.

### Textes législatifs et réglementaires associés :

- Définition des taux et catégories de travaux éligibles : article 200 quater du Code Général des Impôts
- Définition des critères de performance requis sur les équipements et travaux : article 18 bis de l'annexe IV du CGI et instruction fiscale du 23 avril 2012 (BOI 5 B-18-12).

## L'éco-prêt à taux zéro ou éco-PTZ

L'éco-prêt à taux zéro est un prêt à taux d'intérêt nul et accessible sans condition de ressources, pour financer un ensemble cohérent de travaux d'amélioration de la performance énergétique.

### Qui ?

Jusqu'au 31 décembre 2015, les propriétaires suivants peuvent bénéficier de ce prêt :

- les personnes physiques (propriétaire occupant ou bailleur) y compris en copropriété
- les sociétés civiles non soumises à l'impôt sur les sociétés, dont au moins un des associés est une personne physique.

### Quel logement ?

Le logement doit être :

- une maison individuelle ou un appartement
- utilisé comme résidence principale
- achevé avant le 1<sup>er</sup> janvier 1990, et après le 1<sup>er</sup> janvier 1948 pour l'option « performance énergétique globale ».

Un seul éco-prêt à taux zéro peut être accordé par logement.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014, l'éco-PTZ peut être mobilisé directement par le syndicat des copropriétaires pour financer les travaux d'économies d'énergie réalisés sur les parties communes de la copropriété ou les travaux d'intérêt collectif réalisés sur les parties privatives. Chaque copropriétaire peut ensuite bénéficier d'un éco-PTZ individuel en complément de cet éco-PTZ copropriétés pour financer d'autres travaux que ceux réalisés par la copropriété.

### Quels équipements et quels travaux ?

Les matériaux et équipements éligibles doivent être fournis et posés par un professionnel pour le compte du propriétaire, de la copropriété, ou des deux concomitamment.

Les travaux ouvrant droit à l'éco-PTZ doivent respecter des critères techniques et doivent soit :

- constituer un « bouquet de travaux » c'est-à-dire la combinaison d'au moins deux catégories de travaux éligibles parmi les catégories suivantes :
  - o Isolation de la toiture
  - o Isolation des murs donnant sur l'extérieur
  - o Remplacement des fenêtres et portes donnant sur l'extérieur
  - o Travaux d'installation, de régulation ou de remplacement de systèmes de chauffage (associé le cas échéant à des systèmes de ventilation performants ou de production d'eau chaude sanitaire performants)
  - o Travaux d'installation d'un système de chauffage utilisant une source d'énergie renouvelable
  - o Travaux d'installation d'équipements de production d'eau chaude sanitaire utilisant une source d'énergie renouvelable
- atteindre une « performance énergétique globale » minimale du logement, calculée selon la méthode Th-C-E ex qui dépend de la performance du logement avant travaux
- constituer des travaux de réhabilitation de systèmes d'assainissement non collectif par des dispositifs ne consommant pas d'énergie.

L'éco-PTZ copropriétés et l'éco-PTZ individuel complémentaire peuvent financer la réalisation de travaux appartenant à une seule des catégories parmi celles listées ci-dessus. Les équipements doivent respecter des critères techniques fixés par les dispositions fiscales en vigueur.

**Quels montants ?**

Le montant de l'éco-PTZ est égal au montant des dépenses éligibles, dans la limite des plafonds suivants :

- 10 000 € pour une action simple en copropriété ou pour un assainissement non collectif
- 20 000 € pour la réalisation d'un bouquet de travaux composé de deux actions
- 30 000 € pour la réalisation d'un bouquet de travaux composé de trois actions ou l'atteinte d'une performance énergétique globale

L'éco-prêt à taux zéro peut financer les dépenses afférentes aux travaux :

- le coût de la fourniture et la pose des équipements, produits et ouvrages nécessaires à la réalisation des travaux d'économies d'énergie
- le coût de la dépose et de la mise en décharge des ouvrages, produits et équipements existants
- les frais de maîtrise d'œuvre et des études relatives aux travaux
- les frais de l'assurance maître d'ouvrage éventuellement souscrite par l'emprunteur
- le coût des travaux induits, indissociablement liés aux travaux d'économies d'énergie.

La durée de remboursement est de 10 ans. Elle est portée à 15 ans pour les travaux de rénovation les plus lourds (bouquets de trois actions ou plus, option « performance énergétique globale »). Elle peut être réduite jusqu'à un minimum de 3 ans.

**Textes législatifs et réglementaires associés :**

- définition du dispositif : article 244 quater du CGI et articles R.319-1 à R.319-34 du CCH
- définition des critères de performance requis sur les équipements et travaux : arrêtés du 30 mars 2009 et du 25 mai 2011 modifiés par des arrêtés du 3 mai 2012 et un arrêté du 27 décembre 2013.

**La prime rénovation énergétique de 1 350 €****Qui ?**

Pour être éligible, le demandeur doit être :

- propriétaire occupant du logement dans lequel les travaux sont réalisés, ce logement doit constituer sa résidence principale
- situé sous des plafonds de ressources qui dépendent de la composition du ménage.

**Quel logement ?**

Le logement :

- doit être situé sur le territoire national
- doit être achevé depuis plus de deux ans
- ne doit pas avoir déjà fait l'objet d'une prime rénovation énergétique
- ne doit pas faire l'objet d'une aide de solidarité écologique du programme Habiter Mieux de l'Anah.

La prime est cumulable en revanche avec le CIDD et l'éco-PTZ.

**Quels équipements et quels travaux ?**

Pour bénéficier de la prime, les travaux doivent :

- être constitués d'actions relevant d'au moins deux des catégories suivantes :
  - o travaux d'isolation thermique de la totalité de la toiture

- o travaux d'isolation thermique de la moitié au moins des murs donnant sur l'extérieur
- o travaux d'isolation thermique de la moitié au moins des parois vitrées donnant sur l'extérieur
- o travaux d'installation de chaudières à condensation, de chaudières à micro-cogénération gaz ou de pompes à chaleur autres que air/air
- o travaux d'installation de chaudières ou d'équipements de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire fonctionnant au bois ou autre biomasse
- o travaux d'installation d'équipements de production d'eau chaude sanitaire utilisant une source d'énergie renouvelable.

Les équipements doivent respecter des critères techniques fixés par les dispositions fiscales en vigueur.

- être réalisés par des professionnels.

#### **Quel montant ?**

La prime d'aide à la rénovation énergétique est une prime forfaitaire d'un montant de 1 350 €. Aucun montant minimal de travaux n'est exigé pour en bénéficier.

La prime est distribuée par l'Agence de services de paiement (ASP). Une procédure en ligne permet dans un premier temps aux particuliers d'effectuer une demande d'engagement sur la base de devis puis d'attester par la suite de la bonne réalisation des travaux. La prime est alors versée une fois les travaux réalisés et la procédure en ligne terminée.

#### **Textes législatifs et réglementaires associés :**

- convention du 19 août 2013 entre l'État et l'Agence de services et de paiement (ASP) relative au programme d'investissements d'avenir (action : « rénovation thermique des logements privés - prime exceptionnelle »)
- décret du 17 septembre 2013, relatif aux modalités d'attribution de la prime exceptionnelle d'aide à la rénovation thermique des logements privés.

## **La TVA à taux réduit à 5,5 %**

#### **Qui ?**

Peuvent en bénéficier :

- les propriétaires occupants, bailleurs ou syndicats de propriétaires
- les locataires et occupants à titre gratuit
- une société civile immobilière.

#### **Quel logement ?**

Le logement faisant l'objet des travaux doit être :

- achevé depuis plus de 2 ans
- occupé à titre de résidence principale ou secondaire.

#### **Quels équipements et quels travaux ?**

La TVA à taux réduit à 5,5 % s'applique aux travaux visant l'installation (pose, dépose et mise en décharge des ouvrages, produits ou équipements existants) des matériaux et équipements éligibles au CIDD, sous réserve du respect des caractéristiques techniques et des critères de performances minimales qui déterminent son éligibilité.

Le taux réduit s'applique aussi aux travaux induits indissociablement liés à la réalisation de ces travaux.

Pour les autres travaux de rénovation, le taux réduit appliqué est de 10 %, à l'exception :

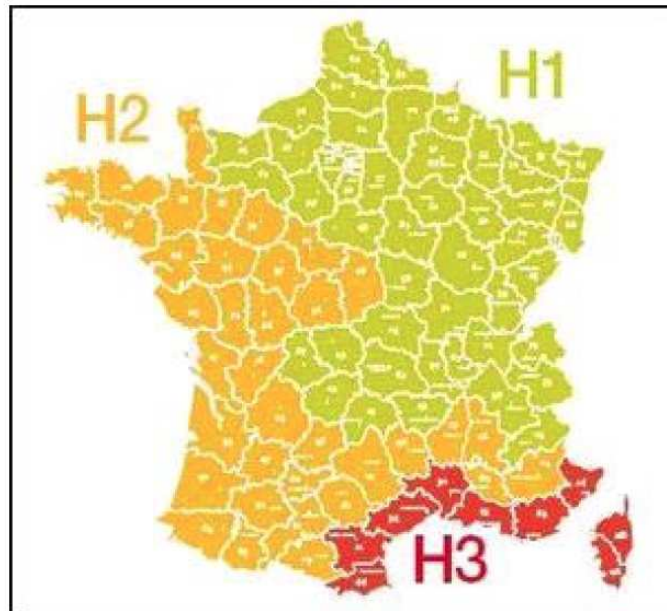
- de gros équipements comme les systèmes de climatisation (notamment pompes à chaleur de type air/air), les installations sanitaires (type cabine hammam ou sauna prête à poser), les ascenseurs et certains types de chauffage (cuve à fioul, citerne à gaz, pompe à chaleur...)
- des travaux qui, sur une période de 2 ans, remettent à l'état neuf plus des 2/3 chacun des éléments de second œuvre (planchers non porteurs, installations sanitaires et de plomberie, fenêtres et portes extérieures, installations électriques, cloisons intérieures, systèmes de chauffage) ou plus de la moitié du gros œuvre
- des travaux qui ont pour effet d'augmenter de plus de 10 % la surface du plancher des locaux existants.

Dans ce cas le taux de TVA normal s'applique, fixé à 20 % à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2014.

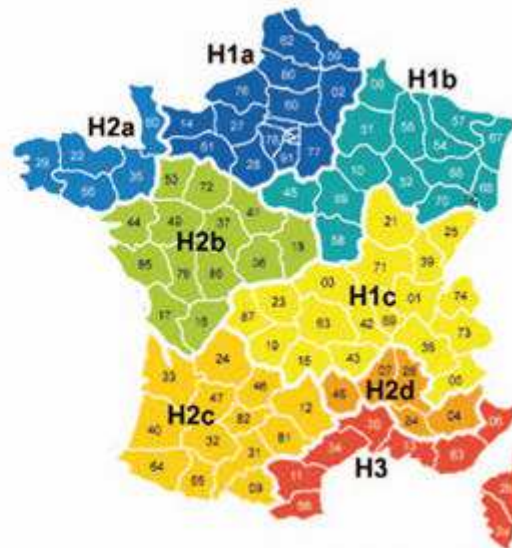
**Textes législatifs et réglementaires associés :**

- liste des travaux soumis au taux de TVA de 10 % : Article 279-0 bis du CGI
- liste des travaux soumis au taux réduit de 5,5 % : Article 278-0 ter du CGI
- liste des gros équipements non éligibles : Article 30-00 A de l'annexe IV du CGI.

## Annexe 3 : Répartition des zones climatiques en France



Zones d'hiver	Zones d'été
zone H1	zone H1a zone H1b zone H1c
zone H2	zone H2a zone H2b zone H2c zone H2d
zone H3	zone H3





## Bibliographie

Les documents présentés dans cette bibliographie sont consultables au CRDD, Centre de ressources du Développement durable du Commissariat général au Développement durable

Tour Séquoia – 21.19 - 92055 La Défense cedex

Tél. 01 40 81 17 92 /93

[crdd@developpement-durable.gouv.fr](mailto:crdd@developpement-durable.gouv.fr)

Ouvert de 9 h à 17 h 30

Site et base de données (65 000 références) : [www.crdd.developpement-durable.gouv.fr](http://www.crdd.developpement-durable.gouv.fr)

\*\*\*\*\*

### Sites Internet

#### Ministère de l'écologie

##### – Rubrique Bâtiment et énergie

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Batiment-et-energie-.html>

##### – Zoom sur la nouvelle réglementation thermique

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-RT2012-un-saut-energetique-pour.html>

#### Plan Bâtiment durable

<http://www.planbatimentdurable.fr/>

#### ADEME

##### – Bâtiment

<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12624>

##### – Espace écocitoyens – Mon habitation

<http://www.ecocitoyens.ademe.fr/mon-habitation>

#### OPEN - Observatoire Permanent de l'amélioration Énergétique du logement

<http://www.precarite-energie.org/Observatoire-Permanent-de-l.html>

#### RT bâtiment - Les économies d'énergie dans le bâtiment.

<http://www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/reglementation-thermique-2012/presentation.html>

#### Fondation Bâtiment-Énergie

<http://www.batiment-energie.org/>

## Études - Ouvrages

**Plan Bâtiment durable.** Rapport d'activité 2013.

<http://www.planbatimentdurable.fr/les-rapports-d-activite-r119.html>

Paris, Plan Bâtiment durable, 2014 – 114 p.

Ministère de l'écologie, CGDD Service de l'observation et des statistiques, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, Observatoire de l'énergie

**Chiffres clés de l'énergie. Edition 2013.**

<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/2113/994/chiffres-cles-lenergie-edition-2013.html>

Repères CGDD, Paris, 2014 - 48 p.

Ministère de l'écologie, CGDD, Service de l'observation et des statistiques

**Bilan énergétique de la France pour 2013,**

<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/2101/969/bilan-energetique-france-2013.html>

RéférenceS, Paris, 2014 - 168 p.

Ministère de l'écologie, direction générale de l'énergie et du climat

**Plan d'action de la France en matière d'efficacité énergétique – 2014.**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-France-remet-son-plan-d-action.html>

Paris, 2014 - 117 p.

Ministère des finances et des comptes publics, Ministère du logement et de l'égalité des territoires, Conseil général de l'environnement et du développement durable

REDOUIN (JP), BAIETTO-BEYSSON (S), CHAPELON (J)

**Financement des travaux de rénovation thermique par les ménages modestes.**

<http://www.territoires.gouv.fr/rapport-sur-le-financement-des-travaux-de-renovation-thermique-par-les-menages-modestes>

Ministère du logement et de l'égalité des territoires, Paris, 2014 – 47 p.

Plan bâtiment durable, CAPEB, ESSEC BUSINESS SCHOOL

BASIL (S), NAPPI-CHOLET (I)

**Rapport du chantier « Rénovation énergétique et filière bâtiment » - REFB. Rapport à Philippe Pelletier, président du Plan Bâtiment durable. - Juillet 2014,**

[http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/140703\\_\\_Rapport\\_REFB\\_Plan\\_Batiment\\_Durable\\_version\\_definitive.pdf](http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/140703__Rapport_REFB_Plan_Batiment_Durable_version_definitive.pdf)

Plan bâtiment durable, Paris, 2014 – 52 p.

Plan urbanisme construction architecture, Agence nationale de l'habitat

**Amélioration énergétique en copropriétés.**

- Cahier n° 1 : Les leviers pour déclencher les travaux. Septembre 2012.

- Cahier n° 2 : Les leviers pour déclencher les travaux. Les copropriétés passionnent. Mars 2013.

- Cahier n° 3 : Les leviers pour déclencher les travaux. Copropriétés : « work in progress ». Octobre 2013.

- Cahier n° 4 : Les leviers pour déclencher les travaux. Outils technico-financiers, acteurs et méthodes. Avril 2014.

[http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/activites/actions\\_energie\\_copros.htm](http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/activites/actions_energie_copros.htm)

Paris, PUCA

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

**Climat, air et énergie. Edition 2013.**

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=91342&p1=30&ref=12441>

Chiffres clés, Angers, 2014 - 136 p.

Réseau Action climat France, Institut Négawatt

**La transition énergétique du secteur du bâtiment.**

<http://www.institut-negawatt.com/page.php?id=21>

Institut Négawatt, Valence, 2014 – 86 p.

UFC-QUE CHOISIR

**Rénovation énergétique des logements : la piètre performance des professionnels impose une reconstruction du système.**

[http://www.quechoisir.org/media/fichiers/etudes/140527\\_etude-renovation-energetique](http://www.quechoisir.org/media/fichiers/etudes/140527_etude-renovation-energetique)

UFC-Que choisir, Paris, 2014 – 38 p.

CGDD Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

PENOT ANTONIOU L., ZOBIRI R.

**Les déterminants de la température de chauffage adoptée par les ménages.**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-determinants-de-la-temperature.html>

Ministère de l'écologie, Etudes et documents du CGDD N° 83, 2013 - 40 p.

REINMANN I., ORTEGA O., MATAGNE T., MAURUS P.

**Les financements innovants de l'efficacité énergétique. Rapport à Philippe Pelletier, avocat, président du Plan Bâtiment durable - Février 2013.**

Tome 1 – Propositions - 141 p.

Tome 2 – Contributions - 359 p.

<http://www.legrenelle-environnement.fr/Publication-du-rapport.html>

Ministère de l'écologie, Paris, 2013

Ministère de l'écologie, Direction générale de l'énergie et du climat

**Politiques climat et efficacité énergétique - Synthèse des engagements et résultats de la France. Plan climat de la France - Actualisation 2013.**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-plan-climat-de-la-France-plan-d,14496.html>

Ministère de l'écologie, Paris, 2013 - 39 p.

Conseil économique pour le développement durable

QUINET A., CRASSOUS R., TUTENUIT C., LECOCQ F., BUREAU D., CECI RENAUD N., THAO KHAMSING W.

**La rénovation énergétique des bâtiments. Politiques publiques et comportements privés.**

- QUINET A., CRASSOUS R. - Pour un modèle économique de rénovation énergétique dans le bâtiment.
- TUTENUIT C. - La rénovation énergétique des bâtiments existants : retour d'expérience "d'entreprises pour l'environnement".
- LECOCQ F. - Synthèse des travaux du CIRED.
- BUREAU D. - Les enseignements à tirer de sept études sur l'efficacité énergétique du parc résidentiel.
- CECI RENAUD N., THAO KHAMSING W. - Les enjeux d'une information fiable sur la performance énergétique des logements : leçons des expériences en matière d'affichage environnemental.

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapports,13175.html>

Ministère de l'écologie, Paris, 2013 - 44 p.

Ministère de l'égalité des territoires et du logement, Ministère de l'écologie, Caisse des dépôts

**Rapport intermédiaire sur le financement de la rénovation énergétique des logements privés.**

<http://www.cdcclimat.com/Rapport-de-la-Caisse-des-Depots.html>

Paris, CDC, 2013 – 126 p.

Agence de l'environnement et de la Maîtrise de l'énergie

**Les chiffres clés du bâtiment. Edition 2013.**

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=91787&p1=30&ref=12441>

ADEME, Paris, 2013 - 92 p.

**Mener une rénovation énergétique en copropriété. Guide pratique.**

<http://www.ecocitoyens.ademe.fr/node/1055>

**Rénovation énergétique de l'habitat privé : initiatives territoriales d'accompagnement.**

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=88251&p1=30&ref=12441>

ADEME, Angers, 2013

Conseil économique social et environnemental

de BETHENCOURT A., CHORIN J.

**Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire.**

<http://www.lecese.fr/travaux-publies/efficacite-energetique-un-gisement-deconomies-un-objectif-prioritaire>

Journal officiel, Avis et rapports n° 1, Paris, 2013 - 86 p.

Conseil économique social et environnemental

VIRLOUVET G.

**Financer la transition écologique et énergétique.**

<http://www.lecese.fr/travaux-publies/financer-la-transition-ecologique-et-energetique>

Journal officiel, Avis et rapports n° 18, Paris, 2013 - 116 p.

Development Institute international

DELEERSNYDER L., BOSCARI D., MEUNIER S., JUHE E., JARRY G., LE BOUCHER T., PARISOT G.

**Performance énergétique des bâtiments 2013. De la rénovation aux financements innovants. 6ème conférence annuelle - Paris, 15 novembre 2013. Paris, 2013 - 250 p.**

GRANDJEAN A., SAVI C., SIVY C., BURCKEL D., LEGRAND E., MANN R., MAGENTA T.

**Rénovation énergétique des logements : pour une politique volontariste.**

<http://www.tnova.fr/note/r-novation-nerg-tique-des-logements-pour-une-politique-volontariste>

Terra Nova, Paris, 2013 – 23 p.

Direction générale aménagement logement nature, plan urbanisme construction architecture, Association planète copropriété

**Comment développer la création de fonds travaux dans les copropriétés pour favoriser les rénovations énergétiques.**

<http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/activites/rapport-developper-renovations-energetiques.pdf>

PUCA, Paris, 2013 – 148 p.

CHANUT J., CLAUSTRE R.

**Explorer l'obligation de rénovation énergétique dans le secteur résidentiel. Rapport à Philippe Pelletier, Président du Plan Bâtiment durable.**

<http://www.planbatimentdurable.fr/explorer-l-obligation-de-r161.html>

Plan Bâtiment durable, Paris, 2013 – 78 p.

CLERET C., BOYER B.

**Embarquement immédiat pour un bâti sobre, robuste et désirable. Rapport d'étape du groupe « Réflexion Bâtiment Responsable 2020-2050 ».**

[http://www.planbatimentdurable.fr/publication-du-rapport-a664.html?id\\_rubrique=142](http://www.planbatimentdurable.fr/publication-du-rapport-a664.html?id_rubrique=142)

Plan bâtiment durable, Paris, 2013 – 37 p.

Ministère de l'écologie, Centre d'analyse stratégique

BUBA J., MILLION A., DE PERTHUIS C., SCAPECCHI P., TEISSIER O.

**Trajectoires 2020-2050. Vers une économie sobre en carbone.**

[http://www.strategie.gouv.fr/system/files/2011-12-12-trajectoires\\_2020-2050\\_-\\_developpementdurable.pdf.pdf](http://www.strategie.gouv.fr/system/files/2011-12-12-trajectoires_2020-2050_-_developpementdurable.pdf.pdf)

La Documentation française, Rapports et documents n° 46, Paris, 2012 - 227 p.

INSEE Direction des études et synthèses économiques

MAUROUX A.

**Le crédit d'impôt dédié au développement durable : une évaluation économétrique.**

[http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg\\_id=0&ref\\_id=G201211](http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=0&ref_id=G201211)

Document de travail INSEE N° G 2012/11, Paris, 2012 - 52 p.

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie l'énergie, *in numeri*

GAUDIN T., VESINE E.

**Marchés, emplois et enjeu énergétique des activités liées à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables. Situation 2010-2011, prévisions 2012.**

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=-1&cid=96&m=3&id=85734&ref=14229&nocache=yes&p1=111>

ADEME, Paris, 2012 - 191 p.

Association NEGAWATT

SALOMON T., JEDLICZKA M., MARIGNAC Y.

**Manifeste négaWatt. Réussir la transition énergétique.**

Actes Sud, Domaine du possible, Arles, 2012 - 369 p.

BERGOUGNOUX J.

**Des technologies compétitives au service du développement durable.**

<http://www.strategie.gouv.fr/content/rapport-des-technologies-competitives-au-service-du-developpement-durable>

Rapports et documents, Paris, Centre d'analyse stratégique, 2012 - 371 p.

SIDLER O.

**La rénovation thermique des bâtiments en France : enjeux et stratégie.**

<http://www.enertech.fr/rubrique-La+r%C3%A9novation+basse+consommation-48-219.html>

Enertech, 2012 - 47 p.

CGDD Service de l'observation et des statistiques

GHEWY X., GREGOIRE P., PASQUIER JL., ROY A., SAILLEAU N.

**Consommation des ménages et environnement - Édition 2011.**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Consommation-des-menages-et.html>

Paris, Ministère de l'écologie, 2011 – Collection Repères CGDD - 52 p.

Plan bâtiment Grenelle

PELLETIER P.

**Pour une meilleure efficacité des aides à la performance énergétique des logements privés.**

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/114000292/>

Ministère de l'écologie, Paris, 2011 - 74 p.

FARGE (Y), REINMANN (I), ROLLIN (F)

**Leviers à l'innovation dans le secteur du bâtiment. Rapport final - septembre 2011.**

<http://www.legrenelle-environnement.gouv.fr/IMG/pdf/innovation.pdf>

Plan Bâtiment Grenelle, Paris, 2011 - 115 p.,



Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, CGDD service de l'observation et des statistiques, réseau des agences régionales de l'énergie et de l'environnement.

#### **Cahiers de l'observation de l'énergie et des GES**

**Cahier technique n°2 – Observation des consommations énergétiques dans le résidentiel tertiaire au niveau régional, 29p**

[http://www.rare.fr/cahiers\\_observation\\_GES/index.html](http://www.rare.fr/cahiers_observation_GES/index.html)

ADEME, Angers, 2011

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, Centre international de recherche sur l'environnement et le développement, Centre scientifique et technique du bâtiment, SOGREAH

BERTHON (C), CHOTARD (D), GIRAUDET (LG), LAURENCEAU (S), MILLION (M)

#### **Analyse préliminaire de la valeur verte pour les logements.**

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=82882&p1=02&p2=06&ref=17597>

ADEME, Paris, 2011 - 93 p.

CGDD Délégation au développement durable

#### **Les filières industrielles stratégiques de l'économie verte - Rapport.**

[www.developpement-durable.gouv.fr/Les-filières-industrielles,15043.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-filières-industrielles,15043.html)

Ministère de l'écologie, RéférenceS, 2010 - 174 p.

#### **Construire durable.**

Moniteur des travaux publics et du bâtiment, hors-série, Paris 2010 - 196 p.

Club d'ingénierie prospective énergie environnement

CAFFIAUX S., JOLITON D., LAURENT MH., MAZZENGA A., TRAISNEL JP.

**Habitat Facteur 4. Etude d'une réduction des émissions de CO2 liées au confort thermique dans l'habitat à l'horizon 2050.**

<http://www.iddri.org/Publications/Les-cahiers-du-CLIP/Habitat-Facteur-4>

IDDRI, Paris, 2010 - 104 p.

CGDD Service de l'observation et des statistiques

BALAN S., BERRET P.

**Travaux d'amélioration de la performance énergétique dans les bâtiments existants (2007-2009).**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Travaux-d-amelioration-de-la.html>

Ministère de l'écologie, Etudes et documents du CGDD N° 29, 2010 - 40 p.

MAC KINSEY

**Pathways to a low-carbon economy. Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve.**

2009 - 189 p.

DTZ

**Le livre blanc de l'immobilier durable**

<http://www.dtz-immo.fr/fr/etudes-immobilieres/le-livre-blanc-de-l-immobilier-durable>

Paris, 2009 - 51 p.

Organisation de coopération et de développement économiques, Agence internationale de l'énergie

**Implementing energy efficiency policies 2009. Are IEA member countries on track ?**

OCDE, Paris, 2009 - 125 p.

Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Assemblée nationale, Sénat

BATAILLE C., BIRRAUX C.

**Rapport sur la performance énergétique des bâtiments. Comment moduler la règle pour mieux atteindre les objectifs ?**

<http://www.senat.fr/rap/r09-135/r09-1351.pdf>

Assemblée nationale, AN n° 2141, 135, Paris, 2009 - 89 p.

LAPOSTOLET B., de QUERO A.

**Plan Bâtiment-Grenelle. Rapport du groupe de travail Précarité énergétique.**

<http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/104000012/0000.pdf>

Ministère de l'écologie, Rapport au ministre de l'écologie, Paris, 2009 - 52 p.

BOSTON CONSULTING GROUP

**Réflexions sur le portefeuille de mesures Grenelle environnement.**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Une-etude-sur-l-impact-economique.html>

Boston Consulting Group, Paris, 2009 - 88 p.

Ministère de l'écologie et du développement durable, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

JACQ A., ORPHELIN M.

**Rénovation des bâtiments existants. Grenelle de l'environnement. Rapport du comité opérationnel - COMOP n° 3 - Partie 1.**

<http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/084000504/0000.pdf>

Ministère de l'écologie et du développement durable, Paris, 2008 - 115 p.

Ministère de l'écologie et du développement durable

MAUGARD A., ROGER MC., VOELTZEL-LEVEQUE A.

Bâtiments neufs publics et privés. Grenelle de l'environnement - Rapport du comité opérationnel 1.

<http://lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/084000500/0000.pdf>

Ministère de l'écologie et du développement durable, Paris, 2008 - 46 p.

## Articles de revues spécialisées

Institut du développement durable et des relations internationales

JULIA PE., MILIN C., RUDINGER A.

**Le Green Deal britannique : quels enseignements pour la politique de rénovation énergétique des logements en France ?**

<http://www.iddri.org/Publications/Le-Green-Deal-britannique-quels-enseignements-pour-la-politique-de-renovation-energetique-des-logements-en-France>

Working paper IDDRI n° 11, p. 1-19, - 14/07/2014

FABREGAT S., COLLET P., LAPERCHE D., BOUGHRIET R.

**Rénovation énergétique : le nouveau dispositif RGE (Reconnu Garant de l'Environnement) en question.** (Le nouveau dispositif RGE sera-t-il suffisant pour relancer le marché de la rénovation ? Financements de la rénovation : prise en compte du label RGE).

Environnement et technique n° 338, p. 45-53, 01/07/2014

BULLIER A., MILIN C.

**Dispositifs de financement alternatifs pour la rénovation énergétique du bâtiment.**

In « Autour de la transition énergétique. Questions et débats d'actualité ».

<http://www.global-chance.org/Autour-de-la-transition-energetique-questions-et-debats-d-actualite>

Cahiers de Global Chance, n° 35, p. 12-23 – 01/06/2014

**Mentions RGE (Reconnu garant de l'environnement) et documents RAGE (Règles de l'art Grenelle environnement) : efficacité énergétique à tous les étages.**

Enjeux AFNOR n° 344, p. 40-42 – 01/05/2014

**Plan bâtiment durable. Des efforts restent à réaliser dans la rénovation.**

Environnement et technique n° 334, p. 36-37 – 01/03/2014

DERKENNE C.

**Des ménages acteurs de la gestion de l'énergie dans leur logement.**

<http://ademe-et-vous.ademe.fr/strategieetudes-n-39-04-fevrier-2014>

Ademe et vous - Stratégie et études n° 39, p. 1-4 – 04/02/2014

PELLETIER P., ORTEGA O., BRUNET JM., BAUDRU H.

**Plan bâtiment durable : le temps de l'action collective.**

(Quelles solutions pour financer le coût de la rénovation énergétique ? Les financements innovants pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments tertiaires).

L'Observateur de l'immobilier, n° 87, p. 32-48, 01/12/2013

PERROT L.

**Comment développer la création de fonds travaux dans les copropriétés pour favoriser les rénovations énergétiques ?**

<http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/4pages/4-pages-Puca-n11-nov2013.pdf>

Le 4 pages du PUCA, n° 11 – 01/11/2013

BOYER B., GATIER J., MOULAS L., MORDAUNT CROOK N.

**Spécial Immobilier durable.**

Une vision pour l'avenir : les bâtiments responsables 2020-2050.

Un plan collectif d'action : d'un projet de société à une société de projets.

Une mesure fiable de l'efficacité énergétique.

Du développement durable à l'investissement socialement responsable.

Réflexions Immobilières n° 66, p. 5-76, 01/10/2013

**Comment mobiliser des fonds pour la rénovation thermique ?**

Energie Plus n° 502, p. 12 - 15/03/2013

**La performance énergétique pour tous – RT 2012 et maisons individuelles**

Moniteur des travaux publics et du bâtiment n° 5698, p. 34-38 et cahier pratique, 08/03/2013

CHARLIER D.

**La rénovation énergétique en France dans le secteur résidentiel privé**

Revue de l'OFCE n° 128, p. 395-419, 01/03/2013

**Rénovation thermique : un plan ambitieux**

<http://ademe-et-vous.ademe.fr/le-magazine-n-63-dossier>

Ademe et vous magazine n° 63, p. 7-13 – 01/03/2013

**Dossier. Rénover pour mieux consommer.**

La rénovation énergétique, grand chantier du quinquennat. Financer l'efficacité énergétique.

Gaz d'aujourd'hui n° 2, p. 26-35 - 01/03/2013

**Plan bâtiment durable : six pistes pour faire émerger le tiers financement.**

Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment n° 5700, p. 16 - 22/02/2013

SANCHEZ F., DERDEVET M., LEMOULT B., CHATEAU B., APPERT O., BERETTA J., DE MONCLIN B., JEDLICZKA M.

**Dossier spécial Transition énergétique. La rénovation des bâtiments est une des clés de la réussite.**

Energie Plus n° 500, p. 6-35 - 15/02/2013

BARREAU B., DUJIN A.

**Comment limiter l'effet rebond des politiques d'efficacité énergétique dans le logement ? L'importance des incitations comportementales.**

<http://www.strategie.gouv.fr>

Note d'analyse du Centre d'analyse stratégique n° 320, p. 1-14, 01/02/2013

QUENTIN G.

**Quels choix pour les primo-accédants face au BBC (bâtiment basse consommation).**

L'Observateur de l'Immobilier, n° 84, p. 21-31, 01/12/2012

**Objectif bâtiments positifs. Révolutionner les habitudes dans le bâtiment.**

(Les opérations "bâtiments à énergie positive" –Bepos- en chiffres)

Ademe et vous magazine n° 60, p. 7-13, web – 01/11/2012

LAGANDRE E.

**Améliorer les performances thermiques des logements.**

Revue de l'énergie n° 610, p. 405-417, 01/11/2012

**Logement : priorité à la rénovation thermique.**

Alternatives économiques, n° 317, p. 44-46 - 01/10/2012

CGDD Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable  
MARCUS (V), MEILHAC (C), PENOT ANTONIOU (L)

**Le crédit d'impôt développement durable : 1,4 million de bénéficiaires en 2010, très majoritairement propriétaires de maisons individuelles.**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-credit-d-impot-developpement,29859.html>

Le Point sur - Economie et évaluation - Développement durable n° 147, p. 1-4, 01/10/2012

CGDD Service de l'observation et des statistiques  
CAVAILHES (J), HILAL (M)

**Les émissions directes de CO2 des ménages selon leur localisation.**

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-emissions-directes-de-CO2-des.html>

Point sur - Observation et statistiques - Energie n° 137, p. 1-4, 01/08/2012

**5 questions sur le diagnostic de performance énergétique.**

Journal des Maires n° 6, p. 42-43 - 01/06/2012

**Émergence de la "valeur verte" dans l'immobilier : anticiper les bénéfices de la performance énergétique.**

<http://www.ademe-et-vous.ademe.fr/archive/strategie-etudes/2012>

Ademe et vous - Stratégie et études n° 32, p. 1-6, 13/04/2012

**Dossier bâtiment-énergie. Réglementation thermique 2012. Comment l'appliquer sans surcoût ? Faire travailler ensemble architecte et ingénieur. Concevoir sobriété et raisonner en coût global. Label bâtiment-énergie.**

Environnement Magazine n° 1705, p. 20 - 01/03/2012

**L'efficacité énergétique au cœur du bâti.**

Valeurs vertes n° 115, p. 26-30, 01/03/2012

**Le diagnostic de performance énergétique (DPE) évolue au service des ambitions du Grenelle de l'environnement.**

Enjeux AFNOR n° 321, p. 58-62 - 01/02/2012

**Rénovation énergétique des bâtiments.**

Energie Plus n° 498, p. 28-29, 15/01/2012 **Ecoconstruction. Innovations à tous les étages : empreinte écologique du chantier, matériaux, consommation énergétique.**

Industrie et Technologies n° 938, p. 31-42, web - 01/11/2011

**Plan bâtiment Grenelle : quatre pistes pour doper l'innovation.**

Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment n° 5627, p. 14-15, 30/09/2011

EL ANDALOUSSI EH., THIBAUT JL

**L'efficacité énergétique dans le bâtiment en Méditerranée.**

Futuribles n° 376, p. 47-59, 01/07/2011

**Bâtiments basse consommation : un bilan à énergie positive.**

Ademe et vous magazine n° 46, p. 7-13, 01/06/2011

**Enquête. Le contrat de performance énergétique se cherche un avenir.**

Energie Plus n° 464, p. 22-26 - 15/04/2011

**Logement social : quels financements pour les opérations "Grenelle" ?**

Réflexions Immobilières n° 56, p. 14-19, 01/04/2011

**Bâtiments : le contrat qui garantit des économies d'énergie.**

Gazette des communes des départements des régions n° 13/2071, p. 36-38 - 28/03/2011

ORTEGA O

**Contrats de performance énergétique : ce qu'il faut savoir avant de se lancer.**

Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment n° 5598, p. 12-14 - 11/03/2011

**Dossier. Maîtriser l'énergie en HLM.**

(Certificats d'économies d'énergie. Certifications, labels. Performance énergétique. Rénovation énergétique).

Habitat et Société n° 61, p. 24-73 - 01/03/2011

**Normes et certifications : pour mieux vivre l'habitat. Eco-performance des bâtiments : le reporting fait son chemin.**

Enjeux AFNOR n° 312, p. 35-36 - 01/03/2011

**Plan Bâtiment Grenelle : des propositions pour susciter l'innovation.**

Energie Plus n° 461, p. 12-13 - 01/03/2011

**La verte attitude peut-elle s'accorder des impératifs de retour sur investissement.**

L'Observateur de l'Immobilier, n° 78, p. 70-76, 01/03/2011

**Construction durable. Qu'elle est verte mon usine !**

Usine Nouvelle n° 3224, p. 42-46 - 03/02/2011

**Les industriels du bâtiment intègrent les contraintes environnementales.**

Energie Plus n° 458 supplément, p. 30-31 - 15/01/2011

**Grenelle 2. Les contrats de performance énergétique des bâtiments. Fiche pratique n° 10.**

Moniteur des travaux publics et du bâtiment (Le) n° 5580, p. 79-80 – 05/11/2010

DRESTO (P)

**L'eco-efficacité énergétique en 2020 dans le bâtiment. Quatre scénarios possibles.**

Energie Plus n° 454, p. 7, 01/11/2010

JORIO (M), LAGANDRE (E), MARCHIO (D), RIVIERE (P)

**Quels niveaux de performance pour la rénovation énergétique ? Un détour conceptuel pour éclairer les débats.**

Revue de l'énergie n° 598, p. 392-397 - 01/11/2010



ROUDIL (N)

**Artisans et PME du bâtiment sur la nouvelle scène énergétique.**

**Construction durable : l'artisanat renforce ses atouts.**

Cahiers de l'IAU (Les) n° 156, p. 38-41 - 01/09/2010

BOUTELOUP (G), BULLIER (A), CARASSUS (J), ERNEST (D), PANCRAZIO (L), SANCHEZ (T)

**Espace AREIM (Association de recherche et d'étude en immobilier). Evaluer et garantir la valeur verte immobilière.**

Réflexions Immobilières n° 53, p. 39-46, 01/07/2010

CGDD Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

CALVET (L), MARICAL (F)

**Le budget "énergie du logement" : les déterminants des écarts entre les ménages.**

[www.developpement-durable.gouv.fr/Le-budget-energie-du-logement-les.html](http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-budget-energie-du-logement-les.html)

Le Point sur - Economie et évaluation - n° 56, p. 1-4, 01/06/2010

BONY (S), BOUCHARD (JC), LUGAN (S), MEYER (A)

**Immobilier durable. Bail vert : état des lieux.**

**Bail vert : un suivi des exigences d'amélioration de la qualité environnementale.**

Réflexions Immobilières n° 52, p. 16-24, 01/04/2010

BEN JELLOUL (M)

**Les choix énergétiques dans l'immobilier résidentiel à la lumière de l'analyse économique.**

<http://www.strategie.gouv.fr/>

Note de veille du Centre d'analyse stratégique n° 172, p. 1-9 - 01/04/2010

BREHIER (R), PAPPALARDO (M)

**L'ingénierie, acteur-clé de l'éco-conception. Eco-concevoir aujourd'hui pour demain. Former pour demain.**

Cahiers de l'Ingénierie de projet n° 79, p. 2-27, - 01/04/2010

DUJIN (A), MARESCA (B)

**La température du logement ne dépend pas de la sensibilité écologique.**

Consommation et modes de vie n° 227, p. 1-4 - 01/03/2010

BONDUAU (C)

**Ces labels qui valorisent les économies d'énergie.**

Energie Plus n° 438 supplément, p. 62 - 15/01/2010

GUILLOT (L), MOLHO (D), TRIEBEL (H)

**Bâtiment : les solutions complètes et intégrées de Saint-Gobain.**

PCM Le Pont n° 3, p. 80-88, 01/12/2009

**La performance énergétique au cœur du logement.**

Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, n° 5524, p. 12-13 - 09/10/2009

**Enquête. La haute qualité environnementale, un investissement rentable ?**

Environnement Magazine n° 1680, p. 26-32 - 01/09/2009

**Dossier. Construire et rénover : les écomatériaux débordent d'atouts. Situation des impacts écologiques de la construction.**

La Revue durable, n° 34, p. 15-51 - 01/06/2009

**L'efficacité énergétique des bâtiments est un enjeu majeur. Rapport du WBCSD (World Business Council for Sustainable Development).**

Energie Plus n° 426, p. 1, 15/05/2009

**Efficacité énergétique : des indicateurs pour évaluer les réseaux.**

Energie Plus n° 425, p. 12-13 - 01/05/2009

**20 propositions pour un immobilier durable.**

La Lettre Logistiques Magazine, n° 239, p. 4 - 01/05/2009

**La grande bataille de la rénovation.**

Usine Nouvelle n° 3141, p. 14-17 - 02/04/2009

**Les fondations du Grenelle et sa mise en œuvre dans le secteur du bâtiment, par Philippe Pelletier, président du comité stratégique du Plan Bâtiment Grenelle.**

Valeurs vertes n° 97, p. 34-35 – 01/04/2009

**6èmes assises nationales de la haute qualité environnementale : la HQE intègre la performance énergétique.**

Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, n° 5494, p. 40-43 - 13/03/2009

BOF (M)

**La performance énergétique au secours du bâtiment.**

L'Observateur de l'Immobilier, n° spécial, p. 78-81, 01/03/2009

**Commissariat général au développement durable**

Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

Tour Séquoia

92055 La Défense cedex

Tél : 01.40.81.21.22

Retrouver cette publication sur le site :

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/developpement-durable>

## **La rénovation thermique des logements : quels enjeux, quelles solutions ?**

**Le secteur du bâtiment est l'un des principaux secteurs contributeurs à la consommation énergétique et aux émissions de gaz à effet de serre en France. Les bâtiments résidentiels sont ainsi responsables de 30 % de la consommation énergétique finale et de 16 % des émissions de gaz à effet de serre et constituent un axe structurant de la stratégie énergétique et environnementale française, comme en témoigne l'objectif que la France s'est fixé de réduire les consommations d'énergie du parc des bâtiments existants d'au moins 38 % d'ici 2020. Afin de mettre en place des politiques adéquates et efficaces, il est essentiel d'identifier les principaux déterminants de la consommation d'énergie et de comprendre le comportement des ménages en matière d'investissement dans l'efficacité énergétique.**

**Les contributions rassemblées dans ce numéro présentent des outils d'observation et des éléments de cadrage et d'analyse, permettant de mieux appréhender les enjeux de l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels. Elles proposent des éclairages sur les comportements des ménages et les leviers d'action dont peuvent disposer les pouvoirs publics. Elles présentent également les réponses que le secteur de la construction pourrait apporter à la transition énergétique dans le secteur du bâtiment résidentiel.**

*Fin 2015, un prochain numéro de la Revue poursuivra l'analyse de l'exploitation de l'enquête conduite par le CGDD en 2013 sur la performance de l'habitat, les besoins et usages de l'énergie (Phébus). Ce numéro abordera plus particulièrement la question de la précarité énergétique sous plusieurs angles (profil des ménages touchés par la précarité énergétique, rôle de l'étalement urbain et des mobilités contraintes dans ce phénomène...) et approfondira la question de la mesure de la performance thermique de l'habitat et ses implications : quels écart entre consommation énergétique théorique et factures réelles ? Comment détecter le potentiel d'économies d'énergie à partir des caractéristiques des logements et de leurs habitants ?*



Dépôt légal : Janvier 2015  
ISBN : 978-2-11-138751-5