

## Le bâtiment dans la transition énergétique

- 03  
Introduction  
Mireille CAMPANA et Richard LAVERGNE
- L'énergie dans le bâtiment : état des lieux**
- 05  
L'énergie et le bâtiment : les données chiffrées pour la France depuis 1950  
Françoise DUPONT
- 12  
Allemagne : le bâtiment et l'énergie en chiffres  
Sven RÖSNER et Marie BOYETTE
- 17  
Énergie et bâtiments : regards sur le reste du monde  
John DULAC et Thibaut ABERGEL
- 22  
L'architecte, ambassadeur de la planète  
Didier LENOIR et Dominique GAUZIN-MÜLLER
- 26  
Économies d'énergie : le bâtiment confronté à ses occupants  
Marie-Christine ZÉLEM
- 35  
La précarité énergétique, une nouvelle dimension à prendre en compte  
Robert DURDILLY et Bertrand LAPOSTOLET
- 38  
Décarboner le bâtiment, sans oublier ses émissions indirectes  
Alain GRANDJEAN, Roman LEDOUX et Julie DAUNAY
- Acteurs et utilisateurs**
- 41  
L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment : la vision et l'ambition de la Commission européenne  
Mechthild WÖRSDÖRFER
- 45  
Les outils mis au service des pouvoirs publics pour promouvoir l'efficacité énergétique dans les bâtiments  
Gilles AYMOZ
- 49  
Évaluation de la Réglementation thermique de 2012  
Mireille CAMPANA, Michel JEAN-FRANÇOIS, Anne FLORETTE et Didier PILLET
- 55  
Vers une réglementation environnementale pour les bâtiments neufs  
Romain GAËTA, Laurent GULDNER, Florian PITON, Laetitia PRIEM et Aloïs THIÉBAUT
- 62  
Energy transition of Europe's building stock  
Implications for EU 2030 Sustainable Development Goals  
Dr Yamina SAHEB, Dr Heinz OSSENBRINK, Dr Sandor SZABO, Dr Katalin BÓDIS and Strahil PANEV
- 68  
La mobilisation des réglementations thermiques au service de la transition énergétique  
André POUGET
- 75  
Les barrières à l'investissement dans l'efficacité énergétique des bâtiments en France  
Isabelle CAMILIER-CORTIAL, Alexis LOUBLIER, Arthur SOULETIE et Étienne PERROT
- 80  
Comment l'intervention publique peut-elle augmenter le nombre et la qualité des rénovations dans le parc immobilier français pour en réduire les consommations d'énergie et les émissions de GES ?  
Hadrien HAINAUT, Ian COCHRAN et Benoît LEGUET
- 85  
L'efficacité énergétique : mode d'emploi  
Myriam MAESTRONI
- 89  
Les grandes orientations sont tracées, il faut à présent les suivre  
Jean BERGOUIGNOUX et Jean-Pierre HAUET
- Perspectives technologiques**
- 95  
Le bâtiment, entre idéal et réalité : les facteurs clés du succès de la transition énergétique  
Étienne CRÉPON et Hervé CHARRUE
- 99  
L'innovation dans le secteur du bâtiment dans les programmes européens de financement de la R&D  
Antoine DUGUÉ et Germain ADELL
- Hors dossier**
- 104  
Bilan énergétique de la France en 2016  
Sous-direction des Statistiques de l'énergie, CGDD, MTES
- 
- 110 Traductions des résumés  
116 Biographies des auteurs

UNE SÉRIE DES  
**ANNALES  
DES MINES**

FONDÉES EN 1794

## RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

ISSN : 1268-4783

Série trimestrielle • n°90- Avril 2018

### Rédaction

Conseil général de l'Économie, de l'Industrie,  
de l'Énergie et des Technologies, Ministère de  
l'Économie et des Finances  
120, rue de Bercy - Télédock 797 - 75572 Paris Cedex 12  
Tél : 01 53 18 52 68  
<http://www.annales.org>

**François Valérian**

Rédacteur en chef

**Gérard Comby**

Secrétaire général

**Delphine Mantiene**

Secrétaire générale adjointe

**Liliane Crapanzano**

Assistante de la rédaction

**Marcel Charbonnier**

Correcteur

**Myriam Michaux**

Webmestre

### Membres du Comité de Rédaction

**Pierre Couveinhes**

Président du Comité de rédaction

Ingénieur général des Mines

**Pierre Amouyel**

Ingénieur général des Mines honoraire

**Paul-Henri Bourrelier**

Ingénieur général des Mines honoraire, Association  
française pour la prévention des catastrophes naturelles

**Mireille Campana**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie  
Haut fonctionnaire de développement durable

**Dominique Dron**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Pascal Dupuis**

Chef du service du climat et de l'efficacité énergétique,  
Direction générale de l'énergie et du climat, MTES

**Jérôme Goellner**

Chef du service des risques technologiques,  
Direction générale de la prévention des risques, MTES

**Jean-Luc Laurent**

**Richard Lavergne**

Conseil général de l'Économie  
Ministère de l'Économie et des Finances

**Philippe Saint Raymond**

Ingénieur général des Mines honoraire

**Bruno Sauvalle**

Ingénieur en chef des Mines, Mines ParisTech

**Jacques Serris**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Claire Tutenuit**

Déléguée générale d'Entreprises pour l'Environnement (EPE)

**François Valérian**

Rédacteur en chef des Annales des Mines

### Photo de couverture :

Le centre de vacances « Le soleil de jade »  
à Préfailles (44). Bâtiments aux normes HQE.  
Photo © OUEST MEDIAS/ANDIA.fr

### Iconographie

Christine de Coninck

### Abonnements et ventes

COM & COM

Bâtiment Copernic - 20 Avenue Edouard Herriot  
92350 LE PLESSIS ROBINSON

Alain Bruel

Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32

[a.bruel@cometcom.fr](mailto:a.bruel@cometcom.fr)

**Mise en page** : Nadine Namer

**Impression** : Printcorp

**Editeur Délégué** :

FFE - 15 rue des Sablons 75116 PARIS - [www.ffe.fr](http://www.ffe.fr)

Fabrication : Aïda Pereira

[aïda.pereira@belvederecom.fr](mailto:aïda.pereira@belvederecom.fr) - 01 53 36 20 46

**Régie publicitaire** : Belvédère Com

**Directeur de la publicité** : Bruno Slama - 01 40 09 66 17

[bruno.slama@belvederecom.fr](mailto:bruno.slama@belvederecom.fr)

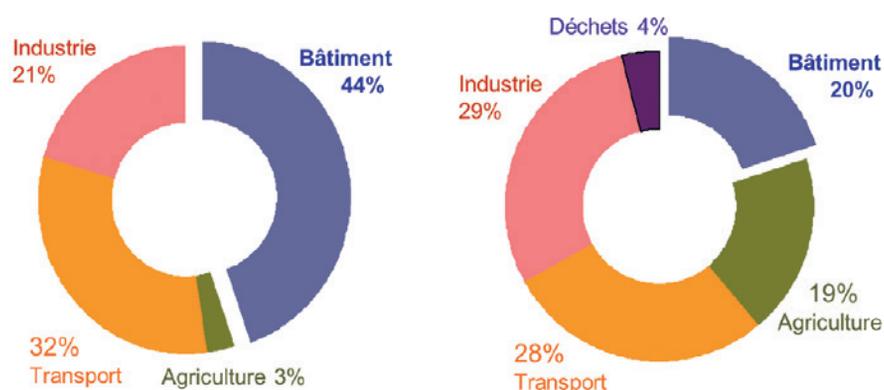
N°ISSN : 1268-4783

La mention au regard de certaines illustrations du sigle « D. R. »  
correspond à des documents ou photographies pour lesquels  
nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont avérées  
infructueuses.

# Le bâtiment dans la transition énergétique

Par Mireille CAMPANA  
et Richard LAVERGNE  
Conseil général de l'Économie

Dans la problématique énergie-climat, le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) présente une particularité : parmi les divers secteurs de consommation d'énergie, il est proportionnellement moins émetteur de GES<sup>(1)</sup> que consommateur d'énergie, comme l'indique le Graphique suivant :



Structure de la consommation énergétique finale et des émissions de GES de la France (source : CGDD-SDES)

Ces performances relativement bonnes en termes de lutte contre le changement climatique sont à pondérer par une évolution récente qui peut paraître paradoxale : alors que le Grenelle de l'Environnement (2008-2010), puis la loi relative à la Transition énergétique pour la croissance verte (TECV), du 18 août 2015, ont donné une priorité haute aux actions concernant les bâtiments, et malgré les efforts financiers consacrés à leur rénovation<sup>(2)</sup>, les indicateurs de suivi de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) publiés en janvier 2018 par le ministère de la Transition écologique et solidaire indiquaient un dépassement de 11 % des émissions de gaz à effet de serre de ce secteur en 2016, par rapport au plafond annuel indicatif qui lui avait été fixé.

La consommation d'énergie du résidentiel-tertiaire, qui a peu varié ces dernières années, s'élève à 67 Mtep par an<sup>(3)</sup>, se répartissant entre 26 Mtep d'électricité (300 TWh), 11 Mtep d'énergies renouvelables thermiques et 30 Mtep d'énergies fossiles (dont deux-tiers de gaz, équivalant à 265 TWh PCS<sup>(4)</sup>) (données corrigées des variations climatiques). Les économies d'énergies fossiles sont relativement plus rapides à réaliser et moins coûteuses à engager dans ce secteur que dans d'autres, comme celui des transports. Mais la mise en œuvre de la rénovation thermique des bâtiments se heurte à une extraordinaire hétérogénéité : des situations (bâtiments neufs ou anciens, publics ou privés, loués ou non, à usage d'habitation ou professionnels, citadins ou ruraux, etc.), des métiers (énergéticiens, maçons, bureaux d'études, architectes, financeurs, etc.) et du droit, à la fois national et local, qui a sédimenté, souvent depuis des générations, des dispositions relatives à la fiscalité, à l'urbanisme, au bon voisinage, à l'esthétique, à la conservation du patrimoine, etc.

Les législations successives, comme les réglementations thermiques efficaces surtout pour les bâtiments neufs, les mesures de soutien à la rénovation thermique et les plans qui les ont accompagnées ont visé simultanément trois objectifs : 1) l'amélioration des performances énergétiques (conjuguée, en particulier, avec une volonté exprimée sous plusieurs formes – parfois maladroitement – d'agir en faveur de la sécurité de l'approvisionnement énergétique), 2) le soutien à un secteur économique crucial pour l'emploi et la croissance (selon l'adage « Quand le bâtiment va, tout va ! ») et 3) la réduc-

(1) Gaz à effet de serre.

(2) En 2017, l'Agence nationale de l'Habitat (ANAH) a ainsi procédé à la rénovation énergétique de 52 000 logements.

(3) Source : CGDD-SDES.

(4) Pouvoir calorifique supérieur.

tion des précarités, notamment énergétique. Au niveau européen, les directives Éco-conception (de 2009), Performance énergétique des bâtiments (de 2010) et Efficacité énergétique (de 2012) poursuivaient les mêmes buts, et la Commission européenne plaide en faveur d'un relèvement de leur ambition à la suite de la publication du Paquet législatif « Une énergie propre pour tous les Européens » (novembre 2016).

L'innovation, tant dans les technologies que dans les modes de financement, est active dans le domaine de la rénovation énergétique et a tendance à modifier la donne par rapport à un passé récent dans lequel la contrainte et les subventions étaient considérées comme étant quasiment les seules voies d'amélioration possibles. Il s'ensuit des perspectives encourageantes de « changement de braquet » et d'atteinte des objectifs ambitieux fixés par la loi TECV. Le bâtiment est en effet un secteur clé pour une transition énergétique qui à la fois concoure à la décarbonation de la société française et soit solidaire et inclusive.

Au moment où, après une vaste consultation des parties prenantes, le gouvernement lance un nouveau « Plan Rénovation énergétique des bâtiments », qui va s'ajouter au « Plan Bâtiment durable », au « Plan d'action pour la qualité de la construction et la transition énergétique », au « Plan Transition numérique pour le bâtiment », etc., il est important de s'accorder sur les objectifs de cette transition.

Mme Ségolène Royal, ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, avait déclaré, lors de sa présentation en Conseil des ministres du projet de loi relatif à la Transition énergétique pour la croissance verte, le 30 juillet 2014 : « La transition énergétique vise à préparer l'après-pétrole et à instaurer un nouveau modèle énergétique français plus robuste et plus durable face aux enjeux d'approvisionnement en énergie, à l'évolution des prix, à l'épuisement des ressources et aux impératifs de la protection de l'environnement ».

La lutte contre le changement climatique fait bien évidemment partie de ces objectifs et la réduction des émissions de GES devrait donc être une préoccupation centrale des plans existants ou à venir, ainsi que des nombreux dispositifs contraignants ou incitatifs les accompagnant.

Le présent numéro de *Responsabilité & Environnement*, consacré au Bâtiment dans la transition énergétique, s'efforce d'identifier les spécificités de ce secteur, les difficultés auxquelles il est confronté et les remèdes susceptibles d'y être apportés, ainsi que les opportunités, notamment en termes de compétitivité économique, qui s'offrent à lui pour participer au grand chantier écologique de ce début du XXI<sup>e</sup> siècle.

Fortement exposées à la réglementation, au moins pour la construction, qui fait l'objet d'un article spécifique dans le présent numéro, ainsi qu'à diverses incitations fiscales (CITE, prêt à taux zéro, TVA réduite, etc.) ou à des subventions, les performances énergétiques d'un bâtiment, neuf ou ancien, dépendent aussi des comportements de ses habitants/occupants et de ses caractéristiques (résidence principale ou secondaire, usage professionnel, chauffage individuel ou collectif, mode de chauffage, etc.). À ce titre, Marie-Christine Zélem apporte son regard de sociologue, qui nous permet de mieux comprendre les inerties qui freinent la transformation de nos bâtiments.

Se plaçant sur un autre plan, Yamina Saheb défend un nouveau modèle d'industrialisation du secteur de la rénovation énergétique des bâtiments grâce à un changement de paradigme facilitant les ruptures technologiques et permettant des rénovations à la fois globales et performantes. D'autres articles complètent ces exemples et témoignent du dynamisme et de l'imagination des parties prenantes pour placer le bâtiment au cœur de la transition énergétique.

Le choix éditorial qui a présidé à la mise au point de ce numéro nous a amenés à distinguer trois parties :

- L'énergie dans le bâtiment : un état des lieux ;
- Les acteurs de la construction et les utilisateurs des bâtiments ;
- Les perspectives technologiques.

Les coordonnateurs souhaitent à chacun de vous une bonne lecture de ce numéro, en espérant qu'il contribue à éclairer les débats et à ouvrir de nouvelles pistes.

# L'énergie et le bâtiment : les données chiffrées pour la France depuis 1950

Par **Françoise DUPONT**

Directrice générale du Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (Ceren)

Les consommations d'énergie dans le résidentiel et le tertiaire, pour l'essentiel liées au bâtiment, atteignent 45 % de la consommation finale totale en 2015. Après l'amélioration des conditions de logement, dans les années 1950 et 1960, le premier choc pétrolier est à l'origine des politiques d'économies d'énergie successives qui rythment, avec une pause dans les années 1990, l'augmentation des exigences de sobriété concernant le logement neuf, puis, à partir de 2007, la rénovation de l'ancien. Le chauffage, qui est le plus gros poste, a vu sa consommation par logement divisée par 2,5, tandis que les consommations d'électricité spécifique représentaient, en 2015, presque 20 % de la consommation totale en niveau. La tertiarisation de l'économie se traduit par une augmentation de 55 % des surfaces chauffées. La climatisation, qui s'est développée régulièrement, représente désormais un peu moins d'un tiers des surfaces. La consommation de chauffage par mètre carré dans le tertiaire baisse régulièrement, et ce quelle que soit l'énergie : c'est là le fruit des efforts déployés en matière de performance énergétique.

La consommation finale d'énergie du secteur résidentiel-tertiaire est passée de 54,7 millions de tonnes équivalent-pétrole (Mtep) en 1973 à 67 Mtep en 2015. La part de ce secteur est ainsi passée de 41 à 45 % de la consommation finale totale. En 2015, la consommation du secteur résidentiel représentait environ les deux tiers de cette consommation.

Nous analyserons tout d'abord l'évolution du secteur résidentiel, puis, dans un second temps, celle du secteur tertiaire, dont le suivi détaillé n'est disponible que depuis 1986.

## Après l'amélioration des conditions de logement au cours des années 1950 et 1960, la préoccupation pour les économies d'énergie dans les logements émerge dans les années 1970, sous l'effet du premier choc pétrolier

Les évolutions constatées depuis 1950 sont marquées par des périodes bien distinctes. Avant le premier choc pétrolier de 1973, la situation préoccupante du manque de logements et de leur confort vétuste occupe le paysage au sortir de la guerre. L'effort se porte sur la construction de logements pour constituer un parc correspondant aux besoins de la population.

Considéré ensuite comme le principal gisement d'économies d'énergie immédiatement exploitable, le résidentiel a fait l'objet, depuis le premier choc pétrolier, d'incitations continues à la rénovation thermique, au travers de plusieurs réglementations thermiques successives (les RT1974, 1982, 1988, 2000, 2005 et 2012) pour les logements neufs et de mesures fiscales, dès 1978, pour l'ensemble des logements.

Les facteurs qui influencent l'évolution des consommations sont d'abord structurels : tout particulièrement les évolutions démographiques qui conduisent à une augmentation des surfaces du parc de logements.

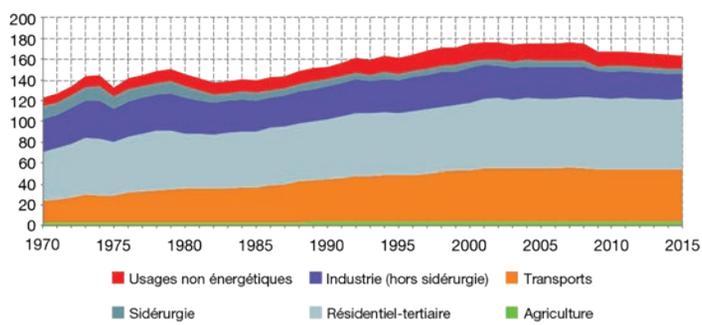


Figure 1 : Consommation finale d'énergie par secteur (corrigée des variations climatiques) : 162,2 Mtep en 2015.  
 Champ : métropole.  
 Source : calculs SOeS, d'après les données disponibles par énergie.

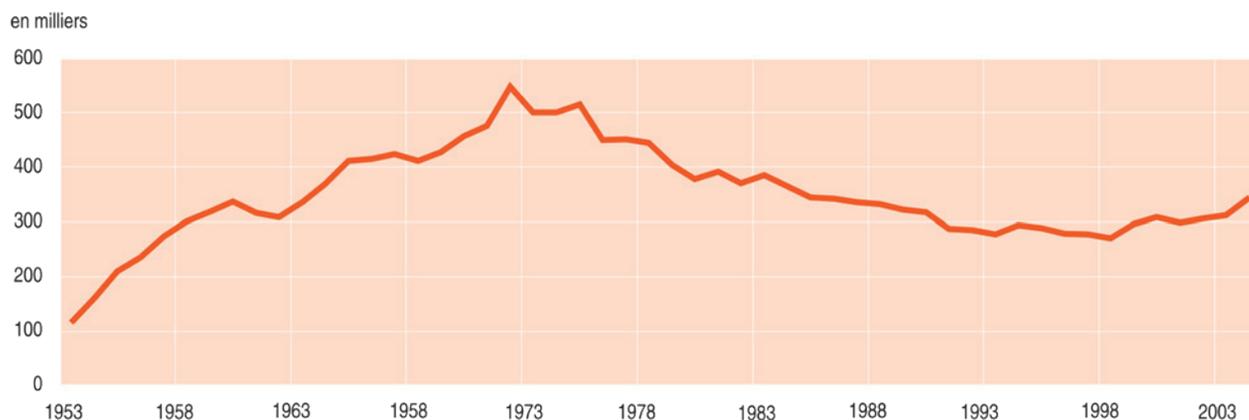


Figure 2 : Nombre de logements achevés.  
Source : SDES, Sitadel, extrait de « Cinquante ans d'évolution des conditions de logement des ménages ».

### 1950-1973 : un effort soutenu de reconstruction des logements

Ainsi, sur la période considérée, on note tout d'abord un effort poussé de construction pour répondre aux besoins. En 1954, en effet, le parc des logements était ancien et vétuste, car peu de logements avaient été construits depuis la fin de la première guerre mondiale. D'après le recensement de 1954, 13 % des ménages étaient en situation de surpeuplement critique et 12 % étaient en surpeuplement, et ce alors même que les normes de 1954 étaient peu exigeantes. Plus de quatre logements sur dix n'avaient pas l'eau courante.

Un effort de construction toujours plus fort a été réalisé au fil des années, sur cette période. Aux 100 000 logements construits en 1954, ce sont jusqu'à 500 000 logements qui ont été ajoutés en 1972, et, globalement, une croissance du parc d'environ 1,3 % par an sur cette même période.

De l'examen des données des recensements successifs, il ressort que cette période est celle qui a connu la plus forte augmentation du nombre de pièces par logement, tandis que le nombre de personnes par ménage décroît un peu plus fortement dans les dernières décennies, sous l'effet de la décohabitation.

En 1973, les logements étaient pour moitié chauffés au fioul, 20 % l'étaient au charbon et un peu moins de 10 % au bois. L'électricité représentait une toute petite part de l'énergie consacrée au chauffage, soit 6 % des logements. Cette période a été marquée par une forte progression du chauffage central, qui a eu tendance à augmenter le nombre des pièces chauffées par rapport à un chauffage par appareils indépendants.

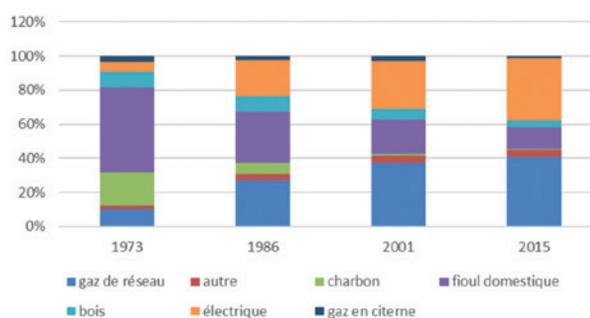


Figure 3 : Parts de l'énergie principale de chauffage.  
Source : Ceren.

### Avec l'augmentation du prix du pétrole lors du premier choc pétrolier en 1973, la question du ralentissement de la consommation d'énergie et de sa maîtrise pour préserver le potentiel de croissance est posée

La première réglementation est apparue en 1974, avec la préconisation d'une température de référence de 19 °C

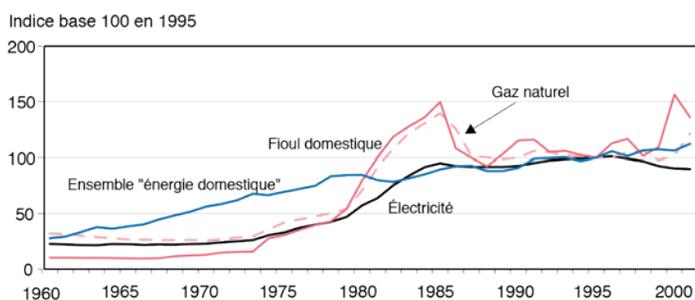


Figure 4 : Evolutions des prix des principaux types d'énergie.  
Source : Insee

Recensements	1954	1962	1968	1975	1982	1990	2006	2014
Nombre des ménages (en milliers)	13 418	14 588	15 763	17 745	19 589	21 542	21 542	28 044
Nombre de personnes par ménage	3.06	3.10	3.06	2.88	2.70	2.57	2.31	2.3
Nombre de pièces par logement	2.95	3.08	3.29	3.47	3.65	3.80	3.99	4.0

Source : Insee, recensements de la population (France métropolitaine) sur la période 1954-2014.

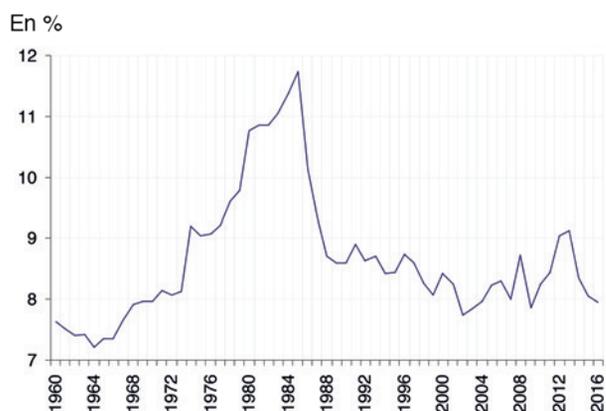


Figure 5 : Part de la dépense énergétique dans le budget des ménages.

Note : Le budget des ménages est calculé comme les dépenses des ménages au sens de la Comptabilité nationale, hors loyers imputés et services d'intermédiation financière indirectement mesurés (Sifim).

Sources : Insee ; SDES

dans les logements et l'obligation d'individualiser la mesure des consommations énergétiques pour les chauffages collectifs. Les réglementations de 1974 et de 1982 ne portent que sur l'isolation des bâtiments. La réglementation RT1988 ajoute des objectifs en matière de production d'eau chaude sanitaire. En 1995, apparaissent les premières étiquettes « énergétiques » apposées sur les appareils électroménagers.

Les réglementations marquent une pause dans les années 1990 en raison d'une accalmie sur les prix de l'énergie. Elles reprennent avec la RT2000 et la RT2005. La RT2007 est, quant à elle, la première à fixer des objectifs en termes de rénovation des bâtiments existants.

**À partir du premier choc pétrolier de 1973, les logements nouvellement construits intègrent ainsi des exigences croissantes en matière d'isolation, mais le stock de logements anciens pèsera encore longtemps sur la consommation énergétique**

L'effet du stock des logements antérieurs à la première réglementation thermique reste très fort, car bien que la part des logements construits avant le premier choc pétrolier décroisse régulièrement, elle représente encore la majorité du parc sur toute la période 1973-2015, et environ la moitié actuellement. Le rythme annuel des constructions de résidences principales après la réglementation RT1974 est de 1,3 % jusqu'en 1986, puis de 1,2 % jusqu'en

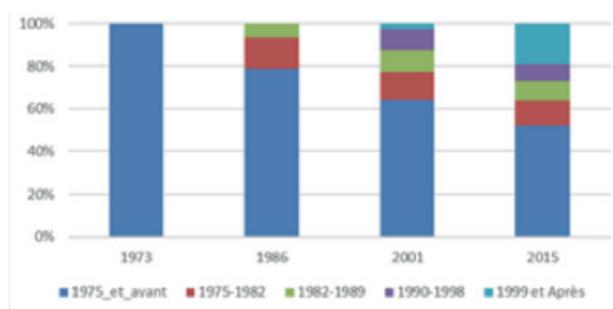


Figure 6 : Répartition des résidences principales selon la période de construction.

Source : Ceren, d'après Insee.

2001, et, enfin, de 0,9 % pour la période la plus récente (jusqu'en 2015).

Dans les faits, une partie importante des économies d'énergie réalisées sur la période 1973-2007 a été obtenue grâce aux progrès faits dans l'isolation des bâtiments nouvellement construits, en dépit de l'effet rebond (surconsommation liée à une augmentation du confort, après un investissement dans les économies d'énergie). Il faut également souligner un effet d'entraînement des réglementations thermiques, qui induisent un effet positif sur la performance énergétique d'une partie des rénovations du parc ancien.

**Sur cette période, d'autres facteurs structurels, comme la part des maisons individuelles et les types de chauffage, ont joué à la hausse**

La proportion de maisons individuelles dans les logements a augmenté de cinq points (de 52 % en 1973 à 57 % en 2015). Les maisons qui ont une plus grande superficie connaissent une plus forte croissance, ce qui a pour effet de tirer globalement les surfaces à chauffer vers le haut.

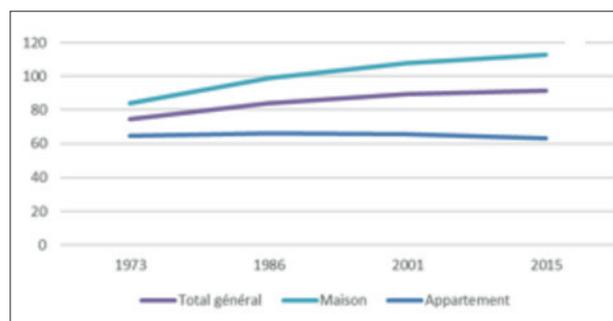


Figure 7 : Surfaces moyennes des résidences principales en mètre carré.

Source : Ceren.

Proportions des maisons et des appartements

	1973	1986	2001	2015
Appartement	48 %	45 %	43 %	43 %
Maison	52 %	55 %	57 %	57 %
Total général	100%	100 %	100%	100%

Source : Ceren, d'après Insee.

Par ailleurs, la période 1973-1986 voit le développement du chauffage collectif, alors que, sur la période 1986-2015, le chauffage individuel se développe dans les appartements qui, par la responsabilisation des occupants, tire plutôt les consommations à la baisse. Sur la période récente, on assiste, depuis 2007, à un fort développement des pompes à chaleur (qui avaient connu une première vague d'installation au début des années 1980, une vague qui ne s'était pas poursuivie). Celles-ci ne représentent cependant, à ce jour, que moins de 5 % du parc.

Milliers de résidences principales selon le type de logement et le mode de chauffage			
	1986	2001	2015
Appartement Collectif	1,4 %	0,1 %	0,1 %
Appartement Individuel	0,7%	1,6 %	1,6 %
Maison	1,9 %	1,4 %	1,0 %
Total général	1,3 %	1,1 %	0,9 %

Source : Ceren.

### La période 1973-2015 a vu se développer fortement la consommation spécifique d'électricité

La consommation spécifique d'électricité marginale en 1973, avec 3 %, est devenue le deuxième poste avec un peu moins de 20 % de la consommation finale pour l'ensemble des logements. Ceci s'explique, bien sûr, par l'équipement des ménages en gros appareils ménagers, qui s'est amplifié, et a été suivi par le développement des équipements multimédias. À titre d'exemple, les congélateurs et les lave-vaisselle, marginaux en 1973 (moins de 10 % des ménages en possédaient), sont passés respectivement à 91 et 58 % en 2015. S'y sont ajoutés les micro-ordinateurs (79 %), puis les téléphones portables (90 %).

#### Parts des consommations d'énergie des résidences principales par usage

	1973	1986	2001	2015
Chauffage	86%	78%	72%	67%
Eau Chaude Sanitaire	6%	9%	10%	11%
Cuisson	4%	5%	5%	5%
Usages spécifiques	3%	8%	12%	17%
	100%	100%	100%	100%

Source : Ceren, d'après Insee.

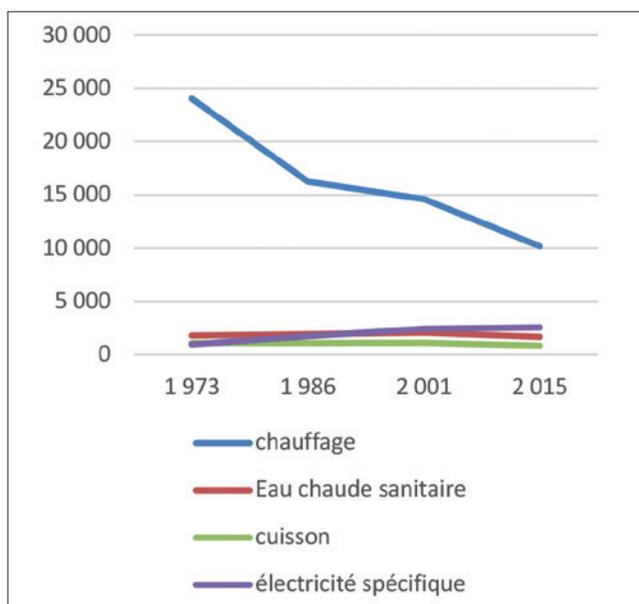


Figure 8 : Consommation d'énergie unitaire en Kwh par logement. Source : Ceren.

On constate cependant que la consommation d'énergie spécifique par logement tend à diminuer depuis 2012, après quatre années d'une stabilisation qui est le fruit des efforts d'amélioration de la performance énergétique des appareils.

Au total, pour l'essentiel, les consommations restent tirées par le chauffage, pour lequel les progrès ont permis de diviser par 2,5 les consommations unitaires par logement, sur la période considérée. L'on constate que l'essentiel des progrès en efficacité énergétique ont été réalisés avant 1986 et après 2001, en liaison avec une accalmie dans l'évolution des prix.

### La tertiarisation de l'économie se traduit par un accroissement des surfaces chauffées

Depuis 1986, le Ceren mène des enquêtes annuelles auprès d'un échantillon important d'établissements tertiaires. L'exploitation de ces données permet d'assurer un suivi régulier du parc et des consommations d'énergie du secteur tertiaire.

Les bâtiments du secteur tertiaire recouvrent une très grande diversité de situations : cela va des locaux de l'aéroport Charles-de-Gaulle au bureau d'architecte situé dans un bâtiment plutôt résidentiel. C'est pourquoi le Ceren a défini pour ce suivi huit branches qui regroupent des activités permettant d'homogénéiser des profils de consommation.

Si l'on considère l'ensemble de la consommation du secteur tertiaire en climat normal, celle-ci a augmenté régulièrement jusqu'à la fin des années 2008, puis elle a stagné entre 223 et 224 TWh entre 2008 et 2015. La consommation énergétique a ainsi évolué à un rythme annuel moyen de près de 2 points avant 2000 et de moins de 1 % en moyenne annuelle sur la décennie 2000-2010.

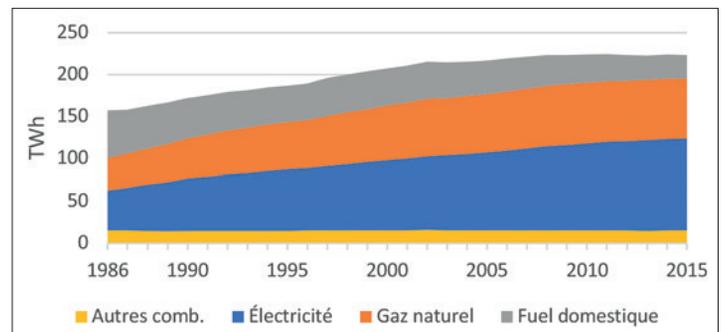


Figure 9 : Consommation finale des bâtiments tertiaires par forme d'énergie (corrigée des aléas climatiques). Source : Ceren.

Sur toute la période, près de la moitié de la consommation est le fait de deux branches : les bureaux (en augmentation continue) et le commerce (en diminution depuis 2010).

Globalement, en termes d'énergie, si l'on considère tous les usages, le fioul recule continûment au profit, tout d'abord, de l'électricité (sur toute la période) et, en second, du gaz (sauf en fin de période).

Périodes	1990-2000	2000-2010	2010-2015
Gaz	3,2 %	1,0 %	- 0,3 %
Fioul	- 0,9 %	- 2,7 %	- 3,6 %
Chauffage urbain, GPL, bois et autres combustibles	0,6 %	- 0,1 %	- 0,1 %
Électricité	2,9 %	2,1 %	1,1 %
Toutes énergies	1,9 %	0,8 %	- 0,1 %

Taux de croissance annuel moyen de la consommation finale pour l'ensemble des usages dans le secteur tertiaire.  
Source : Ceren.

Le tableau ci-dessus donne les évolutions annuelles moyennes par grandes périodes.

Le chauffage représente le poste le plus important de la consommation d'énergie finale du secteur tertiaire (en climat normal). Mais sa part diminue régulièrement sur la période, passant de 62 % en 1986 à 46 % en 2015.

La consommation d'électricité spécifique constitue le deuxième poste de consommation. Sa part dans la consommation totale augmente continûment de plus de cinq points sur la période et représente, depuis 2010, un peu plus du quart de la consommation d'énergie. Toutefois, en termes de consommation unitaire (par m<sup>2</sup>), on peut remarquer que la consommation cesse d'augmenter en toute fin de période, témoignant de l'impact des efforts faits en matière d'efficacité énergétique (en particulier dans l'éclairage), alors que le développement du recours à l'informatique pousse plutôt la consommation à la hausse.

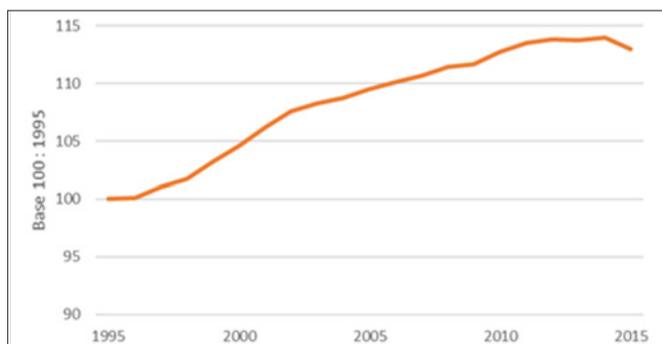


Figure 10 : Consommation d'électricité spécifique par mètre carré.  
Source : Ceren.

L'eau chaude sanitaire, qui constitue le troisième poste, n'augmente en part relative que de deux points sur la période, et reste en dessous des 10 %.

Enfin, la climatisation, qui représentait moins de 10 % de la consommation, il y a vingt ans, se développe continûment sur un rythme régulier et représente actuellement un peu moins du tiers des surfaces. Les surfaces climatisées connaissent ainsi une croissance vigoureuse.

Analysons la dynamique du premier poste de consommation d'énergie que constitue le chauffage. La surface chauffée du tertiaire a augmenté de 55 % en trente ans, pour atteindre en 2015 une surface globale de près d'un milliard de m<sup>2</sup>. Le rythme annuel d'évolution des surfaces chauffées, le plus souvent supérieur à 1 %, est d'abord plus vigoureux à la fin des années 1980, puis décroît tendanciellement depuis le début des années 1990, de 2,5% à 1% en fin de période.

Depuis 1986, la branche des bureaux est une de celles qui connaissent la plus forte croissance en termes de surfaces. Il faut également noter que la branche sport, loisirs, culture et équipements collectifs reste la branche la plus dynamique du fait d'un développement des équipements culturels et sportifs qui est porté par les communes.

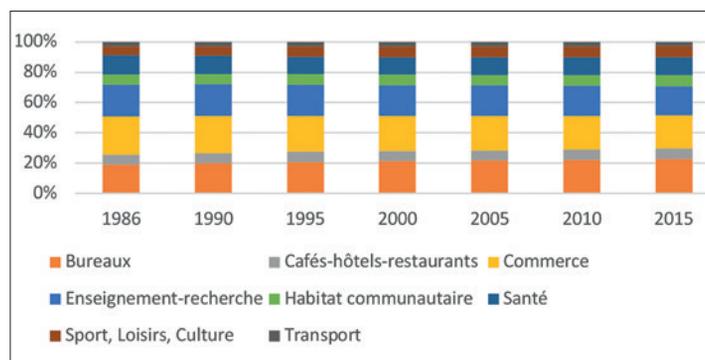


Figure 11 : Part des branches dans les surfaces tertiaires.  
Source : Ceren.

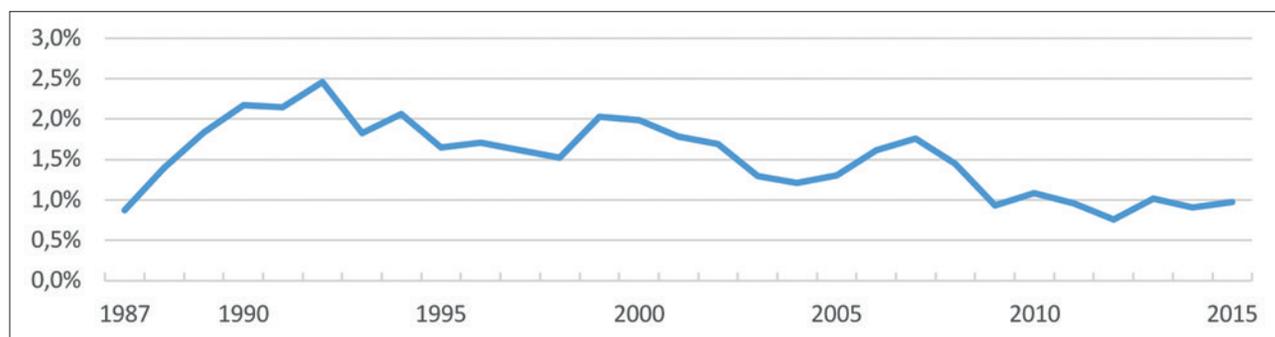


Figure 12 : Taux de croissance des surfaces des bâtiments tertiaires.  
Source : Ceren.

En revanche, si l'on procède à une analyse par énergie, l'évolution des surfaces chauffées au fioul s'explique, avant 1995, principalement par l'évolution des prix et par une politique dynamique de placement de l'électricité, qui contrebalance l'attractivité des prix bas du fioul avant 1995.

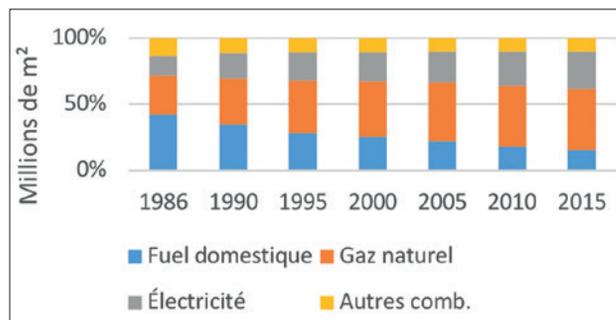


Figure 13 : Évolution par énergie de chauffage des surfaces tertiaires. Source : Ceren.

Lorsque l'on analyse les évolutions des énergies de chauffage dans les bâtiments construits depuis 1986, le gaz et l'électricité dominent sur toute la période avec, le plus souvent, une plus grande part des surfaces pour le gaz. Les évolutions d'une année sur l'autre sont sensibles à la dynamique des branches. Le gaz est privilégié sur toute la période par la commande publique.

Pour l'ensemble du tertiaire, la consommation de chauffage par mètre carré baisse, et ce quelle que soit l'énergie, ce qui témoigne des efforts de performance énergétique déployés par les acteurs.

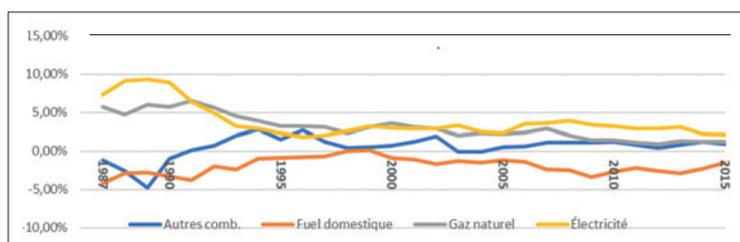


Figure 14 : Évolution des surfaces chauffées par forme d'énergie. Source : Ceren.

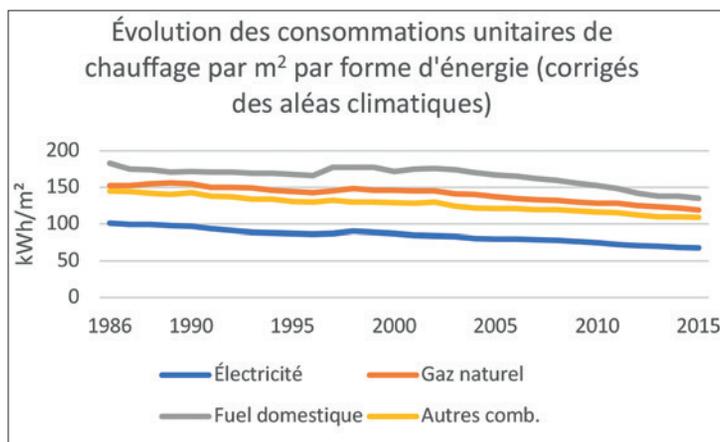


Figure 15 : Évolution des consommations unitaires de chauffage par m² par forme d'énergie (corrégés des aléas climatiques). Source : Ceren.

### Bibliographie

Insee (2017), *Insee Références*, fiches Transitions écologique et énergétique, décembre.

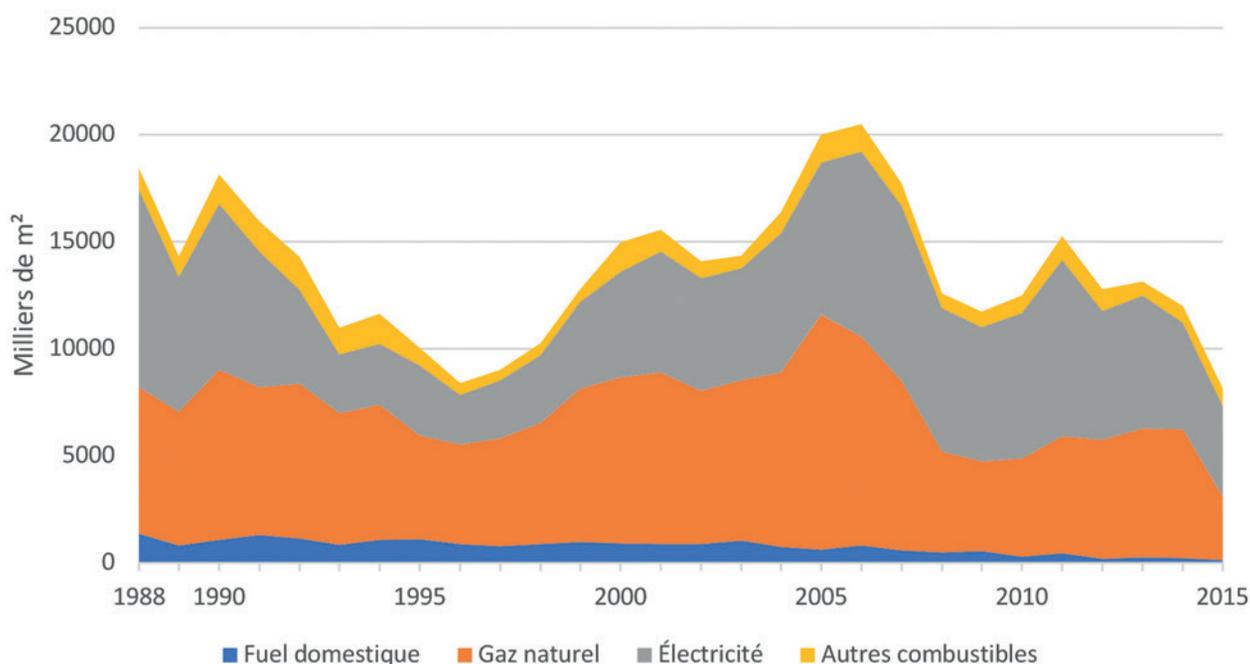


Figure 16 : Surface des bâtiments neufs tertiaires par énergie de chauffage. Source : Ceren.

Insee (1990), *Annuaire rétrospectif de la France – Séries longues 1948-1988*.

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer en charge des relations internationales sur le climat (2017), *Chiffres clés de l'énergie*, édition 2016, Datalab.

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

CALVET L. & MARICAL F. (2010), « Le budget "énergie du logement" : les déterminants des écarts entre les ménages », *Le point sur*, n°56, Commissariat général au développement durable.

CAVAILHÈS J., JOLY D., BROSSARD T., HILAL M. & WAVRESKY P. (2011), « La consommation d'énergie des ménages en France », Document de travail INRA-CE-SAER Dijon, CNRS ThéMA Besançon, Rapport final pour le CGDD, novembre.

CHARLIER D. (2015), « Comportement des ménages et investissements en efficacité énergétique : une revue de la littérature », *La Revue du CGDD – Dossier « La rénovation thermique des logements : quels enjeux ? quelles solutions ? »*, janvier.

CONSALES G., FEYSSEAU M. & PASSERON V. (2009), « La consommation des ménages depuis cinquante ans », *Insee Références* (ainsi que la fiche thématique Logement).

DIJIN A., POCQUET G. & MARESCA B. (2007), « La maîtrise des consommations dans les domaines de l'eau et

de l'énergie », *Cahiers de recherche*, n°237, Credoc, novembre.

GIRAULT M. (2001), « Le parc immobilier du secteur tertiaire », Note de synthèse du SES.

GIRAULT M. (2000), « Les économies d'énergie de chauffage depuis 25 ans », Note de synthèse du SES, mai-juin.

GROSMENIL O. (2002), « La consommation d'énergie à usage domestique depuis quarante ans : l'électricité, numéro un dans les foyers », *Insee Première*, n°845.

HAEHNEL I. (1991), « Les économies d'énergie dans l'habitat : un gain durable », *Économie et Statistique*, n°240, février, pp. 69-77.

HAEHNEL I. (1995), « Confort thermique et facture énergétique », *Économie et Statistique*, n°288-289, pp. 115-127.

HAEHNEL I. & SAN N. (1989), « L'influence de divers facteurs sur le mode de chauffage du logement », *Insee Résultats*, n°43-44.

JACQUOT A. (2006), « Données sociales : Cinquante ans d'évolution des conditions de logement des ménages », *Insee Références*.

MERCERON S. & THEULIÈRE M. (2010), « Les dépenses d'énergie des ménages depuis 20 ans, une part en moyenne stable dans le budget, des inégalités accrues », *Insee Première*, n°1315, octobre.

PLATEAU C. (2006), « Vingt ans de dépenses de logement », *Données sociales. Insee Références*.

# Allemagne : le bâtiment et l'énergie en chiffres

Par Sven RÖSNER

Directeur de l'Office franco-allemand pour la transition énergétique (OFATE)

et Marie BOYETTE

Office franco-allemand pour la transition énergétique (OFATE)

Voisins européens, la France et l'Allemagne dressent des états des lieux assez similaires et partagent des objectifs comparables en matière d'efficacité énergétique des bâtiments. Comme en France, les bâtiments sont en Allemagne le premier secteur consommateur d'énergie. L'évolution des réglementations thermiques a permis une baisse des consommations d'énergie et le développement de la chaleur renouvelable dans les bâtiments neufs. Pour autant, la rénovation énergétique reste l'un des potentiels les plus importants pour atteindre un parc de bâtiments presque neutre en carbone. Le gouvernement allemand souhaite ainsi coupler l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments au développement des énergies renouvelables pour décarboner son parc immobilier. Compte tenu des spécificités du marché immobilier allemand et de la structure démographique du pays, le financement de ces mesures constitue outre-Rhin un véritable défi. Dans cet article, nous nous proposons, en premier lieu, de donner un aperçu du parc existant des bâtiments en Allemagne. En deuxième lieu, nous résumerons la stratégie du gouvernement fédéral allemand en matière d'efficacité énergétique des bâtiments.

## États des lieux : structure et consommation énergétique du parc de bâtiments en Allemagne

En Allemagne (comme en France), les bâtiments sont le premier secteur consommateur d'énergie : ils représentent environ 35 % de la consommation énergétique totale. En 2015, leur consommation (chauffage, eau chaude, froid et éclairage<sup>(1)</sup>) en énergie primaire était d'environ 1 024 térawattheures (TWh). Entre 2008 et 2015, elle a diminué de 11 %<sup>(2)</sup>. Le chauffage y représente le poste le plus important, avec 80 % des besoins des bâtiments. En 2015 et 2016, les besoins en chauffage ont augmenté sous l'effet, notamment, de la baisse des prix des énergies fossiles pour la troisième année consécutive<sup>(3)</sup>. Selon la Commission d'experts du *monitoring* de la transition énergétique, au regard des évolutions passées, l'objectif de diminution de la consommation des bâtiments n'est pas sûr d'être atteint en 2020<sup>(4)</sup>.

## Historique du développement des exigences en matière d'efficacité énergétique en Allemagne

Après le premier choc pétrolier de 1973, l'Allemagne introduit une politique d'efficacité énergétique spécifique aux bâtiments. En 1978, elle instaure ainsi la première réglementation thermique (RT) pour les bâtiments neufs. Cette réglementation est ensuite revue périodiquement,

avec des exigences allant croissant (voir la Figure 1 de la page suivante). Elle prévoit des standards d'efficacité énergétique minimaux. Ainsi, implicitement, elle fixe une consommation maximale pour le chauffage : d'environ 250 kWh/m<sup>2</sup>/an en 1978 pour les logements, cette obligation diminue graduellement pour atteindre 45 kWh/m<sup>2</sup>/an en 2016<sup>(5)</sup>. La réglementation actuelle (EnEV 2014/2016) fixe une consommation maximale qui est en moyenne de 56 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage, l'eau chaude, la climatisation et la ventilation<sup>(6)</sup>. Pour le non résidentiel, elle encadre également l'éclairage. Par ailleurs, depuis 2009, les

(1) Ce dernier poste concerne uniquement le tertiaire et l'industrie.

(2) Ministère allemand de l'Économie et de l'Énergie (BMWi) (2016), « 5. Monitoring-Bericht zur Energiewende – die Energie der Zukunft » (version longue : décembre).

(3) MICHELSEN C. & RITTER N. (2017a), « Wärmemonitor 2016: Die "zweite Miete" sinkt trotz gestiegenem Heizenergiebedarf », DIW Wochenbericht, n°38, septembre, pp. 777-785.

(4) Expertenkommission zum Monitoring-Prozess, « Energie der Zukunft » (2017), « Kurzkomentar zu Stand und wichtigen Handlungsfeldern der Energiewende », octobre, pp. 13-16.

(5) MICHELSEN C. & RITTER N. (2017b), « Energieeffizienz: Regulierung für Wohngebäude wirkt », DIW Wochenbericht, n°38, septembre, pp. 787-788.

(6) Ministère allemand de l'Environnement, de la Protection de la nature, de la Construction et de la Sécurité nucléaire (BMUB) (2017), « Geplante Neuregelungen im Bereich Gebäudeenergiegesetz (GEG) », Berlin Energietage, Wie weiter mit energiesparendem Bauen und Modernisieren in Deutschland ?, Berlin, 4 mai 2017.

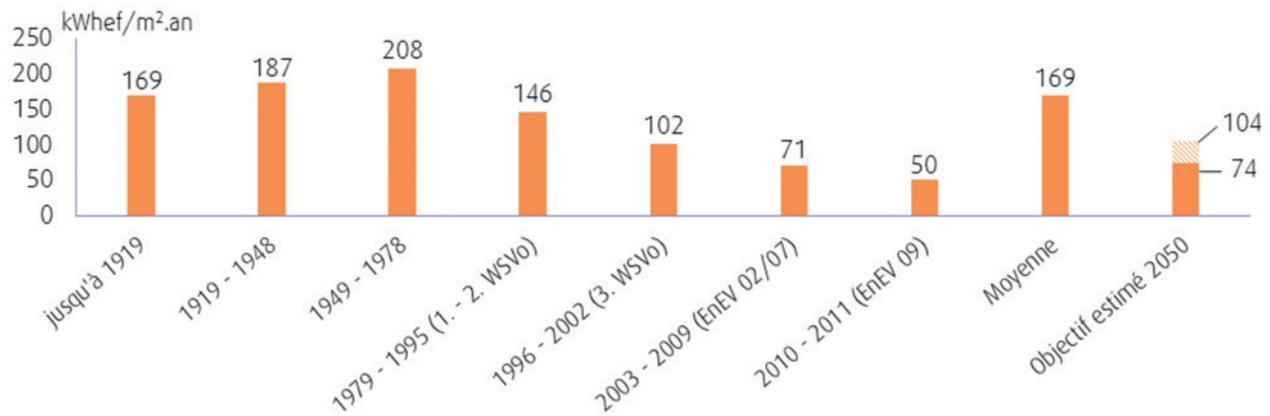


Figure 1 : Consommations énergétiques moyennes des logements en énergie finale, selon leur date de construction et les réglementations thermiques en vigueur en Allemagne (WStVo : *Wärmeschutzverordnung* et EnEV : *Energieeinsparverordnung* (décrets allemands relatifs à la réglementation thermique)).

Source : BMWi (2015), « Energieeffizienzstrategie Gebäude », Représentation : OFATE.

bâtiments neufs doivent s'équiper en moyens de production de chaleur renouvelable ou, à défaut, compenser l'absence du recours aux énergies renouvelables par une efficacité énergétique renforcée du bâti et/ou de ses équipements<sup>(7)(8)</sup>.

### La structure du parc de bâtiments allemand...

En 2013, le parc allemand comptait près de 19 millions de bâtiments résidentiels et 3 millions de bâtiments non résidentiels (soit 1 525 millions de m<sup>2</sup> chauffés<sup>(9)</sup>). En 2012, les bâtiments construits avant l'introduction de la première RT représentaient 64 % des logements existants<sup>(10)</sup>.

Pour des raisons historiques, des différences régionales existent concernant les consommations énergétiques des ménages. Dans les *Länder* de l'ancienne RDA, une partie importante des bâtiments ont bénéficié d'une vague de modernisation dans les années 1990, comprenant en majorité des travaux d'amélioration de leur efficacité énergétique. En 2016, leur consommation énergétique est inférieure de 5 % à celle des bâtiments de l'Allemagne de l'Ouest. De même, il existe une disparité Nord-Sud : ainsi, les ménages du Bade-Wurtemberg et de la Bavière consomment moins d'énergie pour leur chauffage. Selon l'Institut DIW (*Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung*), les nouvelles constructions, plus nombreuses dans ces régions, permettraient de faire baisser, grâce à leur efficacité énergétique, la consommation moyenne du parc bâti du sud de l'Allemagne<sup>(11)</sup>. Concernant le non résidentiel, le ministère allemand de l'Économie et de l'Énergie (BMWi) estime qu'une consolidation des données de consommation sont nécessaires afin de mieux cerner ses potentiels d'efficacité énergétique.

### ... et son impact sur les travaux d'efficacité énergétique

De ces développements historiques, le BMWi a identifié différents gisements potentiels d'efficacité énergétique. À ce titre, on compte notamment les bâtiments construits avant l'introduction d'une réglementation thermique. Il s'agit, en particulier, des 7 millions de bâtiments résidentiels construits entre 1949 et 1978<sup>(12)</sup>.

Par ailleurs, le marché immobilier résidentiel allemand diffère de celui de la France. Ainsi, en Allemagne, 48 % des habitants sont locataires de leur habitation, contre 36 % en France<sup>(13)</sup>. On compte également 10 millions de logements en copropriété. Cette structure renforce d'autant les défis du financement et de l'acceptabilité des rénovations, outre-Rhin. La question de l'augmentation afférente des loyers, notamment dans les zones où le marché immobilier est tendu, est par exemple un sujet soumis à discussion<sup>(14)</sup>. Dans le même temps, près de la moitié des propriétaires particuliers ont plus de 60 ans. Du fait de l'évolution démographique, un changement conséquent chez les propriétaires est donc attendu pour les prochaines années. Il représente une fenêtre d'opportunités pour des investissements dans la rénovation énergétique.

### Investissements dans la rénovation énergétique : les soutiens institutionnels

En 2016, les investissements dans la rénovation énergétique (y compris dans des installations photovoltaïques) sont de 38 milliards d'euros pour les logements et de près de 19 milliards pour le non résidentiel<sup>(15)</sup>. Pour le logement,

(7) Obligation encadrée par la loi sur la chaleur renouvelable (*Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz*).

(8) Pour plus d'informations sur la réglementation thermique, voir : OFATE (2017), « Bâtiments neufs en France et en Allemagne : efficacité énergétique et énergies renouvelables », octobre.

(9) Ministère allemand de l'Économie et de l'Énergie (BMWi) (2015), « Energieeffizienzstrategie Gebäude », novembre.

(10) Ibidem.

(11) MICHELSEN C. & RITTER N. (2017a), déjà cité.

(12) Ibidem.

(13) Site Internet Eurostat, statistiques sur le logement (consulté le 10 janvier 2018), [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing\\_statistics/fr](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing_statistics/fr)

(14) À titre d'exemple, la création de l'Alliance pour l'habitat et la construction abordable (*Bündnis für bezahlbares Wohnen und Bauen*), avec les pouvoirs publics, pour étudier notamment les coûts de la rénovation et les moyens de les atténuer.

(15) DIW (2017), « Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe – Berechnungen für das Jahr 2016 », étude réalisée pour le compte du BMUB et du BSSR, juillet, p. 26.

Photo © Paul LANGROCK/ZENIT-LAIF-REA



Le nouveau siège (« Westarkade ») de la filiale IPEX de la Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) à Francfort-sur-le-Main (Allemagne).

« Pour le neuf, le programme dédié de la KfW permet une surperformance énergétique par rapport aux obligations réglementaires. »

il s'agit en majorité de mesures de rénovation partielle <sup>(16)</sup>, même si les investissements globaux dans la rénovation énergétique sont en augmentation par rapport à 2015. Cependant, le BMWi estime que pour atteindre les objectifs climatiques, 14 à 20 milliards d'euros d'investissements supplémentaires par an seraient nécessaires pour les seuls logements, à partir de 2020 <sup>(17)</sup>.

Pour favoriser ces investissements, le gouvernement a mis en place différents programmes de soutien. À ce titre, on peut citer ceux de la banque d'investissement KfW (*Kreditanstalt für Wiederaufbau*) en faveur de l'efficacité énergétique des bâtiments. Lancés en 2006, ces programmes visaient initialement uniquement le parc résidentiel existant et neuf, avant de concerner également le non résidentiel. En 2016, les crédits et les subventions alloués par la KfW à la rénovation des logements ont engendré près de 10 milliards d'investissements et soutenu la rénovation énergétique de 288 000 logements. Depuis 2006, la KfW a ainsi soutenu des mesures de rénovation concernant près de 3,5 millions de logements (soit environ 9 % du parc résidentiel allemand <sup>(18)</sup>). Pour le neuf, le programme dédié de la banque permet une surperformance énergétique par rapport aux obligations réglementaires. Pour le résidentiel, il vise ainsi une consommation maximale d'environ 30 à 40 kWhep/m<sup>2</sup>/an, contre environ 56 kWhep/m<sup>2</sup>/an dans la réglementation actuelle. Avec 11 milliards annuels d'euros de soutien, ce programme bénéficie, chaque année, à près d'une construction sur deux <sup>(19)</sup>.

### Les objectifs de la politique allemande : un parc de bâtiments tendant à la neutralité carbone

Par sa consommation, le bâtiment représente, en Allemagne (comme en France), un potentiel important pour la lutte contre le changement climatique. Plutôt qu'une unique solution, le gouvernement identifie une combinaison de leviers pour atteindre les objectifs climatiques : une construction bas-carbone respectueuse de l'environnement, des concepts énergétiques à l'échelle de quartiers, la prise en compte des évolutions démographique et immobilière, ainsi que le développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables (EnR).

L'Allemagne souhaite ainsi diminuer la consommation d'énergie primaire des bâtiments de 80 % en 2050, par rapport à 2008 <sup>(20)</sup>. Avec l'adoption, en 2015, de sa stratégie en matière d'efficacité énergétique des bâtiments, le gouvernement fédéral allemand vise un parc de bâtiments presque neutre climatiquement en 2050 <sup>(21)</sup>. Pour cela, les bâtiments doivent d'abord réduire fortement leur consommation. L'objectif de consommation moyenne en énergie primaire est estimé à 40 kWhep/m<sup>2</sup>/an pour les logements (contre 227 kWhep/m<sup>2</sup>/an, en 2008) et à 52 kWhep/m<sup>2</sup>/an pour le parc dit non résidentiel (bâtiments tertiaires, agricoles et ateliers) (contre 265 kWhep/m<sup>2</sup>/an, en 2008 <sup>(22)</sup>). D'ici à 2050, la consommation restant à couvrir devra l'être par des énergies renouvelables, d'après la stratégie du gouvernement fédéral allemand.

### Les différents scénarios de la stratégie relative à l'efficacité énergétique des bâtiments

Plusieurs scénarios ont été étudiés pour l'atteinte des objectifs climatiques des bâtiments en 2050. Le scénario central repose sur une combinaison de mesures d'efficacité énergétique (à hauteur de 54 % de réduction de la consommation d'énergie finale par rapport à 2008) et d'installations d'EnR, notamment de chaleur renouvelable (à hauteur de 57 % de part d'EnR dans le bâtiment, contre 13 % en 2015 <sup>(23)</sup>). Une diminution plus faible des consommations d'énergies fossiles devrait être compensée par plus d'EnR. Même si l'objectif de 2050 apparaît réalisable, d'après la stratégie, plusieurs restrictions techniques et économiques sont à prendre en considération. Les conflits d'usages de la biomasse, la concurrence pour les toitures entre le solaire thermique et le solaire photovoltaïque, les limites technico-économiques pour le développement des réseaux de chaleur à basse température (comme des pompes à chaleur performantes et le chauffage par le sol, dans les bâtiments existants) et la nécessité d'améliorer les matériaux et les techniques de rénovation actuels sont autant de contraintes pesant sur les différents scénarios envisagés.

### Les différentes mesures proposées dans le cadre de la stratégie

Pour développer l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables dans le bâtiment, la stratégie propose plusieurs pistes. Toujours soumises à la discussion, elles portent sur l'information, le conseil, le soutien financier, les outils réglementaires et la recherche. Il s'agit notamment :

- de la diffusion d'un passeport de rénovation énergétique, établi avec des conseillers énergétiques : ce document est destiné à accompagner au fil du temps les mesures successives de rénovation énergétique, notamment dans le cas où la rénovation globale n'est pas envisagée, faute de disposer des moyens financiers nécessaires ;
- de l'amélioration des programmes de soutien à la rénovation et à la construction : par exemple, la fusion des programmes pour la rénovation et la chaleur renouve-

(16) Institut fédéral de recherche pour la construction, l'urbanisme et le développement spatial (BSSR) (2016), « Struktur der Bestandsmaßnahmen im Hochbau », BSSR-Analysen KOMPAKT 01/2016, janvier.

(17) Ministère allemand de l'Économie et de l'Énergie (BMWi) (2014), « Sanierungsbedarf im Gebäudebestand », décembre, p. 13.

(18) Banque d'investissement allemande (KfW-Bankengruppe) (2017), « Programmes d'efficacité énergétique de la KfW en Allemagne : mode de fonctionnement, objectifs et résultats », OFATE, Conférence sur la chaleur renouvelable au service de la transition énergétique, Paris, 26 avril 2017.

(19) KfW-Bankengruppe (2017) et IWU & Fraunhofer IFAM (2016), « Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" und "Energieeffizient Bauen" » 2015, novembre, p. 73.

(20) Pour plus d'informations, voir : DIECKHOFF L. & RAUX-DEFOSSEZ P. (2017), « L'efficacité énergétique en Allemagne : état des lieux et avancement par rapport aux objectifs », pour l'OFATE, mai.

(21) Ministère allemand de l'Économie et de l'Énergie (BMWi) (2015).

(22) Ibidem.

(23) Ministère allemand de l'Économie et de l'Énergie (BMWi) (2016).

lable afin de mieux sensibiliser les groupes cibles et de développer la chaleur renouvelable ;

- du développement du soutien à la rénovation énergétique au niveau du quartier ;
- de la simplification de la réglementation thermique et du renforcement des normes d'efficacité énergétique ;
- d'une étude des possibilités de révision du droit locatif pour une prise en compte renforcée des aspects énergétiques afin de rendre les mesures de rénovation plus

attractives pour les bailleurs ;

- d'un examen visant à différencier le montant des aides sociales au logement en fonction de la performance énergétique de ce dernier ;
- de la mise en place d'outils de marchés, à l'instar des certificats d'économies d'énergie en France ;
- de la diffusion d'applications numériques pour le bâtiment.

# Énergie et bâtiments : regards sur le reste du monde

Par John DULAC

Analyste principal du secteur du bâtiment à l'Agence internationale de l'Énergie (AIE)

et Thibaut ABERGEL

Division des technologies de la demande énergétique à l'Agence internationale de l'Énergie (AIE)

Malgré certains progrès, la demande d'énergie du secteur du bâtiment est en continuelle croissance, tandis que la consommation de combustibles fossiles de ce secteur ne faiblit pas. Un manque de signaux politiques forts et certaines barrières financières freinent le déploiement des appareils économes en énergie et des solutions bas-carbone. Pourtant, l'efficacité énergétique pourrait satisfaire la croissance de ce secteur tout en lui permettant de réduire son empreinte carbone. Il est en outre possible de promouvoir l'accès universel à une énergie propre et abordable d'ici à 2030. Enfin, une gestion appropriée de la demande faciliterait l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique. Néanmoins, satisfaire les Objectifs mondiaux pour le développement durable nécessite une transformation en profondeur du secteur. Elle doit être initiée par des engagements politiques forts, des mécanismes de financement innovants et de nouveaux modèles d'affaires pour que les bâtiments puissent participer à la refonte du système énergétique dans son ensemble.

Le secteur du bâtiment est en continuelle croissance. La surface immobilière mondiale a plus que doublé depuis 1990 (AIE, 2017a) et le monde construira l'équivalent de la ville de Paris chaque semaine jusqu'en 2060, conduisant ainsi à un nouveau doublement de la surface construite (PNUE et AIE, 2017). Une telle croissance soulève autant de défis que d'opportunités pour le secteur du bâtiment et la transition énergétique du XXI<sup>e</sup> siècle.

À cet égard, les Objectifs de développement durable visent à promouvoir un accès universel, abordable et durable à des sources d'énergie propres ou peu polluantes. De plus, l'Accord de Paris de 2015 invite ses 193 parties signataires à présenter des contributions déterminées au niveau national (CDN) pour réduire l'empreinte carbone de leur économie. Responsables de près de 39 % des émissions de dioxyde de carbone<sup>(1)</sup> (CO<sub>2</sub>) liées à l'énergie, les bâtiments et la construction sont dès lors directement ciblés (PNUE et AIE, 2017). Enfin, le secteur du bâtiment devra jouer un rôle essentiel dans la transformation du réseau électrique afin, notamment, de favoriser l'intégration des renouvelables.

Heureusement, de multiples opportunités existent pour pouvoir répondre à ces défis. Un déploiement accéléré de l'efficacité énergétique permettra de s'affranchir des énergies fossiles dans le bâtiment, tout en économisant de l'électricité, beaucoup d'électricité :

l'équivalent de celle produite par 880 centrales thermiques à charbon<sup>(2)</sup> (AIE, 2017a). Par ailleurs, des stratégies nationales ou décentralisées, au niveau local ou régional, permettront un accès universel à des sources modernes d'énergie d'ici à 2030, et ce, sans émission additionnelle de gaz à effet de serre (AIE, 2017b). Enfin, les bâtiments présentent le plus large potentiel en termes de gestion de la demande énergétique (AIE, 2017c), une aubaine pour transformer notre rapport à l'énergie.

## Un potentiel certes immense, mais encore sous-exploité

À l'heure actuelle, les bâtiments sont responsables d'environ 36 % de la consommation d'énergie finale mondiale. Depuis 2010, la demande du secteur en la matière croît chaque année de plus de l'énergie consommée par la France en un an. Ses émissions annuelles de CO<sub>2</sub> ont de fait augmenté, en moyenne, de 1 % par an depuis 2010 (PNUE et AIE, 2017).

Pour satisfaire les ambitions climatiques formulées dans l'Accord de Paris, le secteur du bâtiment ne pourra émettre

(1) Cette estimation inclut les émissions liées à la production d'électricité et de chaleur pour les bâtiments, ainsi que les émissions générées par la fabrication des matériaux de construction.

(2) Calculs établis sur la période 2018-2060.

plus de 150 GtCO<sub>2</sub> environ (AIE, 2017a). Ces 150 GtCO<sub>2</sub>, ce sont également les émissions du secteur sur la période 2000-2016, c'est-à-dire seulement 17 années d'émissions historiques cumulées. Il est donc chaque jour plus urgent de déployer à grande échelle des technologies et des constructions sobres en carbone si l'on veut voir le secteur atteindre la neutralité carbone vers le milieu de ce siècle.

Les mesures actuelles en matière d'efficacité énergétique ne sauraient répondre à cette urgence. Environ la moitié des nouvelles constructions des quarante prochaines années se feront dans des régions du monde dépourvues de code obligatoire réglementant la performance thermique (AIE, 2017a). De plus, la performance moyenne des climatiseurs vendus en 2015 est d'environ 300 % (soit un coefficient de performance [COP] de 3), alors que des appareils affichant une efficacité de 500 % à 600 % sont déjà disponibles sur la plupart des marchés (AIE, 2017d). Les ampoules LEDs, qui peuvent déjà émettre autour de 150 lumens par watt (lm/W), ne représentaient pas, en 2016 (AIE, 2017e), plus de 30 % d'un marché résidentiel, lequel reste dominé par des technologies moins performantes, comme les lampes compactes fluorescentes (LCF, qui émettent en moyenne 60 lm/W). Enfin, la part de marché des halogènes et des lampes incandescentes, même s'ils fournissent moins de 20 lm/W, dépassait encore les 15 % en 2016, en raison de leur très forte présence en Europe.

Par ailleurs, la consommation directe d'énergie fossile dans le bâtiment n'a pas diminué depuis 2010. Le chauffage des locaux et de l'eau sanitaire en est le premier responsable. Le charbon, le pétrole et le gaz sont également encore largement utilisés pour la cuisine et même pour l'éclairage dans les pays en développement. Les équipements plus efficaces, utilisant par exemple la biomasse moderne, le solaire et les pompes à chaleur d'une efficacité énergétique supérieure à 300 % (soit un COP de 3), représentent tous ensemble moins de 10 % des équipements utilisés pour le chauffage (voir la Figure 1 ci-dessous). Pourtant, des analyses de cycle de vie montrent que même si le mix énergétique reste très carboné, les pompes

à chaleur émettent typiquement moins de carbone que les meilleures chaudières utilisant des énergies fossiles, et ce, dans la plupart des pays, la Chine incluse. Somme toute, si l'on prend en compte le mix électrique, plus de 80 % de l'énergie finale consommée par les bâtiments sont aujourd'hui d'origine fossile (PNUE et AIE, 2017).

Les contributions déterminées au niveau national (CDN) constituent un excellent moyen pour compléter les politiques existantes et rendre publiques les ambitions nationales de lutte contre le changement climatique. Déjà, 132 CDN mentionnent explicitement le secteur du bâtiment. Parmi celles-ci, 101 souhaitent faire valoir l'efficacité énergétique dans le secteur et 59 mettent en avant l'utilisation des énergies renouvelables dans les bâtiments. Néanmoins, de nombreux pays ne fournissent pas de détails relatifs aux moyens technologiques, politiques ou financiers qu'ils envisagent de mettre en place pour atteindre ces objectifs. À l'heure actuelle, si les promesses transcrites dans les CDN se concrétisent, environ 60 % des émissions de CO<sub>2</sub> du bâtiment seront couvertes par des politiques énergétiques, soit un simple gain de 13 % par rapport aux politiques actuellement en vigueur (AIE 2017a et 2017f) (voir la Figure 2 de la page suivante). L'enjeu est donc désormais double : étendre ces politiques à l'ensemble du secteur et les affiner dans les filières déjà couvertes. Il n'est pas des moindres, car de nombreux défis sous-jacents sont à prendre en considération pour les élaborer.

(3) Les projections intègrent les politiques énergétiques et les engagements climatiques actuels. L'objectif fait référence à la stratégie de l'AIE pour satisfaire à l'Accord de Paris. L'usage conventionnel de biomasse est exclu. Les énergies fossiles regroupent les chaudières à charbon, au pétrole et au gaz (par exemple, les chaudières à condensation). Les équipements électriques conventionnels font référence aux moyens de chauffage résistifs électriques instantanés, ainsi qu'aux pompes à chaleur d'une efficacité inférieure à 300 %. Les équipements électriques efficaces renvoient aux pompes à chaleur dont l'efficacité est supérieure à 300 %. Les renouvelables regroupent le solaire thermique et la biomasse (utilisée efficacement). Copyright : Agence internationale de l'Énergie et ONU Environnement.

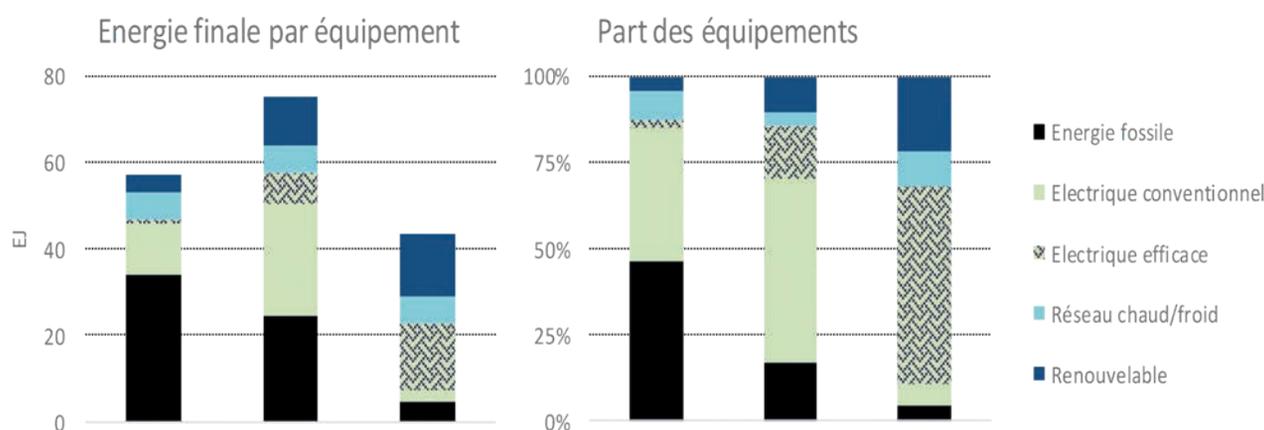


Figure 1 : Énergie finale pour le chauffage et la climatisation par scénario d'ici à 2060, et parts des équipements associés<sup>(3)</sup>. Point clé : Des changements technologiques majeurs sont attendus pour permettre la transition du secteur.

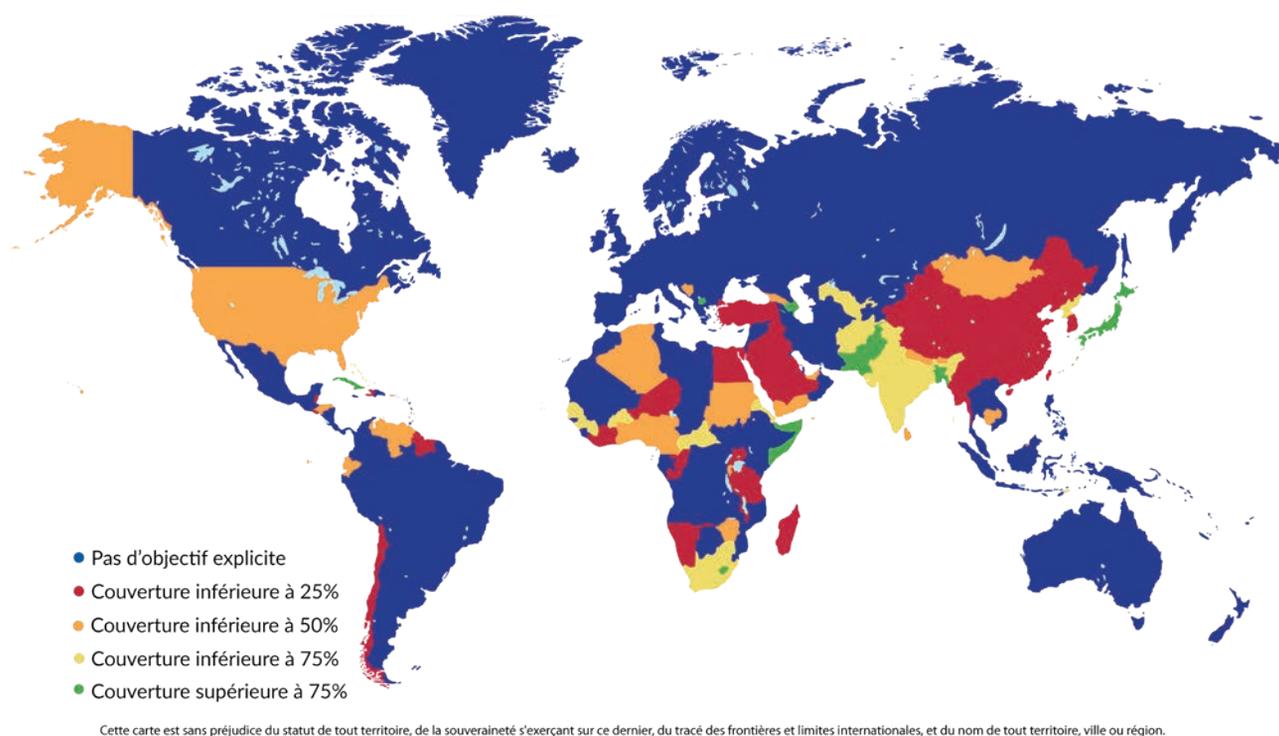


Figure 2 : Niveau de couverture actuel des émissions des bâtiments par les CDNs <sup>(4)</sup>.

Point clé : les CDNs permettent d'accroître la couverture des émissions du secteur bâtiments par les politiques actuelles de 13 %.

## Des défis variés pour un secteur globalement durable

Les stratégies politiques et technologiques doivent être différenciées, car les défis et les opportunités liés à la transformation du secteur du bâtiment dépendent des ressources, des besoins et des actifs énergétiques existants.

Le contenu en carbone de l'électricité influe sur la stratégie à adopter. Ainsi, le mix électrique français est peu carboné grâce à ses unités de production hydrauliques et nucléaires. Le retrait des combustibles fossiles des bâtiments (donc celui des chaudières à gaz, au fioul ou au charbon, ainsi que celui des cuisinières à gaz) apparaît dès lors comme une priorité, étant donné la diversité des solutions bas-carbone existantes. Parallèlement, de par leur importance, les investissements nécessaires pour maintenir le bouquet électrique français à un niveau peu carboné suggèrent d'opter pour un déploiement de l'efficacité énergétique.

Pour d'autres pays, où le contenu en carbone de l'électricité est bien supérieur, un déploiement rapide des technologies les plus efficaces du marché permettrait de réduire les importantes émissions indirectes des bâtiments. Cela inciterait en outre à des investissements de long terme dans de nouvelles capacités de production et cela atténuerait l'impact négatif des pics de demande, lesquels sont généralement satisfaits par un appel à des sources fossiles. Cela faciliterait ainsi la décarbonation du secteur de la production d'électricité et permettrait même l'électrification d'autres secteurs, comme celui des transports.

L'accessibilité aux technologies propres est un facteur tout aussi important. Par exemple, en Afrique sub-saha-

rienne et en Inde, le faible taux d'accès à l'énergie et la forte intensité carbone des mix énergétiques suggèrent d'autres priorités. Le déploiement de solutions solaires décentralisées et de fours solaires améliorés limiterait la pression s'exerçant sur un secteur de production d'électricité peu performant, tout en réduisant l'utilisation intensive et polluante de la biomasse.

L'efficacité énergétique doit être au cœur de toutes les politiques d'accès à l'énergie, sans quoi les investissements nécessaires pour assurer un accès universel d'ici à 2030 pourraient être supérieurs de 32 % (AIE, 2017b) (voir la Figure 3 de la page suivante). Ces actions auront de multiples cobénéfices, notamment la réduction des émissions nocives d'oxydes d'azote et de monoxyde de carbone. Chaque année, plus de 2,8 millions de décès sont attribuables à la pollution de l'air dans les logements (AIE et IIASA, 2017), soit cinq fois plus que les décès causés par le paludisme (OMS, 2017).

Malgré la diversité des défis posés par le secteur du bâtiment, l'efficacité énergétique est pertinente dans tous les cas de figure. Il convient donc de la valoriser dans l'élaboration des stratégies bas-carbone.

(4) L'estimation du taux de couverture confronte la nature des mesures annoncées avec les émissions de CO<sub>2</sub> générées par l'activité à laquelle elles s'appliquent, en 2016, pour chaque pays. Les CDNs ne mentionnant pas spécifiquement des actions ou mesures relatives au secteur bâtiment, comme celles de l'Union européenne proposant des objectifs globaux, ne sont pas comptabilisées dans cette estimation. Copyright : Agence internationale de l'Énergie.

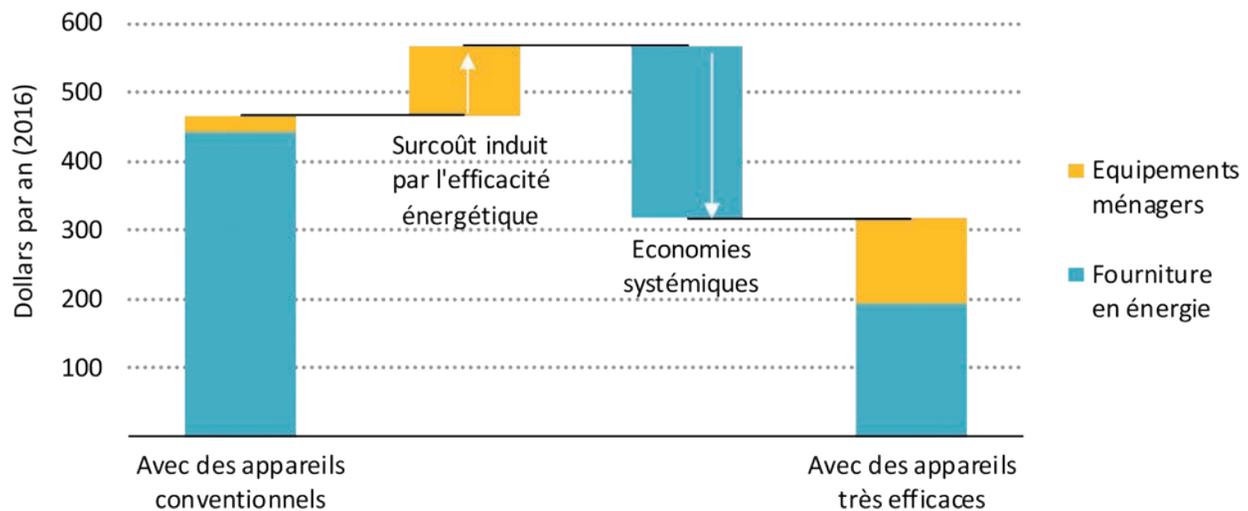


Figure 3 : Coût total annualisé de la fourniture en électricité solaire hors-réseau suivant le niveau d'efficacité énergétique des équipements, 2030 <sup>(5)</sup>.

Point clé : Le surcoût lié à l'efficacité énergétique est plus que compensé par la réduction des dépenses liées à la fourniture en énergie.

### Des stratégies bas-carbone au service de l'efficacité énergétique

Une réduction de l'intensité énergétique du parc de bâtiments de 30 % d'ici à 2030 est de mise pour pouvoir réaliser nos ambitions climatiques et de développement durable.

Tout d'abord, concevoir des bâtiments à haute performance thermique et rénover en profondeur le parc actuel permettraient de maîtriser la demande énergétique du secteur. En 2015, au niveau mondial, près de 3,5 GtCO<sub>2</sub> ont été induits par des enveloppes de bâtiments sous-optimales (PNUE et AIE, 2017). Élaborer et assurer l'application rigoureuse de codes ambitieux par l'ensemble du secteur constitue donc une priorité immédiate, étant donné la longévité des actifs immobiliers. Un simple retard de 10 ans dans la mise en œuvre de telles mesures condamnerait le parc à rester inefficace pour de nombreuses décennies, générant un besoin supplémentaire équivalant à trois années de demande mondiale en chauffage et climatisation (AIE, 2017a).

Sur cette demande énergétique maîtrisée doivent opérer des technologies dûment choisies. Pour le chauffage des espaces et de l'eau sanitaire, qui compte aujourd'hui pour plus de la moitié de l'énergie finale consommée dans les bâtiments, un premier enjeu serait de déployer à grande échelle les pompes à chaleur les plus efficaces (voir la Figure 1 de la page 18). Dans les régions disposant de moyens financiers plus modestes, diffuser des équipements modernes pour le chauffage et la cuisine permettrait de se défaire de l'utilisation conventionnelle de biomasse au profit de vecteurs énergétiques plus modernes, comme le photovoltaïque, le solaire thermique ou la biomasse (sous réserve qu'elle soit utilisée de manière efficace).

Après les avoir dûment identifiées, il conviendra d'améliorer la performance des technologies les plus prometteuses. Par exemple, concentrer la R&D sur les LEDs et instaurer des *minima* de performance bien supérieurs

à 100 lm/W permettront de les déployer rapidement à grande échelle et d'éviter que les lampes compactes fluorescentes ne condamnent ces modes d'éclairage à rester inefficaces pour encore une dizaine d'années. En outre, avec un taux de croissance moyen annuel excédant 3,5 % sur les dix prochaines années, et pouvant même atteindre 10 %, comme en Inde et en Indonésie, les besoins en climatisation doivent être satisfaits par les appareils les plus efficaces du marché afin que l'efficacité moyenne du stock de climatiseurs tende globalement vers 600 % ou plus (AIE, 2017a). Ce déploiement de solutions performantes et bas-carbone à grande échelle nécessitera néanmoins une redéfinition des interactions entre les utilisateurs, les fournisseurs et les industriels.

### Vers une refonte du système énergétique actuel

Tout d'abord, des signaux politiques forts seront nécessaires pour orienter le marché, la R&D et le secteur financier vers des produits énergétiquement efficaces et sobres en carbone. Plusieurs exemples illustrent déjà ces synergies. Ainsi, grâce au programme *Affordable LEDs for all*, l'Inde a distribué près de 285 millions de LEDs (UJALA, 2018) en permettant par là même aux consommateurs de s'affranchir du surcoût à l'achat de ces ampoules à l'efficacité énergétique accrue.

De nouveaux modèles d'affaires, comme ceux proposés par les compagnies de services (par opposition aux sociétés proposant des produits), ont la même finalité. Ils

(5) La consommation d'électricité d'un foyer fourni en électricité solaire et utilisant des appareils peu (resp. très) efficaces est évaluée à 1 230 kilowattheures (kWh) annuel (resp. 420 kWh). Cela permet d'approvisionner quatre lampes fonctionnant cinq heures par jour, un réfrigérateur, un chargeur de téléphone portable et une télévision allumée quatre heures par jour. Le taux d'actualisation a été fixé à 7 %. Copyright : Agence internationale de l'Énergie.

permettent de transférer l'achat et la maintenance des équipements vers des acteurs privés capables de mieux financer et de gérer plus efficacement leurs actifs énergétiques.

Avec un milliard de foyers connectés supplémentaire d'ici à 2040 (AIE, 2017c), le secteur résidentiel présente également le plus fort potentiel de pilotage de la demande. Le report ou l'effacement de charges du secteur du bâtiment permettront de limiter le recours aux énergies fossiles en périodes de pointe et de pallier l'intermittence des énergies renouvelables. Cela suppose néanmoins la réactivité en temps réel des équipements aux variations des prix de l'énergie. Des agrégateurs seront également nécessaires pour piloter conjointement une multitude de charges électriques connectées et rémunérer le consommateur acceptant de *ne pas consommer* d'énergie sur une période donnée.

Faire de l'efficacité énergétique des bâtiments une ressource à part entière aura des implications bien plus larges. Globalement, la flexibilité des secteurs demandeurs d'électricité permettra d'éviter de dépenser 270 milliards d'euros cumulés en nouvelles infrastructures pour le réseau (AIE, 2017c), une partie de ces fonds pouvant être investie dans des mécanismes de financement d'appareils à la fois très performants et réactifs.

Le bâtiment possède ainsi tous les atouts nécessaires pour surmonter les barrières qui, aujourd'hui, font de lui un secteur sous-performant du point de vue énergétique. Afin de satisfaire les objectifs climatiques d'accès à l'énergie et de réduction de la pollution de l'air, une refonte globale du système actuel doit s'opérer. C'est l'un des défis majeurs du XXI<sup>e</sup> siècle.

## Références

AIE (2017a), *Energy Technology Perspectives 2017*, Paris, Debra Justus and Justin French-Brooks.

AIE (2017b), *Energy Access Outlook 2017*, Paris, Edmund Hosker.

AIE (2017c), *Digitalization & Energy*, Paris, Paris, Trevor Morgan.

AIE (2017d), *Tracking Clean Energy Progress 2017*, Paris, Debra Justus and Justin French-Brooks.

AIE (2017e), *World Energy Outlook 2017*, Paris, Edmund Hosker et Robert Priddle.

AIE (2017f), *IEA World Energy Statistics and Balances 2017*, Paris.

BSRIA (2017), The Building Services Research and Information Association.

IIASA (2017), International Institute for Applied Systems Analysis.

PNUE et AIE (2017), *Vers un secteur des bâtiments et de la construction à émission zéro, efficace et résilient*, Paris, Global Status Report Series.

# L'architecte, ambassadeur de la planète

Par Didier LENOIR

Président d'honneur du CLER – Réseau pour la transition énergétique

et Dominique GAUZIN-MÜLLER

Architecte-chercheuse et auteure

Les sciences proposent aujourd'hui une vision nouvelle de la vie sur la Terre : l'humanité fait partie de la nature et doit respecter ses équilibres pour pouvoir y vivre en sécurité. En chaque lieu et pour chaque besoin d'énergie, il faut choisir la solution la meilleure pour la planète : la transition écologique s'impose et la transition énergétique, qui en est l'un des chapitres, ne peut plus imposer des normes générales. Pour la construction, l'obligation de résultat et le droit à l'erreur remplacent le système administratif actuel devenu inadapté. L'architecte voit son équipe et ses partenariats se diversifier, comme l'ensemble de l'ingénierie avec laquelle il doit dialoguer. Son rôle devient essentiel pour assurer la synthèse de tous les apports et donner au bâtiment la cohérence et la signification attendues par ses utilisateurs et son environnement.

Apparue officiellement en Allemagne et en Autriche au début des années 1990, l'expression « transition énergétique » recouvrait des propositions scientifiques, techniques et économiques émises en vue de libérer ces pays de leur dépendance à l'atome et au pétrole. Ce concept concernait les moyens de production d'énergie dans le but de diminuer leur impact sur l'environnement. En quatre décennies, toutes les sciences ont rapidement progressé, nous présentant aujourd'hui une vision nouvelle de la vie sur la Terre. Deux grandes leçons s'en dégagent. La première prouve l'intime liaison entre les milieux et les espèces animales et végétales, sur l'ensemble du globe : qu'une espèce dépérisse ou disparaisse, et son espace de vie s'appauvrit, et cela peut avoir des impacts imprévisibles sur les continents, dans les océans ou dans l'atmosphère. La seconde leçon montre que l'humanité est étroitement dépendante de l'infini de ces réseaux qui la rattachent au nano-monde des bactéries, à tous les espaces et à toutes les espèces terrestres, et à l'incommensurable univers parsemé de trous noirs.

Ces constats remettent en cause le paradigme de progrès scientifique et technique qui mobilise l'humanité depuis six siècles : l'humanité fait partie de la nature, elle doit respecter ses équilibres pour pouvoir y vivre en sécurité. Une telle révolution ne peut aboutir sans évolutions psychologiques, sociétales, politiques, économiques, etc. Cette longue phase de la transition écologique doit être partagée par toute l'humanité. La transition énergétique en est un chapitre. De ce fait, la transition énergétique ne peut plus se résumer à l'application de normes globales. C'est en chaque

lieu et pour chaque besoin d'énergie qu'il va falloir choisir la solution la meilleure pour la planète, en fonction des caractéristiques géographiques, environnementales et climatiques locales et régionales. Ce changement culturel sera profond et généralisé, et chaque personne devra s'adapter à cette nouvelle vision de sa vie sur notre planète.

## Les énergies renouvelables et l'acte de construire dans la transition énergétique

Appliquée au recours nécessaire aux énergies renouvelables, cette conclusion exige la pratique d'une réflexion et de choix locaux pour chaque projet en tenant compte avec précision des spécificités locales et régionales, afin de déterminer le bénéfice réel de l'énergie choisie. Cela revient, par exemple, à connaître l'origine du bois que l'on veut utiliser et à éliminer les bois exotiques provenant du défrichage de forêts amazoniennes ou africaines, au profit de forêts exploitées avec toutes les garanties d'une gestion écologique durable.

Pour l'acte de construire, cette conclusion entraîne d'importantes conséquences pour les deux principaux intervenants que sont le maître d'ouvrage et l'architecte. Tout d'abord, leur responsabilité environnementale devient d'essence planétaire et permanente, depuis la conception jusqu'à la fin de la garantie décennale, et elle prime sur les règles techniques du permis de construire, sans les supprimer. Il est probable qu'une longue période d'apprentissage sera nécessaire pour adapter les réglementations existantes à cette situation et pour former les intervenants.



Vue générale du pôle œnotouristique de Viavino (Pays de Lunel – Département de l'Hérault).

« Construit aux portes du bourg de Saint-Christol, Viavino a une empreinte écologique très faible. Ici, le « fait main » prime sur les solutions standard, et les matériaux biosourcés locaux sont à l'honneur. »

L'ouvrage à construire devra donc obligatoirement s'insérer dans le milieu planétaire sans conséquence négative sur l'environnement et sur la vie des espèces animales et végétales, ou, à défaut, moyennant des compensations appropriées, qu'il conviendra d'apprécier. Pour l'architecte, l'obligation de conseil auprès du maître d'ouvrage devient ainsi très large, d'autant plus large que l'État prend conscience du fait qu'il lui est impossible d'assurer la cohérence et l'efficacité d'un système opérationnel de lois et de normes devenu ingérable dans la pratique. Avec l'obligation de résultat pour les projets de construction et le droit à l'erreur, tous deux logiquement envisagés, la compétence et la responsabilité du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre deviennent essentielles. L'étendue des nouveaux domaines à maîtriser est considérable, et l'architecte voit son équipe et ses partenariats se diversifier, à l'image de l'ensemble de l'ingénierie avec laquelle il doit dialoguer. La synthèse de l'architecte sera d'autant plus riche et pertinente qu'elle émanera d'une équipe véritablement pluridisciplinaire au sein de laquelle chaque intervenant partagera la vision globale du projet.

### Les énergies renouvelables dans le bâtiment

La maîtrise de l'énergie est à la base de toutes les démarches de la transition énergétique : la première des énergies renouvelables pour la construction et l'usage du bâtiment est celle que l'on ne consomme pas ! Lors de la construction, l'objectif est de privilégier l'emploi de matériaux stockant un maximum de carbone, tout en exigeant un minimum d'énergie pour leur mise en œuvre. Cela introduit inévitablement les matériaux naturels locaux ou régionaux (bois, paille, chaume, chanvre, terre crue, pierre, etc.), pour lesquels le transport est réduit. Cette redécouverte de savoir-faire anciens pourra s'effectuer avec une grande effi-

cacité grâce aux innovations techniques contemporaines : facilité de leur mise en œuvre, adaptation à leur rôle dans l'ouvrage, simplicité d'entretien, sécurité du bâti.

Une mention particulière concerne la rénovation énergétique des bâtiments existants. Leur isolation thermique doit être réalisée avant toute autre intervention, car elle produit un changement fondamental de climat dans l'immeuble, ce qui permet de dimensionner économiquement et efficacement toutes les installations intérieures de chauffage et de ventilation. Ce grand principe d'économie étant posé, il n'est pas souhaitable d'énumérer des règles générales en matière de choix des énergies renouvelables pour un bâtiment donné, tant l'exploitation va dépendre du lieu précis d'implantation, de la qualité de l'isolation, de l'importance de la construction et de ses usages. Le rôle de l'architecte est ici essentiel, car il s'agit de construire un bâtiment qui exprime la synthèse de multiples techniques, et non leur simple addition. L'exemple du site de Viavino illustre ce principe.

### Viavino, un équipement public à énergie positive

Le pôle œnotouristique Viavino, conçu par l'atelier Philippe Madec avec l'ingénieur Alain Bornarel, symbolise l'engagement dans la transition écologique du Pays de Lunel, pôle rural d'excellence situé entre Nîmes et Montpellier. Construit aux portes du bourg de Saint-Christol, Viavino a une empreinte écologique très faible. Ici, le « fait main » prime sur les solutions standard, et les matériaux biosourcés locaux sont à l'honneur : le calcaire est issu de carrières voisines, le bois provient des Alpes, des Cévennes ou du Lot-et-Garonne. Les dispositifs écologiques n'y forment pas un catalogue de techniques. Pour Philippe Madec, « ils participent à une spatialité bienveillante, lumineuse et saine : bâtiment étroit, ouvertures opposées,

### Quelques réalisations et projets exemplaires

Quel que soit le projet, ses qualités énergétiques résulteront de la somme des choix effectués pour chaque usage, en fonction de l'emplacement et des caractéristiques du site : Viavino illustre le potentiel des énergies renouvelables au niveau régional, pour la construction comme pour l'exploitation des bâtiments.

L'architecte doit travailler en étroite collaboration avec l'équipe d'ingénierie pour obtenir une synthèse cohérente et significative de la transition énergétique, comme le montrent les exemples suivants :

#### *L'Office de tourisme d'Alès (Gard)*

Les ruines d'une église romane sont magnifiées par trois vastes ensembles de panneaux solaires fermant les restes des travées. Le soleil est le bienvenu dans une ville, où le tourisme constitue une activité essentielle : l'architecte, Yves Jautard, l'a exprimé avec force et efficacité.

#### *Le Bundestag (installé dans les ruines du Reichstag), à Berlin*

L'architecte britannique Norman Foster a su transformer l'austère enceinte du Reichstag (du XIX<sup>e</sup> siècle) grâce à un puits de lumière, qui, venant du sommet du dôme, éclaire jusqu'aux sièges du Parlement. Des capteurs photovoltaïques sont installés sur le dôme. Le site tout entier a été utilisé pour rendre presque autonome en énergie le bâtiment, qui est le symbole de la démarche écologique allemande à long terme. Sous l'ensemble de l'esplanade, la géothermie exploite un aquifère situé à 60 mètres de profondeur pour la climatisation, et un second, à 300 mètres de profondeur, accumule de la chaleur durant l'été pour assurer le chauffage en hiver. Tout en conservant l'essentiel de l'ancien bâtiment du Reichstag, l'architecte a su lui donner une élégance et une transparence qui expriment parfaitement la volonté démocratique des institutions fédérales.



Photo © Gunnar KNECHTEL/LAIF-REA

Vue intérieure du dôme en verre du Bundestag à Berlin (Allemagne).

« Tout en conservant l'essentiel de l'ancien bâtiment du Reichstag, l'architecte a su lui donner une élégance et une transparence qui expriment parfaitement la volonté démocratique des institutions fédérales. »

#### *À Bordeaux, Hypérion – une tour à la gloire du bois*

Avec son quartier Euratlantique, Bordeaux rejoint des métropoles européennes comme Barcelone, Lyon ou Berlin, qui fondent leur dynamisme sur un retour profondément actuel à des conceptions humanistes de l'urbanisme et de l'architecture : des quartiers bien reliés à des espaces métropolitains accueillant et mêlant les activités les plus diverses, des habitats pour tous les niveaux sociaux, des espaces naturels, des espaces pour les sports et les loisirs. Ici, l'architecture prend une signification emblématique du rayonnement local, régional et international de l'agglomération bordelaise. ●●●

●●● La tour en bois Hypérion (de 57 mètres de haut), conçue par le cabinet d'architectes Jean-Paul Viguier & Associés, répond exactement aux objectifs de la métropole : manifester le dynamisme du territoire, ouvrir des logements sociaux en son centre-ville, valoriser la forêt régionale de pins des Landes, un bois aux qualités sous-estimées et trop peu utilisé dans la construction.

#### **Des bâtiments d'exploitation agricole**

Dans un site paradisiaque, dans le nord du département du Lot, une exploitation agricole largement couverte de panneaux photovoltaïques manifeste une présence humaine ordonnée et respectueuse de son environnement.

lumière naturelle omniprésente, pas de climatisation... ». Ses locaux à usage permanent (bureaux, accueil, boutique et restaurant) sont desservis par une chaufferie collective au bois, mais, grâce à une isolation renforcée, un poêle à bois suffit dans les locaux à usage intermittent (musée et salle de séminaires).

Sous ce climat méditerranéen, où les températures peuvent dépasser 45 °C, le focus a été mis sur le confort d'été. Les espaces intérieurs, pour la plupart traversants, ont des fenêtres ouvrantes qui sont adaptées aux vents dominants, elles sont donc plus petites en façade nord-est. La stratégie, entièrement passive, comprend la forte inertie de murs en pierre ou en béton banché de planchettes et de sols en terre battue, ainsi qu'une sur-ventilation nocturne (7 à 15 vol/h) en été. Le système de ventilation naturelle assistée et contrôlée (VNAC) assure également les débits de la ventilation hygiénique toute l'année, grâce à des tourelles d'extraction en toiture et à des bouches d'entrée d'air auto-réglables adaptées en façade. La salle de séminaires est tempérée naturellement par un puits provençal composé de 14 tubes de 20 centimètres de diamètre et de 30 mètres de long à 4 mètres de profondeur.

Les 172 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques intégrés à la toiture des bâtiments d'accueil ont une puissance de 25 kilowatts-crête (Wc), et les 15 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques assurent 70 % de l'eau chaude sanitaire. Les besoins en chauffage sont (selon les bâtiments) de 8 à 12 kWhep/m<sup>2</sup>/an pour un bilan énergétique annuel, tous usages confondus, de 16,4 kWhep/m<sup>2</sup>/an. Viavino est à énergie positive. Mais c'est surtout un bâtiment naturellement confortable, dans lequel les usagers se sentent bien !

### **Ce que l'on attend de l'architecte**

« L'architecture est une science qui embrasse une grande variété d'études et de connaissances ; elle connaît et juge de toutes les productions des autres arts. Celui-là seul, qui, semblable au guerrier armé de toutes pièces, sait joindre la théorie à la pratique, atteint son but avec autant de succès que de promptitude » (Vitruve, *De l'architecture*, Livre I, *Des qualités de l'architecte*).

La transition écologique marque le début d'une ère nouvelle, comme la Renaissance ouvrit l'époque moderne. Filippo Brunelleschi, Michel-Ange, Andrea Palladio, Philibert Delorme, Léonard de Vinci et bien d'autres architectes européens surent concrétiser et magnifier une synthèse visionnaire des découvertes de leur temps. Aujourd'hui, il nous faut construire une culture humaniste qui soit non plus au service des puissants, mais au service de la société tout entière : les drames de l'ère moderne ont fait émerger en Europe le désir d'une vraie démocratie. Synthèses de nos savoirs, une culture et une pratique humanistes de leur art, au service de tous, sont attendues des architectes pour nous faire entrer dans l'ère apaisée qui doit accompagner la transition écologique et sociétale dont fait partie la transition énergétique.

Face à la multiplication galopante des innovations techniques dans la construction, une conception numérique des projets pourrait conduire à confier l'architecture à des algorithmes chargés d'optimiser les résultats en termes de réduction de l'effet de serre, de maîtrise de l'énergie, des coûts..., et, au final, éliminer l'architecte ! Bien au contraire, le retour à la nature organisé pour et par la transition écologique ne pourra réussir sans l'adhésion pleine et enthousiaste de nos concitoyens, dont nous avons noté la responsabilité individuelle vis-à-vis de la planète et de ses habitants de toutes espèces. Comme cela fut le cas à la Renaissance, seul l'architecte est capable de faire la synthèse entre les apports techniques nécessaires tout en y ajoutant la part d'humanité, suscitant l'émotion, le rêve, une adhésion sans cesse revisitée à une vision nouvelle de la vie sur Terre.

Contrairement au Mouvement moderne, qui soumit l'architecture à l'industrie du bâtiment et à la séparation des fonctions urbaines, la transition écologique et énergétique exige que l'urbanisme et la construction assimilent une mixité des activités, une juxtaposition des statuts sociaux et une diversité des espaces qui permettent à la nature de pénétrer dans la ville. Ce nouvel humanisme libère l'architecte de contraintes idéologiques stériles et l'investit d'une responsabilité vitale : ouvrir la voie à une humanité réconciliée avec sa planète et solidaire des espèces vivantes qui la peuplent.

# Économies d'énergie : le bâtiment confronté à ses occupants

Par Marie-Christine ZÉLEM

CERTOP UMR 5044 du CNRS, Université de Toulouse Jean Jaurès

Le projet de transition énergétique dans le bâtiment s'inscrit dans un imaginaire technologique qui se heurte aux problématiques d'appropriation, d'usages, de comportements, d'apprentissages, de compétences... C'est ce que l'on nomme « la part sociale des projets énergétiques », qui se trouve le plus souvent dissimulée derrière la notion d'acceptabilité sociale généralement invoquée lorsque les technologies sont mal utilisées, ou bien lorsque leurs performances supposées ne sont pas au rendez-vous. Ce texte propose un certain nombre de clés de compréhension de ce qui structure socialement les pratiques énergétiques. Il invite à sortir d'une approche technocentrée, pour aller vers une ingénierie plus sociale.

## Introduction

La transition énergétique interroge le modèle énergivore sur lequel nos sociétés occidentales se sont construites depuis un siècle. Elle est au cœur des programmes d'action publique de maîtrise de la demande d'énergie (MDE), notamment dans le secteur du bâtiment. Elle invite à changer de paradigme pour passer d'une société de consommation-gaspillage à une société de préservation des ressources, centrée sur plus d'attention énergétique (SUBREMON, 2011), et pour aller vers une forme de sobriété sociétale (ZÉLEM, BESLAY, 2015). Ce processus est d'ores et déjà enclenché. Il mise sur le développement des villes intelligentes, des réseaux intelligents, des bâtiments intelligents. Il convoque la domotique, l'Internet des objets et les *Big data*. Compte tenu de l'urgence climatique, c'est un stimulant extraordinaire pour tout ce qui concerne l'innovation technologique. Toutefois, ce projet de société s'inscrit dans une sorte d'imaginaire technologique qui achoppe régulièrement sur des problématiques d'appropriation, d'usages, de comportements, d'apprentissages, de compétences... Cela correspond à ce que l'on nomme en sociologie la part sociale des projets énergétiques. Cette part sociale, on la trouve le plus souvent dissimulée derrière la notion d'acceptabilité sociale, celle-ci étant généralement invoquée lorsque les technologies sont mal utilisées, ou bien lorsque leurs performances supposées ne sont pas au rendez-vous.

Dans ce texte, nous allons dresser un panorama des dimensions du projet transitionnel, qui méritent un éclairage sociologique. Nous verrons les raisons pour lesquelles, à différentes échelles, il importe de penser autrement les contraintes pesant sur la mise en œuvre et sur le déploiement de ce projet sociotechnique complexe, en parti-

culier dans le bâtiment. C'est ainsi que nous proposons d'adopter une approche globale et anthropocentrée qui permet de donner des clés pour comprendre les inerties constatées. Dans un premier temps, il s'agira d'interroger l'approche technologique descendante pour réintroduire des questionnements autour des logiques sociales qui orientent les pratiques énergétiques. Puis, après avoir questionné le jeu des normes techniques et des normes sociales autour de la notion de confort, nous verrons quels sont les déterminants qui encastrent et structurent les comportements et quelles sont les conditions minimales pour que les technologies soient appropriées. Nous proposerons ensuite une catégorisation des occupants pour expliquer leurs comportements parfois si différents vis-à-vis de l'énergie. Nous terminerons par un exposé sur la nécessité de revisiter les formes d'accompagnement dans ce projet – pas toujours partagé – d'un monde moins énergivore.

## Une transition énergétique plus technologique que sociale

Le projet de transition énergétique repose sur l'idée centrale que la technique est porteuse de solutions qui permettront à nos sociétés de surmonter la difficulté à produire de l'énergie et à moins en consommer. Nous ne discuterons pas ici des débats autour des alternatives à la production d'énergie. Dans tous les cas, le contexte d'urgence est sans conteste propice à la R&D et aux projets innovants. Dans le secteur du bâtiment, les réflexions suscitées par la nécessité de réduire rapidement les niveaux de consommation ont également conduit à accélérer la recherche de solutions technologiques (isolants, matériaux, équipements, outils de calcul...) qui ambitionnent des performances assez radicales pour développer les BBC

(bâtiments basse consommation), puis les BEPOS (bâtiments à énergie positive) qui seront rendus obligatoires en 2020. L'approche technologique oubliée qu'en réalité, la transition énergétique concerne et impacte de plein fouet, et en même temps, non seulement les savoir-faire et les compétences des professionnels du bâtiment, des acteurs intermédiaires de la maintenance et de la gestion, mais aussi les modes de vie des habitants, et donc les cultures. Or, ce n'est pas parce qu'une loi impose des modes constructifs moins énergivores (la loi sur la Transition énergétique pour la croissance verte<sup>(1)</sup>) que les professionnels du bâtiment sont immédiatement en mesure de déployer des savoir-faire compatibles. Ce n'est pas parce que l'environnement technologique d'un logement ou d'un bureau a changé que les occupants changent de comportement. Par ailleurs, si les technologies performantes sont considérées comme vectrices de pratiques qui seraient prédéterminées (DUJIN, 2011), les habitants sont rarement des agents passifs dans leur logement ou leur bureau. En dehors des actes routiniers incorporés sans apprentissage, sans ajustements, voire sans détournements, ils fonctionnent peu en mode automatique face à de nouveaux dispositifs.

### Une approche de la transition énergétique encore très technocentrée

À travers les bâtiments à énergie positive, l'on ambitionne de redessiner les manières d'habiter, de réfléchir aux équipements les plus pertinents et aux moyens de moins consommer d'énergie pour dépasser les contraintes liées aux manques de compétence des usagers. Les habitants sont alors supposés adhérer aux nouvelles morphologies constructives et s'adapter aux nouveaux équipements qui redessinent leur quotidien. Les orientations technologiques à l'œuvre, pour ce qui concerne le confort thermique, vont dans le sens de l'automatisation et de la gestion centralisée des dispositifs. Il s'agit d'alimenter en énergie les logements et les bureaux, d'en réguler la température, de les ventiler en continu ou de les éclairer en fonction d'ambiances lumineuses programmées. Ainsi, le secteur du bâtiment reconfigure son offre : bâtiments hyper-isolés, sans chauffage et intégrant des systèmes d'énergie renouvelable, des automatismes et des équipements plus ou moins sophistiqués (de climatisation, de ventilation double flux...).

Cependant, cela n'implique pas automatiquement que les particuliers modifient en retour leurs habitudes relatives aux façons d'habiter. Au contraire, on observe une tendance au suréquipement (on achète un radiateur mobile par anticipation d'hivers plus froids, on multiplie les ventilateurs sur pied par peur d'avoir trop chaud l'été...) et les factures d'énergie ont du mal à diminuer. En lieu et place des économies d'énergie programmées, on constate au contraire des hausses de consommation qui constituent ce que les économistes nomment des « effets rebond »<sup>(2)</sup>.

Dans la phase de leur mise en œuvre, les dispositifs peuvent être malmenés par les professionnels, lorsque les référentiels de formation ne sont pas révisés et les savoir-faire inadaptes (CARASSUS, 2013). Même si les technologies passent par des phases d'expérimentation et d'ajustement tout au long de leur conception, il peut

avoir une grande différence entre les performances initialement escomptées et les consommations mesurées *in fine*, en situation d'occupation. Leur mise sur le marché n'est pas automatique et peut rencontrer nombre d'obstacles liés à des effets de concurrence, à des réglementations pas suffisamment offensives pour disqualifier d'autres technologies, certes plus énergivores, mais aussi plus familières.

Les équipements se révèlent parfois décevants en conditions d'usage. En fait, les technologies sont porteuses de logiques (en termes d'efficacité, de robustesse, de connectivité...) qui ne sont pas nécessairement compatibles avec les logiques sociales (identitaires, distinctives, sanitaires, économiques, écologiques...). Elles reposent sur des conceptions standardisées des pratiques sociales qui renvoient à des normes techniques (comme celle du 19 °C dans les logements ou celle du 50 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le bâtiment neuf), que le modèle constructif tend à imposer contre les normes sociales en matière de confort thermique (comme celle de chauffer à 21 ou 22 degrés), contre les aspirations sociales (vivre dans un logement climatisé, par exemple) ou contre les habitudes (se couvrir ou non, chez soi (pantoufles, gilet...), programmer ou non (différencier le confort de jour de celui de la nuit), aérer longtemps ou pas du tout, contrôler ses factures ou non...). Cette mise en concurrence entre dispositifs techniques et cet ensemble d'attitudes constitutives du « comportement énergétique » explique en grande partie la difficulté des habitants à s'approprier ce projet de sobriété pensée en dehors d'eux.

La complexification croissante des technologies met à l'écart les non-initiés. La plupart embarquent de petits ordinateurs (thermostat pour le chauffage, tableau de bord du climatiseur, commandes de la production d'eau chaude sanitaire...). Leurs conditions d'utilisation supposent des compétences que tout le monde n'a pas toujours et que tout le monde n'a pas nécessairement envie d'avoir. Souvent, elles dépossèdent les usagers de leurs capacités de maîtrise. La multiplication des automatismes, la programmation et les équipements intelligents tendent à les mettre à distance et ne les invitent pas à une réflexion sur les enjeux de combiner efficacité et sobriété énergétiques.

### Interroger la part sociale des techniques

Pour appréhender les déterminants des comportements énergétiques, le sociologue pense le logement comme une configuration sociotechnique (CALLON, 1997) qui repose sur « des arrangements hétérogènes mêlant non seulement acteurs individuels et collectifs, mais aussi techniques, procédures et règles, qui entrent dans la configuration, aux côtés des acteurs humains traditionnels ». Ces arrangements renvoient à une combinaison

(1) Loi n°2015-992 du 17 août 2015 qui fixe les grands objectifs du nouveau modèle énergétique français, <http://www.legifrance.gouv.fr>

(2) On appelle « effet rebond », ou « paradoxe de Jevons » du nom de son auteur (Stanley Jevons, 1865, *The coal question*), la façon dont certains gains environnementaux obtenus grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique sont annulés par une augmentation des usages.

d'éléments en interaction et en interdépendance : des acteurs humains (décideurs, concepteurs, utilisateurs), des équipements, des appareils et des consignes (considérés alors comme des acteurs non humains), des dynamiques sociales (des cycles de vie, des jeux de réseaux, des processus d'apprentissage, des flux d'informations...), des environnements (climatique, énergétique, politique) et des configurations (organisationnelles, institutionnelles, familiales...). À cela, on pourrait ajouter des règles d'usage et d'action, des formes de négociation et de coordination interpersonnelles, mais aussi des stratégies de contrôle et de reprise en main ou des stratégies d'évitement et de contournement (BESLAY, GOURNET, ZÉLEM, 2015).

Ainsi, les comportements énergétiques résultent d'une dynamique complexe, à la croisée de facteurs psychosociaux, culturels, économiques, politiques, idéologiques, mais aussi structurels. Les caractéristiques socio-démographiques (sexe, âge, niveau de diplôme, niveau de revenu et CSP) se combinent aux dispositions sociales (qui se construisent elles-mêmes au cours d'un jeu entre savoirs, compétences, valeurs, habitudes, préjugés et croyances). C'est ainsi que, par exemple, la sensibilité à l'environnement influence positivement l'attention portée à l'énergie. De son côté, la situation résidentielle (qui réfère au statut d'occupation, à l'état du bâti et des appareils, mais aussi aux relations entretenues avec le bailleur, l'employeur ou le gestionnaire du bâtiment) structure fortement les pratiques énergétiques. Une certaine disposition cognitive (la compréhension du fonctionnement des appareils et des dispositifs) apparaît également comme étant centrale dans l'analyse des pratiques.

Dans le résidentiel, le statut vis-à-vis du logement (propriétaire ou locataire), le type de logement (maison/apartement, neuf/ancien, rural/urbain), la position dans le cycle de vie (jeune, adulte, sénior), le rapport à la santé et au travail (en activité ou non) et la situation sociale (célibataire, en couple avec/sans enfants, famille monoparentale...) jouent, à l'échelle individuelle, comme autant de contraintes ou, au contraire, de catalyseurs. L'accès au crédit, les aspirations en termes de confort ou de mode de vie, mais aussi les types d'intervention des prescripteurs ont eux aussi des effets structurants.

Il en va de même dans le tertiaire, où le statut vis-à-vis du bureau, le type de bureau (individuel ou *open space*), la possibilité de contrôler ou non les systèmes (chauffage, climatisation, ambiance lumineuse), la participation ou non au projet de rénovation énergétique, etc., jouent un rôle central et discriminant en matière de comportements énergétiques.

Cet ensemble de facteurs implique d'adopter une posture anthropocentrée qui appréhende les usagers dans toute leur diversité. Il s'agit de les replacer au cœur des systèmes et de les considérer comme contribuant à part entière à la performance énergétique, en les dotant d'outils de contrôle et de pilotage simples. Il s'agit de faire en sorte qu'ils montent en compétences sur la base d'une culture des économies d'énergie, à la fois technique et environnementale.

## Les déterminants des pratiques sociales dans le bâtiment

Les technologies fonctionnent bien en laboratoire. Elles sont efficaces dans les simulations, au cœur des modèles ou des scénarios socioéconomiques. Par contre, les résultats ne sont pas toujours au rendez-vous, lorsqu'on les confronte à des utilisateurs humains. Par exemple, si sur le papier, les bâtiments de type BEPOS consomment peu ou pas d'énergie, ils en consomment en situation d'occupation (HELLIER, 2015). On retrouve ce constat dans la difficulté récurrente à laquelle les habitants sont confrontés : ils sont de mieux en mieux sensibilisés à la nécessité de moins gaspiller l'énergie, certains peuvent bénéficier de mesures publiques incitatives (défiscalisation, primes, subventions...), les appareils et les équipements électriques sont de plus en plus performants, et les logements sont de mieux en mieux isolés. Or, malgré ce contexte plutôt favorable et malgré les multiples signaux incitant à consommer avec plus de modération, on observe une faible maîtrise, voire une hausse des consommations d'énergie.

### Des occupants encastrés dans un système socio-technique

Les pratiques de gestion de l'énergie résultent de la combinaison entre diverses régulations et micro-négociations à l'intérieur du collectif habitant, mais aussi avec les règles ou les consignes propres au bâtiment. Elles sont influencées par les caractéristiques sociales, les dispositions sociales (revenus, capitaux sociaux et culturels...) et les savoir-faire. Cet ensemble est lui-même encastré dans des systèmes de valeurs, de connaissances, de croyances et d'habitudes qui jonglent avec les contraintes imposées par le type ou la structure du bâti et par la qualité des équipements. À ce titre, le comportement n'est donc pas une variable autonome, mais bien un élément, parmi d'autres, d'un système sociotechnique. C'est pourquoi il est fondamental de ne pas concevoir les bâtiments et les technologies en dehors de leurs utilisateurs et de tenir compte de la complexité du social déjà incorporé ou à incorporer dans les dispositifs techniques.

Les habitants se confrontent à des logements ou à des bureaux en situation plutôt contrainte, dans la majorité des cas (on ne choisit guère le lieu où l'on travaille, tout comme on élit domicile le plus souvent suite à un arbitrage entre désirs et pragmatisme : proximité des services, de l'école, des transports...). Par contre, on pourrait se dire qu'ils sont plus libres de choisir leurs équipements, et donc qu'ils sont responsables lorsqu'ils acquièrent un appareil énergivore. Toutefois, le marché joue un rôle prépondérant. Si la structure de l'offre est prépondérante en termes de logements (logements isolés ou non, système de chauffage performant ou non, services adaptés ou non, professionnels compétents ou non...), de son côté, c'est la composition de l'offre en termes d'équipements qui conditionne en grande partie les manières dont les particuliers s'équipent. Les prix eux-mêmes (de l'énergie, des appareils...) contribuent à infléchir les comportements. Ils autorisent, ou non, telle ou telle pratique sociale

Photo © Jonas Hamers/REPORTERS-REA



Pertes thermiques mises en évidence par un détecteur de chaleur.

« Les technologies fonctionnent bien en laboratoire. Elles sont efficaces dans les simulations, au cœur des modèles ou des scénarios socioéconomiques. Par contre, les résultats ne sont pas toujours au rendez-vous, lorsqu'on les confronte à des utilisateurs humains. »

(l'usage de la voiture, les appareils en veille, le multi-équipement...). Même si encore beaucoup de consommateurs ne savent pas l'interpréter, et donc l'intégrer lors d'un achat, l'affichage des performances énergétiques *via* l'étiquette énergie joue également un rôle central dans ce dispositif.

L'usager d'un bâtiment n'est au final qu'un acteur parmi d'autres, au cœur d'un système incarné et piloté par le marché, qui conditionne largement ses besoins, et donc ses modes d'équipement, et, *in fine*, ses comportements. Dans cette approche, ce n'est pas la demande (accéder à des logements et à des appareils sobres en énergie) qui structure l'offre, mais bien l'inverse. Et dans cette configuration où dominent les injonctions paradoxales, économiser l'énergie ne va pas de soi (ZÉLEM, 2015).

### Des occupants préoccupés par leur confort

L'idée ou la sensation de confort se construit donc sous la forme d'un équilibre entre des besoins individuels ou collectifs, qui renvoient à la fois à des éléments concrets liés à l'espace occupé, mais aussi à des sensations (chaud/froid, bonne ou mauvaise odeur, ambiance agréable ou pas, satisfaction ou pas au regard du logement et de son environnement) et à des systèmes techniques (chauffage, ventilation, volets, thermostats...) mobilisés pour satisfaire ces besoins. En réalité, la température tout comme la qualité de l'air sont moins des choix que le résultat de

contraintes associées à une situation sociotechnique particulière. Deux normes de confort cohabitent, l'une technique, et l'autre sociale :

- *Le confort comme norme technique* : l'article 6 du décret n°69-596 du 14 juin 1969<sup>(3)</sup> stipule que « les équipements et les caractéristiques des bâtiments d'habitation doivent être tels qu'il soit possible de maintenir la température intérieure, au centre des pièces, au-dessus de 18 degrés<sup>(4)</sup> ». Aujourd'hui, bien qu'ancienne, la norme des 19 °C constitue un véritable standard technique. Le confort thermique se calcule et se mesure comme un poste technique à partir de six paramètres : la température et l'humidité de l'air (mesurables grâce à un thermomètre et à un hygromètre), la vitesse de l'air (mesurable grâce au système dit de « la porte soufflante »)

(3) Décret n°69-596 du 14 juin 1969 fixant les règles générales de construction des bâtiments d'habitation. JORF du 15 juin 1969.

(4) L'article R.131-20, chapitre I, Titre III, livre 1<sup>er</sup> du Code de la construction et de l'habitation du 23 août 2012 stipule, quant à lui, que « dans les locaux à usage d'habitation, d'enseignement, de bureaux ou recevant du public et dans tous les autres locaux, à l'exception de ceux qui sont indiqués aux articles R.131-22 et R.131-23, les limites supérieures de température de chauffage sont, en dehors des périodes d'inoccupation définies à l'article R.131-20, fixées en moyenne à 19 °C pour l'ensemble des pièces d'un logement et pour l'ensemble des locaux affectés à un usage autre que l'habitation et compris dans un même bâtiment ».

et la température radiative (évaluable avec un appareil à infrarouges), le niveau d'activité (métabolisme) des occupants, ainsi que leur niveau d'habillement ou leurs sensations (caractérisés après observation directe et/ou après entretien). La combinatoire de ces six paramètres permet d'estimer une « note moyenne attendue » (PMV, pour *Predicted Mean Vote* <sup>(5)</sup>) grâce à des logiciels de simulation thermique dynamique. On peut ajouter à ces mesures la présence de courants d'air, de traces d'humidité ou l'absence de ventilation, qui constituent des indices de difficulté pour maintenir un certain confort thermique. Cette méthode relève d'une approche très technique de l'analyse du niveau de confort.

- *Le confort comme norme sociale* : en dehors du niveau de température communément admis (19 °C), la notion de confort thermique renvoie d'abord à un ressenti physiologique construit socialement (il est lié à la culture, aux premiers apprentissages (ceux de l'enfance), conforté ou modifié par toute une série d'apprentissages secondaires (ceux de la vie au contact d'un collectif – école, travail, loisirs...–, ceux de la mise en couple, ceux de l'arrivée des enfants...). On peut distinguer le confort élémentaire, le confort de maîtrise (possibilité de régler le niveau de température), mais aussi le confort de réserve (savoir que l'on peut chauffer ou rafraîchir plus que nécessaire). Le confort est alors une notion polysémique, subjective, qui varie d'une personne à l'autre, d'une configuration du collectif habitant à l'autre, et qui englobe ou pas le rapport à l'air et des attendus en termes de qualité de l'air intérieur. C'est ainsi que certains occupants se satisfont d'une température ambiante de 19 degrés, quand d'autres supportent des températures plus basses (17-18 degrés), alors que d'autres encore n'imaginent pas vivre en dessous de 22 ou de 23 degrés, voire davantage. Ces aspirations en matière de confort s'accompagnent de comportements vestimentaires : les uns vont faire varier leur niveau d'habillement tout au long des saisons (porter des pulls et des pantoufles en hiver, par exemple), quand les autres auront tendance à vouloir maintenir une température estivale toute l'année et à vivre ainsi habillés légèrement et, bien souvent, pieds nus. Dans cette approche sociale, c'est le niveau de satisfaction des occupants qui domine.

Cette notion de confort est donc centrale et, du point de vue des occupants, elle ne supporte pas d'être contrariée par des consignes ou des automatismes techniques. On a souvent ou trop chaud ou trop froid dans un bâtiment. On constate d'ailleurs que les personnes habituées à la climatisation en été, dans leurs bureaux, ont tendance à vouloir recréer un climat intérieur analogue chez elles, et qu'elles aspirent très vite à équiper leur logement d'une climatisation. Au-delà des normes, on observe là à quel point les options constructives peuvent impacter les besoins, et donc les envies de s'équiper de la part des occupants.

### La diversité des profils sociologiques des occupants

Brièvement et schématiquement, on peut distinguer plusieurs profils sociologiques d'habitants. Ces profils sont

construits à partir de quelques critères, comme l'attitude vis-à-vis de l'environnement, de la consommation, des technologies, de l'énergie, en général, et des économies d'énergie, en particulier. Les attitudes décrites ci-après sont largement conditionnées par les caractéristiques techniques du logement (isolé ou pas, bon niveau de performance énergétique ou non) et par le statut, à son égard (propriétaire ou locataire). Les données d'enquête disponibles invitent à mettre en perspective quatre grandes catégories <sup>(6)</sup> : les éco-sceptiques peu enclins à changer leurs pratiques, les éco-essentiels qui raisonnent « économie financière » avant tout, les éco-responsables portés par une éthique environnementale et les technophiles (passionnés de technologie).

- *Les éco-sceptiques* sont très attachés à leur confort. Ils sont plutôt individualistes et leur mode de vie est beaucoup tourné vers la consommation. Ils ne sont pas facilement disposés à faire des efforts ou à accroître leur charge mentale pour changer. Parmi eux, on distingue des CSP+++ irréductibles de la consommation, qui disposent d'un fort pouvoir d'achat. On trouve à l'autre extrémité des personnes n'ayant pas beaucoup de ressources, mais qui sont très attachées à l'image qu'elles renvoient au travers d'une consommation volontairement débridée et distinctive.
- *Les éco-essentiels* sont dans une sobriété contrainte au regard de leur niveau de vie. Ils ont tendance à consommer utile pour des raisons économiques. Ils sont parfois en situation de précarité énergétique. Recrutés dans les CSP moyennes-inférieures ou inférieures, ils ont d'autres priorités que celle d'économiser l'énergie. Parmi eux, deux catégories extrêmes : les « habitués des services sociaux », dont la situation socioéconomique ne leur laisse aucune initiative. Ils subissent et s'en remettent aux institutions ou aux associations pour résoudre leurs problèmes. L'autre catégorie adopte des attitudes d'auto-privation et tente, autant que possible, de trouver des solutions par elle-même. Elle est plus disposée, si elle le peut, à adopter une posture moins énergivore, participative et réflexive.
- *Les éco-responsables, ou consom'acteurs*, sont portés par des valeurs humanistes et, souvent, environnementalistes. Ils se déclarent soucieux du futur et s'évertuent à ne pas dégrader leur environnement et leur qualité de vie. Ils sont attentifs à leur santé et sont souvent engagés dans des formes de sobriété choisie. Ils se prennent en main et sont sensibles aux projets collaboratifs. Ils sont disposés à alourdir leur charge mentale pour « faire

(5) [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Predicted\\_mean\\_vote](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Predicted_mean_vote) ; article 7 de la norme ISO 7730 (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7730:ed-3:v1:fr>).

(6) Nous avons construit cette catégorisation à partir du croisement de résultats de l'enquête Typo2016, produits par GreenFlex pour l'Ademe en 2016 (échantillon de 4 100 personnes) et de données issues des analyses du CGDD comme Datalab, « Ménages et environnement. Les chiffres clefs ? octobre 2017 », ou Thema, « Les ménages et la consommation d'énergie », mars 2017, [http://www.drihl.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/thema\\_sur\\_les\\_menages\\_et\\_la\\_consommation-425572.pdf](http://www.drihl.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/thema_sur_les_menages_et_la_consommation-425572.pdf).

mieux » et, s'ils le peuvent financièrement, ils sont exemplaires (consommation locale, éco-quartier, auto-construction, invitation à visiter leur logement...).

- *Les technophiles* sont plus jeunes que la moyenne. Familiers des e-technologies, ils sont favorables aux *smart-meters* et disposés à participer au monde connecté, et donc à la domotique et aux projets de *smart-city*. Parmi eux, deux profils s'opposent : les *techno-addicts*, qui sont davantage hyper-consommateurs et peu regardants vis-à-vis de l'impact énergétique de leurs pratiques, et les *techno-ethics*, qui adhèrent à l'Internet des objets et aux solutions technologiques, potentiellement dans un objectif de réduire leur consommation d'énergie.

Ces catégories sont forcément caricaturales et discutables, mais elles ont le mérite d'inviter à prendre en considération le fait que, derrière les consommations d'énergie, se cachent des réalités sociales singulières qu'il est difficile de mettre en équations. Au regard de cette variété de profils, on comprend aisément qu'il n'est pas possible d'enrôler tout le monde, de la même manière, dans le projet de transition énergétique. Les écoresponsables sont motivés et éco-moteurs, ils donnent l'exemple, s'engagent. Mais c'est toujours sur eux que l'on compte, et ils peuvent se lasser d'être toujours les bons élèves. Les éco-essentiels sont davantage attentifs aux bons gestes, aux astuces... Mais ils ont besoin d'être accompagnés, voire valorisés dans leurs démarches. Les précaires énergétiques sont déjà dans de gros efforts, ne serait-ce que pour ne pas basculer dans la précarité sociale. Il serait indécent de leur demander d'« en faire plus », tant ils partent de loin au niveau énergétique. La priorité, dans leur cas, est d'améliorer les performances de leur logement, qui s'apparente souvent à une « passoire énergétique ». Par contre, et toujours de manière tendancielle, les catégories de revenus les plus aisées, propriétaires de plus grands logements sont celles qui sont le plus en capacité de changer leurs équipements en optant pour des classes énergétiques A+++, d'optimiser les performances énergétiques de leur logement et aussi d'apprendre les éco-gestes au regard d'un confort thermique souvent dispendieux.

### Acceptabilité sociale, ou appropriabilité sociale ?

Du côté des sciences de l'ingénieur, il est généralement question d'acceptabilité sociale des dispositifs technologiques. Les équipements sont d'emblée considérés comme de bonnes solutions et aussitôt présentés comme étant performants. Lorsqu'ils ne présentent pas les performances prévues, celles qui figurent sur le papier, le réflexe classique est de soupçonner l'utilisateur : il ne comprendrait rien, il ne respecterait pas les consignes, il ne lirait pas les modes d'emploi... Dans le même temps, on n'interroge guère les équipements sur leurs conditions d'appropriation ou leur convivialité. De même, il est assez rarement envisagé de réfléchir aux conditions de leur utilisabilité ou de leur pilotabilité en situation d'usage (manipulation, entretien, maintenance, programmation). Il est également rarement question de leur appropriation sociale, ce qui semble pourtant indispensable pour des

technologies considérées comme étant un tant soit peu innovantes par les ingénieurs, ou considérées comme entièrement nouvelles pour les usagers.

Le plus souvent, les questions d'appropriation sociale sont évacuées au moyen d'actions d'information, lors de la réception des travaux ou de l'entrée dans les lieux. Ou bien des dépliants sont laissés à la disposition des occupants. Ou bien encore, l'information se réduit à des affichages. Sans pédagogie et sans explication des enjeux, ces actions peuvent rester vaines, car le fait de savoir ne suffit pas toujours pour changer ses habitudes.

De leur côté, les ménages sont démunis. Les modes de facturation (prélèvement mensuel automatique d'une somme identique tout au long de l'année) invisibilisent les coûts réels de l'accès à l'énergie (incluant la conception et la maintenance des systèmes, le transport, la distribution, la gestion des réseaux, la fin de vie des équipements, la gestion des déchets...). S'ils peuvent connaître leur consommation globale, ils ne peuvent pas mesurer, et donc contrôler les consommations unitaires de leurs équipements. En l'absence d'incitation à moins consommer et sans information personnalisée et ciblée, ils se laissent tenter par le modèle consumériste qui conforte habitudes et routines domestiques (appareils en veille, température de confort, multi-équipement...). Par ailleurs, tous ne sont pas en mesure de développer une réflexion sur le caractère structurant de leur cadre de vie, sur les effets d'inertie liés aux installations préexistantes (système de chauffage, type et âge des équipements, état du logement...) ou sur le poids des normes sociales (ambiance lumineuse, température intérieure, par exemple). C'est cet ensemble d'éléments assez disparates qui contribue à ce que le projet d'économiser l'énergie soit acceptable, appropriable et réalisable au quotidien, dans un bâtiment, ce qui constitue soit un atout, soit une contrainte pour s'engager vers des changements (BESLAY, GOURNET, ZÉLEM, 2015).

### (Re)penser les formes d'accompagnement vers la transition énergétique ?

Derrière les consommations d'énergie se cachent des réalités sociales différentes et les changements de comportements attendus visent plutôt les modes de vie. Or, contrairement aux savoirs et aux habitudes qui renvoient aux personnes, les modes de vie relèvent du collectif et de la société elle-même. Ils tiennent aux normes sociales (le confort, la consommation...), aux rythmes de vie et aux types de sociabilité (temps de présence au domicile, au travail...). C'est pourquoi sensibiliser ou informer *via* des affichages reste peu efficace pour modifier les comportements. Transformer les cultures paraît plus judicieux. Mais cela implique d'intervenir sur d'autres registres d'action comme ceux de l'éducation et de la formation, ou bien ceux, très efficaces, du conseil personnalisé. Par ailleurs, jouer sur les formes urbaines, intervenir sur la configuration de l'offre d'équipements, sur les signaux prix et les valeurs, tout cela paraît nécessaire pour pouvoir infléchir les modes de vie (BESLAY, GOURNET, ZÉLEM, 2013).

Réfléchir à ses consommations ne peut se concevoir que si, au préalable, le consommateur a pu accéder à une meilleure connaissance du fonctionnement du système énergétique, en particulier s'il comprend sa facture et s'il fait le lien entre la sollicitation d'un équipement (par exemple, le soutirage de l'eau chaude sanitaire pour prendre un bain, ou la mise en veille de certains appareils) et la consommation énergétique engendrée. Cette montée en connaissances ne peut elle-même s'envisager qu'à partir du moment où les efforts fournis en compréhension ou en optimisation des équipements ne constituent pas une pression trop grande et où ces efforts sont récompensés par des économies qui ne soient pas que symboliques. Il s'agit ici de donner du sens et une valeur positive non seulement aux économies d'énergie, mais aussi à la participation des usagers (ZÉLEM, 2014).

## Conclusion

Les débats sur la transition énergétique dans le bâtiment se sont focalisés sur les questions de l'efficacité (des appareils, des logements, des équipements...) et de la sobriété (des usages). Or, il n'est pas si simple de passer de « consommer et gérer l'énergie » à « faire attention et maîtriser ses consommations », car cela suppose de devenir acteur dans son rapport à l'énergie et aux technologies. Or, aller vers plus de sobriété énergétique dans les bâtiments impose de changer de paradigme, c'est-à-dire de repenser la place de la technique dans le projet de transition et la place des habitants dans un univers suspendu à la technique. Cela suppose de prendre en compte les dynamiques humaines et sociales (politiques, économiques et culturelles) au même titre que la diversité des systèmes techniques. Cela suppose d'introduire au cœur de l'ingénierie énergétique une sociologie des modes de vie et des usages afin de mieux construire les conditions sociotechniques de la performance énergétique.

En effet, la transition énergétique reste discutable dès lors qu'elle contribue à conforter une société hyper-technologisée et hyper-consumériste. Mais, de manière pragmatique, lorsqu'elle concerne le bâtiment, la transition énergétique interroge aussi l'utilisabilité des équipements, ainsi que l'habitabilité des nouveaux bâtiments. La problématique est donc résolument systémique et sociotechnique et exige qu'il soit répondu à trois questions essentielles pour pouvoir sortir d'un certain déterminisme technologique (HABERMAS, 1973) : 1) d'une part, pourquoi les modèles théoriques ne prennent-ils pas davantage en compte les pratiques sociales et les attentes des usagers ? 2) D'autre part, notamment pour éviter la fracture énergétique que le modèle énergétique dominant entretient, comment mettre en phase les ambitions technologiques et les dispositions ou les compétences des habitants, dans toute leur diversité, que ce soit dans le secteur tertiaire ou dans le secteur résidentiel ? Enfin, 3) pourquoi cette tendance à vouloir considérer le comportement comme une variable autonome ?

Dans cet article, nous plaçons pour une socio-logique (qui vise à replacer le social au cœur de la transition énergétique) en lieu et place d'une techno-logique (qui fonctionne souvent de manière déconnectée du social, avec

des technologies complexes, sophistiquées et éloignées des modes de vie et des compétences pragmatiques et ordinaires des usagers) (SCARDIGLI, 1992). Dans la perspective d'une société plus décarbonée, l'enjeu est bien, dans une approche résolument systémique et inclusive, et sur la base d'une ingénierie plus sociale (MALLEIN, 1994 ; CAELEN, 2004), de rapprocher les technologies de leurs utilisateurs, et non plus, systématiquement, l'inverse.

## Bibliographie

ABACHI F. (coord.) (2014), « La maîtrise de l'énergie dans le logement social. Enjeux, pratiques et appropriations par les habitants », *Références Énergie et Environnement*, n°1, USH, Collection « Cahiers ».

ABRIC J.-C. (1994), *Pratiques sociales et représentations*, Paris, PUF.

ARIELY D. (2008), *C'est (vraiment ?) moi qui décide*, Paris, Flammarion.

ASSEGOND C. & FOUQUET J.-P. (2015), « La MDE au quotidien en secteur tertiaire : un regard sociologique pour décrypter la relation entre dimension technique et dimension humaine », in ZÉLEM M.-C. & BESLAY C., *Sociologie de l'énergie, Gouvernance et pratiques sociales*, Paris, CNRS, pp. 237-244.

BESLAY C., GOURNET R. & ZÉLEM M.-C. (2015), « Le "bâtiment économe", utopie technicienne et "résistance" des usages », in BOISSONNADE J. (dir.), *La Ville durable controversée. Les dynamiques urbaines dans le mouvement critique*, Paris, Éditions Petra, pp. 335-363.

BESLAY C., GOURNET R. & ZÉLEM M.-C. (2013), « Pas de smart-cities sans smart-habitants », *Urbia*, n°15, pp. 45-60.

BESLAY C., GOURNET R. & ZÉLEM M.-C. (2012), *Garantie de performance énergétique. Analyse comportementale, synthèse bibliographique*, Paris, Fondation Bâtiment Énergie.

BRISEPIERRE G. (2013), « Pratiques de consommation d'énergie dans les bâtiments performants : consommations théoriques et consommations réelles. Le cas de la Cité de l'Environnement (premier bâtiment tertiaire à énergie positive) et celui du Patio Lumière, à Grenoble », *Les Chantiers de Recherche Leroy Merlin Source*, n°1.

BRISEPIERRE G. (2011), « Les conditions sociales et organisationnelles du changement des pratiques de consommation d'énergie dans l'habitat collectif », thèse de doctorat de sociologie, Université Paris Descartes.

BOULLIER D. (1992), « Modes d'emploi : traduction et réinvention des techniques », in GRAS A., JOERGES B. & SCARDIGLI V., *Sociologie des techniques de la vie quotidienne*, Paris, L'Harmattan, pp. 239-246.

CAELEN J. (2004), *Le Consommateur au cœur de l'innovation*, Paris, CNRS.

CARASSUS J. et al. (2013), *Vivre dans un logement basse consommation d'énergie, une approche socio-éco-technique. Retour d'expérience de six résidences labellisées*

- BBC Effinergie, Paris, Rapport d'étude générale CERQUAL.
- CARASSUS J. (2011), *Les immeubles de bureaux « verts » tiennent-ils leurs promesses ?*, Paris,
- CSTB. CGDD (2016), « Opinions et pratiques environnementales des Français en 2015 », *Chiffres et statistiques*, n°750.
- DARD P. (1986), *Quand l'énergie se domestique. Observations sur dix ans d'expériences et d'innovations thermiques dans l'habitat*, Paris, Éditions Plan Construction.
- DESHAYES P. (2012), « Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : logiques d'innovation et/ou problématiques du changement », *Innovations* 37 (1), pp. 219-236.
- DUJIN A., « Comment limiter l'effet rebond des politiques énergétique dans le logement ? L'importance des incitations comportementales », *La note d'analyse du Centre d'analyse stratégique*, n°320, février 2013.
- DUJIN A. et al. (2011), « Les usages de l'énergie dans les entreprises du secteur tertiaire. Des systèmes techniques aux pratiques », *Cahier de Recherche du CREDOC*, n°287.
- DUJIN A. & MARESCA B. (2010), « La température du logement ne dépend pas de la sensibilité écologique », *Consommation et modes de vie*, CREDOC, n°227.
- ELLUL J. (1988), *Le Bluff technologique*. Paris, Hachette.
- OBSERVATOIRE BBC (2016), « Retour d'expérience sur la performance énergétique des bâtiments », *Effinergie, Newsletter* n°9.
- GARABUAU-MOUSSAOUI I. (2016), *Pratiques quotidiennes et rapport à la performance énergétique dans les bâtiments du secteur tertiaire : comment les occupants vivent au quotidien, entre figure de l'usager, du salarié et du consommateur-citoyen*, in GARABUAU-MOUSSAOUI I. & PIERRE M., *Pratiques sociales et usages de l'énergie*, Paris, Éditions Lavoisier, collection « Tec&doc », pp. 87-90.
- GARABUAU-MOUSSAOUI I. (2015), « Les occupants de bâtiments performants en énergie en sont-ils les usagers ? », in CIHUELO J., JOBERT A. & GRANDCLÉMENT C., *Énergie et transformations sociales. Enquête sur les interfaces énergétiques*, Paris, Éditions Lavoisier, collection « Tec&doc », pp. 33-48.
- GARABUAU-MOUSSAOUI I. (2007), « De la société de consommation à la société de modération. Ce que les Français disent, pensent et font en matière de maîtrise de l'énergie », *Annales de la Recherche urbaine*, n°107, pp. 114-121.
- GRAS A. (1997), *Les Macro-Systèmes techniques*, Paris, PUF.
- HABERMAS J. (1973), *La Technique et la science comme idéologie*, Paris, Denoël/Gonthier.
- ILMONEN K. (2013), "Sociology, Consumption and Routine", in GRONOW J. & WARDE A. (eds), *Ordinary Consumption*, Londres, Routledge, pp. 9-23.
- JODELET D. (1991), *Les Représentations sociales*, Paris, PUF.
- LASCOUMES P. & LE GALES P. (dir.) (2009), *Gouverner par les instruments*, Paris, Presses de Sciences Po.
- MALLEIN P. & TOUSSAINT Y. (1994), « L'intégration des TIC : une sociologie des usages », *TIC*, vol. 6, n°4, pp. 315-335.
- MARESCA B., DUJIN A. & PICARD R. (2009), « La consommation d'énergie dans l'habitat, entre recherche de confort et impératif écologique », *Cahier de recherche du CREDOC*.
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, Plan Bâtiment durable, [http://www.planbatiment-durable.fr/IMG/pdf/rapport\\_activite\\_pbd\\_2016-web-3.pdf](http://www.planbatiment-durable.fr/IMG/pdf/rapport_activite_pbd_2016-web-3.pdf)
- MOREL C. (2007), *L'Enfer de l'information ordinaire*, Paris, Gallimard.
- NIELSEN J. (1993), *Usability Engineering*, New Jersey, A P Professional.
- ROUDIL N., ILLOUZ S. & CATARINA O. (2009), *Retour d'expérience de bâtiments de bureaux certifiés HQE*, Paris, ICADE/CSTB.
- SCARDIGLI V. (1992), *Les Sens de la technique*, Paris, PUF.
- SCARDIGLI V. (1983), *La Consommation, culture du quotidien*, Paris, PUF.
- SHOVE E. (2013), "Comfort, cleanliness + convenience", in *The social organization of normality*, Oxford, Berg.
- SUBREMON H. (2011), *Anthropologie des usages de l'énergie dans l'habitat. Un état des lieux*, Paris, PUCA, coll. « Recherche ».
- THELLIER F., BONTE M. & LARTIGUE B. (2015), « Sans occupant, les bâtiments ne consomment pas d'énergie », in ZÉLEM M.-C. & BESLAY C. (dirs), *Sociologie de l'énergie. Gouvernance et pratiques sociales*, Paris, Éditions du CNRS.
- ZÉLEM M.-C. (2018), « Quand l'écologisation des logements impacte la santé des habitants. Confort thermique et qualité de l'air intérieur en conflit », *Revue Pollution Atmosphérique* « Habiter la ville », à paraître.
- ZÉLEM M.-C. & BESLAY C. (dirs) (2015), *Sociologie de l'énergie. Gouvernance et pratiques sociales*, Paris, Éditions du CNRS.
- ZÉLEM M.-C. (2015), « La performance énergétique, une responsabilité partagée par un système d'acteurs », in ABACHI F., SUBREMON H. & VACHER P. (coords) (2015), *Efficacité énergétique et modes d'habiter : quelle coopération avec les usagers ?*, USH, Collection « Cahiers », pp. 17-20.
- ZÉLEM M.-C. (2014), « Smarts meters et sobriété des usages de l'énergie », *La Revue de l'Énergie*, n°620, pp. 322-329.

ZÉLEM M.-C. (2012), « Le dilemme du consommateur : contribuer à la maîtrise de la demande d'énergie, tout en continuant de consommer », *Revue de l'Énergie*, n°608, juillet-août, pp. 261-268.

ZÉLEM M.-C. (2010), *Politiques de maîtrise de la demande d'énergie et résistances au changement. Une approche socio-anthropologique*, Paris, L'Harmattan.

ZÉLEM M.-C. *et al.* (2009), *Les conditions sociotechniques d'une diffusion des économies d'énergie dans le bâtiment*.

*Vers une simulation multi-agents*, ERT-SPEED, CUFR-JFC Albi, École des Mines d'Albi.

ZÉLEM M.-C., ARDITI S., DURAND S. & JONCOUX S. (2008), « Le bâtiment économe : innovation, dynamisation des réseaux et formation des acteurs », ERT-SPEED, Albi, Rapport au Conseil régional Midi-Pyrénées, Programme « Bâtiment Économe ».

# La précarité énergétique, une nouvelle dimension à prendre en compte

Par Robert DURDILLY

Président de SoliNergy

et Bertrand LAPOSTOLET

Directeur du fonds de dotation SoliNergy

Phénomène récent, la précarité énergétique est en constante augmentation. La prise de conscience de son importance et de son impact sur les conditions de vie des ménages modestes et sur leur santé en a fait une préoccupation croissante des acteurs de terrain, puis des pouvoirs publics. Touchant plus de 5,6 millions de ménages en 2013, cette problématique appelle des réponses à la bonne échelle, tant en termes de volume et de ciblage de la rénovation énergétique du parc résidentiel qu'en ce qui concerne les dispositifs d'aide aux personnes les plus touchées. Si l'enjeu de la réhabilitation des logements considérés comme des « passoires thermiques » est prioritaire, la résorption de la précarité énergétique ne réside pas uniquement dans la performance thermique du bâtiment : l'appropriation par les habitants d'usages économes adaptés à leur situation nécessite des démarches spécifiques d'accompagnement et d'information concernant leurs consommations et leur confort de vie.

## La précarité énergétique : un phénomène récent à impact croissant

Les dépenses liées directement au logement, intégrant l'eau et l'énergie, sont qualifiées parfois de « dépenses contraintes », car elles présentent un caractère vital. Les arbitrages sur ces dépenses ont en effet des conséquences lourdes (perte du logement ou privation d'énergie et risques pour la santé...). L'évolution de la part de ces dépenses dans leur budget se traduit par la précarisation d'une part conséquente des ménages : si ces dépenses contraintes ont augmenté pour tout le monde entre 1979 et 2006<sup>(1)</sup>, leur poids a doublé pour les ménages pauvres pour atteindre quasiment la moitié de leur budget, contre le quart du budget des catégories aisées.

À partir des années 1990, des réponses ont commencé à être déployées par les pouvoirs publics pour aider les ménages précaires à faire face aux impayés : Fonds de solidarité logement<sup>(2)</sup>, puis Fonds énergies et eau (fusionnés en 2005<sup>(3)</sup>). En 2005, ont été également mis en place les premiers tarifs sociaux de l'énergie.

Au-delà de cette approche par les impayés et leur prévention, la notion de précarité énergétique (inspirée du concept britannique de *fuel poverty*) a émergé, en France, d'abord dans le secteur associatif<sup>(4)</sup>.

Les travaux du Plan Bâtiment ont permis l'inscription d'une définition de la précarité énergétique dans la loi, s'accompagnant de la création d'un observatoire national dédié et d'une quantification du phénomène en France.

La précarité énergétique résulte de la combinaison de trois facteurs : la précarité socio-économique, la mauvaise qualité thermique de l'habitat et l'augmentation du coût des énergies. Elle est définie par la « loi Grenelle 2<sup>(5)</sup> » : « Est en précarité énergétique au titre de la présente loi, 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 notamment de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat ».

(1) Crédoc, « Les classes moyennes sous pression », 2007, <http://www.credoc.fr/pdf/4p/219.pdf>

(2) Modifiant la loi n°90-449 du 31 mai 1990 visant la mise en œuvre du droit au logement.

(3) Loi n°2004-809 du 13 août 2004 relative aux libertés et responsabilités locales.

(4) Manifeste 2010 « Habitat, précarité sociale et énergie » et création du Réseau des acteurs de la pauvreté et de la précarité énergétique dans le logement (RAPPEL), 2005, [www.precarite-energie.org](http://www.precarite-energie.org)

(5) Loi n°90-449 du 31 mai 1990 visant la mise en œuvre du droit au logement.

Au-delà de cette définition, différents critères ont été mobilisés pour caractériser cette précarité, puis pour la quantifier.

Le premier indicateur utilisé a été le taux d'effort énergétique (part du budget consacrée à l'énergie). L'ONPE<sup>(6)</sup> l'a complété par d'autres indicateurs (sensation de froid déclarée, faiblesse des revenus et dépenses élevées) rapportés aux ménages modestes des trois premiers déciles de revenus. Sur la base de l'enquête nationale logement 2013, plus de 5,6 millions de ménages (12,1 millions de personnes) sont touchés par la précarité énergétique au titre de l'un, au moins, des trois indicateurs précités, tandis qu'un million de ménages (2,6 millions de personnes) sont concernés par, au moins, deux de ces indicateurs et constituent le « noyau » des précaires énergétiques.

Enfin, il est important de considérer l'effet cumulatif des facteurs au fil du temps : l'on parle alors de *spirale de la précarité énergétique*<sup>(7)</sup>.

La précarité énergétique est donc aussi un problème de santé publique, mis en lumière d'abord en Grande-Bretagne, puis en France<sup>(8)</sup>. Vivre dans une « passoire thermique » rend malade, rénover les logements mal isolés a un impact positif sur la santé et réduit à terme les dépenses engagées à ce titre. Une étude récente<sup>(9)</sup> a ainsi montré que la rénovation des quelque 7,4 millions de « passoires » (logements des classes F et G) permettrait d'économiser annuellement plus de 750 millions d'euros (M€) de dépenses de santé.

### De la prise de conscience de la précarité énergétique à son intégration aux politiques publiques : un enjeu d'échelle

Plus d'un ménage sur cinq est touché par la précarité énergétique en France, et la situation ne cesse de s'aggraver, avec 800 000 ménages de plus touchés en 2013, par rapport à 2006. Une prise de conscience s'est opérée qui a motivé des initiatives et la mise en œuvre de politiques publiques, telles que le développement des tarifs sociaux de l'énergie, des premiers programmes de lutte contre la précarité énergétique (Habiter mieux en 2010, Toits d'Abord en 2012, Pacte Énergie solidarité et Slime en 2013) et de rénovation énergétique des logements sociaux.

Le Débat national sur la transition énergétique, puis le débat parlementaire sur la loi Transition énergétique pour la croissance verte ont inscrit le sujet au centre de la transition : la lutte contre la précarité énergétique et l'assurance d'« un droit d'accès de tous les ménages à l'énergie sans coût excessif au regard de leurs ressources » figurent au même rang que l'indépendance énergétique du pays dans l'article qui ouvre le Code de l'énergie<sup>(10)</sup>.

La loi fixe aussi des objectifs ambitieux, comme la rénovation annuelle de 250 000 « passoires thermiques » occupées par des ménages modestes et la réduction de 15 % de la précarité énergétique d'ici à 2020. Elle a intégré la performance énergétique dans les conditions de mise en



La spirale allant de la chute des ressources jusqu'au mal-logement (Copyright : Fondation Abbé Pierre, 2010).

location et instauré une obligation spécifique « précarité énergétique » dans le dispositif des certificats d'économie d'énergie. Enfin, elle a créé le chèque énergie.

Depuis lors, le chèque énergie a été expérimenté dans 4 départements et ce sont de l'ordre de 100 000 passoires thermiques occupées par des ménages modestes à avoir été réhabilitées en une année dans le parc social, et de 60 000 à 70 000 dans le parc locatif privé.

Fin 2017, le plan de rénovation énergétique des bâtiments a annoncé un renforcement des objectifs et de certains moyens en vue d'atteindre une massification des interventions qui doit permettre d'enrayer, à l'échelle collective, la spirale de la précarité énergétique.

### Le logement ne se limite pas à un « bâtiment » : l'habitant doit être acteur et responsable de ses usages et de son confort !

Des points de vue environnemental, social, économique et sanitaire, prioriser la rénovation du parc résidentiel est une évidence. Pour autant, la performance du bâti ne règle

(6) Observatoire national de la précarité énergétique (2016), « Les chiffres clefs de la précarité énergétique », [www.onpe.org](http://www.onpe.org)

(7) PELLETIER Ph., LAPOSTOLET B. & DE QUERO A. (2009), « Rapport précarité énergétique du Plan Bâtiment Grenelle », <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/104000012.pdf>

(8) LEDESERT B. (2013), in « Quand c'est le logement qui rend malade. Précarité énergétique et santé », Actes du colloque Fondation Abbé Pierre au CESE, [http://www.fondation-abbé-pierre.fr/sites/default/files/content-files/files/quand\\_cest\\_le\\_logement\\_qui\\_rend\\_malade\\_-\\_cahier\\_du\\_logement.pdf](http://www.fondation-abbé-pierre.fr/sites/default/files/content-files/files/quand_cest_le_logement_qui_rend_malade_-_cahier_du_logement.pdf)

(9) SIA PARTNERS, pour l'Initiative « Rénovons – Coûts et bénéfices d'un plan de rénovation des passoires énergétiques à l'horizon 2025 », [www.renovons.org](http://www.renovons.org)

(10) Article 100-1 du Code de l'énergie, modifié par la loi n°2015-992 du 17 août 2015.

pas tout, et l'on constate souvent un décalage important entre le coût énergétique prévisionnel d'un logement neuf ou réhabilité et les dépenses effectives engagées par les occupants.

La tentation a été forte pour nombre d'acteurs de faire supporter la charge de cet écart aux occupants accusés d'être coupables de mauvais comportements, de mésusages et d'un manque d'éco-responsabilité.

Il apparaît aujourd'hui que la responsabilité est bien plus collective, elle est partagée entre la conception, la mise en œuvre et les usages. La nécessaire prise en compte de la variété des usages – qui dépasse la notion d'occupant standard et qui échappe à une approche purement normative –, ainsi que l'enjeu de l'accompagnement et de l'appropriation par les utilisateurs commencent à faire consensus<sup>(11)</sup>.

Le fonds de dotation SoliNergy s'est précisément orienté, et ce depuis sa création, vers cette approche englobant l'utilisateur, en soutenant des actions d'accompagnement des ménages en matière d'usages de l'énergie dans leur logement.

Depuis 2017, SoliNergy déploie avec la société EcoCO<sub>2</sub> un programme de lutte contre la précarité énergétique qui est labellisé au titre des certificats d'économie d'énergie.

Ce programme MAGE (Mesurer et accompagner pour garantir les économies<sup>(12)</sup>) propose aux collectivités et aux bailleurs sociaux un dispositif combinant la mesure des consommations et du confort avec un *coaching* énergie, et ce, pendant un an.

Le système de mesure (capteurs et tablette) a été pensé de façon à avoir un retour direct et en continu vers l'habitant et pour servir de support à son accompagnement lors de trois visites à son domicile réparties sur l'année, ainsi qu'à distance, par voie digitale.

Il est proposé aux ménages, de préférence lors d'un changement de contexte : après une réhabilitation, lors de l'entrée dans un nouveau logement ou en lien avec une demande d'aide formulée auprès du Fonds de solidarité logement.

Les postulats suivants ont présidé à la conception de MAGE :

- L'habitant est au centre du dispositif : il s'agit de le sensibiliser, de l'impliquer, de l'informer et de lui donner à voir ce qui se passe dans son logement ;
- Identifier des postes de dépenses, d'électricité plus spécifiquement, permet de donner un pouvoir d'agir. La mesure des consommations en continu permet de constater rapidement l'effet des actions engagées, notamment sur les dépenses ;
- L'approche du confort et du bien-être est primordiale. Elle est abordée de manière simple par un suivi couplé de la température et de l'hygrométrie. Cette approche permet aussi d'aborder les risques santé (qualité de l'air intérieur, présence de moisissures ou d'acariens...).

Ainsi, le pari de MAGE est d'installer durablement des usages adaptés à la situation de chacun.

Au-delà de cet exemple, nous voulons souligner le fait que la performance énergétique n'est pas que technique : elle doit d'abord être pensée au service de l'habitant – qui ne sera pas toujours le même, et qui n'aura donc pas toujours les mêmes usages – et également comprise et maîtrisée par ce dernier. Et cela ne vaut pas uniquement pour les ménages précaires.

(11) Voir, notamment, DESPORTES M. (2017), note thématique du Plan Bâtiment durable : « Bâtiments responsables, usages et confort : quelle lignes directrices pour demain ? », [www.planbatimentdurable.fr](http://www.planbatimentdurable.fr)

(12) [www.solinergy.com/programme-mage/](http://www.solinergy.com/programme-mage/)

# Décarboner le bâtiment, sans oublier ses émissions indirectes

Par Alain GRANDJEAN

Économiste, associé fondateur de Carbone 4

Roman LEDOUX

Manager, Carbone 4

et Julie DAUNAY

Manager, Carbone 4

Pour lutter contre le dérèglement climatique, la France s'est engagée, il y a plus de dix ans, à diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre (GES), d'ici à 2050 (par rapport à 1990). Cet objectif a été réaffirmé dans la loi de Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), et décliné en sous-objectifs de réduction des consommations d'énergie, en particulier fossiles, et de hausse de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie. Il est facile de démontrer que, globalement, la lutte contre le changement climatique repose sur deux leviers clés : la décarbonation des sources d'énergie et la baisse de la consommation d'énergie. Pour autant, dans le bâtiment, la poursuite des objectifs d'efficacité énergétique n'est pas automatiquement alignée sur celle des objectifs de la performance carbone.

Le secteur du bâtiment représente 45 % de la consommation finale d'énergie (72 Mtep, sur 162,2 Mtep de consommation totale en France en 2015). Ses émissions directes, scopes 1 et 2 (émissions dites d'exploitation), représentent 20 % seulement des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, qui s'élevaient en 2015 à 99 MTCO<sub>2</sub>eq (sur un total de 492, pour l'inventaire des émissions françaises). Cela provient du fait que le *mix* énergétique moyen dans ce secteur est moins carboné que le *mix* moyen français (lequel est dominé par le fioul).

## Émissions directes et indirectes de GES

Rappelons que le bilan carbone (ou l'empreinte carbone) d'un bâtiment donné se calcule en évaluant :

- le scope 1 : ses émissions directes liées à la combustion d'énergies fossiles,
- le scope 2 : ses émissions liées à la production d'électricité et de chaud/froid *via* des réseaux ;
- le scope 3 : ses autres émissions liées à la vie du bâtiment (de sa construction jusqu'à sa fin de vie) incluant celles liées aux matériaux, aux déplacements des visiteurs et aux travaux.

Nous appellerons ici « empreinte carbone exploitation » le total des scopes 1 et 2.

Nous allons dans les lignes qui suivent discuter de l'empreinte carbone de ce secteur et de ce qui permettrait de

la réduire, en distinguant le parc existant des constructions neuves.

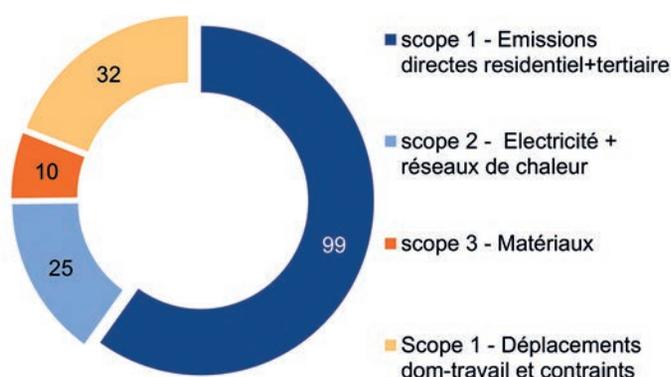
Posons tout d'abord des éléments de cadrage, avec une estimation, en ordre de grandeur, des émissions induites par le parc de bâtiments (tertiaires et résidentiels) existant. Le poids relatif des différents postes est, bien sûr, lié à la structure du parc<sup>(1)</sup>. La part relative de l'exploitation (scopes 1 + 2) est de 75 %, celle des déplacements est de 19 % et celle des matériaux de 6 % (comme le montre le Graphe de la page suivante).

Passons maintenant en revue ces émissions et les leviers permettant de les réduire.

## Réduire les émissions d'exploitation d'un logement neuf

En 2015, la France a décliné ses ambitions climatiques dans sa Stratégie nationale Bas Carbone (SNBC) : les secteurs d'activité se voient attribuer des quotas d'émissions dégressifs d'ici à 2050. En particulier, le secteur du bâtiment (bâtiments résidentiels et tertiaires) a pour objectif de réduire de 88 % ses émissions d'exploitation entre 2013 et 2050. En 2012, cette empreinte était en moyenne

(1) Pour un logement neuf, la part relative de l'énergie est plus faible, en moyenne de l'ordre 30 %, entre 15 % (bois et électricité) et 40 % (gaz) selon le type d'énergie.



Émissions de GES du parc des bâtiments en 2015 (France).  
Source : SNB <sup>(2)</sup>, INSEE ENTDT, calculs Carbone4.

de 29 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/an, tous usages énergétiques <sup>(3)</sup> confondus. En prenant pour hypothèse que les surfaces des logements n'évolueront pas d'ici à 2050, la cible de la SNBC serait donc d'environ 3,5 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/an pour l'ensemble du parc et sur les mêmes scopes (1 et 2).

Le passage de la RT (Réglementation thermique) 2005 à la RT 2012 avait permis d'améliorer de 40 % <sup>(4)</sup> l'empreinte carbone d'exploitation des logements neufs. Cet effet a résulté exclusivement de la baisse de la consommation d'énergie, qui a entraîné mécaniquement une baisse du poids de carbone, toutes choses égales par ailleurs. Pour aller plus loin, il va falloir désormais agir sur le contenu en carbone de l'énergie utilisée. C'est pour cette raison qu'il est envisagé de faire évoluer la réglementation thermique, notamment avec l'expérimentation d'un nouveau label (dénommé « E+C », voir l'Encadré ci-contre), qui a été lancée fin 2016.

Malheureusement, une analyse un peu fine montre qu'une réglementation qui serait conforme à ce label n'aurait qu'un impact très limité sur les émissions de GES. Si la future Réglementation environnementale se contentait des exigences de ce label, ses effets sur les émissions de GES seraient donc négligeables. Son hypothèse basse conduirait à une performance moyenne de la construction neuve d'environ 6 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/an contre un objectif de 3,5 en 2050 <sup>(5)</sup>, et autoriserait la construction de logements pouvant aller jusqu'à 12 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/an de rejets de GES (des bâtiments qui seront encore debouts en... 2068 !).

Des décisions fortes et assumées doivent donc être prises par l'État pour engager le parc de logements dans une dynamique cohérente avec ses ambitions climatiques affichées. Il est nécessaire de tenir compte explicitement du carbone, et non pas de se reposer uniquement sur une amélioration des performances énergétiques : réduire les besoins énergétiques ET décarboner les *mix* énergétiques constituent les deux leviers essentiels pour atteindre les objectifs nationaux. Si l'on vise la cible SNBC de 3,5 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/an en 2050, il est indispensable de **contraindre davantage les émissions d'exploitation**, soit en fixant un seuil dédié (qui serait revu progressivement à la baisse) pour atteindre cette valeur, soit en durcissant le seuil actuellement proposé.

Par ailleurs, la prochaine réglementation devra valoriser les solutions permettant d'**augmenter la contribution des**

**énergies renouvelables** (produites localement ou acheminées par les réseaux) dans les consommations finales, tout en veillant à ce que des solutions de pilotage et de flexibilité soient mises en place afin de faciliter l'intégration des énergies renouvelables électriques centralisées et locales et permettre ainsi une meilleure correspondance entre production et consommation.

### Le label E+C- (bâtiments à Énergie positive et Réduction Carbone)

L'État a initié fin 2016 une expérimentation basée sur le label E+C-. Ce label préfigure la Réglementation environnementale (RE) 2018, qui succèdera à la RT 2012. Cette expérimentation vise à collecter les retours d'expériences des maîtres d'ouvrage volontaires, notamment au regard du respect des exigences de performance portant sur l'énergie (indicateur ÉNERGIE) et sur les émissions de GES. Ces dernières sont contraintes par deux seuils sur une durée de 50 ans : un seuil « PCE » – produits de la construction et équipements – qui porte sur la construction (y compris le renouvellement des matériaux), et un seuil qui porte sur l'empreinte globale d'un bâtiment donné (PCE + énergie + eau + chantier).

En parallèle à l'expérimentation du label E+C-, l'État propose d'attribuer aux constructions neuves répondant à des critères dits d'exemplarité <sup>(6)</sup> un bonus de constructibilité (pouvant aller jusqu'à 30 % de la surface constructible, pour les collectivités dont le Plan local d'urbanisme (PLU) intègre un système de bonus).

### Réduire les émissions d'exploitation du parc bâti existant

Le parc bâti existant est l'enjeu clé de la politique publique en matière de lutte contre le changement climatique, puisque 75 % du parc de 2050 est déjà construit aujourd'hui. Il s'agit à terme de le rénover en profondeur (en agissant sur la performance thermique des enveloppes et sur les moyens propres de production d'énergie). Il est donc logique que le gouvernement ait annoncé des chiffres massifs (750 000 « épaves thermiques » rénovées par an). Malheureusement, le rythme actuel (300 000 rénovations performantes par an, selon l'observatoire OPEN) et la profondeur des rénovations sont insuffisants (seulement 38 % sont très performantes, d'après

(2) Le chiffre de ces émissions liées aux matériaux (10 MtCO<sub>2</sub>) est issu du document de consultation publique « Projet de SNBC » 21 juillet 2015. Voir p. 58 du document : [http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2015-08-27\\_DE-VR1519707D\\_SNBC.pdf](http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2015-08-27_DE-VR1519707D_SNBC.pdf)

(3) D'après les chiffres clés Climat, Air et Énergie, Édition 2015 de l'ADEME.

(4) Analyse Carbone 4.

(5) Pour plus de détails, voir l'étude de Carbone 4, <http://www.carbone4.com/wp-content/uploads/2017/05/Publication-Carbone-4-Label-EC-.pdf>

(6) Ibidem

le même observatoire) – et, c'est ce sur quoi nous allons insister dans la suite de ce court article –, l'encadrement réglementaire actuel n'est pas adapté.

Le raisonnement fondé sur le diagnostic de performance énergétique calculé en énergie primaire a deux inconvénients majeurs : d'une part, il ne parle pas aux ménages, qui raisonnent en euros et en énergie finale (indiqués sur leur facture) et, d'autre part, il introduit un biais d'erreur mesurable en matière d'émissions de GES. Or, les politiques de rénovation sont conçues autour de l'idée de faire des gains en matière de classe DPE.

Le raisonnement de l'actuelle Réglementation thermique, elle aussi fondée sur des indicateurs en énergie primaire, a le même travers et nous avons vu que, pour le neuf, les corrections envisagées à ce jour ne sont pas cohérentes avec les objectifs poursuivis.

Dans l'existant comme dans le neuf, il va donc falloir introduire un critère carbone spécifique dans la réglementation. Par ailleurs, il va être nécessaire de contraindre beaucoup plus les propriétaires en matière de rénovation, même si le sujet est politiquement sensible et même si l'actuelle majorité politique est peu encline à imposer de nouvelles contraintes. Il est cependant manifeste qu'à eux seuls les dispositifs incitatifs actuels ne vont pas suffire à placer le parc de logements sur la « bonne » trajectoire...

### Réduire les émissions indirectes

Comme indiqué plus haut, les deux postes les plus gros émetteurs, après les émissions liées à l'énergie consommée dans le bâtiment, sont le transport des occupants et le contenu en carbone des matériaux de construction. Les marges de manœuvre sur ces postes sont faibles pour l'existant ou, plus exactement, elles sont à trouver dans les politiques publiques de transport et dans la décarbonation des moyens de transport. Un bâtiment ou un logement existant verra les émissions indirectes qui lui sont associées baisser, s'il est mieux desservi par les transports en commun ou si le recours au covoiturage ou à des voitures moins émettrices s'amplifie. Concernant les matériaux, sauf à reconstruire entièrement le logement, les enjeux relatifs aux émissions de GES sont faibles. Nous n'évoquerons donc que le neuf dans les paragraphes qui suivent.

Pour le neuf, la baisse des émissions liées à la mobilité résultera, bien sûr, non seulement des efforts que nous

venons de citer pour l'existant (en résumé : le développement des transports bas carbone), mais aussi d'une politique publique réduisant l'étalement urbain et le mitage de zones rurales (et ayant de ce fait également des bénéfices en termes de biodiversité et/ou de production agroforestière). L'enjeu clé pour les décennies à venir est bien, sur ce plan, l'urbanisme et l'aménagement du territoire.

Toujours pour le neuf, c'est une utilisation accrue de matériaux bas-carbone qui permettra de réduire les autres émissions indirectes. On peut donner quelques ordres de grandeur qui montrent que le choix des matériaux a un effet sur l'empreinte carbone du bâtiment et que cela devient un enjeu pour le neuf, d'autant plus que sa part relative s'accroît à mesure que les bâtiments sont mieux isolés. Ainsi, par exemple, les modes constructifs suivants permettent de réduire l'empreinte carbone des matériaux par rapport à une construction « standard béton » dans des proportions qui sont clairement significatives (mais qui varient, bien sûr, en fonction du mode choisi) :

- Béton « optimisé » : - 5 %,
- Ossature bois et plancher béton : - 10 %,
- CLT (*Cross-Laminated Timber*, bois lamellé croisé) : - 30 %.

Dès lors, le choix des matériaux doit être pris en considération dans l'optique d'une réduction massive de nos émissions de GES qui soit conforme aux engagements et orientations de la France en matière de lutte contre le changement climatique. Il appartient au gouvernement de favoriser cette petite révolution, dans un pays qui a été longtemps très conservateur sur ce plan. La réglementation thermique est l'instrument le plus déterminant dans ce domaine ; comme nous l'avons indiqué plus haut, il est impératif de rehausser le niveau d'ambition des projets actuels, c'est également vrai pour les matériaux.

### Conclusion

Les différentes lois et le récent Plan Climat du gouvernement ont adopté des objectifs ambitieux, à juste titre, car ils sont cohérents avec les objectifs fixés par l'Accord de Paris, que la France s'est engagée à respecter. Néanmoins, à ce stade, les « signaux réglementaires » ne sont pas alignés sur cette ambition. Il est urgent qu'ils le soient : c'est là un chantier prioritaire de la lutte contre le changement climatique, dans laquelle la France se doit d'être exemplaire.

# L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment : la vision et l'ambition de la Commission européenne

Par Mechthild WÖRSDÖRFER

Directrice en charge des Énergies renouvelables, Recherche et Innovation et Efficacité énergétique au sein de la Direction générale (DG) Énergie de la Commission européenne (CE)

L'Union européenne s'est lancée avec détermination sur le chemin de la décarbonation de son économie, continuant par là même à assumer son rôle de leader sur la question de la transition énergétique, en accord avec les engagements ambitieux auxquels elle a souscrit dans le cadre de l'Accord de Paris sur le climat. Cette transition s'appuiera sur un cadre législatif renouvelé basé sur les propositions soumises par la Commission européenne dans le cadre de son paquet législatif « Énergie propre pour tous les Européens », adopté en novembre 2016. Le secteur du bâtiment, qui est le plus gros consommateur d'énergie de l'Union, pourra, en particulier, s'appuyer sur une version révisée de la directive sur la Performance énergétique des bâtiments, qui donnera la priorité à la rénovation et à la modernisation des bâtiments, notamment au travers d'une promotion accrue du financement de l'efficacité énergétique.

## Le contexte : une transition nécessaire

La transition énergétique s'est imposée comme la pierre angulaire d'un futur soutenable, dans lequel les modes de production et de consommation de l'énergie permettent le développement et la croissance, sans pour autant pénaliser l'environnement. Par ailleurs, l'Accord de Paris (décembre 2015) a confirmé l'engagement international en faveur de la lutte contre le réchauffement climatique et a mené à la fixation par l'Union européenne d'un objectif de réduction d'au minimum 40 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux niveaux constatés en 1990<sup>(1)</sup>.

L'objectif de cette transition requiert un profond remaniement des cadres politique et législatif de l'Union. C'est ce constat qui a amené la Commission européenne à lancer, en 2015, l'Union européenne de l'énergie<sup>(2)</sup>, une stratégie européenne dont l'objectif est de garantir une énergie sûre, abordable et respectueuse du climat. Cette stratégie comprend cinq volets complémentaires couvrant la sécurité et la solidarité énergétique, l'intégration du marché intérieur de l'énergie, l'efficacité énergétique, l'action pour le climat et la décarbonation de l'économie et, enfin, la recherche, l'innovation et la compétitivité.

Avec le paquet législatif « Énergie propre pour tous les

Européens<sup>(3)</sup> », adopté en novembre 2016, cette stratégie trouve sa première concrétisation d'envergure. Ce paquet comprend une série de mesures visant à adapter l'acquis communautaire aux nouveaux défis et ainsi à assurer un rôle moteur à l'Union dans la transition énergétique globale. Dans cette optique, ses piliers fondamentaux sont la priorité à l'efficacité énergétique (« *Energy Efficiency First* »), une promotion accrue des énergies renouvelables et la garantie, pour les consommateurs, de conditions optimales d'accès aux énergies propres.

## Efficacité énergétique et énergie propre

L'efficacité énergétique est un élément majeur du paquet « Énergie propre » : elle est au cœur d'une vision et d'un cadre qui concilient la compétitivité économique avec l'atteinte d'objectifs climatiques et énergétiques ambitieux.

(1) Voir : [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_fr](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fr)

(2) Voir : [https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate\\_fr](https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_fr)

(3) Voir : [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-16-4009\\_fr.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4009_fr.htm)

Dans ce domaine, l'Union européenne ne partait pas d'une page blanche, étant déjà dotée d'instruments législatifs performants pour assurer la promotion de l'efficacité énergétique :

- la directive sur l'Efficacité énergétique <sup>(4)</sup> (d'octobre 2012), qui fixe un objectif d'efficacité énergétique de 20 % à l'Union européenne à l'horizon 2020 et établit un ensemble de mesures en vue de permettre l'atteinte de cet objectif ;
- la directive Écoconception <sup>(5)</sup> (d'octobre 2009), qui fixe les exigences que les produits liés à l'énergie doivent remplir pour pouvoir être mis sur le marché et/ou mis en service. Cette directive est complétée par la directive Éco-étiquetage (mai 2010), qui établit un cadre pour l'information (par voie d'étiquetage) des utilisateurs sur la consommation d'énergie des produits ;
- la directive sur la Performance énergétique des bâtiments <sup>(6)</sup> (mai 2010), qui promeut l'amélioration de cette performance.

Ces trois directives ont déjà porté leurs fruits – en matière d'efficacité énergétique, mais également au-delà. En effet, grâce à elles, les prix des énergies renouvelables ont considérablement baissé – elles sont désormais compétitives. De plus, le découplage entre les émissions de gaz à effet de serre et le produit intérieur brut des différents États membres a été amorcé, et il se poursuit. Enfin, la croissance économique et la consommation d'énergie sont désormais découplées.

Cependant, si l'Union européenne est en passe d'atteindre ses objectifs à l'horizon 2020 (diminution de 20 % de la consommation d'énergie, augmentation de 20 % de la part des énergies renouvelables et diminution de 20 % des émissions de gaz à effet de serre), l'objectif de décarbonation à l'horizon 2050 implique une trajectoire exigeante et des objectifs intermédiaires (à l'horizon 2030) plus ambitieux.

Dans ce cadre, le but du paquet « Énergie propre » est de fixer un cadre législatif adapté à cette nouvelle ambition pour 2030, à savoir un objectif contraignant d'efficacité énergétique de 30 %, une augmentation de la part des énergies renouvelables d'au minimum 27 % dans le mix énergétique et une diminution de 40 % des émissions de gaz à effet de serre.

En ce qui concerne spécifiquement l'efficacité énergétique, au-delà de la cible elle-même (30 % à l'horizon 2030), la Commission propose de pérenniser un mécanisme qui a fait ses preuves au cours de cette décennie : il s'agit du mécanisme d'obligations en matière d'efficacité énergétique, qui est établi par chaque État membre et au travers duquel on impose aux distributeurs d'énergie et aux entreprises de vente d'énergie au détail (les *parties obligées*) d'atteindre un objectif cumulé d'économies d'énergie au stade de l'utilisation finale <sup>(7)</sup>. Cet objectif est de 1,5 % dans la directive actuelle et la proposition de la Commission est de maintenir un niveau d'ambition identique au-delà de 2020 (année actuellement retenue pour apprécier la validité de cette mesure). Cela permettrait de réaliser une partie substantielle des économies d'énergie

nécessaires pour atteindre la cible des -30 % en 2030, tout en donnant une visibilité favorable aux investissements réalisés en faveur de l'efficacité énergétique.

L'ambition soutenue par la Commission se justifie par ses impacts potentiels : une cible à -30 % (par opposition à une cible à -27 %) se traduirait en effet par 400 000 emplois supplémentaires et par une diminution du coût des importations de combustibles fossiles de 70 milliards d'euros sur la période 2021-2030 <sup>(8)</sup>.

Le secteur du bâtiment étant le plus gros consommateur d'énergie dans l'Union, il a naturellement un rôle clé à jouer dans cette stratégie en faveur d'une plus grande efficacité énergétique. On estime par ailleurs que plus des trois-quarts du parc des bâtiments de l'Union sont inefficaces au plan énergétique <sup>(9)</sup> : il est donc primordial, au-delà de l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments neufs, de s'assurer de la mise à niveau des bâtiments existants.

## L'efficacité énergétique dans les bâtiments

Sur le plan économique, le secteur du bâtiment représente 9 % du PIB de l'Union et 8 % des emplois européens – il s'agit donc d'un enjeu économique majeur, en plus d'être un enjeu environnemental et énergétique (le secteur représente également 40 % de la consommation totale d'énergie et 36 % des émissions de CO<sub>2</sub> de l'Union <sup>(10)</sup>). Il est donc logique que l'Union se soit dotée d'un instrument spécifique pour ce secteur – la directive sur la Performance énergétique des bâtiments (DPEB).

En déclinaison de son objectif général – la promotion de l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments dans l'Union –, la DPEB impose :

- la mise en place d'un cadre général commun pour les méthodes de calcul de la performance énergétique des bâtiments (ces dernières étant ensuite définies aux niveaux national ou régional),

(4) Voir : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A32012L0027>

(5) Voir : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009L0125>

(6) Voir : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=FR>

(7) Pour la France, voir : <https://www.ecologique-solaire.gouv.fr/dispositif-des-certificats-deconomies-denergie>

(8) Voir : [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-16-3986\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-3986_en.htm)

Par ailleurs, l'ensemble des mesures du paquet « Énergie propre » – telles que soumises par la Commission – pourrait générer 900 000 emplois supplémentaires et engendrer une augmentation de 190 milliards d'euros du produit intérieur brut de l'Union.

(9) Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil modifiant la directive 2010/31/UE sur la performance énergétique des bâtiments, COM(2016) 765 final, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A52016PC0765>

(10) Voir : <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>

Photo © Gilles ROLLE/REA



Premier bâtiment parisien rénové en autoconsommation solaire intelligente.

« On estime par ailleurs que plus des trois-quarts du parc des bâtiments de l'Union sont inefficaces au plan énergétique : il est donc primordial, au-delà de l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments neufs, de s'assurer de la mise à niveau des bâtiments existants. »

- l'application d'exigences minimales en matière de performance énergétique aux bâtiments et aux unités de bâtiments neufs ou existants (en cas de rénovation majeure), ainsi qu'aux éléments (enveloppe et systèmes) ayant un impact sur les performances énergétiques,
- la mise en place de mécanismes pour la certification de la performance énergétique des bâtiments (qui s'est traduite, en France, par la création des diagnostics de performance énergétique<sup>(11)</sup>),
- enfin, la mise en place de plans nationaux visant à accroître le nombre des bâtiments basse consommation (avec, en particulier, un objectif de généraliser les bâtiments de ce type dans les nouvelles constructions à l'horizon 2020).

Cette directive a eu un impact majeur sur le secteur du bâtiment et de la construction en mettant en lumière la nécessité d'améliorer les pratiques, les méthodes et les outils pour la conception, la construction et l'exploitation des bâtiments en vue d'une amélioration de leurs performances énergétiques. Elle a également permis aux usagers et aux consommateurs d'avoir accès à une meilleure information sur les performances énergétiques de leur logement, leur permettant ainsi de faire des choix plus éclairés<sup>(12)</sup>.

### La révision de la directive sur la Performance énergétique des bâtiments (DPEB)

La proposition de révision de la DPEB, qui a été soumise à la Commission dans le cadre de l'examen du paquet législatif « Énergie propre », introduit un certain nombre d'innovations.

Tout d'abord, l'accent est mis sur la rénovation du parc existant. Cela se traduit, en particulier, par l'ajout de dispositions relatives à la mise en place par les États membres de stratégies à long terme de rénovation de leurs parcs nationaux en vue d'une décarbonation complète à l'horizon 2050.

La question du financement des investissements de rénovation devient également centrale, avec des exigences

(11) Voir : <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F16096>

(12) Les performances énergétiques ont un impact sur le coût d'usage du logement, il est donc logique qu'elles aient aussi une influence sur sa valeur : voir : [http://www.lemonde.fr/argent/article/2018/01/05/un-logement-energivore-peut-perdre-jusqu-a-17-de-sa-valeur\\_5237786\\_1657007.html](http://www.lemonde.fr/argent/article/2018/01/05/un-logement-energivore-peut-perdre-jusqu-a-17-de-sa-valeur_5237786_1657007.html)

relatives à l'introduction de mécanismes pour l'accompagnement des décisions d'investissement, des mécanismes structurés autour de trois axes : 1) l'agrégation des projets de rénovation, 2) une meilleure évaluation du risque en matière d'investissements dans l'efficacité énergétique et, enfin, 3) le recours à des financements publics pour une meilleure stimulation des financements privés. Cette approche en trois axes complémentaires est à la base de l'initiative de la Commission pour un « Financement intelligent pour des bâtiments intelligents <sup>(13)</sup> ». Cette initiative – proposée par la Commission européenne comme partie intégrante du paquet « Énergie propre » – vise une utilisation plus efficace des fonds publics et le développement de plateformes de financement dédiées permettant d'assister les promoteurs de projets de rénovation et de rendre les investissements dans l'efficacité énergétique plus fiables et plus attractifs pour les promoteurs, les financeurs et les investisseurs. Menée en étroite collaboration avec la Banque européenne d'investissement (BEI) et avec les États membres, elle devrait permettre de débloquer 10 milliards d'euros supplémentaires de fonds publics et de fonds privés pour l'efficacité énergétique à l'horizon 2020. Elle a notamment donné lieu à la création de la base de données pour les investissements dans l'efficacité énergétique DEEP (acronyme pour *De-risking Energy Efficiency Platform* <sup>(14)</sup>) et à la définition de guides opérationnels pour aider à la création d'outils de financement dédiés <sup>(15)</sup>.

En plus de la rénovation et de son financement, une autre dimension essentielle de cette proposition de révision est la prise en compte de la modernisation des bâtiments, et en particulier de leur « intelligence » accrue – qui est un aspect majeur, puisqu'il a un impact important sur la performance énergétique. Cela se traduit non seulement par une prise en compte élargie des systèmes techniques des bâtiments (en particulier, des systèmes d'automatisation et de régulation du bâtiment), mais également par la création d'un indicateur dédié. Cet indicateur d'intelligence des bâtiments permettra d'évaluer la capacité des bâtiments à optimiser leurs performances en exploitation, à interagir avec les usagers et à adapter leur consommation dynamiquement (notamment en réponse à des pics de demande d'électricité), et ce, à l'aide des technologies intelligentes dont ils sont dotés. Enfin, la révision de la DPEB prend acte du rôle important que le secteur du bâtiment peut jouer dans la transition énergétique du secteur du transport en introduisant des exigences

en matière d'équipement en bornes de recharge des véhicules électriques des zones de stationnement liées à certains bâtiments.

Enfin, la révision de la directive prend acte de l'élargissement de l'impact du bâtiment sur la qualité de vie des citoyens européens en encourageant les États membres à accorder, dans le cadre des stratégies de rénovation de leur parc immobilier, une attention particulière aux foyers vulnérables. Il s'agit de traiter le problème de la précarité énergétique, dont on estime qu'elle touche plus de 23 millions de foyers dans l'Union <sup>(16)</sup> : à l'aide des mesures proposées par la Commission dans le cadre de la révision de la DPEB, jusqu'à 3,2 millions de foyers pourraient sortir de cet état de précarité énergétique <sup>(17)</sup>. La question de la santé et du bien-être des usagers de bâtiments fait également l'objet d'un traitement dédié, notamment au travers de références à une ventilation adéquate des bâtiments et à la nécessité de garantir le confort des usagers.

### Vers un cadre législatif révisité

Le paquet législatif européen « Énergie propre » fait l'objet, suite à son adoption par la Commission en novembre 2016, de discussions entre les co-législateurs (le Conseil de l'Union européenne et le Parlement européen). Ces discussions devraient mener à la finalisation et à la publication des textes des directives révisées courant 2018, puis à leur transposition et à leur mise en œuvre au plan national à l'horizon 2020. Ce cadre permettra de donner l'impulsion nécessaire à une poursuite de la transition énergétique de l'Union sur la décennie 2020-2030, et ce, au bénéfice de l'ensemble des citoyens européens. L'impact attendu sur le secteur du bâtiment est particulièrement important. Il devrait générer une nette amélioration non seulement des performances énergétiques des bâtiments en Europe, mais également pour leurs usagers en termes de confort, de bien-être et de santé.

(13) [https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/smart-finance-smart-buildings-investment-facility\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/smart-finance-smart-buildings-investment-facility_en.pdf). Cette initiative est plus connue sous sa dénomination en langue anglaise : Smart Finance for Smart Buildings.

(14) <https://deep.eefig.eu/> (en langue anglaise).

(15) <https://valueandrisk.eefig.eu/financingenergy> (en langue anglaise).

(16) Source : Eurostat.

(17) Voir : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1490877208700&uri=CELEX:52016PC0765>

# Les outils mis au service des pouvoirs publics pour promouvoir l'efficacité énergétique dans les bâtiments

Par Gilles AYMOZ

Chef du service Bâtiment de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe)

L'État a fixé des objectifs ambitieux de réduction des consommations énergétiques non seulement de l'habitat, mais également des bâtiments industriels et tertiaires, qui voient ainsi fortement impactées les modalités de leur construction (ou de leur rénovation).

L'atteinte de ces objectifs nécessite des mesures visant à informer, mobiliser et accompagner les acteurs, en particulier les professionnels du bâtiment et les ménages, avec une attention particulière portée à ceux en situation de précarité énergétique.

Les enjeux sont d'avancer des arguments qui soient en concordance avec les véritables préoccupations des particuliers, de faciliter l'accès des propriétaires concernés à des financements appropriés, ainsi que d'inciter les professionnels à adapter leurs offres et à améliorer leurs compétences et la qualité de leurs prestations.

L'importance de ces enjeux conduit à une large intervention des pouvoirs publics, tant au niveau national que territorial. Dans cet article, nous passerons en revue, de façon succincte, une partie des outils dont disposent les pouvoirs publics pour favoriser la rénovation de bâtiments anciens, en nous focalisant, ici, plus particulièrement sur l'enjeu principal que constitue le parc de logements privés.

L'action publique en faveur de la rénovation des logements vise principalement à faire davantage de rénovations et que celles-ci soient plus performantes pour arriver au facteur 4, voire à la neutralité carbone, et à un parc entièrement BBC (basse consommation en énergie) en 2050. Pour atteindre ces objectifs, deux caractéristiques fondamentales du marché de la rénovation sont à prendre en considération : d'une part, l'inertie du secteur qui se traduit par des taux de renouvellement du parc très lents, par des investissements lourds et par le très grand nombre d'acteurs. D'autre part, le secteur du bâtiment n'a pas encore pleinement engagé ni sa révolution numérique ni sa transition environnementale, et tout particulièrement en ce qui concerne la rénovation des logements privés, qui est pourtant le parc immobilier le plus consommateur d'énergie.

L'action publique doit aussi relever plusieurs défis :

- elle doit être pensée sur des temps longs, bien au-delà de la durée des mandats électoraux, avec davantage de

progressivité et de concertation, et en évitant les ruptures afin de permettre l'adaptation de tous les acteurs concernés (pouvoirs publics (dont collectivités locales), professionnels et ménages) ;

- elle doit mener rapidement à une évolution forte du marché basée sur la satisfaction client, la qualité des travaux réalisés et l'amélioration de la performance environnementale réelle des bâtiments, ainsi que sur la prise en compte de valeurs jusqu'ici délaissées : valeur patrimoniale, confort, prise en compte des économies d'énergie générées par les travaux de rénovation pour évaluer la solvabilité des ménages...
- elle doit concilier en permanence le défi de la rénovation et de la performance environnementale du logement avec les défis du logement pour tous et de l'urgence sociale associée aux questions de précarité énergétique et d'insalubrité de certains logements ;
- enfin, elle doit permettre de créer de la valeur en France : la création d'emplois, bien sûr, mais aussi la réduction de notre dépendance vis-à-vis des énergies fossiles et

du nucléaire, la valorisation des produits bio-sourcés et la négociation du virage vers une économie circulaire.

### Premières cibles des politiques publiques, les ménages qui décident ou non de rénover

Le diagnostic de performance énergétique (DPE) <sup>(1)</sup> renseigne sur la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment en évaluant sa consommation d'énergie et son impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Il s'inscrit dans le cadre de la politique énergétique définie au niveau européen dans le but de réduire la consommation d'énergie des bâtiments et de limiter leurs émissions de gaz à effet de serre. Depuis plus de dix ans, le DPE est obligatoire pour les ventes et les mises en location de logements. Il est désormais bien inscrit dans l'esprit des ménages et des professionnels, mais il doit encore évoluer pour devenir opposable et ouvrir ainsi une nouvelle vague de politiques publiques, à l'instar du contrôle technique et du bonus-malus pour les véhicules automobiles.

Pour conseiller les ménages dans leurs projets d'amélioration de leur logement et faciliter leur passage à l'action, des structures et des réseaux ont été mis en place au fil des années, lesquels bénéficient de financements de la part de l'État et des collectivités locales.

Les années 2000 ont ainsi vu le déploiement progressif des Espaces Info Énergie (EIE) qui ont pour mission de délivrer aux particuliers des informations personnalisées et des conseils neutres, gratuits et indépendants. Ils sont devenus depuis lors les Points Rénovation Info Service (PRIS). L'ambition est d'en faire le guichet unique accessible *via* le numéro azur gratuit 0808 800 700 ou *via* le site [renovation-info-service.gouv.fr](http://renovation-info-service.gouv.fr). Ce réseau comprend 248 structures qui ont été mises en place par l'Ademe et des collectivités territoriales, par l'Agence nationale de l'Habitat (Anah), par des collectivités locales délégataires et par des directions départementales des terri-

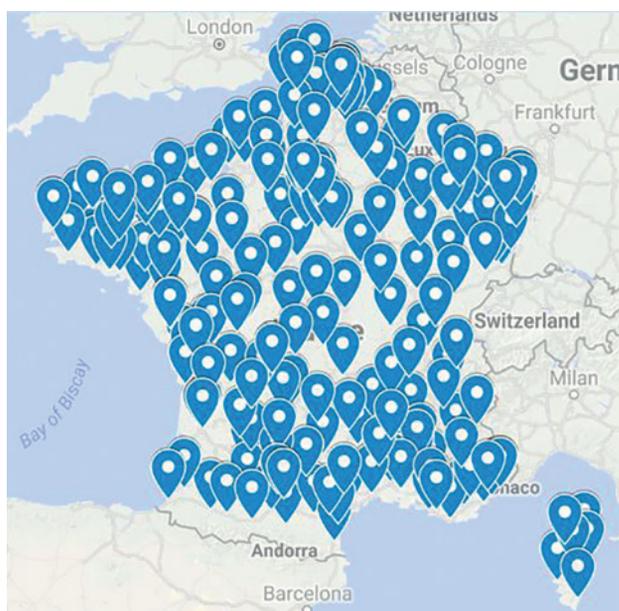


Figure 1 : Localisation géographique des Espaces Info Énergies (EIE).

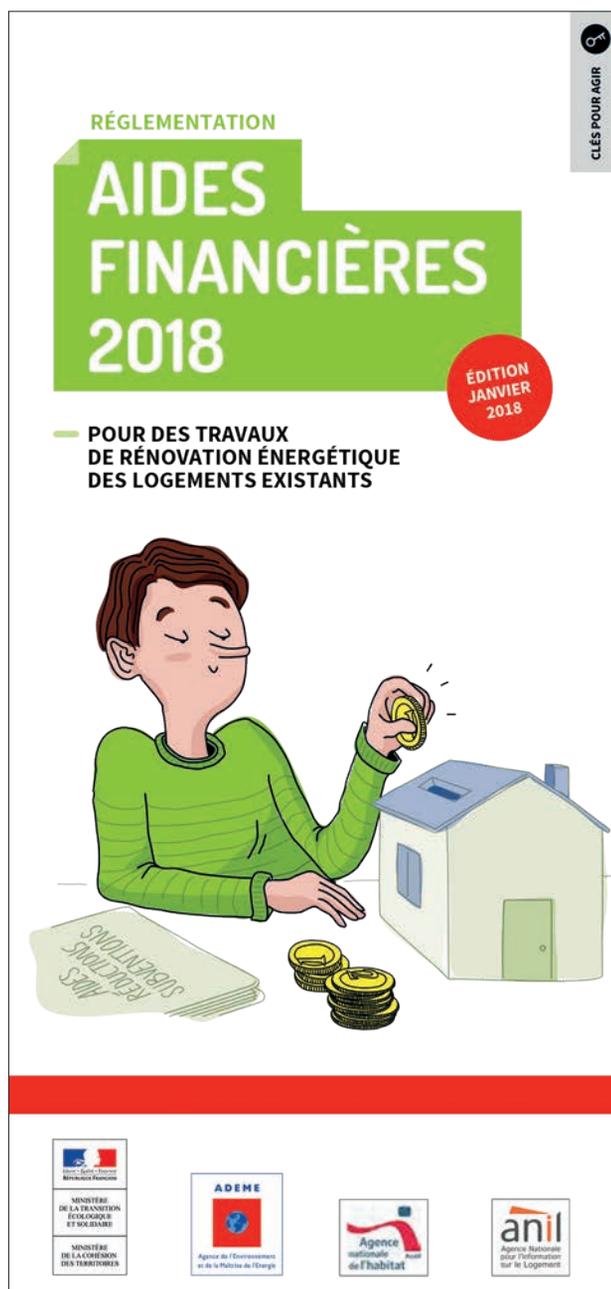


Figure 2 : Première page de la plaquette « Aides financières 2018 » élaborée par l'Ademe.

toires (DDT), ainsi que par des Agences départementales d'Information sur le logement (ADIL).

La pérennité de ce service public de la rénovation énergétique, ainsi dénommé dans la loi de Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), reste à ce jour à consolider.

Pour stimuler la demande des ménages dans le domaine de la rénovation énergétique, des aides financières (cumulables) de nature fiscale ou financière peuvent être accordées, il s'agit notamment :

- du crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE), de la TVA à taux réduit, de l'exonération du paiement de la taxe foncière,

(1) [www.observatoire-dpe.fr](http://www.observatoire-dpe.fr)

- de l'éco-prêt à taux zéro (éco-PTZ),
- des subventions du programme « Habiter mieux » de l'Anah, qui servent à financer les travaux de rénovation énergétique des ménages en situation de précarité,
- enfin, des primes aux travaux des particuliers, au titre des certificats d'économie d'énergie (CEE).

## La création d'une nouvelle série d'outils visant à faire évoluer l'offre privée

Le dispositif FEE Bat (formation aux économies d'énergie dans le bâtiment) vise à former, depuis 2007, les professionnels du bâtiment aux économies d'énergie à travers la rénovation thermique des logements, grâce aux certificats d'économie d'énergie. Ces formations sont dispensées sur l'ensemble du territoire par des organismes habilités. Ainsi, plus de 162 000 stagiaires ont suivi les formations FEE Bat dédiées à l'amélioration thermique de bâtiments existants.

Pour faire évoluer l'offre de rénovation énergétique et fournir aux particuliers un signe de qualité leur permettant de s'y retrouver, la mention Reconnu garant de l'environnement (RGE) a vu le jour après l'adoption des lois Grenelle de 2010, à travers la signature d'une charte réunissant les parties prenantes. Cette mention atteste de la capacité technique d'une entreprise à réaliser des travaux liés à la rénovation énergétique dans une activité donnée. À ce jour, près de 65 000 entreprises justifient du label RGE. Elles sont référencées sur le site rénovation-info-service.gouv.fr. L'éco-conditionnalité de l'attribution des aides d'État CITE, éco-PTZ et CEE, à la justification de cette mention a été mise en place en juillet 2014.

Si la délivrance de la mention RGE et la formation des professionnels ont permis des progrès importants, ces dispositifs restent à ce stade insuffisants pour répondre aux nombreuses difficultés que rencontrent les particuliers dans la réalisation de projets de rénovation ambitieux. En réponse à ces difficultés, les plateformes territoriales de la rénovation énergétique (PTRE) – au nombre de 154 – ont été créées par l'Ademe et les collectivités territoriales afin de faire émerger une offre d'accompagnement globale pouvant aller jusqu'à l'assistance à la maîtrise d'ouvrage, avec pour objectifs de :

- mobiliser au niveau local les structures et les acteurs publics et privés pour atteindre les objectifs de rénovation énergétique ;
- proposer un interlocuteur unique à même d'assister les ménages durant toute la durée de l'opération de rénovation (programmation, phasage des travaux, sélection des entreprises, réalisation des travaux (dont la coordination et le suivi du chantier)) ;
- contribuer à la structuration de l'offre des professionnels du bâtiment et à leur qualification, dans le cadre du déploiement du signe RGE ;
- enfin, engager le secteur bancaire et mobiliser les financements publics et les mécanismes de marché (CEE, etc.) afin de proposer des offres de financement adéquates.



Figure 3 : Implantation territoriale des plateformes territoriales de la rénovation énergétique (PTRE).

## Observer la rénovation

Plusieurs dispositifs et enquêtes existent qui permettent de mieux connaître l'état du parc français de logements privés. Par exemple, l'Observatoire permanent de l'amélioration ENergétique du logement (OPEN) procède, sur base d'une enquête grand public, à une évaluation du nombre et du type des rénovations énergétiques réalisées, ou encore l'Observatoire national de la précarité énergétique (ONPE)<sup>(2)</sup> qui est chargé d'estimer le nombre des ménages en situation de précarité énergétique.

Toutefois, force est de constater qu'il existe encore bien peu d'informations et de statistiques structurantes et fiables sur l'état du parc français, sur sa consommation énergétique, sur le profil de ses occupants, qui soient suffisamment précises et segmentées pour permettre une action publique optimisée.

## Innover et expérimenter

Des soutiens à la Recherche & Développement sont apportés pour accélérer les innovations technologiques, sociologiques et organisationnelles, et pour faire baisser les coûts dans les secteurs du bâtiment et des énergies renouvelables. Ainsi, par exemple, l'appel à projets de recherche « Vers des bâtiments responsables à l'horizon 2020 » de l'Ademe en est à sa quatrième édition et, dans le cadre du programme des investissements d'avenir (PIA), ce sont 3 appels à projets et 3 initiatives PME qui ont été réalisés, portant sur 3 axes, à savoir :

- l'axe pré-industrialisation/solutions packagées/briques technologiques,
- l'axe numérique et dématérialisation,
- l'axe bois de construction et (autres) matériaux bio-sourcés.

(2) [www.onpe.org](http://www.onpe.org)

Dans le cadre du PIA, 58 projets (sur 207 déposés) ont été retenus depuis 2010 pour bénéficier d'un financement représentant un montant d'aides de 38 millions d'euros (M€) alloué à 130 entreprises (dont 76 PME).

Le programme PIA3 (troisième volet du PIA) va être poursuivi sur ces mêmes axes en cherchant à renforcer la thématique de l'ilot performant et en intégrant, à l'échelle décisionnelle pertinente, l'urbanisme, le bâtiment et le déploiement des énergies renouvelables (EnR).

En complément à ces innovations et afin de favoriser la transformation du marché et de trouver de nouvelles idées de leviers et d'outils permettant d'embarquer volontairement un nombre bien plus important de foyers vers la rénovation énergétique de leur logement, un exercice exploratoire a été lancé fin 2016, le Booster de la rénovation. Son objectif était de produire des idées, des concepts novateurs ou d'ouvrir des pistes devant permettre de rendre la rénovation énergétique plus simple à réaliser, et donc plus attractive. Cet exercice entrainait dans le cadre d'une collaboration entre l'Ademe et le plan Bâtiment durable, qui ont travaillé sur les « nouvelles dynamiques de la rénovation », courant 2016. Cette démarche vise à intégrer de nouveaux acteurs encore trop peu présents sur le marché de la rénovation : les acteurs de l'immobilier, les *designers* de services, les *marketeurs*, les publicitaires...

## Conclusion

Force est de constater que les résultats des différentes politiques publiques et mobilisations en faveur de la rénovation énergétique des bâtiments sont difficiles à mesurer,

à discriminer et à imputer à telle ou telle action ou à telle ou telle politique. Ils sont jugés insuffisants et ne permettront sans doute pas d'atteindre les objectifs visés. Malgré la longue liste des actions déjà déployées, la voie de la massification de la rénovation énergétique des bâtiments n'est pas encore tracée. C'est dans ce sens que s'oriente le nouveau Plan de rénovation énergétique des bâtiments, dont les 4 axes d'action font actuellement l'objet d'une large concertation visant à rechercher les solutions les plus efficaces pour pouvoir progresser dans ce domaine, tout en identifiant également les chantiers à poursuivre et les expérimentations à lancer.

Ces 4 axes d'action visant à atteindre la sobriété énergétique et à contribuer à l'objectif de la neutralité carbone sont :

- Faire de la rénovation énergétique des bâtiments une priorité nationale mieux identifiée et pilotée, en y associant l'ensemble des parties prenantes ;
- Lutter contre la précarité énergétique des ménages et massifier la rénovation des logements en industrialisant les actions les plus efficaces ;
- Accélérer la rénovation thermique des bâtiments tertiaires (en particulier dans le parc public) au travers de la mobilisation de nouveaux financements et en ciblant les bâtiments utilisés au quotidien par les Français ;
- Accompagner la montée en compétences des professionnels du bâtiment et le développement de l'innovation en vue de permettre l'essor de solutions industrielles fiables et compétitives.

# Évaluation de la Réglementation thermique de 2012

Par Mireille CAMPANA

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'économie

Michel JEAN-FRANÇOIS

Ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts, membre permanent du Conseil général de l'environnement et du développement durable

Anne FLORETTE

Ingénieure en cheffe des Ponts, des Eaux et des Forêts, Conseil général de l'environnement et du développement durable

et Didier PILLET

Ingénieur en chef des Mines, Conseil général de l'économie

L'évaluation de la RT 2012 montre que l'objectif de consommation très ambitieux fixé par le Grenelle de l'Environnement (50 kWh/m<sup>2</sup>/an) a été atteint grâce à des équipements plus performants et plus complexes – pompes à chaleur et chaudières à condensation – et à une meilleure coordination des acteurs de l'enveloppe et des systèmes, qui a pu s'appuyer sur des actions publiques en formation, en information et en soutien à l'innovation.

En matière d'énergie utilisée, ont été constatés des effets « majoritaires », avec une prédominance du gaz, dans le logement collectif, et celle des pompes à chaleur, dans les maisons individuelles. En matière de confort, des problèmes de surchauffe en été ont également été relevés, même dans des bâtiments bien isolés.

Des surcoûts en matière d'enveloppe et d'équipements ont été observés, qui seraient compensés (même si sur ce point nous manquons encore un peu de recul) par des coûts d'utilisation moins élevés.

Une meilleure prise en compte du pilotage actif de certains équipements en tenant compte de la puissance consommée en énergie non renouvelable (bien adaptée à l'équilibre du réseau) pourrait permettre de réintroduire des équipements de chauffage électriques moins complexes et d'autoriser une utilisation plus large de la climatisation. Cela pourrait également aider au déploiement des énergies renouvelables (EnR), notamment du solaire.

Cet article présente les grandes lignes de l'évaluation de la réglementation thermique actuelle, la RT 2012, qui a été confiée par le gouvernement au Conseil général de l'économie et au Conseil général de l'environnement et du développement durable en vue de l'élaboration de la nouvelle réglementation environnementale.

Comme les cinq réglementations thermiques<sup>(1)</sup> qui l'ont précédée depuis le choc pétrolier de 1973, cette réglementation s'inscrit dans l'objectif d'une amélioration de la performance énergétique des bâtiments, avec des exigences en termes de consommation maximale (225 kWh/m<sup>2</sup>, en moyenne) et de déperdition de chaleur. En effet, le bâtiment<sup>(2)</sup> représente une importante partie de la

consommation d'énergie globale (45 %), notamment le chauffage, qui correspond à près de 70 % des besoins « réglementés », c'est-à-dire ceux liés au bâtiment, à savoir le chauffage, l'eau chaude sanitaire (ECS), la ventilation, l'éclairage et le rafraîchissement. Le chauffage électrique contribue notamment à la pointe de demande d'électricité lors des périodes froides : l'on estime que le surcroît de besoin en puissance de production est de

(1) RT 1974, RT 1982, RT 1988, RT 2000 et RT 2005.

(2) 48 % des résidences principales ont été construites après 1975, elles sont donc censées respecter l'une des cinq réglementations thermiques mentionnées dans la note de bas de page 1 (source : Bilan RTE 2016).

2,4 GW par degré Celsius supplémentaire<sup>(3)</sup> (soit l'équivalent de la production de plus de deux tranches nucléaires).

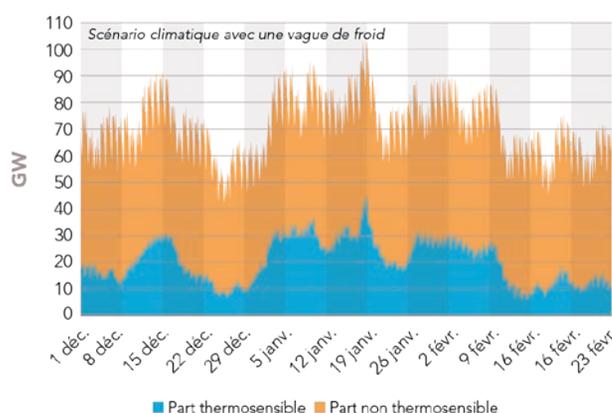


Illustration de la consommation thermosensible hivernale.  
Source : RTE Bilan Prévisionnel (Édition 2016).

Jusqu'à la RT 2005, les différentes réglementations ont suivi une démarche d'amélioration continue de la maîtrise de la consommation, avec la prise en compte de l'évolution des méthodes de conception et des performances des nouveaux matériaux et équipements, mais aussi avec des méthodes de plus en plus précises d'expression des exigences s'appuyant sur le retour d'expérience. Dans le cadre de la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, la RT 2012 a cependant marqué une rupture dans cette progression, avec un objectif très ambitieux traduit par le label Bâtiment basse consommation (BBC), qui a entraîné des évolutions techniques et industrielles significatives. La RT 2012 fixe en effet un seuil unique de consommation d'énergie primaire à 50 kWh/m<sup>2</sup>/an, seuil modulé en fonction des usages faits des bâtiments et des zones climatiques, et ce, pour les cinq usages réglementés précités. Pour un logement chauffé à l'électricité, cela revient à une réduction d'un facteur qui peut aller jusqu'à 4 (190 *versus* 50) par rapport à la RT 2005, alors qu'à titre de comparaison, entre 1974 et 2005, les seuils de consommation (modulés en fonction des types de bâtiment, du mode de chauffage et des zones climatiques) avaient été divisés environ par 2. Pour le gaz, l'écart entre la RT 2005 et la RT 2012 est proche de 2. Ce seuil a été déterminé en s'appuyant sur des travaux très intensifs menés par 23 groupes de travail pendant plus de deux ans, avec des expérimentations portant sur des procédés innovants impliquant le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) et l'Ademe. Financées par le programme PREBAT, ces expérimentations s'appuyaient sur le label BBC.

Au-delà de ce coefficient (qui traduit l'essentiel de l'effort à consentir), la RT 2012 impose deux autres seuils, le Bbio (ou besoin bioclimatique), qui mesure la performance intrinsèque de l'enveloppe du bâtiment indépendamment du système de chauffage (afin d'éviter le paradoxe des passoires thermiques bardées de systèmes de chauffage ou de production d'énergie performants) et la Tic (la température intérieure de confort, laquelle est restée inchangée par rapport à la réglementation précédente), ainsi que quelques obligations de moyens (test d'étanchéité,

consommation locale de 10 % d'énergies renouvelables (ENR) pour les maisons individuelles et surface minimale en baies vitrées).

Avec un seuil de consommation en énergie primaire aussi ambitieux, il fallait pouvoir évaluer cette consommation de manière très précise. C'est l'objet des différents décrets et arrêtés parus entre 2010 et 2012, qui décrivent la méthode à utiliser (plus de 1 300 pages, au total) pour réaliser ces calculs de consommation, sur un pas horaire. Le CSTB a élaboré pour le compte des pouvoirs publics un moteur de calcul (appelé Th-BCE), qui se présente sous la forme de bibliothèques permettant de calculer les consommations sur un pas horaire à partir de scénarios de référence, et donc les valeurs des trois coefficients précités à partir des caractéristiques de l'enveloppe des bâtiments et des équipements relevant des usages réglementés. L'utilisation de ce moteur par les bureaux d'études (au moins pour la vérification) a conduit au constat que, très globalement, la réglementation est respectée dans le logement collectif et dans le tertiaire, ainsi que par les grands constructeurs de maisons individuelles qui fournissent une attestation de conformité.

Sous réserve de l'atteinte de cet objectif de maîtrise de la consommation, la lettre de mission évoquait quatre effets potentiels : l'équilibre des énergies utilisées pour le chauffage, les surcoûts éventuels, l'amélioration de la qualité de conception et celle du confort d'usage.

En ce qui concerne l'équilibre des énergies et les surcoûts, le calcul de la consommation « réglementée » met en œuvre deux grands types de paramètres relativement indépendants : ceux qui relèvent de l'enveloppe du bâtiment, notamment la géométrie, les matériaux, l'isolation et l'étanchéité, la géographie et la surface vitrée, et ceux qui relèvent des « systèmes », notamment de chauffage et de l'eau chaude sanitaire (ECS) (les trois autres usages étant généralement moins consommateurs et plus stables, du moins en l'absence de climatisation). Deux éléments supplémentaires sont à prendre en compte pour réaliser ce calcul : un coefficient de conversion en énergie primaire (qui peut être tenu pour sévère en ce qui concerne l'électricité, avec une valeur réglementaire fixée actuellement à 2,58) et l'obligation d'une consommation d'énergies renouvelables dans les maisons individuelles, à hauteur de 10 %.

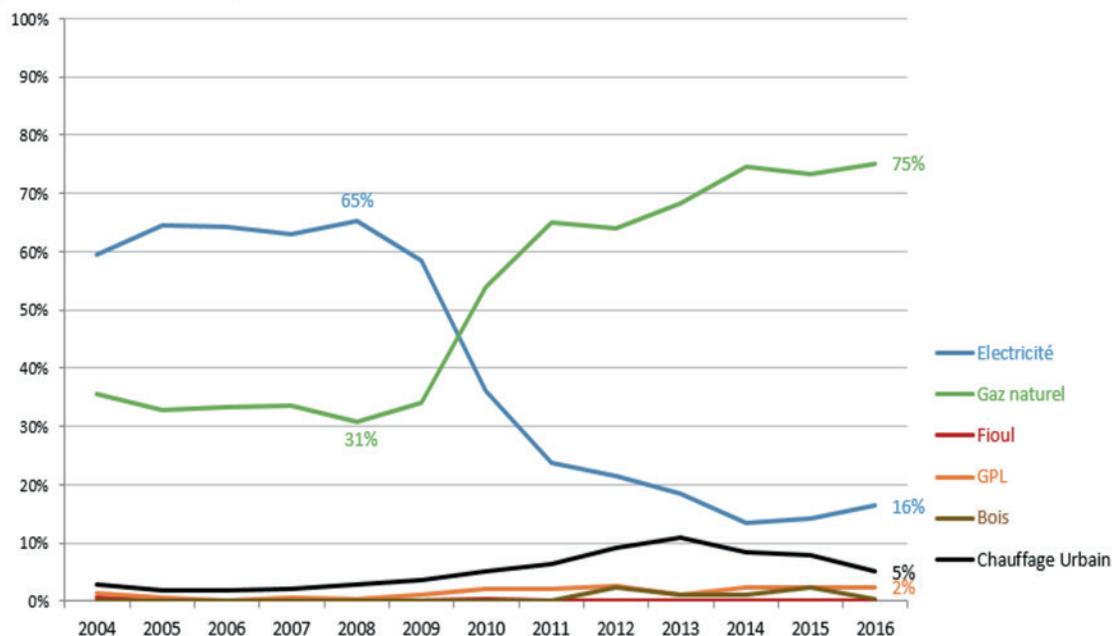
Les conséquences les plus « visibles » de la RT 2012 ont davantage porté sur les changements dans les systèmes de chauffage et de production d'ECS, du fait d'exigences sur le Cep reprises de celles conditionnant l'attribution du label BBC, auxquelles s'est ajoutée l'obligation du recours aux EnR dans les maisons individuelles. En parallèle, les techniques de conception de l'enveloppe du bâtiment ont continué à progresser dans la continuité de celles mises en œuvre pour les bâtiments BBC<sup>(4)</sup>, qui avaient constitué un

(3) À titre de comparaison, il est de 100 GW/j par degré Celsius pour le gaz : soit près de deux fois plus que pour l'électricité, mais sans le problème de pointe horaire.

(4) Même si les seuils exigés dans la RT 2012 sont plutôt en retrait par rapport à ceux du label BBC.

## Evolution des parts de marché des énergies de chauffage en Logements Collectifs (LC) - Exprimées en surface de plancher, France entière.

(source : BatiEtudes, Avr. 2017)



saut technique considérable. Les ponts thermiques font l'objet d'une vigilance accrue avec le développement de rupteurs permettant de les réduire. La réflexion est encore plus poussée en ce qui concerne les choix qui s'offrent à nous en matière d'isolation : ainsi, le procédé de l'isolation thermique par l'extérieur perd du terrain au profit d'une isolation par l'intérieur ou de solutions d'isolation répartie, comme la brique monomur. En ce qui concerne les fenêtres, est constaté un désintérêt pour les menuiseries aluminium. En matière de conception, la RT 2012 a instauré la mise en place du test d'étanchéité dit « de la porte soufflante », lequel a largement contribué à une meilleure coordination entre les acteurs de l'enveloppe (de leur propre aveu), notamment en ce qui concerne les maisons individuelles. Toutefois, pour certains immeubles collectifs chauffés au gaz, le seuil fixé pour la consommation d'énergie primaire a conduit à l'utilisation d'équipements très performants pour le chauffage et l'ECS, qui, bien que présentant une amélioration significative de leur rendement, n'entraînaient pas nécessairement des progrès équivalents au niveau de l'enveloppe. Dans ce cas, le coefficient BBio actuel ne constitue pas un garde-fou suffisant pour pouvoir assurer de la qualité de l'enveloppe.

Allié à une valeur de conversion de 2,58 pour l'électricité, ce seuil de consommation a quasiment éliminé le chauffage par effet Joule (radiateurs électriques) (sauf pour de petites surfaces ou dans les zones côtières du Sud-Est), lequel, en raison de son faible coût d'investissement, avait été largement déployé depuis la RT 2005. En ce qui concerne l'eau chaude sanitaire, ce seuil, auquel s'ajoute l'obligation d'une consommation des énergies renouvelables « locales » pour les maisons individuelles, a fait

fortement reculer le recours aux ballons d'eau chaude à accumulation.

Les changements de systèmes et de sources d'énergie se sont traduits différemment selon le type de bâtiment. L'on note :

- un retournement en matière de source d'énergie dans le collectif, avec une forte remontée du chauffage au gaz *via* des chaudières à condensation<sup>(5)</sup> dans les immeubles de logements (et dans les maisons groupées en lotissements) : cela concerne de l'ordre de 75 % du parc collectif (mesuré en surface de plancher) ;
- un recours massif aux pompes à chaleur, à hauteur de 60 % pour les maisons individuelles isolées, ce qui a entraîné la croissance rapide d'une filière industrielle française autour de cette technologie qui était mal maîtrisée auparavant ;
- une forte croissance d'une autre application de la pompe à chaleur, à savoir le chauffe-eau thermodynamique<sup>(6)</sup> dans les maisons individuelles (35 % du marché) non équipées d'une pompe à chaleur pour le chauffage (38 % des maisons individuelles construites en 2016 étant équipées de PAC à double usage : chauffage + ECS).

En ce qui concerne le chauffage, on assiste à l'instauration d'un quasi-équilibre entre l'électricité (44 %) et le gaz (42 %), si l'on ramène en surfaces exprimées en mètres carrés tous les types de bâtiment, sachant que le gaz dépasse de 8 points l'électricité (47 % *versus* 39 %) si l'on

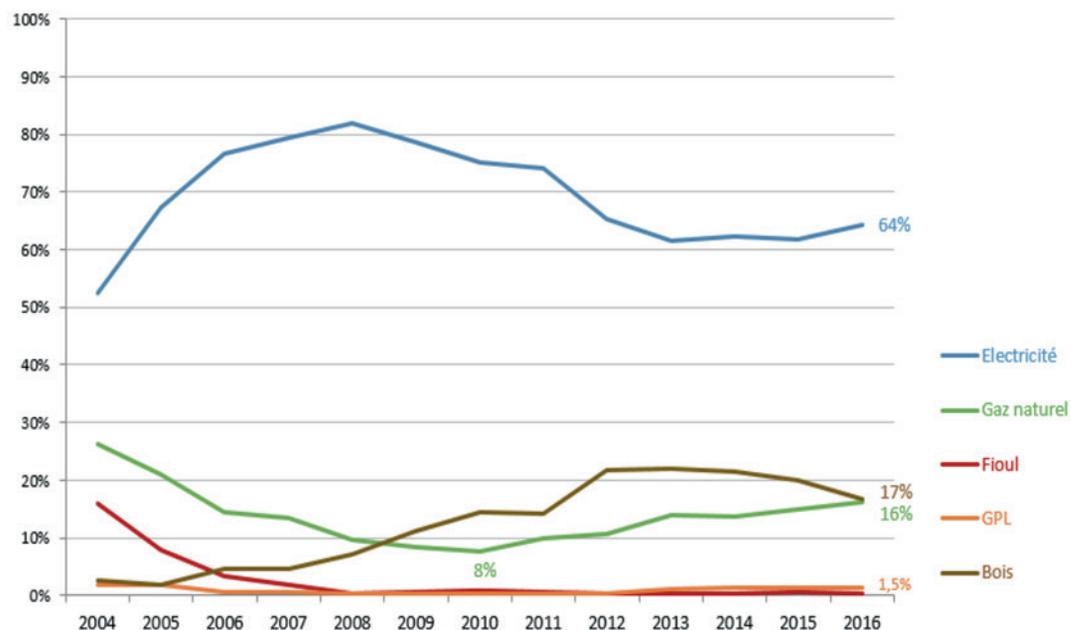
(5) Nécessaires pour « passer » le seuil.

(6) Qui remplit l'obligation d'EnR, comme la PAC.

### Evolution des parts de marché des énergies de chauffage

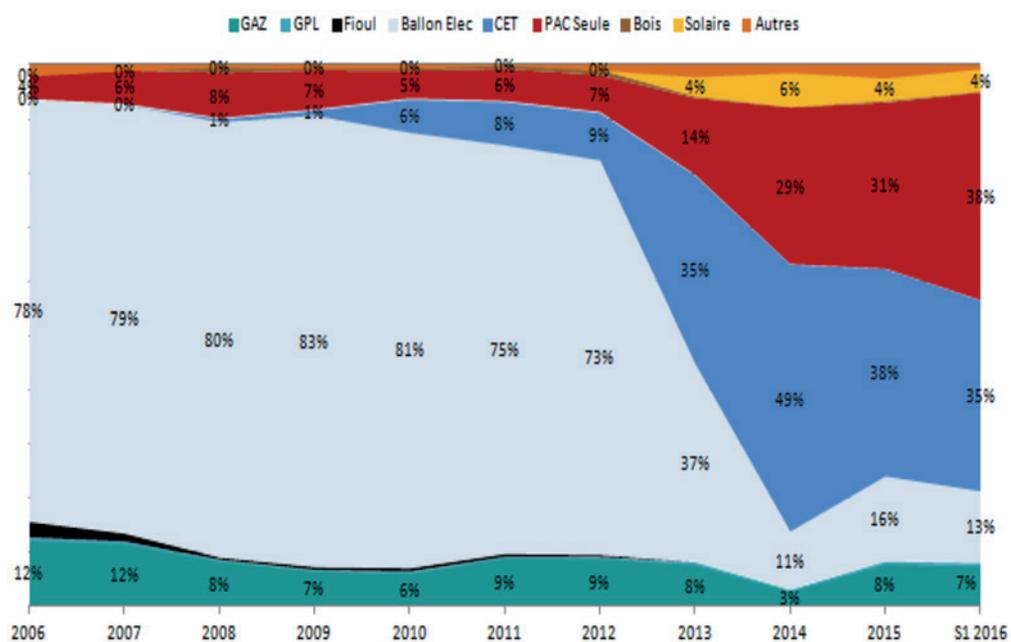
en Maison Individuelle Isolée (MII) - Exprimées en surface de plancher, France entière.

(source : BatiEtudes, Avr. 2017)



### Evolution des solutions pour l'ECS en MII en TTZ

Source Batiétude



ne prend en compte que les logements. Cet équilibre recouvre de fortes disparités, comme on l'a vu plus haut, avec des recours à peu près systématiques à des solutions « majoritaires », ce qui est également vrai pour l'ECS, alors que la réglementation se voulait agnostique en matière de solutions techniques. Cela peut susciter quelques interrogations :

- On a assisté à une bascule vers le gaz (de 30 à 75 %, entre 2009 et 2016) pour les logements collectifs, qui, jusqu'en 2009, privilégiaient le chauffage électrique par effet Joule en raison de coûts d'installation plus faibles<sup>(7)</sup>. Si le seuil du coefficient d'énergie primaire (CEP) éliminait l'effet Joule, sauf cas particuliers (notamment pour des logements de très petite taille), pourquoi le recours aux pompes à chaleur qui, présentant un coefficient de performance (COP) moyen de 3, permettraient de « regagner » le facteur 2,58, a-t-il été aussi faible ? Les professionnels ont d'abord mis en avant le manque de solutions disponibles (qui pourtant existent pour le tertiaire), puis leur coût, voire l'obligation d'un contrat de maintenance (mais cette obligation existe aussi pour les chaudières à gaz).
- Si les maisons isolées ont eu massivement recours aux pompes à chaleur, cela a été beaucoup moins le cas pour les maisons individuelles groupées, lesquelles ont davantage recouru au gaz pour le chauffage. Deux arguments sont avancés : des coûts plus élevés pour l'installation, comme dans le collectif, et d'éventuelles nuisances sonores causées par certaines PAC – deux inconvénients qui pourraient éventuellement être corrigés par des innovations accrues et un facteur d'échelle (si la demande de PAC était plus importante).
- Est également observé le recours au chauffe-eau thermodynamique<sup>(8)</sup> pour les maisons chauffées au gaz (donc, très majoritairement les maisons groupées), et ce, en raison de l'obligation pour les maisons individuelles de recourir aux EnR pour couvrir 10 % (au moins) de leur consommation d'électricité (obligation dont sont aujourd'hui encore dispensés les immeubles). Cette disposition, qui n'était pas présente dans le label BBC<sup>(9)</sup>, avait pour but le développement de la production locale d'énergie renouvelable. En dehors des PAC qui remplissent cette obligation, puisqu'elles produisent plus de chaleur qu'elles ne consomment d'énergie, était visé le développement du solaire pour les maisons individuelles, soit en solaire thermique pour l'ECS, soit en photovoltaïque pour la production d'électricité. Or, le solaire n'en représente plus que 4 % en 2016, notamment parce que le solaire thermique qui s'est bien développé jusqu'en 2009, pour les maisons individuelles, et jusqu'en 2012, pour le collectif, est sujet à une décroissance très rapide, en raison (semble-t-il) d'une trop grande complexité d'installation.

L'objectif de la maîtrise de la consommation d'énergie a donc été atteint, sans conteste, pour les nouveaux bâtiments (avec un équilibre entre les énergies gaz et électricité (hors électricité spécifique)). Il en va de même pour la mise en place de filières pour les nouveaux systèmes de chauffage et d'ECS, même si l'objectif d'un déploiement de productions d'EnR n'a été que partiellement atteint

(à l'exception de la chaleur renouvelable des PAC). Ces deux objectifs, que l'on peut traduire par « la minimisation de la consommation d'énergie non renouvelable », se retrouvent bien dans le label actuel Bepos, qui préfigure la réglementation environnementale à venir, laquelle devrait permettre d'« amplifier » cet aspect EnR au-delà des seules PAC<sup>(10)</sup>.

Pour concrétiser cet objectif ambitieux, de très importants efforts d'accompagnement ont été déployés par les pouvoirs publics, qui se sont appuyés très largement sur l'Ademe et les centres techniques, notamment le CSTB<sup>(11)</sup>, avec à la fois des actions en termes de formation, de documentation<sup>(12)</sup> et de soutien à l'innovation et aux expérimentations, au travers du Prebat<sup>(13)</sup> et du PIA<sup>(14)</sup>. Les acteurs ont fait preuve d'une forte mobilisation, participant également aux actions de documentation au sein d'associations dédiées, comme Promodul, et de transfert de connaissances, à travers, par exemple, l'Association française pour les pompes à chaleur (AFPAC).

Pour ce qui est des surcoûts, le constat est plus complexe : à la fois parce que les changements radicaux dans les procédés, les matériaux et les matériels conduisent inévitablement à des surcoûts (qui diminuent avec les effets d'échelle) et parce que le seuil impose l'utilisation de systèmes beaucoup plus complexes, notamment pour les équipements électriques. Il faut cependant prendre en compte la moindre consommation d'énergie de ces nouveaux équipements en phase d'utilisation, qui peut compenser une partie des surcoûts d'investissement lorsque le maître d'ouvrage et l'occupant sont liés, ou qui peut être valorisée sous la forme de « valeur verte » (si ce n'est pas déjà le cas). Mais la période de retour d'expérience est encore trop courte, il convient donc de continuer à mesurer<sup>(15)</sup> les consommations (conventionnelles et réelles<sup>(16)</sup>) des bâtiments.

(7) Du moins pour les promoteurs privés qui, n'étant pas les occupants des logements, ne sont pas concernés par les coûts de chauffage... Mais c'est moins le cas pour les sociétés d'HLM, qui raisonnent davantage en termes de coûts globaux. Cette distinction vaut aussi pour le tertiaire, selon que le maître d'ouvrage est lui-même un usager de l'immeuble, ou non.

(8) Qui est maintenant bien maîtrisé par les acteurs français, mais qui, en raison de la nécessité d'associer un ballon d'eau chaude à une chaudière à gaz assurant le chauffage central, entraîne pour les usagers les frais d'un contrat de maintenance supplémentaire.

(9) Ce qui explique que la bascule se soit faite en 2012 pour le CET (et non en 2009, comme cela a été le cas pour le gaz avec l'instauration du label BBC).

(10) Puisqu'il faudra produire localement l'énergie consommée par les PAC.

(11) Centre scientifique et technique du bâtiment.

(12) Via notamment les programmes RAGE et PACTE.

(13) Programme national de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans les BÂTiments.

(14) Via l'Institut pour la transition énergétique (ITE) INEF4 (voir l'article de Messieurs Antoine Dugué et Germain Adell).

(15) L'étude « Vivre dans un logement basse consommation d'énergie » réalisée par l'organisme de certification CERQUAL met en évidence une diminution des surcoûts.

(16) En effet, la consommation d'électricité évaluée en énergie primaire (donc, avec application du facteur multiplicatif 2,58) est, en général, inférieure à la consommation réelle payée par l'occupant.

Enfin, pour ce qui est du confort, des critiques<sup>(17)</sup> s'élevèrent actuellement à propos du problème du confort d'été et des surchauffes dans les bâtiments très bien isolés, avec une remise en cause de la pertinence de l'indicateur Tic, qui est resté inchangé depuis les réglementations précédentes. Le recours à la climatisation, qui relève des usages réglementés, est en effet presque systématiquement exclu si l'on veut pouvoir respecter le seuil du CEP, en dehors du cas particulier d'immeubles tertiaires situés dans des zones trop bruyantes pour pouvoir ouvrir les fenêtres.

Ce dernier point peut conduire à s'interroger sur le calcul « annualisé » de la consommation des bâtiments (qui est utilisé pour définir le CEP).

En effet, la réduction de la consommation ne présente pas le même intérêt selon qu'il s'agit ou non de périodes de forte demande (les périodes froides hivernales durant lesquelles l'électricité correspondant au surcroît de demande dû au chauffage est produite notamment dans des centrales thermiques utilisant des combustibles (gaz, fuel, charbon) qui pourraient être utilisés directement pour le chauffage<sup>(18)</sup> et qui auraient un meilleur rendement s'ils étaient utilisés sous forme de gaz, ou durant les périodes d'été où la demande est plus faible et est assurée par une production solaire totalement décarbonée et au rendement plus élevée. En effet, dans le cas d'un bâtiment équipé de panneaux solaires, les besoins en climatisation correspondent justement aux heures chaudes, durant lesquelles la production desdits panneaux est la plus forte.

De surcroît, au-delà de ce problème du rafraîchissement, ce calcul annualisé ne prend pas en compte la variation du niveau de la demande d'électricité (notamment parce que la demande du tertiaire et de l'industrie est plus basse du-

rant la nuit), qui avait été cependant à l'origine des campagnes de déploiement du tout-électrique qui visaient à absorber, *via* le chauffage et l'eau chaude sanitaire (dans des ballons à accumulation), la production de nuit des centrales nucléaires peu flexibles, à l'époque. Même si la flexibilité du nucléaire s'est améliorée, la montée en puissance des énergies renouvelables intermittentes va conduire à des profils de production plus irréguliers, et l'efficacité énergétique visera à adapter la demande à l'offre, et non l'inverse, et ce, au prix d'une surcapacité de production. Avec les outils numériques, la gestion active fine des usages réglementés, autrefois réservée aux grands bâtiments, peut être aujourd'hui disponible pour tous les types de bâtiment. Elle permet notamment de connecter et de piloter très finement des appareils « traditionnels », comme les convecteurs et les ballons à accumulation, qui pourraient continuer à être installés, dans certaines configurations, pour des coûts de déploiement inférieurs aux surcoûts engendrés par des systèmes plus sophistiqués comme les PAC. Selon les acteurs, cette gestion active fine est assez peu valorisée dans le moteur de calcul actuel. Il serait donc opportun d'envisager d'introduire dans les futurs moteurs de calcul ce type de modèle prenant également en compte et utilisant la flexibilité de la puissance consommée.

(17) Voir, par exemple, la position du groupe de travail « Réflexion Bâtiment Responsable 2020-2050 » du Plan Bâtiment durable.

(18) Dans les bâtiments récents, l'utilisation de PAC compense en partie cette perte de rendement, même si leur efficacité peut diminuer pendant les périodes froides.

# Vers une réglementation environnementale pour les bâtiments neufs

Par Romain GAËTA, Laurent GULDNER, Florian PITON, Laetitia PRIEM et Aloïs THIÉBAUT

Ingénieurs des Travaux publics de l'État, ministère de la Transition énergétique et solidaire, ministère de la Cohésion des territoires

Afin de pouvoir réduire fortement les émissions de gaz à effet de serre de la France, il est nécessaire d'agir sur le secteur du bâtiment, qui est le plus gros consommateur d'énergie parmi l'ensemble des secteurs économiques.

La réglementation thermique 2012, actuellement en vigueur, a permis de fixer un objectif ambitieux de réduction des consommations énergétiques pour les bâtiments neufs construits après 2012 en généralisant les bâtiments basse consommation. Par le biais de la loi de Transition énergétique pour la croissance verte, une trajectoire encore plus ambitieuse a été fixée à l'horizon 2020, avec la construction de bâtiments à énergie positive et à haute performance environnementale.

Afin de permettre la montée en compétences de l'ensemble des acteurs de la construction dans ce domaine et de préparer la future réglementation des bâtiments neufs, qui ne sera donc pas uniquement énergétique mais également environnementale, la France a lancé, en novembre 2016, l'expérimentation « Énergie positive, Réduction carbone » (l'expérimentation E+C-).

Le secteur du bâtiment est, parmi tous les secteurs économiques, le plus gros consommateur d'énergie. Il représente plus de 40 % des consommations énergétiques nationales, soit 660 térawattheures (TWh), et près de 20 % des émissions de CO<sub>2</sub>, pour la seule phase d'utilisation des bâtiments.

Pour répondre aux objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre de la France, issus de ses engagements internationaux, il est donc nécessaire de réduire fortement les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre du secteur du bâtiment. C'est pourquoi le Grenelle de l'Environnement a fixé un objectif très ambitieux de réduction des consommations d'énergie pour les bâtiments neufs construits après 2012. Cet objectif s'est traduit par la réglementation thermique 2012 (RT 2012), qui a permis de diminuer d'un facteur 2 à 4 les consommations énergétiques des bâtiments neufs.

Le Grenelle de l'Environnement a également fixé une trajectoire complémentaire vers les bâtiments à énergie positive, à l'horizon 2020. Cet objectif a été complété dans la loi de Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV)<sup>(1)</sup>, publiée en 2015, par une ambition de déployer

les bâtiments à faible impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre, sur l'ensemble de leur cycle de vie. À l'horizon 2020, une nouvelle réglementation pour les bâtiments neufs verra donc le jour en remplacement de la RT 2012 : ce ne sera plus une réglementation thermique, mais une réglementation à la fois énergétique et environnementale.

Afin de préparer cette future réglementation, la France a lancé en novembre 2016 l'expérimentation « Énergie positive, Réduction carbone » (expérimentation E+C-)<sup>(2)</sup> afin de tester à grande échelle des bâtiments plus performants que ce que prévoient les normes actuelles, à la fois en matière de bilan énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre, et de permettre la montée en compétences de l'ensemble des acteurs de la construction sur la nouvelle thématique de la performance environnementale.

(1) Articles 1 et 2.

(2) <http://www.batiment-energiecarbone.fr/>

## La réglementation thermique des bâtiments neufs actuellement en vigueur : la RT 2012

La RT 2012, qui a été élaborée grâce à une large concertation avec les acteurs de la construction, est une réglementation qui s'appuie principalement sur trois exigences de résultats :

- une exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti, « Bbiomax » (besoin bioclimatique du bâti) : cette exigence impose une limitation du besoin en énergie pour les postes de consommation liés à la conception même du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage). Elle impose ainsi une optimisation du bâti indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre ;
- une exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire « Cepmax » portant sur les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs). Conformément à l'article 4 de la loi Grenelle 1, le Cepmax est de 50 kWhEP/(m<sup>2</sup>/an) (EP=énergie primaire), cette valeur moyenne étant modulée selon la localisation géographique, l'altitude et le type d'usage du bâtiment, ainsi qu'en fonction de la surface moyenne des logements et des émissions de gaz à effet de serre ;
- une exigence de confort d'été dans les bâtiments non climatisés, « Ticref », limitant la température intérieure maximale que le bâtiment peut atteindre au cours d'une séquence de 5 journées successives de chaleur estivale. Cette exigence ne s'applique pas aux bâtiments disposant d'une climatisation, puisqu'ils sont supposés ne pas présenter de températures estivales excessives pour leurs occupants.

Ces exigences de résultats ont été calées en fonction d'un optimum technico-économique visant un équilibre entre les filières énergétiques. L'exigence du Cep a permis dès 2012 de satisfaire l'exigence NZEB (*Nearly Zero Energy Buildings*, bâtiments à énergie proche de zéro) demandée pour 2020 par la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments.

En complément de ces exigences de résultats, quelques exigences de moyens ont également été fixées qui permettent d'assurer la performance des bâtiments sur des thématiques plus transversales : mesure de la perméabilité du bâtiment à la réception des travaux (celle-ci peut également avoir un impact sur la ventilation), surface à respecter de parois vitrées et d'ouvrants (impact sur le confort, sur la qualité de l'air intérieur), etc.

Après cinq ans de mise en œuvre et dans l'optique d'une future réglementation plus exigeante, une évaluation de la RT 2012 est aujourd'hui en cours. En effet, bien que largement appréciée par de nombreux acteurs pour son impact environnemental indéniablement positif, la RT 2012 est également souvent critiquée pour sa complexité, et, parfois, pour l'écart qui peut être observé entre le calcul réglementaire et les consommations observées. Divers travaux menés par le ministère visent à objectiver ces éléments, notamment au travers de la recherche « Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie » issue du Programme de recherche et d'expérimentation dans le bâtiment (PREBAT) : des mesures réalisées *in situ* et associées à des questions qualitatives posées aux occupants de bâtiments démonstrateurs visent à évaluer leur ressenti en termes de confort, à mesurer les performances réelles de ces bâtiments et à obtenir ainsi un retour d'expérience.

Cette évaluation devrait permettre d'alimenter la préparation de la future réglementation des bâtiments neufs. Ce retour d'expérience s'ajoutera à celui obtenu au travers de l'expérimentation « Énergie positive, Réduction carbone » (expérimentation E+C-).

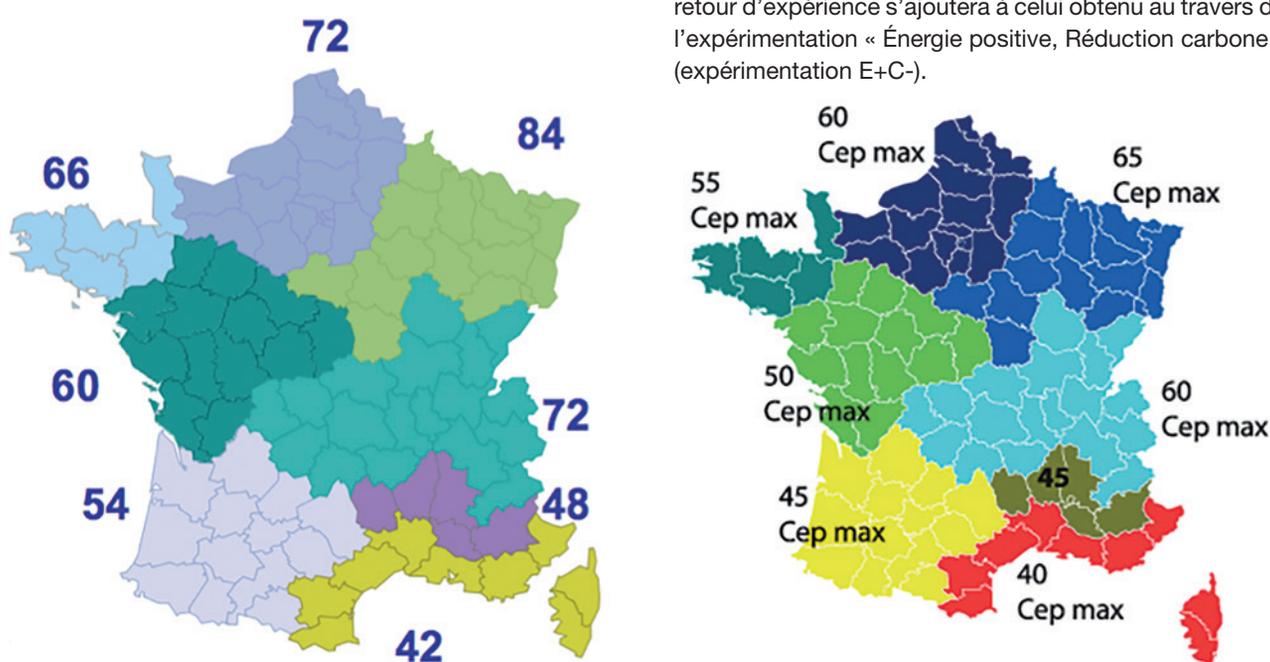


Figure 1 : Les niveaux de Bbiomax\* et Cepmax\*\* en fonction des zones climatiques.  
 \* Bbiomax en maison individuelle : hors modulation du Mcsurf et altitude ≤ 400 m.  
 \*\* Cepmax en maison individuelle : hors modulation du Mcsurf et altitude ≤ 400 m.



Figure 2 : La résidence Alizari du bailleur social Habitat 76 (MOA) à Malaunay (76), résidence labellisée E3C2.

## L'expérimentation E+C- : vers une nouvelle réglementation à la fois énergétique et environnementale

L'expérimentation E+C-, qui a été lancée en novembre 2016, est copilotée par l'État et le Conseil supérieur de la construction et de l'efficacité énergétique (CSCEE). Elle permet de tester à grande échelle des bâtiments neufs allant au-delà des normes actuelles, à la fois en matière de bilan énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre, ainsi qu'une montée en compétences de l'ensemble des acteurs de la construction, et ce dans le but de préparer la future réglementation des bâtiments neufs qui ne sera pas uniquement énergétique, mais également environnementale.

### Les principes de l'expérimentation en cours

L'expérimentation E+C- s'appuie sur :

- une gouvernance associant l'ensemble des acteurs de la construction et s'articulant autour de deux comités : un comité de pilotage et un comité technique de suivi et d'accompagnement de l'expérimentation,
- un référentiel établi par l'État (le référentiel Énergie-Carbone) qui permet de calculer des indicateurs de bilan énergétique (notamment l'indicateur « bilan BEPOS ») et de performance environnementale sur l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment (notamment l'indicateur « émissions de gaz à effet de serre »),
- un observatoire qui recense l'ensemble des données techniques et économiques des bâtiments participant à l'expérimentation. L'analyse de ces données permettra d'évaluer la faisabilité technique et la soutenabilité économique des différents niveaux d'ambition énergétique et environnementale en vue d'élaborer la future réglementation,
- un label E+C- délivré par les organismes certificateurs,

lequel a été créé pour attester des niveaux de performance énergétique et environnementale atteints par un bâtiment. Ce label permet ainsi de valoriser les bâtiments vertueux et de consolider les résultats de l'évaluation grâce à la vérification de tierce partie que réalise le certificateur. Toutefois, la participation à l'expérimentation n'est pas conditionnée à l'obtention du label. Un maître d'ouvrage volontaire peut participer à l'expérimentation sans forcément passer par une procédure de labellisation, dès lors qu'il respecte le référentiel établi par l'État et qu'il entre ses données dans l'Observatoire.

### Comment participer ?

Tout maître d'ouvrage d'un bâtiment neuf en cours de réalisation ou achevé récemment et situé en métropole peut participer à l'expérimentation. Pour cela, il doit faire évaluer son bâtiment selon le référentiel E+C- (qui doit être appliqué dans son intégralité), puis déposer dans l'Observatoire de l'expérimentation le résultat de cette évaluation, ainsi que les données économiques relatives à l'opération. Sauf demande contraire du maître d'ouvrage, la confidentialité de ces données sera préservée. L'opération pourra figurer parmi les opérations exemplaires mises en avant sur le site Internet de l'expérimentation (si le maître d'ouvrage en est d'accord).

### La méthode d'évaluation

Afin d'évaluer sur une même base les bâtiments s'inscrivant dans l'expérimentation E+C-, un référentiel d'évaluation a été élaboré. Il est le fruit d'un travail collectif qui a associé l'ensemble des acteurs de la filière bâtiment. Ce référentiel appelé « référentiel Énergie-Carbone » définit, au travers d'une méthode d'évaluation, les indicateurs énergétiques et environnementaux devant être calculés, la manière de les calculer et les données à utiliser. De plus,



Figure 3 : Comment faire pour participer à l'expérimentation E+C- ?

ce référentiel définit plusieurs niveaux de performance relatifs aux consommations d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre.

**La méthode d'évaluation de la performance énergétique**

La réglementation thermique 2012 a permis de généraliser les bâtiments basse consommation et de diviser par trois les consommations d'énergie des bâtiments neufs par rapport à la réglementation précédente.

L'amélioration de la performance énergétique d'un bâtiment, que visent la RT 2012 et l'expérimentation E+C-, s'appuie sur un schéma progressif :

- de réduction des besoins des systèmes grâce à l'amélioration de leur efficacité, afin de limiter les consommations du bâtiment ;
- de recours aux énergies renouvelables afin de réduire la consommation non renouvelable du bâtiment et de contribuer à l'évolution du mix énergétique.

La méthode d'évaluation de la performance énergétique est basée sur trois indicateurs, dont les deux premiers sont ceux de la réglementation thermique 2012 :

- Bbio, un indicateur relatif aux besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage artificiel du bâtiment,
- Cep, un indicateur relatif aux consommations d'énergie primaire de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire, d'éclairage artificiel, de ventilation et des auxiliaires,
- le Bilan BEPOS : ce nouvel indicateur relatif au bilan éner-

gétique sur l'ensemble des usages du bâtiment (y compris les usages mobiliers, comme l'électroménager...) fait une distinction entre les énergies renouvelables et les énergies non renouvelables. Ainsi, deux bâtiments qui afficheraient un Cep identique se distingueraient selon les sources d'énergie utilisées.

**La méthode d'évaluation des performances environnementales**

Le calcul des indicateurs de la performance environnementale du bâtiment repose sur une méthode normée (NF EN 15978) d'analyse en cycle de vie (ACV) qui permet d'évaluer simultanément l'ensemble des impacts environnementaux (émissions de gaz à effet de serre, production de déchets, utilisation d'eau douce, épuisement des ressources...), et ce, depuis la production des matériaux de construction jusqu'à la déconstruction du bâtiment, en passant par son chantier de construction et sa phase d'usage. Cette méthode présente ainsi l'avantage de prendre en compte les transferts d'impact d'une phase à l'autre (par exemple, lorsque l'on renforce l'isolation lors de la construction dans le but de diminuer les consommations d'énergie en phase d'utilisation) et d'une catégorie d'impact à une autre (par exemple, lorsque l'on recourt à des solutions moins émissives de GES, mais plus consommatrices de ressources en eau).

Fondamentalement, une ACV bâtiment consiste à associer des données environnementales d'un composant du bâtiment aux quantitatifs correspondants (voir la Figure 6 de la page suivante) : cela correspond à une succession de multiplications et d'additions. Toute la difficulté réside dans l'identification, d'une part, des quantitatifs de chacun des composants du bâtiment et, d'autre part, des données environnementales correspondantes. Pour qu'un produit de construction ou un équipement puisse être pris en compte dans le calcul E+C-, il doit faire l'objet d'une déclaration environnementale. Ces déclarations sont fournies par les industriels (selon un cadre normatif précis) et sont obligatoirement vérifiées par une tierce partie indépendante depuis



Figure 4 : Calcul du bilan BEPOS.

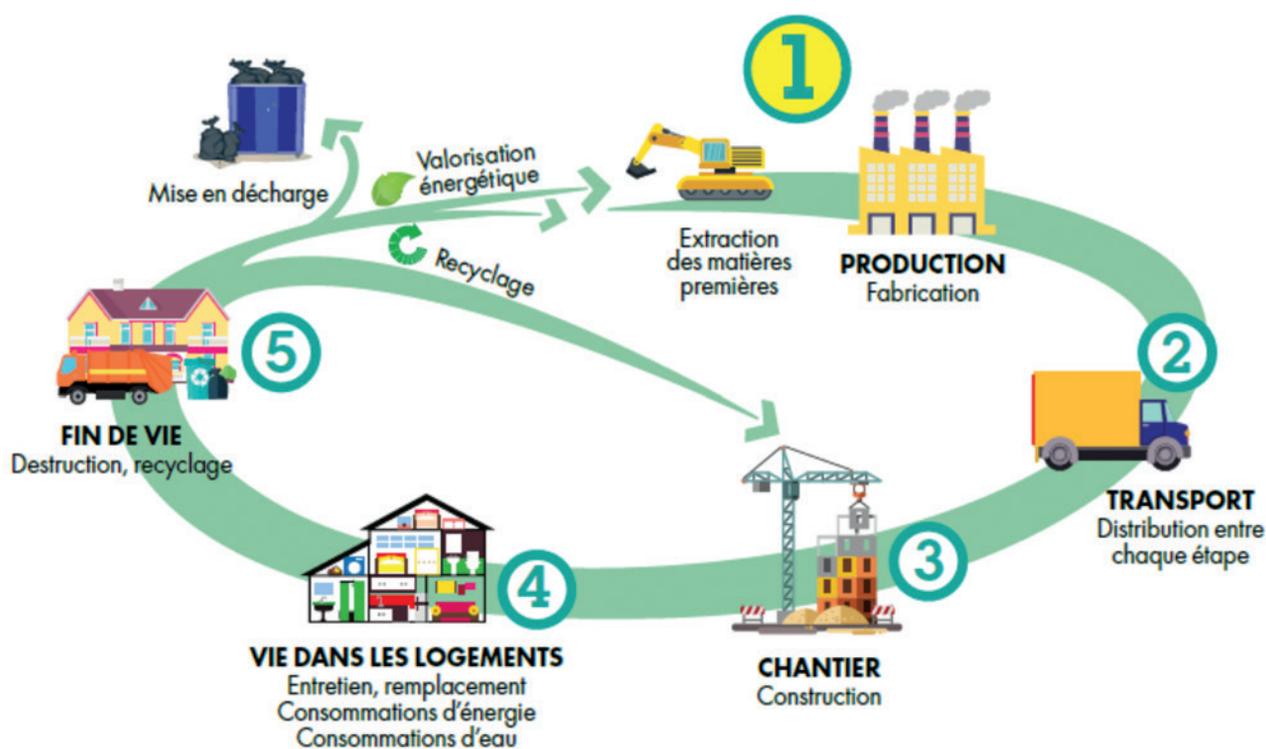


Figure 5 : Les phases de l'analyse de cycle de vie des bâtiments.

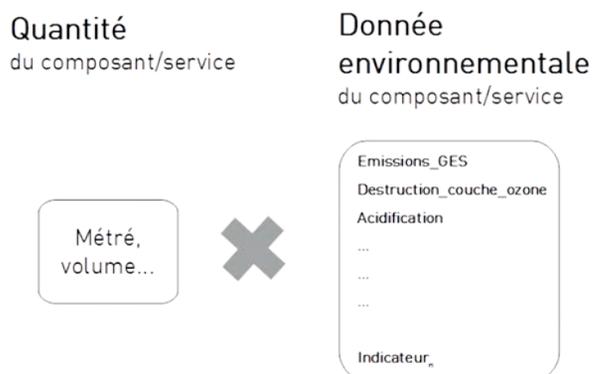


Figure 6 : Principe du calcul des impacts environnementaux d'un composant ou d'un service.

le 1<sup>er</sup> juillet 2017 (réglementation encadrant la déclaration environnementale des produits de construction et équipements<sup>(3)</sup>).

L'ensemble des données utilisables pour réaliser une ACV dans le cadre du référentiel E+C- sont rassemblées dans la base de données INIES (<http://www.inies.fr/accueil/>).

Afin que les résultats soient comparables d'une évaluation à une autre, le référentiel précise également un certain nombre d'hypothèses de l'étude ACV, et son périmètre : le bâtiment et sa parcelle cadastrale sont pris en considération, ainsi que le chantier de construction. Les déplacements des futurs usagers du bâtiment et les déchets d'activité ne sont, par contre, pas pris en compte.

**Focus sur les déclarations environnementales**

- Les fiches de déclarations environnementales et sanitaires (FDES), pour les produits de construction, et les fiches Profils environnementaux produits (PEP), pour les

équipements, sont les déclarations environnementales françaises établies par les fabricants, les syndicats professionnels et les centres techniques *ad hoc* et mises à la disposition des professionnels du bâtiment (architectes, bureaux d'études, constructeurs...). Ces informations établies selon des cadres normatifs précis (la norme européenne NF EN 15804+A1 et son complément national NF EN 15804/CN pour les produits de construction ; la norme NF XP C08-100-1 et le PCR ed3 pour les équipements) sont contextualisées temporellement (la durée de validité des données est de 5 ans) et géographiquement (les données correspondent aux produits ou aux équipements mis sur le marché français).

- Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2017, ces déclarations environnementales doivent être vérifiées par une tierce partie indépendante et doivent être mises à jour tous les 5 ans par les déclarants. Actuellement, deux programmes de vérification ont conventionné avec l'État dans le but d'accroître la fiabilité et la qualité des informations fournies par les industriels : FDES-INIES, pour les produits de construction, et PEP Ecopassport®, pour les équipements. Ces programmes délivrent une habilitation aux vérificateurs ayant réussi à un examen et ayant justifié leur expertise en matière d'ACV (par la réalisation d'au minimum 2 FDES ou PEP au cours des deux années écoulées).
- Une dynamique est ainsi créée entre les acteurs (industriels, éditeurs de logiciels et bureaux d'études) : elle permet de faire évoluer une simple information environnementale textuelle en des données d'entrée numérisées

(3) Décret n°2013-1264 du 23 décembre 2013 relatif à la déclaration environnementale de certains produits de construction destinés à un usage dans les ouvrages de bâtiment.

utiles pour l'évaluation environnementale à l'échelle d'un bâtiment. L'ensemble des données ainsi numérisées sont disponibles dans la base de données INIES (<http://www.inies.fr/accueil>) et sont utilisables par un logiciel d'analyse de cycle de vie des bâtiments (ACV bâtiment) via le Web-service INIES. Dans le cadre de l'expérimentation E+C-, seuls les logiciels agréés par l'État peuvent être utilisés. La liste de ces logiciels est disponible sur le site de l'expérimentation : <http://www.batiment-energie-carbone.fr/evaluation/logiciels/>

### Les différents niveaux de performance définis pour les « bâtiments à énergie positive et réduction carbone » (E+C-)

Dans le cadre de l'expérimentation E+C-, l'évaluation du niveau de performance d'un bâtiment est opérée selon deux thématiques :

- l'une porte sur les consommations d'énergie du bâtiment (indicateur « Bilan BEPOS »), avec quatre niveaux de performance pouvant être atteints ;
- l'autre porte sur les émissions de gaz à effet de serre du bâtiment, grâce à deux sous-indicateurs :
  - les émissions de gaz à effet de serre du bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie (indicateur « Eges »),
  - les émissions de gaz à effet de serre des produits de construction et des équipements utilisés (indicateur « EgesPCE »).

En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre du bâtiment, deux niveaux de performance peuvent être atteints. À chacun de ces niveaux est associée une exigence portant simultanément sur les deux indicateurs « Eges » et « EgesPCE ».

#### Quatre niveaux de performance énergétique

- Les niveaux Énergie 1 et Énergie 2 constituent des avancées réelles par rapport aux exigences actuelles de la réglementation thermique 2012. Leur mise en œuvre doit conduire à une amélioration des performances du bâti-

ment à coût maîtrisé, soit par des mesures d'efficacité énergétique, soit par le recours, pour couvrir les besoins du bâtiment considéré, à la chaleur ou à l'électricité renouvelables.

- Le niveau Énergie 3 constitue, quant à lui, un effort supplémentaire par rapport aux deux niveaux précédents. Son atteinte nécessitera des efforts en termes d'amélioration de l'efficacité énergétique tant du bâti que des systèmes et un recours significatif aux énergies renouvelables, qu'elles soient thermiques ou électriques.
- Le niveau Énergie 4 correspond à l'atteinte d'un équilibre entre la consommation d'énergie non renouvelable et la production d'énergie renouvelable exportée par un bâtiment ou un groupe de bâtiments.

#### Deux niveaux à ne pas dépasser pour les émissions de gaz à effet de serre

- Le niveau Carbone 1 se veut modéré : accessible à tous, sa vocation est d'entraîner l'ensemble des acteurs sur le terrain de l'analyse de cycle de vie, un exercice relativement nouveau pour la filière bâtiment, et de les amener à identifier les leviers d'action devant leur permettre de réduire leur empreinte carbone.
- Le niveau Carbone 2, pour être atteint, suppose de travailler à la fois sur les produits de construction retenus pour le projet et sur leur quantité, ainsi que sur les énergies consommées durant la phase d'usage du bâtiment.

Grâce au référentiel E+C-, les maîtres d'ouvrage sont encouragés à réaliser des bâtiments performants à la fois en matière de consommation d'énergie et de rejets de « carbone » (CO<sub>2</sub>). Autrement dit, la recherche de la performance énergétique doit être questionnée au regard de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Pour les concepteurs, il s'agit de rechercher des solutions énergétiques qui soient moins carbonées, notamment par le recours aux énergies renouvelables, et des produits et équipements de construction se caractérisant par leur faible empreinte carbone.

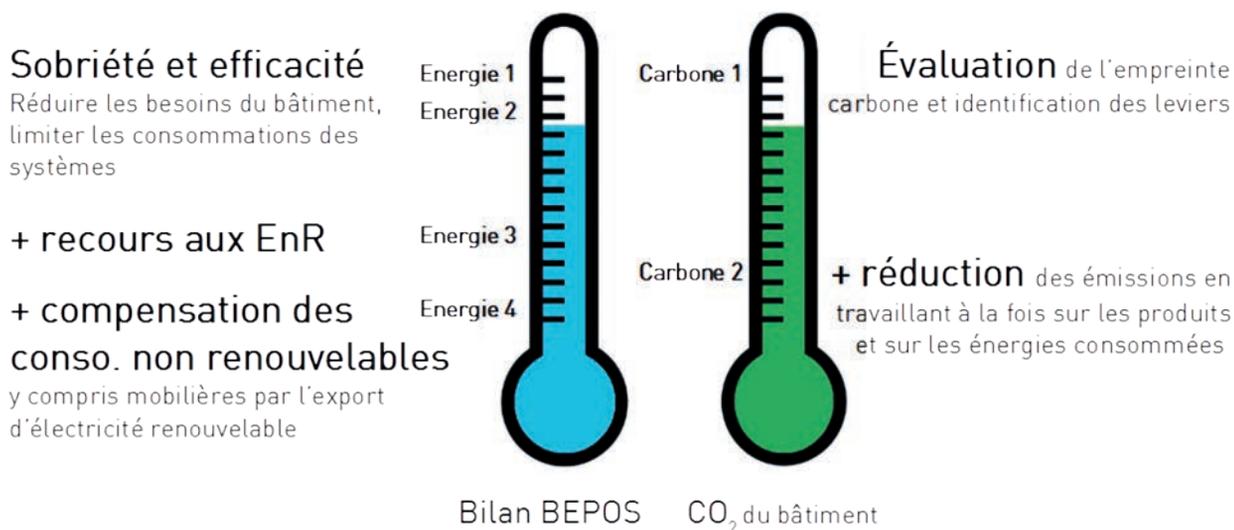


Figure 7 : Les niveaux définis par le référentiel E+C-.

## EXPÉRIMENTATION E+C- : ÉVALUATION TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE DES NIVEAUX DE PERFORMANCE ÉNERGIE ET CARBONE



Figure 8 : L'évaluation technico-économique.

### L'évaluation de la soutenabilité économique des exigences énergétiques et environnementales

L'expérimentation E+C- est une démarche innovante qui permet de croiser des données énergétiques, environnementales et économiques *issues de cas réels*. L'expérimentation E+C- ne saurait exister sans le volet des données économiques, qui sont une composante indispensable à sa réussite. Elles permettent d'évaluer la soutenabilité économique de l'atteinte des différents niveaux de performance énergétique et environnementale.

#### Les principes de l'évaluation de la soutenabilité économique

Les projets contenus dans l'Observatoire sont des bâtiments réels, cela permet ainsi de se confronter aux difficultés pratiques de mise en œuvre qui peuvent être rencontrées par les maîtres d'ouvrage. L'analyse croisée des données techniques et économiques sera ainsi représentative de la réalité du terrain et permettra de se projeter plus fortement dans le contexte de la future réglementation énergétique et environnementale des bâtiments neufs.

L'évaluation de la soutenabilité économique des performances commence par un recueil d'informations sur les opérations déposées dans l'Observatoire : un formulaire des données économiques est disponible pour recueillir les données au bon niveau de détail. Celui-ci doit être rempli par le maître d'ouvrage ou par un organisme désigné par celui-ci (un bureau d'études, par exemple).

L'analyse croisée des données techniques et des données économiques permettra d'évaluer les efforts à consentir

par les maîtres d'ouvrage pour atteindre tel ou tel niveau de performance. Ces calculs sont basés sur les coûts à l'investissement (investissement total et coûts détaillés au niveau de différents postes ayant un impact fort sur les performances énergétiques et environnementales) et sont complétés par une étude en coût global prenant en compte, en plus des investissements, les coûts d'exploitation : consommations énergétiques, entretien et remplacement des équipements.

Des travaux sur des cas d'étude (modélisation et étude de variantes par des bureaux d'études) pourront également venir les compléter afin d'affiner certains aspects.

L'analyse technico-économique permettra ainsi d'apporter des réponses à de nombreux questionnements :

- Quelle est la différence de coût, à l'investissement et sur la période d'étude de référence (50 ans), entre les différents niveaux de performance d'E+C- et le niveau de la RT 2012 ?
- Quels sont les postes de coûts et quelles sont les filières les plus impactés par le changement des critères ?
- Quels sont les équilibres technico-économiques qui émergent à l'initiative des maîtres d'ouvrage ?
- Quel est le coût induit par les exigences « carbone » sur les postes impactés (thématique nouvelle) ?
- Quel est le coût lié au renforcement des performances en matière de production d'énergies renouvelables ?
- De nouveaux modes de faire émergent-ils ? Et si oui, à quels coûts ?

# Energy transition of Europe's building stock

## Implications for EU 2030 Sustainable Development Goals

By Dr Yamina SAHEB

Senior Climate and Energy Policy Analyst at Openexp

Dr Heinz OSSENBRINK

Former Head of the Renewables and Energy Efficiency Unit of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission (EC)

Dr Sandor SZABO

Renewables and Energy Efficiency Unit of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission (EC)

Dr Katalin BÓDIS

Joint Research Centre of the European Commission

and Strahil PANEV

International expert in energy efficiency policies

Energy transition of the EU building stock, from being an energy waster to being highly energy efficient and an energy producer, is a prerequisite for Europe's carbon neutrality, as well as for meeting Europe's Sustainable Development Goals (SDGs). Achieving these targets requires shifting the emerging energy renovation market from a market of step-by-step and shallow energy renovation financed by grants to a market of industrialized and holistic energy renovation leading to zero energy buildings financed by long-term loans. This paradigm shift is an opportunity for the construction industry to improve its productivity by industrializing the energy renovation process through the use of modern production technics and innovative technologies as well as business models. The industrialization of energy renovation will lead to cost reduction, making zero energy buildings affordable for all EU citizens, regardless of their income.

### Buildings' role in Europe's decarbonisation strategy

Europe's buildings were responsible in 2015 for 40% of the Union's final energy consumption and for 37% of its CO<sub>2</sub> emissions. While identified more than a decade ago as a major potential for improvements, buildings' contribution to the EU energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions did not significantly change over the period 2010-2015. Consequently, buildings are considered one of the pillars of the EU decarbonisation strategy, and reducing the sector's energy demand and greenhouse gas (GHG) emissions has become a higher priority in the European Commission's latest policy proposals.

The European Commission's proposed *Clean Energy Package for all Europeans*, currently under negotiation at

the European Parliament and the European Council, confirms the pivotal role of buildings in the decarbonisation of Europe's energy system. The 2030 energy saving targets scenarios, as assessed by the European Commission [1], project final energy demand to experience a sharp decrease in residential and tertiary buildings, compared to industry and transport sectors (See Figure 1).

Clearly, the more ambitious the energy saving target, that will be agreed in 2018, is, the more the decrease of final energy demand of residential and tertiary buildings will be. This is particularly true when comparing the expected decrease of final energy demand in ambitious scenarios to the decrease that would happen with the energy savings target of 27% as agreed by the European Council in 2014 [2] (See Figure 1). The projected decrease in the final energy demand of residential and tertiary buildings would

result from an increase of renovation rates after 2020, provided an increased ambition of energy savings target.

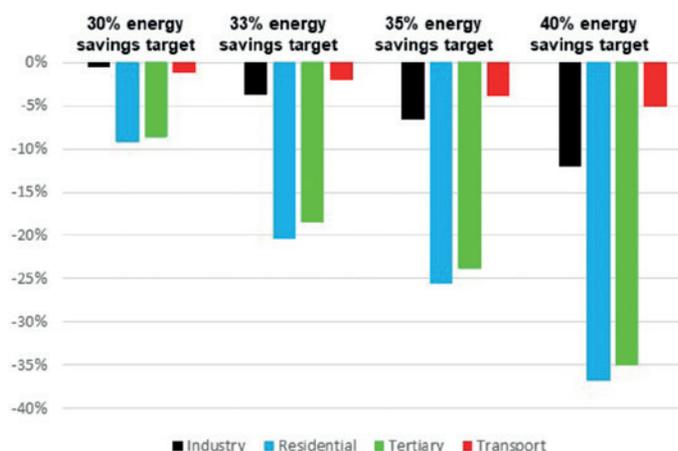


Figure 1: Percentage change in final energy demand per sector in the energy savings scenarios analysed by the European Commission in 2016 compared to the 27% energy savings target agreed by the Council in 2014.

Source: [3] based on PRIMES (1) modelling results.

Key point: Residential and tertiary buildings must deliver the highest reduction in final energy demand in each of the energy savings scenarios assessed by the European Commission.

### Existing EU policy and financial frameworks to decarbonise the building stock

EU legislative instruments (besides dissemination, standardisation, recommendations, etc.) play a key role in Europe’s decarbonisation strategy. Provisions to reduce

buildings’ energy consumption and hence GHG emissions are spread among at least 14 major EU-wide policy instruments (See Figure 2) [4].

Existing provisions range from those related to i) reducing GHG emissions of the overall building stock included in the *Effort Sharing Decision (ESD)*, ii) renovating annually part of public buildings owned and occupied by central governments as required by the *Energy Efficiency Directive (EED)*, iii) improving energy performance of each building individually and building components and elements as required by the *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*, iv) setting minimum energy performance requirements for appliances and equipments as required by the *Eco-design Directive*, and iv) providing information to consumers about the energy consumption of the appliances sold in the EU market as required by the *labelling directive*. The implementation of the provisions included in the *Renewable Energy Directive (RED)* should also contribute to the decarbonisation of Europe’s buildings.

Furthermore, the EU provides financial support to the implementation of the existing provisions through the *Multi-annual Financial Framework (MFF)* and more recently through the *European Investment Plan*. The EU accounting rules and those related to the use of the *State-Aids* have also been revised to better support the decarbonisation of Europe’s buildings. Other EU instruments, such as the *Emission Trading Scheme (ETS)* directive and the directives for setting rules for the *Internal Market in Electricity (IME)* and the *Internal Market in Gas (IMG)*, also

(1) PRIMES is the EU wide energy model used by the European Commission for scenario construction and policy impact analysis.

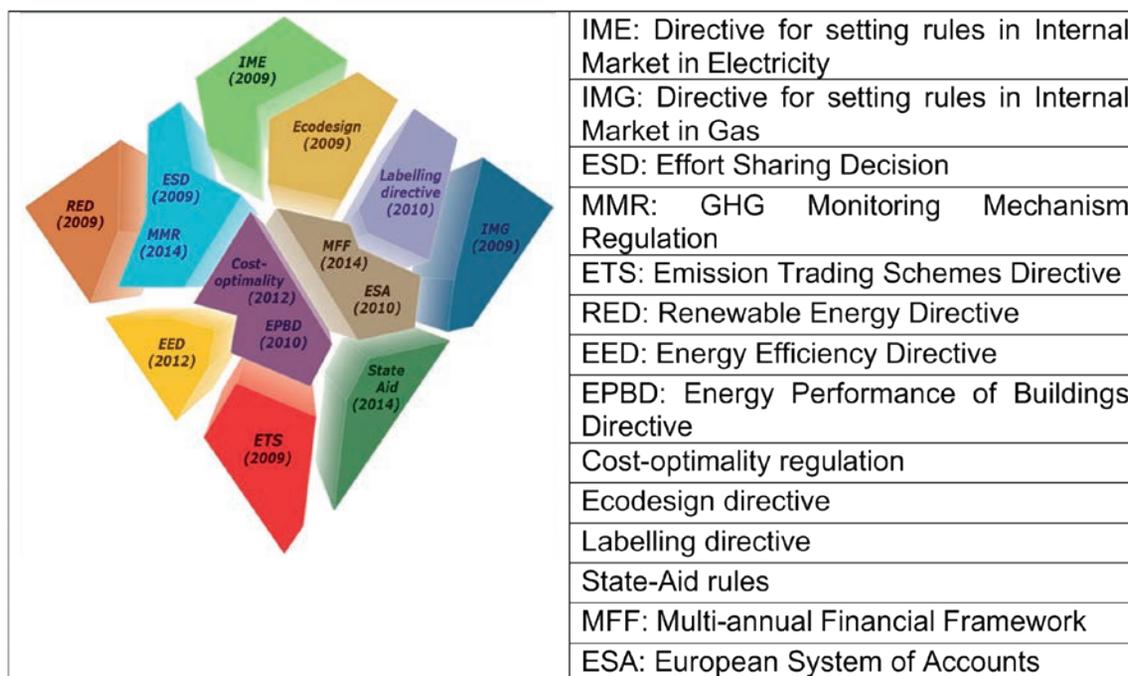


Figure 2: EU policy instruments aiming at reducing buildings’ energy demand and GHG emissions.

Source: [4]

Key point: Europe’s provisions to reduce buildings’ energy demand and GHG emissions are comprehensive but fragmented across at least 14 EU policy instruments.

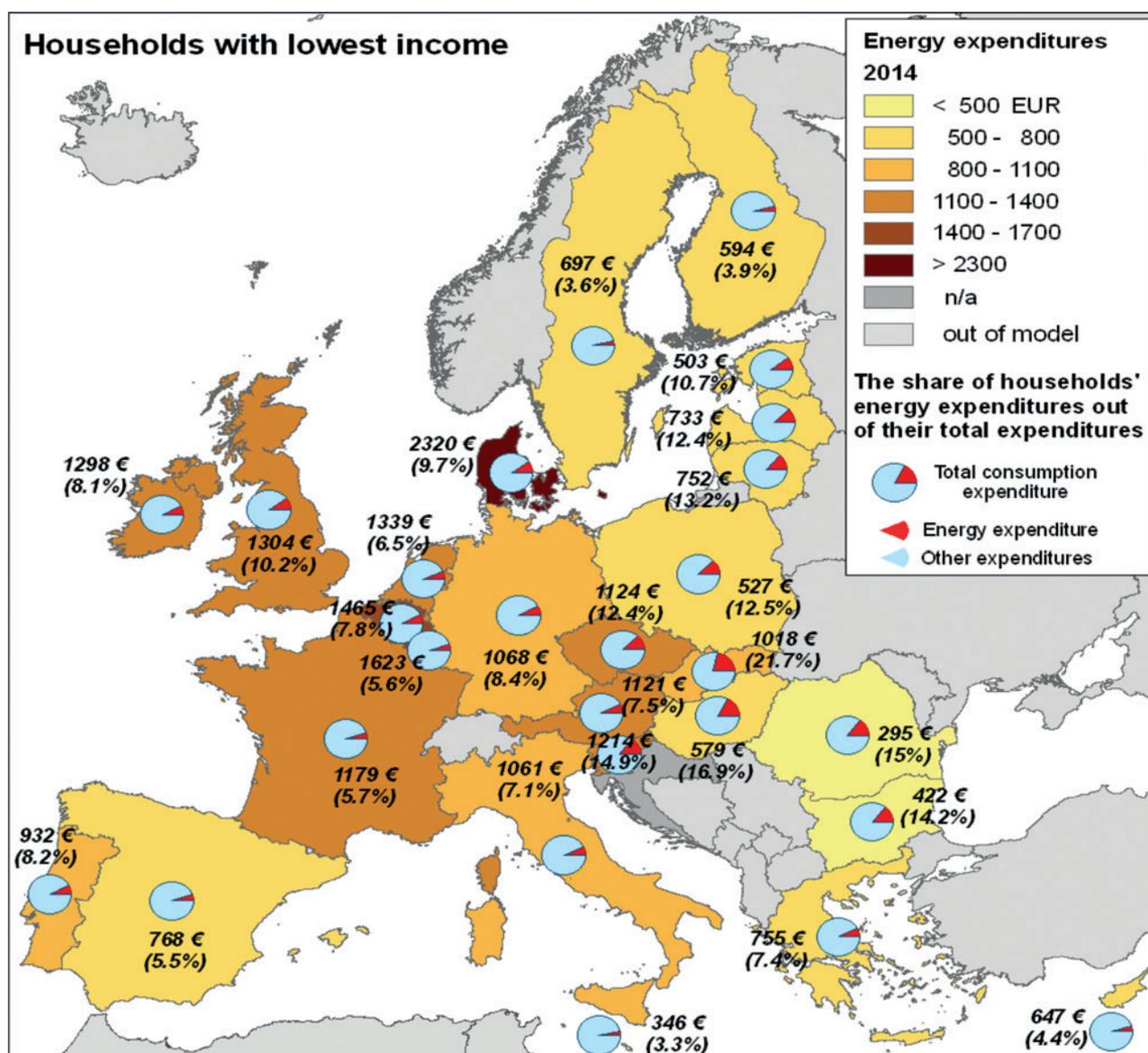


Figure 3: Low-income households' annual energy expenditures (heating, cooling, appliances and lighting) and the share of their energy expenditures out of total households' expenditures.

Source: [10] based on Eurostat data.

Key point: Energy expenditures do not necessarily follow climate patterns.

contribute to financing the decarbonisation of Europe's buildings. These instruments require Member States to allocate part of their carbon and energy taxes revenues to the transformation of their building stocks from being energy wasters to being highly energy efficient and energy producers through the integration of renewables.

### Contribution of buildings' energy renovation to the EU economy

The building sector, which includes the construction of new buildings and the renovation of existing ones, is the single largest sector contributing to the EU GDP and employment. The sector had, in 2015, a turnover of EUR 1.366 billion in the EU 28, equivalent to more than 9% of the EU GDP. Almost 11 million persons were employed in the construction and/or the renovation of buildings in 2015. This was equivalent to 8% of total employment in

the non-financial business economy. More than 3 million enterprises, out of which 94% were Small and Medium Enterprises (SMEs) with less than 9 persons employed, were active in the building sector that year.

The financial and economic crisis hit hard on the market of new buildings in Europe, especially in Member States with over-supply of new buildings prior to the crisis. On the contrary, the renovation market is one of the sectors that benefited most from governmental responses to the financial and economic crisis. In fact, recovery measures implemented by Member States in the construction sector are mainly those related to efficiency improvements of existing residential buildings [5]. Governments have either extended existing measures or introduced new ones to meet their 2020 climate and energy targets. The financial and economic crisis was seen by some policy-makers as an opportunity to increase energy renovation of existing buildings, especially residential ones, and meeting two

contemporary goals. Often, European funds and/or loans have been engaged to ease the financial burden.

The tipping point took place in 2009 when, for the first time, the market for new buildings and the one for renovation had an equal share out of the total turnover. In the following years, the renovation market overtook the construction of new buildings to reach 57% out of the total in 2015 while it was 47%, in 2005. Energy renovation has been the game-changer in the market shift between the construction of new buildings and the renovation of existing ones. Governmental policies, either the ones related to the economic recovery or those related to the implementation of the EU 2020 climate and energy targets, played a major role in this market shift which has led to the rise of a vibrant energy renovation market. Consequently, the renovation market developed into a more reliable and steady form of the construction activity [6]. The dominance of the renovation market over the market of new buildings as a result of energy renovation is likely to continue in the coming years, given Europe's decarbonisation objectives and the limited need for new buildings in the European Union [4].

The EU energy renovation market was estimated at EUR 109 billion in 2015, with approximately 882,900 jobs created and/or sustained. The French, German and Italian energy renovation markets alone accounted for almost half of the EU energy renovation market. The energy renovation market of residential buildings had the highest share (65%) out of the total energy renovation market. It is expected that Member States with ambitious energy renovation strategies will experience an increase of their energy renovation markets, with their small and medium enterprises becoming the main beneficiaries [4].

### Contribution of buildings' energy renovation to Europe's energy justice

The overall Energy transition of Europe's buildings plays a key role for the building's energy systems, the improvement of dwelling conditions – and thus, also, in Europe's social and economic policy objectives. In recent years, policy makers made the fight against energy poverty one of their priority areas, as more than 50 million of EU citizens reported, in 2015, about their inability to keep their homes warm in winter. Energy poverty became a concern in all EU countries. However, the highest shares of the population facing energy poverty are observed in Member States with GDP per capita lower than the EU average.

Moreover, the share of households' energy expenditures out of their total expenditures contribute to the overburden of housing costs. Over the period 2008-2015, the annual rate increase of housing costs was at +1.23%, against +3.2% for households' electricity prices and +1.7% for households' gas prices [7]. The increase of households' energy prices is particularly disadvantageous for low-income households who spend almost the equivalent of one month out of their annual income to pay for their energy bill (See Figure 3) [10].

The European Commission's *Clean Energy Package for All Europeans* proposed, in recital 40 of the internal market

directive for electricity [8], to define energy poverty as the *"Inability to afford basic energy services such as adequate warmth, cooling, lighting and the energy to power appliances, due to a combination of low income, high energy expenditure and poor energy efficiency of their homes"*. The same directive requires Member States i) to define a set of criteria to measure energy poverty, ii) to monitor energy poverty, and iii) to report in their National Energy and Climate Action Plans (NECAPs) proposed under the Governance Regulation [9] on the evolution of energy poverty and the measures undertaken to prevent it.

Energy poverty is a multifaceted policy question with important impacts on health, exclusion and social justice and fairness. Measures used by Member States to fight energy poverty include ensuring customers are given information on alternatives to disconnection sufficiently in advance, providing financial support to low-income families to pay for their energy bills and/or to implement energy efficiency measures. Moreover, EU instruments require Member States to allocate part of their public investments in the energy transition to the renovation of dwellings occupied by low-income families. As energy costs of low-income households are partially covered by public expenditures, savings on energy bills by renovating buildings lead to savings in governmental expenditures, while ensuring access to modern energy services for all.

### Financing buildings' energy transition

Energy transition of Europe's buildings benefits from EU finance through the European Structural and Investment Fund (ESIF) and the European Fund for Strategic Investment (EFSI). The former allocates €3 billion to energy renovation of residential and public buildings over the period 2014-2020 and the latter provides a guarantee and loans to third-party financing and national funds. The aim is to facilitate investments in bundled energy renovation projects. However, current financial regulations make combining EU funding difficult.

Member States, especially the most advanced ones in their energy renovation strategies, allocate an important part of their carbon revenues, households' energy taxes as well as part of their revenues from energy efficiency obligations to energy renovation. However, Member States' reporting under different EU provisions show that financial instruments are not deployed to their full potential and grants are the preferred instrument to finance energy renovation [4]. The use of grants leads to undertaking step-by-step energy renovation and implementing shallow efficiency measures, which individually are affordable, but – when summed-up to achieve deep renovation – make energy renovation costs high (up to €1.400 /m<sup>2</sup>).

### Challenges of buildings' energy transition

The current, low renovation rates and the quality of energy renovation work jeopardise the energy transition of Europe's buildings, as well as the Commission's estimates of the savings potential from buildings. The Commission's scenarios are based on renovation rates at EU level of the

order of 1.5% of the building stock for the period 2015-2020 and between 1.7% and 3% for the period 2020-2030. Current renovation rates are in the most advanced countries, such as France and Germany, only around 1%. From a quality perspective, the emerging energy renovation market is a market of a step-by-step and shallow renovation leading at the best to low savings and, in the worst case, to lock the savings potential until the next renovation round <sup>(2)</sup>.

The *Clean Energy Package for all Europeans* is unlikely to shift the emerging energy renovation market from shallow renovation to a market of overall and deep or even zero energy renovation. In fact, the package falls short in: i) outlining a bundling of the existing fragmented financial supports to energy renovation, ii) addressing the structural financing problem of allocating the future cash-flow between investors and owners of buildings, iii) building financial bridges between future savings and present costs, and iv) requiring deep/zero energy renovation to be undertaken when public finance is used.

Consequently, energy renovation enterprises are not encouraged to propose a more holistic energy renovation offer which would be so important for maximising the energy savings and reducing the overall cost of energy renovation. But the major fault of the step-by-step energy renovation approach is the missed opportunity to improve the productivity of the construction sector, which has rather stagnated over the last twenty years, compared to the one of manufacturing (See Figure 4). It is, therefore, unlikely that energy renovation enterprises would apply innovative technologies (Robotics, laser scanning, 3D printing, Building Information Modelling (BIM)...), and business models which would lead to improve their profitability whilst making energy renovation affordable for all, including low-income households.

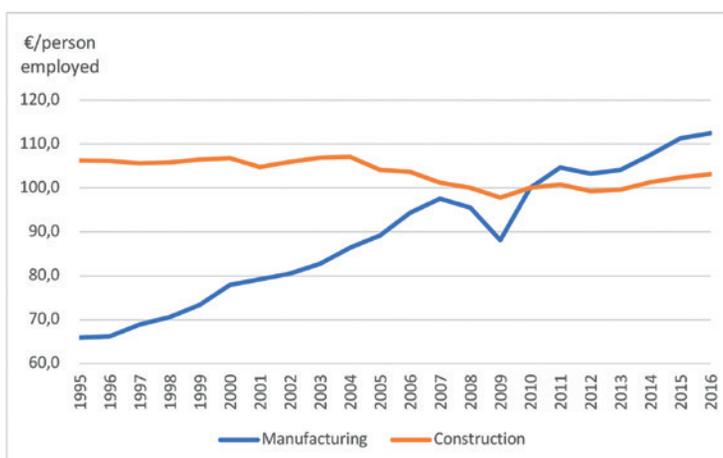


Figure 4: Productivity improvement overtime in the construction and manufacturing sectors (2010=100). Source: OECD productivity database. Key point: Productivity in manufacturing has nearly doubled while in the construction sector it remained almost flat over the period 1995-2016.

## The way forward

Beyond reducing energy demand and GHG emissions from buildings, energy transition of Europe's buildings is an opportunity to ensure all European citizens, regardless of their income, live and work in comfortable, healthy, environmental friendly and non-polluting buildings, which provide their users with all modern services. Energy renovation should therefore be considered in a broader modernisation programme of Europe's aging building stock. The modernisation perspective will make Europe's buildings sustainable over their lifetime by tackling issues not considered when buildings undergo energy renovation only, such as embodied energy, the under-occupation of dwellings in some neighbourhoods while others face overcrowding and the adverse health and environmental impacts of some "energy efficiency-only" solutions.

The transformation of Europe's buildings from being energy wasters to being highly energy efficient and even energy producers (through the integration of renewable energy technologies) is also an economic and business opportunity. This is particularly true for small and medium enterprises, as they are major players in the building sector. Energy renovation enterprises should seize this opportunity to reshape skills, upgrade facilities and innovate (process and technologies) to offer cost-effective solutions based on recyclability, re-use and low environmental and health impacts over buildings' lifetime.

Making Europe's buildings carbon neutral, as agreed in the revised Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), requires the construction industry to move from the current step-by-step component-based energy renovation to an overall and one-step energy renovation of each single building aiming at zero energy consumption. Innovation will have to occur along the overall value-chain of the building sector, from bundling existing public finance, developing holistic prefabricated zero energy renovation kits to transforming EU citizens from being passive consumers into being active prosumers. The transformation of the overall value-chain requires policy intervention and has the power to unleash the Fourth Industrial Revolution in Europe while reducing energy renovation costs.

Finally, meeting various EU priorities requires framing building's energy transition within Europe's Sustainable Goals (SDGs), as defined under the auspices of the United Nations. In fact, the impacts of a well-designed and effectively implemented energy renovation programmes go far beyond the goal on clean and affordable energy (goal 7) and the one on climate action (goal 11), as depicted in Table 1 (see below). Existing energy transition policy framework should be revised to include the societal and economic dimensions of the transformation of Europe's buildings from being energy wasters to being highly energy efficient and energy producers.

(2) On average, residential buildings undergo major renovation every 30 years, and tertiary buildings every 20 years.

Dimensions of buildings' energy transition	SDG1: No poverty	SDG 2: Zero hunger	SDG 3: Good health and well	SDG 4: Quality education	SDG 5: Gender equality	SDG 6: Clean water and sanitation	SDG 7: Affordable and clean energy	SDG 8: Decent work and economic growth	SDG 9: Industry, innovation and infrastructure	SDG 10: Reduced inequalities	SDG 11: Sustainable cities and communities	SDG 12: Responsible consumption and production	SDG 13: Climate action	SDG 14: Life below water	SDG 15: Life on land	SDG 16: Peace, justice and strong institutions	SDG 17: Partnerships for the goals
Reduced energy demand	X		X		X		X	X	X	X	X	X					X
Affordability of energy services	X		X		X		X			X	X					X	
Improved dwellings conditions	X		X		X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	
Reduced adverse environmental impacts			X								X		X				
Reduced adverse health impacts	X		X		X						X						
Contribution to economic prosperity								X	X		X						
Increased employment and decent work								X	X		X						
Fostering innovation								X	X		X	X					

Table 1: Dimensions of buildings' energy transition and their contributions to the 2030 Sustainable Development Goals (SDGs). Key point: Energy transition of Europe's buildings goes far beyond the energy and climate goals.

## References

[1] SWD (2016) 405, "Commission Staff working document on Impact assessment accompanying the document proposal for a directive of the European Parliament and the Council amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency", Brussels, European Commission.

[2] EUCO (2014) 169, "Conclusions of the European Council of October 2014 on the 2030 climate and energy policy framework", Brussels, European Council.

[3] SAHEB. Y (2017), *Clean Energy for all Europeans - Do the Commission's Impact Assessments Assign the Right Role to Energy Efficiency?*, Paris, OpenExp.

[4] SAHEB. Y (2016), *Energy Transition of the EU Building Stock – Unleashing the 4<sup>th</sup> Industrial Revolution in Europe*, Paris, OpenExp.

[5] ECORYS and al (2012), "Lead Market Initiative – Assessing the Impact of National Recovery Measures on Construction in the EU 27", Brussels, ECORYS and al.

[6] EUROCONSTRUCT (2014), "Summary report -The Construction Sector in Europe", Brussels, EUROCONSTRUCT.

[7] SWD (2016) 420, "Commission Staff Working Document on Energy Prices and Costs in Europe", Brussels, European Commission.

[8] COM (2016) 864, "Directive of the European Parliament and of the Council on common rules for the internal market in electricity", Brussels, European Commission.

[9] COM (2016) 759, "Proposal for Regulation of the European Parliament and of the Council on the Governance of the Energy Union", Brussels, European Commission.

[10] SAHEB. Y and al (forthcoming), *European Energy Poverty Index -Assessing Europe's Energy Inequalities*, Paris, OpenExp.

# La mobilisation des réglementations thermiques au service de la transition énergétique

Par André **POUGET**

Bureau d'études **POUGET Consultants**

Depuis 1982, **POUGET Consultants** (une équipe de 50 personnes réparties sur deux sites, Paris et Nantes) s'implique au quotidien, avec passion et détermination, dans la réalisation de chantiers de construction et de rénovation. Dès la conception de ces projets, ces troubadours de la *non-énergie* interviennent, mus par leur obsession de toujours plus de sobriété (énergie, émissions carbone...), pour concevoir des bâtiments durables, confortables à vivre...

Après une brève rétrospective des réglementations thermiques qui se sont succédé dans le bâtiment depuis 1974 jusqu'à nos jours, nous énoncerons un ensemble de propositions qui sont autant de trajectoires vers l'atteinte de la cible 2050, dans laquelle il est toujours question (nécessairement) d'une plus grande sobriété en tant que passage obligé sur la voie de la transition énergétique, en jouant sur une performance environnementale accrue et sur un recours plus large aux énergies renouvelables. Enfin, nous développerons notre point de vue sur la nécessité, dans l'optique d'une double réduction « consommation d'énergie/émissions de carbone », d'une harmonisation des approches « construction/rénovation » et d'une simplification des méthodes devant permettre de mutualiser les interventions et de créer de la valeur grâce à une massification progressive des opérations de rénovation.

Notre contribution à ce numéro de *Responsabilité et environnement* résonne avant tout comme une volonté de notre part de partager notre expérience (de près de quarante ans) de la maîtrise d'œuvre en matière de rénovation énergétique.

## Il était une fois... l'histoire des « RT »

Depuis 1974, sept réglementations « thermiques » (RT) se sont succédé en matière de construction de logements neufs. Elles se sont intéressées successivement à la question de la déperdition de la chaleur, puis aux besoins en chauffage et, enfin, aux consommations d'énergie, soit les trois composantes d'un bilan énergétique :

- les RT 1974 et 1977 ont concerné les déperditions en matière de chauffage (= isolation du bâti) ;
- la RT 1982 : aux besoins de chauffage (= isolation du bâti/architecture bioclimatique) ;
- les RT 1988, 2000, 2005 et 2012 : aux consommations d'énergie (= isolation/architecture/équipements performants).

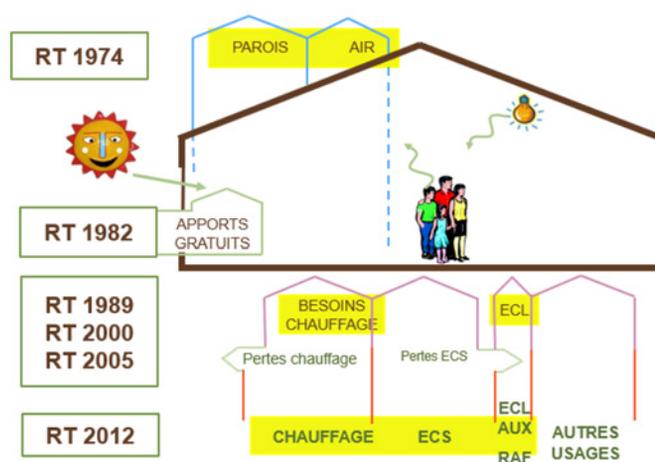


Figure 1 : Visualisation du bilan énergétique et positions des différentes RT.

### Les déperditions de chaleur : la RT 1974 (décrets du 10 avril 1974 et de juillet 1977 pour le chauffage électrique)

Les principales caractéristiques de la RT 1974 sont :

- un coefficient G exprimant les déperditions globales, en  $W/m^3 \cdot C^\circ$ ,
- une application en deux phases : mai 1974 et juillet 1975 (octobre 1977, pour l'électricité),
- 3 zones climatiques : A, B et C,
- des exigences : 7 classes de bâtiments (maisons individuelles MI, immeubles collectifs IC, immeubles bas R, Vh) et 2 types de chauffage (électrique et autres).

La première réglementation thermique en France est apparue en 1974, au lendemain du premier choc pétrolier. Elle est adoptée en réaction à la crise économique consécutive à cet événement important, surtout pour les pays très dépendants de ce combustible. « En France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées... » : ce slogan de l'époque invitait à faire évoluer nos usages et nos modes de consommation... Côté bâtiment, très vite, il s'est agi de réduire les déperditions de chaleur : toutes les constructions neuves (résidentielles) devaient dès lors être isolées et équipées de doubles vitrages et d'une installation d'aération du volume. Les pouvoirs publics s'étaient inspirés de l'offre promue, à l'époque, par EDF : le CEI (chauffage électrique intégré associé à un bâti de qualité). En matière de déperdition thermique, les seuils exigés étaient plus contraignants dans le cas du chauffage électrique que pour les autres énergies.

### Les besoins : la RT 1982 (mars 1982)

La RT 1982 a pour caractéristiques :

- un coefficient G (exprimé en  $W/m^3 \cdot C^\circ$ ) et un coefficient B (détermination des besoins de chauffage),
- une entrée en vigueur en septembre 1982,
- 3 zones climatiques : H1, H2 et H3,
- des exigences : 10 classes de bâtiments (MI, IC, R, Vh) et 2 énergies chauffage (électricité et autres).

L'application de la première réglementation a eu une conséquence négative, à savoir une réduction des superficies en parois vitrées. Cette préconisation a certes permis de réduire l'impact économique des déperditions, mais elle s'est accompagnée d'une dégradation de la qualité du bâtiment. Pour y remédier, la deuxième étape réglementaire (la RT 1982) a introduit la prise en compte des apports gratuits, soit l'énergie solaire passive captée par les vitrages. Le capteur solaire le plus efficace, le plus pérenne et n'exigeant aucune maintenance particulière, c'est... la fenêtre ! En 1982, la nouvelle réglementation, qui repose toujours sur la prise en compte d'un niveau d'isolation minimum, a introduit une révision du calcul des besoins en chauffage, lesquels sont désormais égaux aux déperditions diminuées des apports de chaleur gratuits. Les seuils exigés étaient là encore plus contraignants dans le cas du chauffage électrique que pour les autres énergies.

### Les consommations d'énergie : la RT 1988 (avril 1988)

La RT 1988 a pour principales caractéristiques :

- le coefficient GV ( $W/C^\circ$ ), BV et C Consommations

- (3 usages : chauffage + ECS + auxiliaires), plus laur,
- le calcul du C réf en UEE/ $m^2 \cdot an$  en fonction du système de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) utilisé et de l'énergie utilisée (électricité, combustibles gazeux, liquides, solides ou réseaux de chaleur) :  $C_{projet} \leq C_{réf}$  et  $GV \leq 1,2 GV_{réf}$ ,
- application à partir de décembre 1988,
- 3 zones climatiques : H1, H2 et H3,
- des exigences pour 2 classes de bâtiments (MI et IC) et 2 types de chauffage (électricité I et autres II).

Minimiser les déperditions, privilégier un bâti de qualité, valoriser les apports solaires *via* les baies vitrées (augmenter les apports gratuits pour réduire plus encore les besoins de chaleur) : tout cela, c'est très bien, mais, *in fine*, il reste encore à produire cette chaleur par des équipements de chauffage performants. Ce troisième maillon de la chaîne du bilan énergétique fait son apparition dans la troisième réglementation, la RT 1988. En plus des exigences sur les déperditions, puis sur les besoins, apparaît un nouvel indicateur relatif aux consommations énergétiques. Les consommations de chauffage sont égales aux besoins de chaleur majorés des pertes du système (ou : les besoins divisés par le rendement dudit système). Ces consommations sont exprimées dans une unité « conventionnelle », en UEE (unités d'énergies équivalentes<sup>(1)</sup>, voir ci-après). Les seuils exigés sont calculés en tenant compte du type d'énergie utilisé pour le chauffage (ils sont toujours plus contraignants dans le cas du chauffage électrique que pour les autres énergies).

### Consommations : les RT 2000 et RT 2005 (novembre 2000 et mai 2006)

Les caractéristiques de la RT 2000 sont :

- un coefficient C Consommations (3 usages : chauffage + ECS + auxiliaires),
- l'instauration du coefficient U bât,
- la notion de confort d'été : introduction de la température intérieure conventionnelle (Tic),
- calcul du Créf en énergie primaire, en fonction du système de chauffage + ECS utilisé et de l'énergie utilisée (électricité, combustibles gazeux, liquides et solides, ou réseaux de chaleur),
- entrée en application, en juin 2001,
- 3 zones climatiques : H1, H2 et H3,
- paramètres d'exigences : 2 selon les énergies utilisées (l'électricité et les autres).

La RT 2005 adopte la même approche que la RT 2000. Applicable à partir de septembre 2006, elle en actualise les exigences et instaure 8 zones climatiques (H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d et H3) au lieu de 3.

Les deux étapes réglementaires que sont la RT 2000 et la RT 2005 se rapportent toujours au bilan énergétique, mais sous l'angle des consommations. L'unité conventionnelle (UEE) disparaît pour être remplacée par une unité plus

(1) UEE = produit des consommations en kWh d'énergie finale par le « coefficient d'équivalence », et ce, en rapport avec le coût de l'énergie (voir les règles Th C 88 CSTB).

physique, l'énergie primaire. Il s'agit de kWh d'énergie finale pondérés du coefficient de conversion « final/primaire ». Le vecteur électricité est affecté du coefficient 2,58 – pour les autres énergies, le coefficient est de 1. L'exigence « droit à consommer » est elle aussi calculée : elle dépend de l'énergie choisie pour le projet, ce qui fait que le coefficient de conversion, s'appliquant à la fois à l'exigence et au projet, n'est pas un facteur déterminant. Comme pour les précédentes RT, il existe un indicateur de la qualité du bâti (son niveau d'isolation) : il s'agit du coefficient Ubât. Ce coefficient est très opérant pour veiller à la qualité du bâti et il est aussi très pédagogique (il permet de bien appréhender le niveau de la prestation d'isolation). Grâce à cette approche, on constate de réels progrès/innovations dans les solutions concernant l'enveloppe des bâtiments (performances des isolants et des parois vitrées, étanchéité à l'air...).

Important : C'est à l'étape de la RT 2000 qu'apparaît, pour la première fois, la question du confort d'été ! (avec l'instauration d'une température intérieure conventionnelle (Tic)). Enfin, il est à noter que cette nouvelle réglementation s'applique non seulement au secteur des bâtiments résidentiels, mais aussi à celui des bâtiments neufs non résidentiels. La seconde étape, la RT 2005, prend en compte 5 usages : chauffage, ECS, auxiliaires, éclairage et rafraîchissement, au lieu de 3 auparavant, et retient 8 zones climatiques (au lieu de 3 précédemment).

## Aujourd'hui : un bâtiment robuste, responsable, désirable<sup>(2)</sup> ?

### Les consommations : la RT 2012 (octobre 2011)

La RT 2012 se caractérise par :

- un coefficient C Consommations (5 usages : chauffage + ECS + auxiliaires + éclairage + rafraîchissement),
- un nouvel indicateur de la qualité du bâti : introduction du coefficient Bbio (nb :  $9 \leq 0,6 W/(m.K)$ )
- la fixation à la baisse de la Tic (confort d'été),
- calcul du Créf (en énergie primaire fixe, indépendante du type d'énergie utilisé),
- une application à partir de janvier 2102 pour le non résidentiel et de janvier 2013 pour le résidentiel,
- 8 zones climatiques (*dito* 2005),
- des exigences exprimées en kWhep, avec une modulation selon le type de bâtiment, la zone géographique, l'altitude, la surface et les émissions de GES.

La RT 2012 se positionne toujours en termes de consommations exprimées en énergie primaire. La grande différence réside principalement dans la définition des seuils exigés en Créf. Les précédents « droits à consommer » étaient calculés en fonction de l'énergie choisie pour le projet. Avec la RT 2012, l'exigence fixe est indépendante de l'énergie retenue. En fait, cette formulation s'inspire fortement de celle prévalant pour l'attribution du label BBC promu par l'association Effinergie (arrêté du 8 mai

2007). Comme pour ce label, l'exigence nominale est de 50 kWhep/m<sup>2</sup>/an modulée (voir plus haut). Si cette cible exprimée en un chiffre rond est facile à retenir, elle s'avère délicate à respecter lorsqu'il est fait appel à une solution électrique à effet Joule et, en revanche, relativement plus aisée à atteindre pour les solutions utilisant des combustibles fossiles. Avec quelques années de recul, on constate, au moins pour le secteur des logements collectifs, une progression du recours au gaz au détriment (principalement) de l'électricité.

Le paramètre Ubât garantissant la qualité du bâti disparaît. Un nouveau coefficient est introduit, il s'agit du coefficient (sans unité) Bbio (besoins bioclimatiques). Cette exigence caractérise des composantes liées à la conception du bâti : chauffage, refroidissement et éclairage. Il s'agit de vérifier que le coefficient Bbio du projet est effectivement inférieur au Bbio maximal exigé. Celui-ci est complexe à « caler » par rapport aux spécificités du projet considéré, malgré les différentes modulations appliquées. Pour éviter des difficultés d'application, l'exigence est relativement « laxiste » dans son application : de fait, dans bien des cas, cette exigence n'est malheureusement pas opérante. Concrètement, cette situation peut conduire à des prestations d'isolation médiocres qui sont incompatibles avec les cibles visées à l'horizon 2050...

### *Petit aparté sur les « ponts thermiques<sup>(3)</sup> »*

La première référence aux ponts thermiques apparaît au début des années 1970, avec l'adoption de la première réglementation thermique et le développement du procédé de l'isolation par l'intérieur. « [...] Il est nécessaire de renforcer l'isolation et, bien souvent, on ne pourra le faire qu'en corrigeant les ponts thermiques, faute de quoi, il serait illusoire d'augmenter l'épaisseur des isolants... », écrivait Maurice Croiset, du CSTB, en avril 1972 !

Quatre décennies plus tard, l'avertissement a fini par être entendu. Il s'agit d'une nouveauté importante de la RT 2012, qui est peut-être moins « médiatisée » que le coefficient Bbio. Il est exigé de traiter le pont thermique de la liaison du plancher intermédiaire avec la façade (art. 19 de l'arrêté d'octobre 2010). Même si cette exigence n'est que peu contraignante, elle a quand même permis des améliorations notables dans les modes constructifs, et donc de la qualité, et des performances durables !

L'exigence « confort d'été » est maintenue avec le calcul de la Tic. À l'usage, cette approche s'avère peu « opérationnelle », une autre méthode est en cours de préparation. Enfin, comme pour la précédente étape réglementaire, la RT 2012 couvre les deux secteurs précités, le résidentiel et le non résidentiel, ainsi que les cinq usages énergétiques et les 8 zones climatiques déjà cités.

(2) Voir le rapport du groupe de travail « Réflexion Bâtiment Responsable 2020-2050 » (RBR 2020/2050) – Plan Bâtiment durable : <http://www.planbatimentdurable.fr/reflexion-batiment-responsable-2020-2050-r231.html>

(3) <https://www.lemoniteur.fr/article/simplifier-les-exigences-de-la-rt-2012-oui-mais-dans-le-bon-sens-24608976>

RT	Dépêrditions	Besoins	Consommations			
	1974*	1982	1988	2000	2005	2012
Parution	04/1974	03/1982	04/1988	11/2000	04/2006	10/2011
Application	4/74-7/75	09/1982	12/1988	06/2001	09/2006	01/2013
Indicateur(s)	Coef G	Coef G & B	GV, BV & C	Coef C	Coef C	Cep « fixe »
Unité	W/m <sup>3</sup> .°C	W/m <sup>3</sup> .°C	C en UEE	kWhep/m <sup>2</sup> .an	kWhep/m <sup>2</sup> .an	kWhep/m <sup>2</sup> .an
Usages	Chauffage	Chauffage	3 usages	3 usages	5 usages	5 usages
Indicateur bâti	Coef G	Coef G	GV réf	U bât réf	U bât réf	Bbio (Ψ9)
Confort d'été	Néant	Néant	Néant	Tic	Tic	Tic
Zones climat.	3 (A, B, C)	3 (H1, H2, H3)	3 zones	3 zones	8 zones	8 zones

Tableau : Récapitulatif des principales caractéristiques des différentes réglementations thermiques.

\*augmentation des exigences en septembre 1977 (arrêté de juillet 1977).

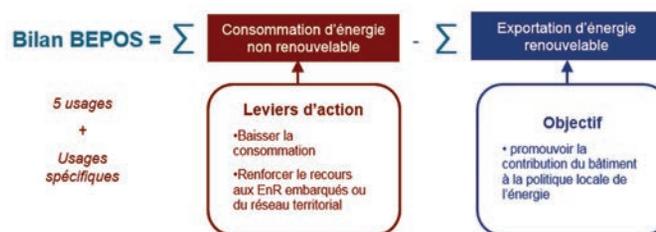
### L'expérimentation E+C- RT 2016 (17 novembre 2016)

Cette expérimentation anticipe la future réglementation environnementale à l'horizon 2020 (loi de la Transition énergétique pour la croissance verte). Pour la première fois, un texte (réglementaire) réunit les exigences en matière d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit de soutenir le secteur de la construction dans le développement de solutions innovantes en faveur de la lutte contre le dérèglement climatique.

#### Énergie = bilan BEPOS

Les bâtiments à énergie positive ou « BEPOS » visent à réduire leur consommation d'énergie non renouvelable grâce à un bâti et à des systèmes performants. Ces bâtiments recourent à la chaleur et à l'électricité renouvelables, et peuvent contribuer localement à la production d'énergie renouvelable.

*Nota* : Le référentiel ne prend pas en compte les énergies renouvelables (EnR) contenues dans les flux entrants (contrairement à ce qui est représenté dans le Graphe ci-après). Une évolution dans ce sens permettrait de valoriser les efforts du distributeur du réseau (gaz, électricité...), comme c'est actuellement le cas pour le bois ou les réseaux de chaleur urbains. Cette approche favoriserait l'évolution du périmètre « bâtiment » vers le périmètre « quartier ».



#### Quatre niveaux « Énergie E »

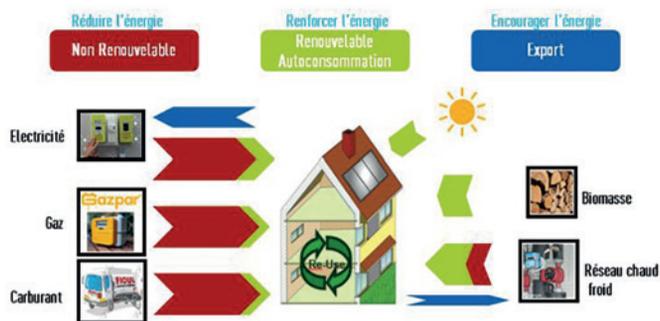
Les niveaux « E1 » et « E2 » demandent un effort supplémentaire par rapport aux exigences actuelles de la RT 2012, un effort variable selon les énergies et selon les typologies des projets. Le niveau « E3 » exige un projet performant (bâti et équipements) et un recours très significatif aux énergies renouvelables, par exemple l'électricité photovoltaïque (attention aux cas particuliers du chauffage au bois ou des réseaux de chaleur à énergie renouvelable). Enfin, le niveau « E4 » correspond à l'équilibre entre la consommation non renouvelable et l'énergie renouvelable injectée dans le réseau. Ce niveau ne sera envisageable que dans le périmètre d'un quartier recourant au chauffage au bois ou à un réseau de chaleur à forte proportion d'énergies renouvelables.

#### Deux niveaux « Carbone »

Le niveau « Carbone 1 » se veut accessible à tous les modes constructifs et à tous les vecteurs énergétiques, il vise à embarquer l'ensemble des acteurs du bâtiment dans cette démarche d'évaluation. Le niveau « Carbone 2 » vise à valoriser les opérations les plus performantes nécessitant un travail renforcé de réduction de l'empreinte carbone des matériaux et des équipements mis en œuvre, ainsi que la réduction des consommations énergétiques du bâtiment en recourant à un vecteur énergétique peu carboné.

Il est à noter que l'Association pour le développement du Bâtiment Bas-Carbone (BBCA) a ouvert la voie en matière d'indicateur Carbone, en lançant en 2015 son label comportant 3 seuils de qualification (standard, performant et excellent).

Le bâtiment BEPOS :



Le bilan BEPOS concerne l'ensemble des usages du bâtiment, en distinguant les énergies renouvelables des énergies non renouvelables (voir l'expression ci-contre).

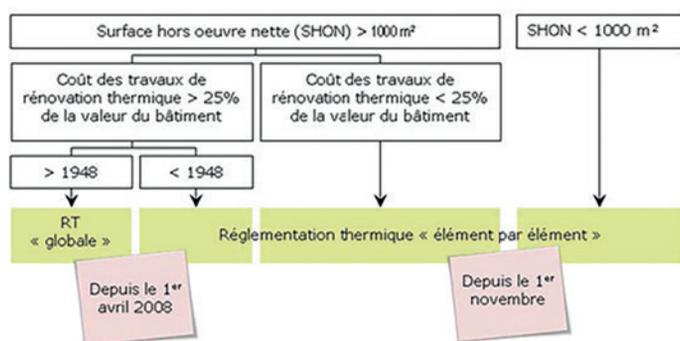
### La RT Ex, pour les bâtiments existants

La réglementation thermique des bâtiments existants (résidentiels et tertiaires) s'applique à l'occasion de travaux de rénovation prévus par le maître d'ouvrage, ces mesures réglementaires différant selon l'importance des travaux entrepris.

Une rénovation dite « globale » (art. R. 131-26, CCH, arrêté du 13 juin 2008) définit un objectif de performance globale pour le bâtiment rénové, à justifier par un calcul réglementaire applicable si les 3 critères suivants sont réunis :

- une surface hors œuvre nette (SHON) rénovée supérieure à 1 000 m<sup>2</sup>,
- une date d'achèvement du bâtiment postérieure à janvier 1948,
- un coût des travaux de rénovation « thermique » supérieur à 25 % de la valeur du foncier.

La rénovation dite « par élément » (art. R. 131-28, CCH, arrêté du 3 mai 2007 modifié, à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2018, par l'arrêté du 22 mars 2017) s'applique aux autres cas que ceux mentionnés ci-dessus, avec des exigences de prestations minimales par éléments du bâti (isolation...) ou des équipements (chauffage, ventilation, ECS...).



En complément de ces réglementations, la loi relative à la Transition énergétique pour la croissance verte a créé une obligation de réaliser des travaux d'isolation en cas de travaux importants de réfection de toiture, de ravalement de façade ou d'aménagement d'une pièce en vue de la rendre habitable (art. R. 131-28-7 à R. 131-28-11, CCH).

### Quelle est la cible visée, et à quel horizon ?

À la lumière des enseignements retirés de quatre décennies de la petite histoire des RT depuis 1974 jusqu'à nos jours (avec la RT 2012 et les expérimentations E+C- et RT Ex), nous listons cinq premières propositions d'ac-

tions qui restent évidemment à préciser, à compléter, à confronter. Ces propositions sont fondées sur le vécu du maître d'œuvre (études et chantiers) et sur les retours des usagers (confort, qualité d'usages, maintenance...).

La cible 2050 sera nécessairement BEPOS et bas-carbone, avec un prérequis en termes de sobriété. Cette cible concerne le secteur du bâtiment, c'est-à-dire la construction et la rénovation. Il s'agit non pas de mener en parallèle ces deux composantes, mais d'exploiter leurs complémentarités en mutualisant les efforts à consentir, l'une et l'autre étant en osmose...

Les actions énoncées ne correspondent pas à la cible 2050, mais elles se positionnent sur la trajectoire pour atteindre cette cible, elles doivent être « compatibles 2050 », soit :

- pour l'action 1 : sobriété,
- pour l'action 2 : basse consommation ou basse émission carbone,
- pour l'action 3 : un recours significatif aux énergies renouvelables,
- pour l'action 4 : la simplification et l'harmonisation des constructions et des rénovations,
- enfin, en ce qui concerne l'action 5 : des constructions et des rénovations *optimales*.

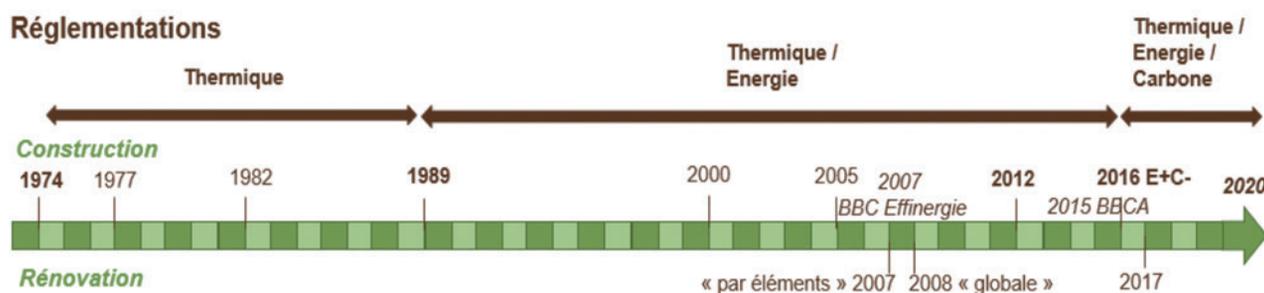
En plus de ces paramètres du secteur du bâtiment en matière de construction et de rénovation, il convient de ne pas oublier d'autres considérations interférant sur l'impact environnemental, par exemple, les mobilités, le respect de la biodiversité, l'alimentation... À ce niveau, il convient aussi d'être prudent à l'égard d'un certain « sur-optimisme technologique » suggérant que la transition énergétique pourrait se révéler sans douleur pour la croissance économique, grâce au seul développement tous azimuts des énergies renouvelables. Les mesures imaginées « compatibles 2050 » n'atteindront leur cible que grâce à un changement dans les comportements en faveur d'une plus grande sobriété<sup>(4)</sup> ou d'une frugalité heureuse<sup>(5)</sup>.

### Des bâtis de qualité, le prérequis à toute performance durable

- De 1974 à 2012 : amélioration progressive de l'isolation du bâti (sans exigences, toutefois, en matière de traitement des ponts thermiques) ;

(4) RABHI P., Vers la sobriété heureuse, Actes Sud.

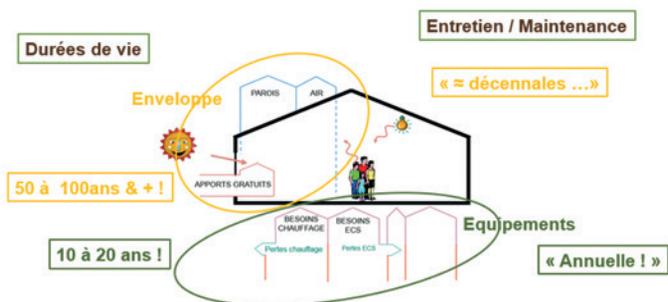
(5) <http://www.asso-iceb.org/communiquemanifeste-pour-une-frugalite-heureuse/>



Résumé de quatre décennies de la petite histoire des RT, depuis 1974 jusqu'à nos jours.

- Depuis la RT 2012 : amélioration très aléatoire de l'isolation globale (indicateurs Bbio non opérants), début du traitement des ponts thermiques.

Pour mériter l'attribut de « robuste » ou de « responsable », la bonne conception de l'enveloppe du bâtiment et son isolation (les ponts thermiques étant traités) constituent le passage obligé. Ces qualités durent quasiment aussi longtemps que le bâtiment lui-même, celui-ci étant durable avec peu, voire pas du tout de maintenance ! Cette prestation dans la construction neuve comme dans la rénovation des bâtiments existants est non pas concurrente mais complémentaire de celle des équipements efficaces ainsi valorisés. Construisons aujourd'hui des bâtiments pérennes pour pouvoir transmettre un héritage bâti « compatible 2050 » !



Pérennité de la performance.

L'énergie la moins impactante pour l'environnement, celle qui émet le moins de carbone est tout naturellement l'énergie qui n'est pas consommée : est-il bien nécessaire de le rappeler ? Plus on réduit les besoins (et donc, la consommation), et moins on a à produire d'énergie *in situ* (cela semble être une lapalissade, et pourtant...).

### Action 1 : la sobriété, un passage obligé

Pour garantir la sobriété des constructions, la réintroduction du coefficient  $U_{bât}$  serait une mesure simple, bien connue des bureaux d'études (comme ce qui s'appliquait aux RT précédentes et comme ce qui s'applique à l'actuelle RT Ex).

Autre proposition s'agissant des constructions neuves : il importe d'améliorer les solutions de traitement des ponts thermiques, d'actualiser le seuil ( $\psi_{i9}$ ) au regard de l'offre actuelle, mais sans pour autant condamner de mode constructif, et, ainsi, de dynamiser l'offre de solutions durables.

*Nota Bene* : Les objectifs de bâtiments BEPOS conduisent naturellement à l'introduction de solutions de production sur site. Il importe, dans de tels cas, de veiller aux compensations pouvant dégrader la qualité du bâti (le risque étant loin d'être nul).

### Énergie primaire/émissions carbone

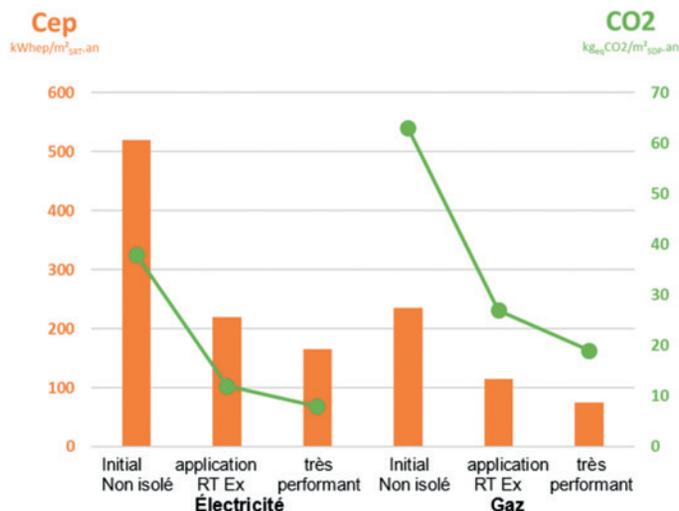
Pour atteindre les seuils proposés par l'expérimentation E+C-, la dichotomie entre les filières constructives et les vecteurs énergétiques peut créer des situations contreproductives ou économiquement peu optimales.

Pour nous, les premiers enseignements montrent qu'il importe d'embarquer l'ensemble des acteurs des différentes filières pour dynamiser les produits et les approches bas-carbone !

### Action 2 : basse consommation ou basse émission carbone

Pour ce faire, il nous semble opportun de moduler, d'adapter les seuils aux diverses situations des programmes, voire, dans un premier temps, d'exiger « E+ ou C- » et non « E+ et C- ». Les objectifs de la COP21 et des suivantes seront atteints grâce aux progrès réalisés par tous les vecteurs énergétiques, et ce, pour tous les modes constructifs ! Ainsi, ces progrès harmonieux permettront *in fine* de tendre vers la cible 2050.

Remarque : La rénovation d'une construction des années 1960 permet de diviser par 3 (environ) les consommations énergétiques tout comme les émissions de carbone : parc  $\approx$  30 millions de logements, flux construction  $\approx$  300 000/an.



Exemple de la dichotomie entre la consommation d'énergie primaire et les émissions de carbone (exploitation : 5 usages/an).

### Le recours aux énergies renouvelables

L'expérimentation E+C- valorise les énergies renouvelables (EnR) produites et consommées *in situ*, ainsi que les EnR produites *in situ*, puis exportées. De nouvelles techniques se développent pour « verdier » les réseaux. Les énergies conventionnelles (gaz, électricité...) contiennent de plus en plus d'EnR et, à terme, elles en contiendront nécessairement encore plus pour pouvoir satisfaire aux objectifs de la cible 2050.

### Action 3 : augmentation significative de la part des énergies renouvelables

Les calculs des bilans BEPOS doivent accompagner les efforts consentis pour verdier les réseaux et pour dynamiser la création de quartier à énergie positive (ou de quartiers bas-carbone). Cette approche est une réelle opportunité d'associer les chantiers de construction aux chantiers de rénovation du parc existant. Cette production d'énergie

(photovoltaïque, par exemple) permet de créer de la valeur<sup>(6)</sup>, voire d'aider à atteindre la massification désirable des rénovations.

### Construction/rénovation, une approche commune : un choc de simplification

Le plan Rénovation énergétique (d'octobre 2017) annonce une révision de la réglementation « globale » : une actualisation de l'offre qui s'avère nécessaire, une décennie après la parution des premiers textes afférents. L'expérimentation E+C-, en anticipation de la future réglementation environnementale, devrait aboutir à l'horizon 2020. Voilà un concours de circonstances « historique » à ne pas manquer, pour le « choc de simplification » ! Pour les applicateurs que sont les bureaux d'études, il y a là un réel levier pour faciliter la prescription de projets responsables : plus de simplicité = plus de réalisations !

#### *Action 4 : simplifier et harmoniser les approches Construction/Rénovation*

Il s'agit là d'une véritable opportunité sur la voie d'une « harmonisation » d'exigences actualisées et d'une « simplification » sans précédent, en rapprochant les textes et les méthodes de calculs des deux secteurs que sont la rénovation et la construction. Les seuils à exiger (qui restent à définir) devront être adaptés aux spécificités du secteur concerné et à celles du contexte du projet.

### Construction/rénovation : un même objectif, atteindre la cible 2050

Les objectifs fixés, notamment par la SNBC, à l'horizon 2050, concernent le secteur du bâtiment – construction et rénovation confondues. En 2050, le parc sera majoritairement composé des constructions des trente années

à venir, mais aussi des rénovations énergétiques dont la réalisation est attendue pour atteindre les résultats visés. Aujourd'hui, les rénovations énergétiques se doivent d'être compatibles avec la cible 2050 et les constructions neuves réalisées avec parcimonie devront être conçues de façon durable et être adaptables.

#### *Action 5 : conjuguer les constructions compatibles 2050 aux rénovations compatibles 2050*

Quand la situation se présente, il importe d'arbitrer en toute connaissance de cause, entre construction, ou rénovation. L'approche harmonisée des méthodes (voir plus haut) permet une comparaison des impacts environnementaux en termes de consommation d'énergie et de rejets de carbone. Ces méthodes doivent nécessairement être simples et opérationnelles au stade de la programmation/esquisses du projet. Là encore, cette approche facilitera les choix en permettant de mieux appréhender les ressources du parc existant, et donc de mieux utiliser et réutiliser l'existant. Il s'agit d'un nouveau levier pour construire avec parcimonie et pour rénover « performant » et « bas-carbone », et accompagner une massification progressive !

---

(6) Une collectivité locale pourrait confier l'exploitation d'installations PV à l'échelle d'un quartier à un opérateur (SEM, gestionnaire, tiers). Les propriétaires des immeubles équipés de capteurs bénéficieraient de l'autoconsommation et/ou d'une servitude rémunérée. Cette approche faciliterait la mise en place d'opérations programmées d'amélioration, une mutualisation des interventions, des réductions des coûts, et une création de valeur.

# Les barrières à l'investissement dans l'efficacité énergétique des bâtiments en France

Par Isabelle CAMILIER-CORTIAL

Ingénieure des Mines, direction générale du Trésor

Alexis LOUBLIER et Arthur SOULETIE

Direction générale du Trésor

et Étienne PERROT

Étudiant à l'École polytechnique

La rénovation thermique des bâtiments résidentiels constitue un levier essentiel de la transition énergétique et de la réduction de notre facture énergétique. Dans ce contexte, nous nous proposons d'estimer le niveau du gisement en matière d'économies d'énergie que représente le secteur résidentiel français. Nous montrerons qu'il existe un gisement de rénovations thermiques rentables pour les ménages compris entre 32 et 51 TWh, hors prix du carbone. Plusieurs obstacles (défaillances de marché ou certains biais cognitifs) peuvent empêcher l'exploitation de ce gisement.

La mise en place d'un prix du carbone augmenterait le niveau du gisement rentable, mais ne serait pas suffisante pour déclencher tous les investissements rentables. En effet, certaines rénovations rentables du point de vue socioéconomique ne le sont pas d'un point de vue privé, ce qui peut justifier la mise en place de subventions ciblées sur ce gisement potentiel d'économies d'énergie.

Le secteur du bâtiment (tertiaire et résidentiel) est le premier consommateur d'énergie finale en France, avec 46 % de la consommation finale en énergie, dont environ les deux-tiers pour le seul secteur résidentiel. La rénovation thermique des bâtiments résidentiels constitue donc un levier essentiel de la transition énergétique et de la réduction de notre facture énergétique.

La loi relative à la Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), votée en 2015, a fixé plusieurs objectifs chiffrés, dont la réduction de notre consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à 2012 (tous secteurs confondus) et une cible de 500 000 rénovations par an, à compter de 2017. Plus récemment, l'objectif du Plan Climat de juillet 2017 est de faire disparaître, à l'horizon 2027, les « passoires thermiques », c'est-à-dire les bâtiments mal isolés et consommant, par voie de conséquence, trop d'énergie.

Un certain nombre d'études existantes mettent en avant des gains importants liés à l'investissement dans l'efficacité thermique. Une grande variété d'outils visant à déclencher ces investissements (crédit d'impôt transition

énergétique, Eco-PTZ, certificats d'économies d'énergie, TVA à taux réduit) a été mise en place. Cependant, en dépit d'économies potentiellement élevées et des gains de bien-être associés, il existe un sous-investissement manifeste dans ces actions de rénovation thermique, et ce même quand celles-ci sont rentables. On parle alors d'un *energy efficiency gap* résultant de plusieurs types d'obstacles : des défaillances de marchés, certaines préférences particulières (ou l'irrationalité des agents), des coûts cachés...

Notre étude vise à analyser cet *energy efficiency gap* pour la France, en distinguant notamment la *rentabilité privée* des opérations de rénovation de leur *rentabilité socioéconomique*. Cette distinction est déterminante pour la formulation de recommandations de politique publique.

Notre étude se focalise sur le parc des résidences principales construites en France métropolitaine avant 1990 (soit 75 % du parc existant), qui sont les logements essentiellement concernés par la rénovation thermique (les normes de performance énergétique concernant les logements plus récents étant plus exigeantes). Notre tra-

vail propose une évaluation des économies d'énergie qu'il est possible d'atteindre en France en réalisant un certain nombre d'opérations de rénovation thermique (isolation, chauffage, programmation, eau chaude sanitaire...) en fonction de leur rentabilité à la fois privée et socioéconomique. Nous proposons également une estimation de l'impact des principales défaillances de marché ayant été identifiées et nous utilisons ces différentes estimations pour formuler des recommandations d'intervention publique destinées à lever efficacement les freins à l'investissement que nous avons pu identifier (cet article résume un certain nombre des résultats qui sont présentés dans un document de travail de la direction générale du Trésor<sup>(1)</sup>).

## Les différentes barrières à l'investissement dans la rénovation thermique

### Un sous-investissement dans l'efficacité énergétique des bâtiments

Plusieurs études mettent en avant des gains potentiellement importants liés à l'investissement dans l'efficacité énergétique. Selon Allcott et Greenstone (2012), certains investissements dans l'efficacité énergétique se font à coût négatif pour les ménages, c'est-à-dire que le coût de l'investissement est inférieur au gain de revenu actualisé lié à la baisse de la consommation d'énergie, et ce, même en l'absence de prise en compte des externalités négatives liées aux émissions de CO<sub>2</sub>.

Il existe cependant à l'heure actuelle un sous-investissement dans ces actions de rénovation, même quand celles-ci sont rentables d'un point de vue privé<sup>(2)</sup>. Parmi les raisons expliquant cet écart, nous citerons :

- de nombreuses défaillances du marché de la rénovation thermique :
  - les externalités carbone non taxées ;
  - l'asymétrie de l'information et le manque d'information sur les gains à attendre d'une rénovation thermique ;
  - le non-alignement des intérêts entre les bailleurs et les locataires : ne bénéficiant pas directement des économies d'énergie réalisées, les propriétaires sont peu incités à investir dans une rénovation – et les locataires ne sont pas enclins à entreprendre ces investissements dont les durées de retour sont, en général, plus élevées que la durée de location de leur logement ;
  - les contraintes de crédit : l'investissement dans les économies d'énergie n'est rentable que sur un temps assez long, pour un coût fixe initial important. Des contraintes d'accès aux crédits nécessaires à la réalisation de ces travaux peuvent en rendre difficile le financement pour les ménages les plus modestes ;
- des comportements économiquement irrationnels (un biais jouant en faveur du *statu quo* qui explique, par exemple, que certains travaux ne soient pas réalisés).

Par ailleurs, il peut exister une différence entre rentabilité privée et rentabilité socioéconomique, du fait :

- de préférences individuelles différant des préférences socioéconomiques (aversion au risque individuelle élevée, taux individuel d'actualisation élevé),

- de l'existence de « coûts cachés » (par exemple, les travaux peuvent prendre du temps et empêcher l'usage du logement sur une longue période).

Une part non négligeable de l'écart entre les estimations des gisements potentiels et les investissements réalisés pourrait aussi résulter d'une surestimation des gains à attendre d'une rénovation. En effet, d'après Allcott et Greenstone (2012), la plupart des analyses ne tiennent pas compte de la consommation réelle et des usages des individus. Ainsi, paradoxalement, une amélioration de l'efficacité énergétique peut conduire à une augmentation de la consommation d'énergie (par « effet rebond »), tel est le cas si une partie des économies d'énergie est réinvestie dans de nouveaux usages énergétiques ou dans l'augmentation des usages déjà existants. Par ailleurs, les mesures de performance énergétique effective pouvant être biaisées, les écarts possibles entre performance énergétique théorique et performance énergétique réelle peuvent être importants (CAYLA *et al.*, 2010).

## Estimation du gisement d'économies d'énergie qu'il est possible d'atteindre grâce à la réalisation d'opérations de rénovation énergétique

### La modélisation choisie

Nous reprenons, en l'adaptant, la modélisation proposée par Allcott et Greenstone (2012). Elle permet de tenir compte de l'irrationalité des ménages, ainsi que de certains obstacles (manque d'information, contraintes de crédit). La décision d'investir, pour un ménage, se concrétisera uniquement si l'investissement est rentable d'un point de vue privé, autrement dit si l'espérance du gain sur la facture énergétique grâce aux travaux réalisés (c'est-à-dire, la somme des gains futurs actualisés diminuée des coûts cachés estimés) est supérieure au coût des travaux (y compris le coût du crédit contracté pour les réaliser). Une valeur actualisée nette (VAN) est calculée pour chaque ménage et pour chaque action de rénovation, en fonction du coût des travaux hors frais financiers  $c$ , du prix de l'énergie  $p_t$ <sup>(3)</sup>, du taux d'actualisation  $\beta$ , des préférences du ménage  $m_{it}$ ,  $e_{i0}$  et  $e_{i1}$  étant la consommation énergétique de deux types de biens (le second étant plus efficient),  $\tau$  les coûts cachés (par exemple, lorsque les travaux empêchent l'utilisation du logement),  $D_{it}$  la dette contractée pour financer la rénovation à un taux d'intérêt  $r_{it}$  et  $Y_i$  un paramètre représentant l'irrationalité des ménages.

(1) CAMILIER-CORTIAL I., LOUBLIER A., PERROT E. & SOULETIE A. (2017), « Barrières à l'investissement dans l'efficacité énergétique : quels outils pour quelles économies ? », Documents de travail de la DG Trésor, 2017/02.

(2) ALLCOTT & GREENSTONE (2012) ; GILLINGHAM & PALMER (2014).

(3) Le prix de l'énergie incorpore le prix des quotas carbone pour l'électricité et des taxes intérieures de consommation (et de leur part carbone) pour les autres combustibles. L'impact de la taxe carbone dépend donc du mix énergétique.

$$E_i \left( \sum_{t=0}^{\theta} \frac{\gamma_i p_t m_{it} (e_{i0} - e_{i1})}{(1 + \beta_i)^t} - \tau \right) > c + \sum_{t=0}^{\mu} \frac{D_{it} r_{it}}{(1 + \beta_i)^t}$$

L'ordre de réalisation des opérations est déterminé par leur rentabilité : les actions de rénovation sont effectuées par VAN décroissante. De fait, certains travaux rentables seuls ne le sont plus lorsqu'ils s'insèrent dans une série de travaux, le gain en termes de consommation étant moins important.

Cette méthode permet de distinguer la *rentabilité privée* de la *rentabilité socioéconomique*. Le taux d'actualisation est égal à 4 ou 10 % pour les ménages (il est plus élevé dans le cas d'une préférence pour le court terme plus marquée chez certains ménages) et il est de 2,5 % au niveau socioéconomique (rapport Quinet), reflétant dans ce cas les gains réalisés au fil du temps par la collectivité. Par ailleurs, nous y ajoutons dans le cas de la rentabilité socioéconomique la réduction des émissions carbone, en retenant pour ce faire plusieurs prix du carbone (allant de 100 €/tCO<sub>2</sub> jusqu'à 400 €/tCO<sub>2</sub> en 2030).

Nous exploitons les données issues de l'enquête Phébus de 2013 (pour déterminer le stock de travaux), de l'enquête du cabinet Ylios de 2016 sur les coûts et les bénéfices des investissements et des données de l'Agence nationale de l'habitat.

## Les résultats obtenus

### Estimation du gisement et tests de sensibilité

Les données permettent de montrer que pour les résidences principales construites avant 1990, il existe un gisement de rénovation thermique rentable du point de vue des ménages, qui est compris entre 32 et 51 TWh par an (suivant le taux d'actualisation choisi), et ce même en l'absence de taxation des émissions de carbone. Cela concernerait environ 10 % de l'ensemble de la consommation des résidences principales, et entre 5 et 9 millions de logements. Une part significative de ce gisement (entre 12 et 20 TWh) se trouve chez des ménages non propriétaires de leur logement.

Nous examinons ci-dessous comment varie ce gisement en fonction de différents paramètres :

- une forte hausse du prix du carbone par rapport à ce qui est prévu aujourd'hui, et donc du coût des énergies, rendrait rentable une partie significative du gisement identifié : entre 12 et 15 TWh supplémentaires pour une taxe carbone à 400 €/tCO<sub>2</sub> en 2030 ;
- ce sont de 6 à 28 TWh qui apparaissent rentables du point de vue socioéconomique, mais pas du point de vue privé ;
- les coûts cachés font varier fortement la rentabilité : le gisement est inférieur de 35 % si ces coûts cachés



Photo © Patrick Allard/REA

Isolation d'un grenier avec de la laine de verre (pose en couches croisées).

« Le gisement d'économies le plus important relève des actions d'isolation (11 TWh pour l'isolation des combles et 14 TWh pour celle des murs extérieurs). »

représentent 50 %<sup>(4)</sup> du coût total des travaux. En revanche, les résultats sont peu sensibles à des variations du prix des combustibles ;

- l'estimation du gisement rentable est particulièrement sensible aux hypothèses faites sur l'irrationalité des agents. Si l'on suppose que les agents ne perçoivent que 75 % des gains énergétiques à attendre des travaux de rénovation, le gisement des économies potentielles diminue alors de 40 % ;
- une évolution à la hausse du coût des crédits servant à financer ces travaux a peu d'effet sur la taille du gisement. La difficulté d'accès au crédit pourrait en revanche être une barrière supplémentaire aux investissements, car environ 20 % du gisement rentable se trouve chez des ménages du premier quintile de revenus.

### L'identification des actions de rénovation à cibler

Les travaux de rénovation présentent une très forte hétérogénéité en ce qui concerne le coût du MWh Cumac<sup>(5)</sup> évité : plusieurs actions (isolation des combles, installation de robinets thermostatiques) présentent un coût inférieur à 100 €/MWh Cumac, alors que d'autres, notamment celles liées au vitrage (946 €/MWh Cumac, en maison individuelle), sont très coûteuses. Certains types de travaux comme l'installation de robinets thermostatiques ou de programmateurs sont rentables dans plus de 90 % des cas. Les dispositifs de soutien devraient cibler en priorité les travaux rentables du point de vue socioéconomique, mais pas du point de vue privé (comme c'est le cas de certains types de travaux d'isolation (les parties communes, par exemple)). Enfin, le gisement le plus important relève des actions d'isolation (11 TWh pour l'isolation des combles et 14 TWh pour celle des murs extérieurs).

### Les implications en termes de politiques publiques

Il existe un important gisement de rénovations thermiques rentables pour les ménages, et ce même avec un prix nul du carbone. La mise en place d'un prix du carbone ne suffirait donc pas à lui seul à déclencher suffisamment d'investissements dans la rénovation thermique. Cela appelle de la part de la puissance publique d'apporter des réponses différenciées pour pouvoir traiter les différents obstacles identifiés :

- le déclenchement d'investissements rentables d'un point de vue socioéconomique, mais pas du point de vue d'un ménage peut, en théorie, être favorisé par l'octroi d'une subvention publique calibrée de manière à rendre le projet tout juste rentable pour un ménage ;
- en ce qui concerne les projets rentables pour les ménages, mais qui ne sont pas pour autant réalisés, l'asymétrie d'information ou le manque d'information sur la rénovation thermique peuvent être réduits grâce à des campagnes d'information ou à des mécanismes de certification ;
- l'adoption de normes contraignantes pourrait également être envisagée pour que les actions rentables soient systématiquement réalisées. Inversement, les travaux présentant une rentabilité faible (comme les changements de vitres) ne devraient pas être soutenus ;

- la question de l'irrationalité des agents peut également être traitée par des mécanismes de *nudge*<sup>(6)</sup> (par exemple, en indiquant aux individus quelle est la consommation moyenne de leur voisinage). Approfondir ce dernier point pourrait offrir des pistes intéressantes et peu coûteuses permettant de favoriser l'investissement dans la rénovation thermique des bâtiments.

### Bibliographie

ALLCOTT H. & TAUBINSKY D. (2015), "Evaluating Behaviorally Motivated Policy: Experimental Evidence from the Lightbulb Market", *American Economic Review* 105(8), pp. 2501-2538.

ALLCOTT H. & GREENSTONE M. (2012), "Is there an energy efficiency gap?", *Journal of Economic Perspectives* 26 (1), pp. 3-28.

ALLCOTT H. & MULLAINATHAN S. (2010), "Behavior and energy policy", *Science* 327(5970), pp. 1204-1205.

ALLIBE B. (2012), « Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français à long terme – Amélioration du réalisme comportemental et scénarios volontaristes », thèse de doctorat.

AMELI N. & BRANDT N. (2015), "Determinants of households' investment in energy efficiency and renewables: Evidence from the OECD survey on household environmental behavior and attitudes", *Environmental Research Letters* 10, 44015.

AYDIN E., BROUNEN D. & KOK N. (2013), "The Rebound Effect in Residential Heating", Working Paper.

BROWN Z., JOHNSTONE N., HASCIC I., VONG L. & BARASCUD F. (2013), "Testing the effect of defaults on the thermostat settings of OECD employees", *Energy Economics* 39, pp. 128-134.

CAMILIER-CORTIAL I., LOUBLIER A., PERROT E. & SOULETIE A. (2017), « Barrières à l'investissement dans l'efficacité énergétique : quels outils pour quelles économies ? », *Documents de travail de la DG Trésor*, 2017/02.

CGDD (2014), « 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.

CAYLA J. M., ALLIBE B. & LAURENT M. H. (2010), "From practices to behaviors: Estimating the impact of household behavior on space heating energy consumption", *ACEEE*, Summer study on Energy Efficiency in Buildings.

COHEN F., GLACHANT M. & SODERBERG M. (2015), "The impact of energy prices on energy efficiency: Evidence from the UK refrigerator market", Centre for Climate Change Economics and Policy, Working Paper n°203.

(4) Ce chiffre de 50 % est une hypothèse ad hoc.

(5) Cela correspond au total des économies d'énergie réalisées pendant la durée de vie de l'équipement, avec une actualisation annuelle au taux de 4 %.

(6) Nudge : mécanisme orientant le choix des individus dans une direction donnée, voir ALLCOTT & MULLAINATHAN (2010).

- DIAZ-RAINEY I. & ASHTON J. K. (2015), "Investment inefficiency and the adoption of eco-innovations: The case of household energy efficiency technologies", *Energy Policy* 82, pp. 105-117.
- ENERDATA-SEURECO (2014), « Étude de différents scénarios d'atteinte de l'objectif de réduction des émissions de GES à l'horizon 2030 à l'échelle de l'Union européenne ».
- FARSI M. (2010), "Risk aversion and willingness to pay for energy efficient systems in rental apartments", *Energy Policy* 38, pp. 3078-3088.
- GILLINGHAM K., HARDING M. & RAPSON D. (2012), "Split incentives in residential energy consumption", *Energy Journal* 33, pp. 37-62.
- GILLINGHAM K. & PALMER K. (2014), "Bridging the energy efficiency gap: Policy insights from economic theory and empirical evidence", *Review of Environmental Economics and Policy* 8, pp. 18-38.
- GIRAUDET L. G. & QUIRION P. (2008), "Efficiency and distributional impacts of tradable white certificates compared to taxes, subsidies and regulations", *Revue d'économie politique*, vol. 118, pp. 885-914.
- GIRAUDET L. G. (2015), « Qualité des travaux de rénovation, asymétries d'information et garanties de performance énergétique », *La Revue du CGDD*, janvier, pp. 67-72.
- KAHNEMAN D. & TVERSKY A. (1979), "Prospect theory: An analysis of decision under risk", *Econometrica* 66, pp. 497-527.
- KRISHNAMURTHY C. K. B. & KRISTROM B. (2015), "How large is the owner-renter divide in energy efficient technology? Evidence from an OECD cross-section", *The Energy Journal* 36(4), pp. 85-104.
- LAIBSON D. (1997), "Golden eggs and hyperbolic discounting", *Quarterly Journal of Economics* 112, pp. 443-477.
- LIU E. M. (2013), "Time to change what to sow: Risk preferences and technology adoption decisions of cotton farmers in China", *Review of Economics and Statistics* 95, pp. 1386-1403.
- MC KINSEY & CO (2009), "Unlocking Energy Efficiency in the US Economy".
- NEWELL R. G. & SIIKAMAKI J. V. (2013), "Nudging energy efficiency behavior: The role of information labels", *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 1, pp. 555-598.
- NEWELL R. G. & SIIKAMAKI J. V. (2015), "Individual time preferences and energy efficiency", *American Economic Review* 105, pp. 196-200.
- QIU Y., COLSON G. & GREBITUS C. (2014), "Risk preferences and purchase of energy-efficient technologies in the residential sector", *Ecological Economics* 107, pp. 216-229.
- QUINET A. (2008), « La valeur tutélaire du carbone », rapport du Centre d'analyse stratégique, Paris, La Documentation Française.
- QUINET E. (2013), « Évaluation socioéconomique des investissements publics », Rapport du Commissariat général à la Stratégie et à la Prospective.
- PALMER K., WALLS M., GORDON H. & GERARDEN T. (2012), "Assessing the energy-efficiency information gap: Results from a survey of home energy auditors", *Energy Efficiency* 6, pp. 271-292.
- SCHLEICH J., GASSMANN X., FAURE C. & MEISSNER T. (2016), "Making the implicit explicit: A look inside the implicit discount rate", *Energy Policy* 97, pp. 321-331.
- SUERKEMPER F., THOMAS S., OSSO D. & BAUDRY P. (2012), "Cost-effectiveness of energy efficiency programs evaluating the impacts of a regional program in France", *Energy Efficiency* 5(1), pp. 121-135.
- UNION FRANÇAISE DE L'ÉNERGIE (2013), « L'ordre de priorité des actions d'efficacité énergétique ».
- YLIOS (2016), « Coûts et bénéfices économiques des investissements en matière d'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel et immobilier de bureaux en France ».

# Comment l'intervention publique peut-elle augmenter le nombre et la qualité des rénovations dans le parc immobilier français pour en réduire les consommations d'énergie et les émissions de GES ?

Par Hadrien HAINAUT, Ian COCHRAN et Benoît LEGUET  
I4CE – Institute for Climate Economics, Paris

L'État a fixé d'ambitieux objectifs de performance énergétique pour les bâtiments, en particulier les logements privés. Ces objectifs se traduisent par d'importants investissements, de l'ordre de 15 milliards d'euros par an. Mais les incitations aujourd'hui en place ne parviennent à générer que la moitié des investissements nécessaires, dont une majorité dans des interventions dispersées et qui prennent mal en compte l'objectif d'efficacité énergétique. Pour qu'il y ait passage à l'acte, il faut réunir la motivation et les moyens, et offrir aux ménages les opportunités d'une réalisation concrète de leurs projets de rénovation. Seule une combinaison d'outils réglementaires, économiques et financiers est en mesure d'y parvenir, en réformant les outils existants ou en créant de nouveaux mécanismes, au niveau national comme au niveau local.

## Introduction

### **L'ancienneté et la longévité des bâtiments en font une priorité pour les politiques de transition énergétique et d'atténuation du changement climatique**

En France, le parc des bâtiments résidentiels et tertiaires était responsable, en 2016, de 45 % de la consommation d'énergie finale et de 19 % des émissions de GES (CITE-PA, 2016 ; SOES, 2016). Au regard des enjeux climatiques, le parc français des bâtiments est relativement ancien et énergivore. Plus de la moitié des logements existants ont été construits avant l'adoption de la première réglementation thermique, en 1974 : ils représentent 64 % de l'énergie consommée (ADEME, 2014b). La longévité des constructions, de l'ordre de plusieurs décennies, appelle des objectifs de gestion du parc à long terme.

### **L'État s'est fixé d'ambitieux objectifs de performance énergétique des bâtiments et déploie divers instruments économiques, fiscaux et financiers pour les atteindre**

La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC), adoptée en

2016 dans la foulée de la loi pour la Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), prévoit une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40 % en 2030, par rapport à 1990. Sa déclinaison indicative pour le bâtiment prévoit de réduire les émissions de ce secteur de 50 % en 2028, par rapport à leur niveau de 1990. Pour cela, la puissance publique vise notamment à porter le nombre des rénovations lourdes de logements à 500 000 par an (SNBC, 2016 ; MTES, 2017). Elle déploie à cette fin divers instruments économiques, financiers et fiscaux (voir l'Encadré n°1 de la page suivante). C'est sur ce segment du résidentiel que nous concentrerons notre analyse de l'intervention publique.

### **Les incitations en place ne parviennent pas aujourd'hui à générer les investissements attendus**

Au cours de ses récentes enquêtes auprès des propriétaires de logements individuels, l'Ademe a recensé 288 000 rénovations énergétiques lourdes achevées en 2014 (ADEME, 2014a). En y ajoutant les opérations isolées, les montants investis, en 2016, par les ménages dans la rénovation des logements individuels atteignaient 8 milliards d'euros, soit

environ la moitié des montants nécessaires pour suivre la trajectoire fixée par la SNBC (I4CE, 2017).

### Quelles interventions publiques pour atteindre les objectifs fixés en matière de performance énergétique des bâtiments ?

Nous verrons que pour inciter les propriétaires à engager des travaux de rénovation de leurs biens immobiliers, l'intervention publique doit prendre en considération le triangle bien connu des séries policières : pour qu'il y ait passage à l'acte, il faut réunir une motivation (*mobile*), des moyens (*means*) et une opportunité (*opportunity*).

#### Encadré 1 : Les principaux dispositifs publics en faveur de l'efficacité énergétique et de la réduction des émissions de GES des bâtiments

CCE (Contribution climat-énergie) : cette composante des taxes intérieures de consommation des combustibles fossiles est proportionnelle à leur contenu carbone. Il s'agit d'un signal fiscal dont le but est de renchérir les investissements carbonés et de rendre ainsi plus compétitives l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables.

CITE (Crédit d'impôt pour la transition énergétique, anciennement CIDD) : dépense fiscale à destination des propriétaires de logements privés leur permettant de déduire du montant de leur impôt sur le revenu 30 % du coût d'acquisition d'équipements destinés à améliorer l'efficacité énergétique de leur logement.

Eco-PTZ (éco-prêt à taux zéro) : prêt conventionné distribué par les banques commerciales, dont les intérêts sont pris en charge par l'État. Il permet de financer jusqu'à 20 000 euros de travaux dédiés à l'efficacité énergétique des logements. Pour le solliciter, il faut engager au minimum deux actions éligibles au titre du CITE, ou justifier de la performance énergétique globale du logement après la réalisation des travaux.

CEE (Certificats d'économie d'énergie) : ils reposent sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée aux vendeurs d'énergie. Ces certificats sont émis lorsque ceux-ci financent ou font une promotion active de l'efficacité énergétique auprès de leurs clients ou par l'intermédiaire d'artisans conventionnés.

ANAH (Agence nationale de l'habitat) : en charge du programme Habiter Mieux, cette agence finance (sans reste à charge pour les ménages) des travaux de rénovation énergétique pour les ménages en situation de précarité énergétique.

FGRE (Fonds de garantie pour la rénovation énergétique) : créé par la loi relative à la Transition énergétique pour la croissance verte, ce fonds peut se porter garant auprès des banques commerciales, notamment pour le compte des copropriétaires.

RGE (Reconnu garant de l'environnement) est un signe de qualité pour les artisans du bâtiment. Il est exigé par l'État pour l'octroi du CITE et de l'Eco-PTZ. Les entreprises labellisées doivent désigner en leur sein un responsable technique ayant suivi une formation spécifique aux enjeux de l'environnement et du climat pour son activité.

### La motivation : la rentabilité des travaux ne suffit pas à déclencher la réalisation de projets de rénovation globale

#### Un gisement d'économies d'énergie rentable dès aujourd'hui, mais non exploité par manque d'information ou en raison d'une logique de court terme

Les travaux conduits en 2017 par la direction générale du Trésor ont conclu qu'un gisement de 32 à 51 TWh serait rentable du point de vue des propriétaires, pour un investissement compris entre 14 et 36 milliards d'euros (DG Trésor, 2017). Cependant, ce gisement n'est pas exploité aujourd'hui : les obstacles à l'investissement identifiés par l'étude proviendraient d'un manque d'information sur les coûts et les bénéfices attendus d'une opération de rénovation énergétique, car ceux-ci ne sont précisément mesurables qu'à la condition de réaliser un diagnostic thermique approfondi du logement. Pour cela, le Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) et l'Inspection générale des Finances (IGF) ont recommandé, l'an dernier, d'inclure le coût des audits thermiques dans l'assiette du CITE, et la publication et la mise à jour par l'ANAH d'un guide des prix des actions de rénovation (CGEDD & IGF, 2017). Cependant, même correctement informés, les ménages semblent obéir à une logique de court terme : ils n'imaginent pas que les bénéfices futurs de l'efficacité énergétique justifient les coûts immédiats des rénovations engagées.

#### Dans le parc locatif privé, la motivation à rénover est faible, et la « valeur verte » des logements reste marginale, surtout dans les zones tendues

La plupart des locataires n'envisagent pas de rester assez longtemps dans le logement qu'ils occupent pour pouvoir rentabiliser des opérations d'efficacité énergétique réalisées à leurs frais. Inversement, les propriétaires ne peuvent pas facilement répercuter sur le loyer perçu le coût de l'amélioration de la performance énergétique de leur logement, même quand cette augmentation serait neutre par le jeu de la baisse de la facture énergétique, généralement à la charge du locataire<sup>(1)</sup>. Si le développement de l'affichage énergétique des logements permettrait (en théorie) au logement d'acquiescer une « valeur verte » sur le marché de l'acquisition ou de la location, plusieurs études ont constaté que cette valeur se dégradait dans les zones dites « tendues », où les acquéreurs ne peuvent aisément inclure ce critère dans leur choix d'un bien (DYNAMIC, 2015 ; CGDD, 2017b).

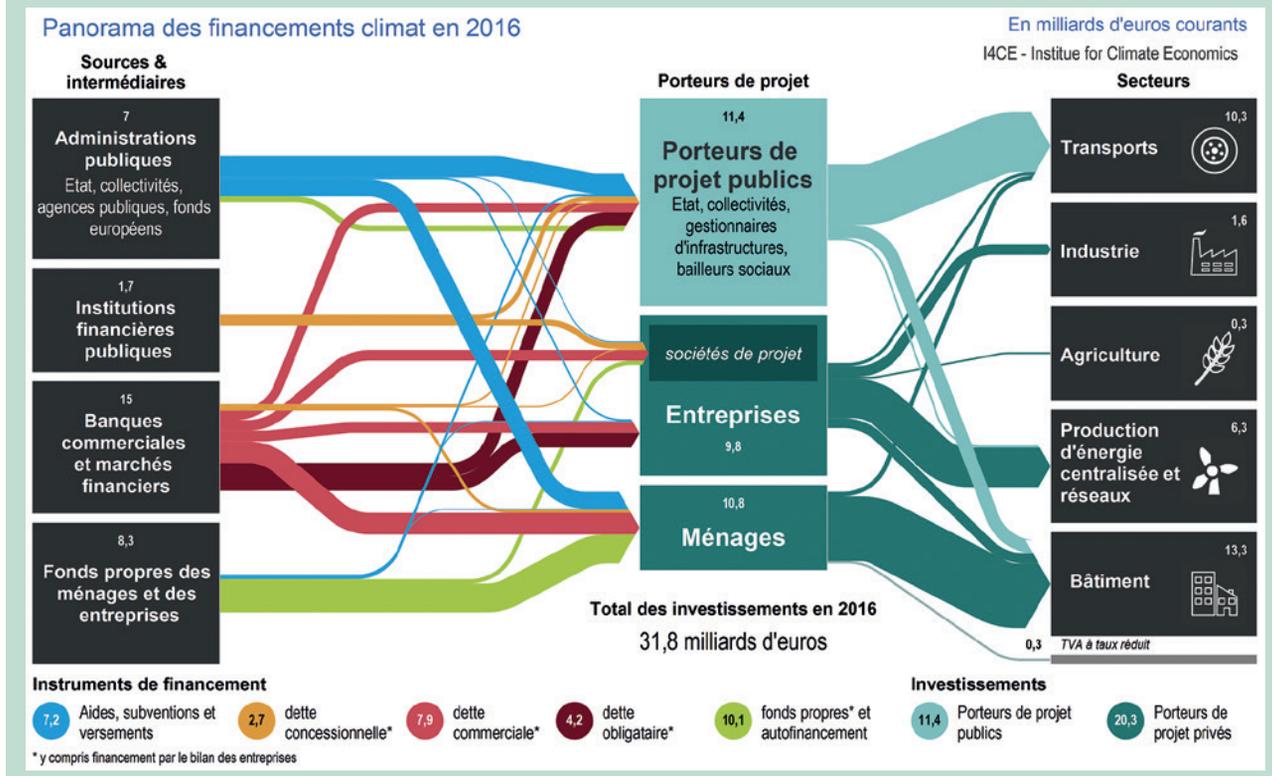
#### Plus généralement, l'efficacité énergétique est rarement l'objectif principal des projets d'investissement

Si les dépenses d'entretien/amélioration des logements atteignaient 50 milliards d'euros en 2016, ils corres-

(1) Le dispositif actuel prévoit le partage de la charge des travaux entre le propriétaire et le locataire. Il nécessite l'accord du locataire sur une augmentation du loyer qui ne peut pas dépasser 20 euros par mois pour les logements les plus anciens et la moitié des économies d'énergie estimées pour les logements achevés après 1948 (CGEDD & IGF, 2017).

**Encadré n°2 : Le Panorama des financements climat**

Le Panorama des financements climat <sup>(2)</sup> recense les dépenses d'investissement réalisées en faveur du climat en France. Il analyse la manière dont ces dépenses sont financées. Les résultats sont comparés d'une année sur l'autre et par rapport aux estimations d'investissements nécessaires pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES et ceux de la transition énergétique. De cette manière, le Panorama contribue à alimenter la réflexion sur la pertinence et le rôle des financements publics et privés en faveur du climat.



pondaient, en majorité, à des travaux liés au confort, à l'agrandissement ou au réaménagement des logements occupés (ADEME, 2014a). Lorsqu'ils concernent des postes énergétiques, notamment le chauffage ou la ventilation, les travaux sont souvent provoqués par une défaillance du système existant, obligeant les ménages à opter dans l'urgence pour un investissement à moindre coût. Ce constat peut nourrir deux approches. La première vise à contraindre les propriétaires à « embarquer » l'efficacité énergétique dans leurs travaux, quel que soit le projet engagé. Par exemple, la LTECV a créé une obligation pour les propriétaires qui engagent un ravalement de façade, de réaliser à cette occasion des travaux d'isolation thermique. La seconde approche consiste à accompagner les ménages dès la conception de leur projet pour les inciter à inscrire l'efficacité énergétique en tant qu'objectif principal, et de déclencher ainsi des rénovations globales.

**En ce qui concerne les moyens : la nécessité de combiner instruments publics et privés pour tenir compte de la qualité des projets et des revenus des ménages**

D'après les travaux menés par I4CE dans le cadre du Panorama des financements climat (voir l'Encadré n°2 ci-dessus), les fonds propres des ménages sont le premier

instrument de financement des rénovations énergétiques des logements privés, ils représentent environ 40 % du coût total des travaux. Cette part relativement élevée des fonds propres constitue un frein au développement des projets, qui devraient pouvoir mobiliser plus de financements tiers, d'origines publique ou privée.

**Améliorer les aides publiques pour cibler les résultats plutôt que les moyens, et les échelonner en fonction des revenus des ménages**

Les aides publiques en place pour inciter à la rénovation des logements privés financent les moyens mis en œuvre, notamment le coût d'acquisition des équipements, plutôt que les résultats mesurés à travers l'évolution de la consommation d'énergie des logements après la réalisation des travaux. De ce fait, les ménages s'orientent principalement vers les travaux qui offre un meilleur confort de vie, indépendamment de leur impact énergétique et environnemental (Rénovons !, 2017). Des aides conditionnées ou proportionnelles à la performance énergétique des travaux existent déjà dans le cadre du programme Habiter Mieux mis en œuvre par l'ANAH à destination des ménages en situation de précarité énergétique. Si cette

(2) L'étude est disponible en ligne à l'adresse : <https://www.i4ce.org/download/panorama-des-financements-climat-edition-2017/>

réforme est souhaitable sur le plan de l'efficacité des dépenses publiques, elle peut se heurter à plusieurs difficultés : un manque de lisibilité si les barèmes de performance sont trop techniques, une insuffisance de l'offre des professionnels en matière de rénovation globale, ou, tout simplement, une baisse du recours aux aides, si, comme évoqué plus haut, la motivation des ménages à entreprendre ces travaux reste marginale (CGEDD et IGF, 2017). Une réforme alternative des instruments de soutien publics proposée par le collectif Rénovons ! préconise de moduler le niveau des aides en fonction des revenus du ménage afin d'obtenir un effet incitatif maximal pour un même montant de dépenses publiques, tout en réduisant l'effet d'aubaine pour les ménages les plus aisés.

### **Pour les ménages, l'accès aux financements privés à des conditions avantageuses est possible, mais il n'est pas encore généralisé à ce jour**

L'accès au financement bancaire en tant que tel ne semble pas constituer un problème pour une majorité de propriétaires<sup>(3)</sup> (DG Trésor, 2017). Cependant, en l'absence de mécanismes appropriés, les économies d'énergie escomptées ne constituent pas un « surplus » induit de revenus suffisant pour compenser le coût du financement ou pour étendre les prêts à des ménages *a priori* non solvables. L'intervention publique doit avoir pour objectif d'amener à un alignement des prêts à la rénovation sur les conditions des prêts immobiliers, plutôt que sur celles actuellement pratiquées en matière de prêts à la consommation (CDC, 2013).

Plusieurs pistes sont envisagées pour cela : créer des guichets bancaires spécialisés et formés à l'estimation des économies d'énergie ; étendre les mécanismes de garantie des prêts immobiliers aux prêts à la rénovation (notamment au travers du Fonds de garantie de la rénovation énergétique, nouvellement créé) ou encore autoriser les propriétaires réalisant des travaux d'efficacité énergétique à étendre l'emprise au sol de leur logement, la valeur immobilière de cette extension pouvant servir de garantie à l'ensemble du prêt contracté pour financer les travaux.

### **L'opportunité : s'assurer que les ménages trouveront une offre globale de qualité au moment opportun dans la vie de leur logement**

L'intervention publique doit également s'assurer de la concomitance des conditions favorables au déclenchement des projets. C'est peut-être dans ce domaine que les progrès les plus importants restent à faire.

### **Résoudre par des formations et des animations, dispensées au niveau local, les difficultés qu'ont les ménages à trouver une offre de service globale qui garantissent l'effectivité des résultats**

Augmenter le nombre et la qualité des projets de rénovation globale suppose, on l'a vu, d'orienter les ménages vers un projet dans lequel l'efficacité énergétique soit un objectif prioritaire. Dans cette perspective, les conseils dispensés par les artisans jouent un rôle essentiel. Ils sont très souvent la première et parfois même la seule source

d'information pour les ménages. Le CGEDD et l'IGF constatent que les conseils et l'offre de travaux proposés par les professionnels du bâtiment ne sont pas assez structurés pour pouvoir répondre adéquatement à la demande en matière de rénovation globale, notamment un engagement sur le résultat en termes de performance énergétique. Les dispositifs de formation, par exemple le label RGE « offre globale », et d'animation locale des filières professionnelles, couplés à une assistance à la maîtrise d'ouvrage des particuliers, sous la forme de l'intervention de conseillers énergie et d'experts thermiciens, restent sous-dimensionnés (CGEDD et IGF, 2017).

### **Cibler prioritairement les opérations de cession/acquisition/mutation de logements dans lesquelles les composants clés d'une rénovation globale sont le plus susceptible d'être réunis**

Entre 600 000 et 800 000 logements trouvent chaque année un nouveau propriétaire (CGEDD, 2017a). Ces transactions constituent une occasion privilégiée d'entreprendre des travaux de rénovation globale. En effet, les ménages dédient un temps significatif à l'étude de leur projet d'acquisition, ils sollicitent un financement bancaire, souvent dans des conditions réglementées (prêt hypothécaire) et font souvent appel à des experts et à divers corps de métiers pour engager des travaux de réfection. Généraliser l'information énergétique, voire la conduite des audits thermiques au cours du processus d'acquisition, pourrait encourager davantage de ménages à entreprendre des travaux de rénovation. Il est important que la charge des travaux à engager repose sur l'acquéreur, qui réunit plus souvent que le vendeur les conditions favorables à l'investissement. Enfin, la vacance du logement au cours de la phase de transaction est la période idéale pour la réalisation de travaux, en tant qu'elle minimise le coût, souvent caché, que revêt l'impossibilité de l'utilisation des locaux achetés durant la réalisation des travaux.

## **Conclusion**

En ciblant les motivations et les moyens et en créant l'occasion pour la mise en œuvre concrète de projets de rénovation d'ensemble, l'intervention publique peut créer un cadre incitatif favorable à l'investissement et au financement des porteurs de projets privés. Les ordres de grandeur des travaux d'entretien/amélioration, en général, et le nombre des logements mis en vente chaque année montrent que les objectifs de la politique publique ne sont pas hors de portée. Cependant, dans les segments du parc bâti où l'on constate une dispersion des incitations, ou dans les cas où les propriétaires privés n'ont pas accès aux financements privés, l'intervention publique devra aller bien au-delà de la seule incitation pour prendre la forme d'obligations ou d'un accompagnement spécifique.

(3) D'après l'INSEE, seuls 32 % des ménages du premier quartile de revenus sont propriétaires de leur logement en 2013 (INSEE, 2017).

## Bibliographie

ADEME (2014), Club de l'Amélioration de l'Habitat, « Business Information Intelligence Services », Observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement (OPEN), campagne 2014, résultats 2013.

ADEME (2013), « Chiffres-clés du bâtiment ».

Caisse des Dépôts et Consignations – CDC (2013), , DUCRET Pierre *et al.*, rapport intermédiaire sur le financement de la rénovation énergétique des logements privés, mission confiée à la CDC par le METL et le MEDDE.

CGDD (2017), « Comptes du logement 2016 ».

CGDD (2017), *Hausse des droits de mutation, quel impact sur le marché immobilier ?*, Collection « Théma ».

Conseil général de l'environnement et du développement durable et Inspection générale des Finances – CGEDD & IGF (2017), , WAYSAN Claire, GENET David, CARRAUD Pierre-Marie, ROUSSEAU Michèle, WEBER Alain & HELBRONNER Charles, « Revue de dépenses : aides à la rénovation énergétique des logements privés ».

CITEPA (2016), « Émissions de GES directs au format " Plan Climat " en France », périmètre Kyoto.

Direction générale du Trésor – DG Trésor (2017), CAMILIER-CORTIAL Isabelle, LOUBLIER Alexis, PERROT

Étienne & SOULETIE Arthur, « Barrières à l'investissement dans l'efficacité énergétique : quels outils pour quelles économies ? », documents de travail de la DG Trésor, n°2017/02.

Développement de l'information notariale et de l'analyse du marché immobilier et de la conjoncture – DINAMIC (2015), « La valeur verte des logements », d'après les bases notariales BIEN et PERVAL.

I4CE (2017), HAINAUT Hadrien, GOUIFFES Lola & COCHRAN Ian, « Panorama des financements climat en France », résumé pour décideurs.

INSEE (2017), « Les conditions de logement en France ».

Ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), avec le ministère de la Cohésion des territoires (2017), Concertation sur le plan de rénovation énergétique des bâtiments.

Rénovons (2017), « Initiative Rénovons : coûts et bénéfices d'un plan de rénovation des passoires énergétiques à horizon 2025 ».

SNBC (2016), ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Stratégie nationale bas-carbone.

# L'efficacité énergétique : mode d'emploi

Par Myriam MAESTRONI

Présidente-Fondatrice de la société Économie d'énergie et de la Fondation E5T

Au cœur des enjeux de la transition énergétique, sobriété et efficacité énergétiques font l'unanimité, mais supposent une démarche globale encore loin d'être aussi structurée qu'elle devrait l'être...

**F**ace à l'urgence climatique qui se manifeste de plus en plus violemment partout dans le monde, il n'est plus concevable de continuer à **surconsommer de l'énergie**... Or, c'est pourtant le cas de plus de 15 millions de logements, soit pour plus d'un logement sur deux dans notre pays. À l'échelle de l'Union européenne, ce chiffre s'élèverait à près de 100 millions.

Cette prise de conscience est pourtant relativement récente. Ce n'est qu'à partir de 2006, il y a donc un peu plus de dix ans, que les Français ont pu découvrir, avec l'apparition des DPE – diagnostics de performance énergétique – que tous les logements n'étaient pas égaux sur le plan de leur performance énergétique. On a alors, en effet, commencé à voir apparaître sur les vitrines des agences immobilières des petites « étiquettes énergie » qui nous apprenaient que si l'on louait ou achetait un logement classé G (la pire des catégories), on allait consommer plus de 450 kilowattheures par mètre carré de superficie et par an (kWh/m<sup>2</sup>/an), tandis qu'un logement neuf construit dans le respect des réglementations thermiques applicables actuellement (RT 2012) et classé A ne consommerait que moins de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an. Ce rapport peut donc aller de 1 à 9 et cela pèse, bien évidemment, sur la facture d'énergie en tant que telle, mais aussi sur les niveaux d'émission de CO<sub>2</sub> directement issus de la combustion des énergies fossiles encore largement utilisées, notamment pour le chauffage et la production de l'eau chaude sanitaire.

Cette réalité était en fort décalage avec la prise de conscience brutale de la question du changement climatique expliquée de façon très pédagogique par Al Gore dans le film documentaire-choc de Davis Guggenheim, film qui est d'ailleurs devenu un succès planétaire, *Une vérité qui dérange*. C'est sur ce profond paradoxe qu'allait commencer à se construire une politique d'efficacité énergétique fort solide et qui impliquait les énergéticiens eux-mêmes. Dès 2006, ces derniers se sont en effet retrouvés obligés de leur côté d'assortir toutes leurs publicités d'un slogan désormais bien connu : « L'énergie est notre avenir, économisons-la ! »... Et ils ont bien été également obligés

d'aider leurs clients à consommer moins, sous peine d'avoir à payer de fortes pénalités s'ils ne le faisaient pas.

Les bases d'une politique énergétique adaptée à l'enjeu du dérèglement climatique issu de l'accumulation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (responsable de l'effet de serre) étaient dès lors posées.

Jusqu'à-là largement réservée à la construction des logements et, plus généralement, des bâtiments neufs, la question de l'efficacité énergétique allait pouvoir se généraliser.

Un dispositif innovant conçu pour relever le défi que représente le fait de mesurer quelque chose que nous ne consommerions plus (principale caractéristique d'une économie d'énergie) était alors mis en place au travers des certificats d'économie d'énergie (CEE), également appelés « certificats blancs ».

Les énergéticiens se voyaient dès lors dans l'obligation de calculer, sur la base de leurs ventes des années antérieures, une économie d'énergie à faire réaliser à leurs clients (les consommateurs finals). Cette mission était initialement perçue comme étant très contre-intuitive (on peut aisément l'imaginer) pour des sociétés dont le *business model* historique était d'ailleurs, à l'instar des pratiques économiques caractéristiques de l'« ancien monde », de vendre plus pour gagner plus, en capitalisant autant que possible sur des effets d'échelle qui permettaient de mieux exploiter des infrastructures ayant nécessité des investissements élevés pour leur construction et/ou leur mise en conformité avec des réglementations imposant des niveaux de sécurité allant croissants.

Cette approche s'inscrivait d'ailleurs dans la logique européenne émergente de l'époque, que l'on désigne sous l'appellation « les 3X20 », c'est-à-dire : réduction de 20 % des émissions de CO<sub>2</sub>, réduction de 20 % des consommations d'énergie et accroissement à un niveau de 20 % de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique.

Le principe de la réduction des consommations d'énergie est, des trois précités, celui qui a eu le plus de mal à s'im-

poser : cela est dû au fait que les mécanismes de sa mise en œuvre sont relativement innovants et sophistiqués.

En pratique, il faut comprendre que l'efficacité énergétique suppose la mobilisation de quatre leviers fondamentaux. C'est ceux que je désigne sous l'appellation « Énergies 1.0, 2.0, 3.0 et 4.0 ».

De quoi s'agit-il ?

Le premier principe – l'Énergie 1.0 – concerne les comportements impliqués dans la sobriété énergétique. Il s'agit pour nous d'être plus attentifs et donc, bien sûr, mieux informés sur nos modes d'utilisation (plus ou moins conscients, et donc plus ou moins volontaires) de l'énergie <sup>(1)</sup>, afin de pouvoir les modifier. On identifie plus de 200 gestes ou habitudes (également appelés « éco-comportements ») qui permettent de réduire nos consommations d'énergie : fermer les volets et/ou les rideaux, dégivrer régulièrement son réfrigérateur, réduire la température de chauffage (en fonction des pièces et selon les horaires), éviter de laisser les équipements électriques en position « veille », éteindre les lumières – pour ne citer que ces quelques exemples simples du quotidien.

Mais aussi vigilants que nous puissions l'être, une bonne gestion de nos comportements ne pourra pas compenser les déperditions énergétiques d'une maison mal isolée ou d'une maison équipée d'une vieille chaudière aux piètres performances énergétiques. Il s'agira dès lors d'activer le deuxième levier – celui de l'« Énergie 2.0 <sup>(2)</sup> » –, c'est-à-dire celui de la rénovation énergétique. Les politiques publiques sont notamment fléchées vers ce levier fondamental et extrêmement pertinent compte tenu de l'état du parc de logements existant (comme nous l'avons souligné dans notre propos d'introduction). Ainsi le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE) trouve-t-il toute sa pertinence, puisqu'il permet non seulement d'identifier des travaux de rénovation énergétique précis (plus de 20 sont généralement recensés pour un logement <sup>(3)</sup>), mais également d'estimer une économie moyenne d'énergie réalisable sur la durée de vie utile de ces travaux (en tenant compte de la perte d'efficacité liée à l'usure, au fil du temps) et de l'exprimer en une unité spécialement créée à cette fin, à savoir le kWh Cumac (kWh cumulé actualisé), une unité de mesure hybride entre l'énergétique et la finance. Le but étant, bien entendu, de créer une incitation financière facilitant la prise de décision en matière de réalisation des travaux de la part des clients-consommateurs. Il est fondamental de noter que cette incitation est une condition nécessaire, mais non suffisante... En effet, rien ne se passe sans que différents éléments aient été mis en équation, car, soyons clairs..., personne ne se lève (pour le moment) le matin en se disant : « Tiens..., et si je me lançais dans des travaux de rénovation énergétique ! ». Il s'agit aussi, avant tout, de veiller à une promotion musclée permettant de bien faire connaître à tous l'existence d'un tel dispositif. Il faut également faciliter, le plus possible, l'obtention de ces aides, bien sûr par ailleurs logiquement assujetties à la bonne réalisation des travaux répertoriés et réalisés par des professionnels qualifiés et donc garants du bon fonctionnement des installa-

tions – notamment par les installateurs et professionnels RGE (Reconnus garants de l'environnement). Ce label officiel est indispensable pour l'obtention de ces allocations souvent désignées sous le vocable d'« éco-primés » par le grand public. Ces travaux permettent également d'obtenir le Crédit d'impôt transition énergétique (CITE), auquel on reproche une mise à disposition très décalée dans le temps, par rapport au décaissement que suppose le paiement des travaux. Le CITE est donc jugé moins incitatif que le versement d'une somme d'argent disponible concomitamment au règlement des factures correspondantes. C'est un problème auquel vient d'ailleurs de s'attaquer M. Nicolas Hulot, le ministre de la Transition énergétique et solidaire.

Le troisième levier – « Énergie 3.0 » – concerne la mise en place de « *smart technologies* ». En substance, il s'agit d'aider les clients à mieux prendre en main leur destin énergétique en mettant à leur disposition des outils de mesure précis leur permettant de mieux comprendre l'utilisation de leur énergie et de pouvoir ainsi mieux la maîtriser. On a ainsi vu apparaître toute une gamme d'équipements « *smart* » allant de la « *boîte intelligente* » au thermostat intelligent en passant par le compteur intelligent. Ces dispositifs indiquent aux clients en passe de devenir des « éco-consomm'acteurs » leurs consommations en temps réel (même si, pour le moment, l'énergie électrique bénéficie plus facilement de cette « intelligence énergétique particulière »). Ce levier devient un accélérateur d'optimisation de la performance énergétique, et cela peut se traduire par des comparaisons de consommations avec des groupes de consommateurs aux caractéristiques similaires, par une plus grande automatisation (désormais possible grâce aux « *smart boxes* ») ou encore par une attention redoublée portée à la performance de ses installations après investissements et/ou à ses comportements à ajuster en permanence en

(1) Il me paraît important de rappeler que nous utilisons aujourd'hui de l'énergie pour 7 raisons principales (sachant que ces utilisations se sont accrues, au fil du temps et du « progrès »). À des fins mnémotechniques, nous pouvons les classer par ordre d'apparition chronologique (différent de leur ordre d'importance dans notre budget énergie) de la façon suivante : la première utilisation de l'énergie dans une maison correspond à la cuisson (qui remonte au temps où les hommes ont découvert que la nourriture était meilleure cuite que crue !) ; les deuxième et troisième utilisations datent des Romains, qui inventèrent l'eau chaude sanitaire et le chauffage central ; la quatrième utilisation est l'éclairage (que nous daterons de l'invention de l'ampoule à incandescence, en 1879). Depuis, le rythme s'est accéléré. À partir des années 1960, les appareils électroménagers (au sens large de l'expression) peuvent être identifiés comme étant la cinquième utilisation de l'énergie et, enfin, la sixième utilisation concerne plus directement la révolution des années 1980, avec l'ensemble des NTIC (dans lesquelles, aux fins de la démonstration, nous engloberons les téléphones et les ordinateurs portables). L'on constatera, au passage, un phénomène d'électrification croissante de l'économie du fait d'appareils de plus en plus « électro-dépendants ». La septième utilisation concerne plus spécifiquement la mobilité.

(2) Comprendre le nouveau monde de l'Énergie 2.0, Myriam Maestroni, Éditions Maxima, 2015.

(3) Isolation des combles, des murs et des sols, changement de chaudière...



Photo © Moschetti-Technichanvre/REA

Pose de rouleaux de laine de chanvre pour l'isolation d'un atelier.

« Il faut également faciliter, le plus possible, l'obtention des aides à la rénovation énergétique, qui, bien sûr, doivent être par ailleurs logiquement assujetties à la bonne exécution des travaux répertoriés et réalisés par des professionnels qualifiés. »

fonction des saisons ou de l'évolution de la famille (pour ne citer que ces deux exemples).

Le quatrième levier – « Énergie 4.0 » – concerne l'auto-production et l'autoconsommation (qui peut également se concevoir en termes de stockage et/ou de revente d'électricité à un réseau électrique intelligent, un « *smart grid* »), permettant au consomm'acteur de devenir également producteur. Cette possibilité correspondant à des dispositions légales prises au cours de l'année écoulée suscite un certain engouement au niveau des particuliers et des collectivités locales.

La bonne nouvelle, c'est que la mobilisation autour de l'efficacité énergétique est intense et qu'elle se décline dans les différents secteurs de l'économie. Le logement est parmi ceux qui sont le plus impacté, avec un facteur 7 (réduction des consommations à atteindre), mais les secteurs de l'agriculture, de l'industrie, des bâtiments – publics et tertiaires – et, bien sûr, des transports sont tous concernés. La « chasse au gaspi » qui a marqué l'inconscient collectif dans les années 1970 n'a jamais été aussi réelle avec des stratégies d'action permettant un plus grand niveau de pertinence et d'effectivité, car, aujourd'hui, on n'a plus seulement des idées <sup>(4)</sup>, on a aussi des outils et des ressources, dont celles fournies par le numérique qui permettent d'accélérer et de massifier certaines approches. Bien entendu, cela facilite le passage à une nouvelle économie porteuse d'emplois et de croissance durable, qui vient doper un nouveau souffle d'esprit entrepreneurial (dont notre pays avait bien besoin).

La mauvaise nouvelle, c'est que l'objectif le plus ambitieux de la COP21 – qui a permis à notre pays de prendre un véritable *leadership* en matière de lutte contre le changement climatique – à savoir contenir la hausse de la température de notre belle planète Terre à un maximum de + 1,5 °C d'ici à 2100, sera difficile à atteindre. En effet, nous pourrions déjà avoir atteint cette hausse de température moyenne dès... 2022 !, selon les dernières prévisions du Service de météorologie britannique (*Met Office*).

Cette bien triste et alarmante illustration de l'état d'urgence dans lequel nous nous trouvons, nous oblige à redoubler d'efforts pour passer à un monde post-carbone.

Cela passe, sans aucun doute, par la réduction de nos consommations sur lesquelles nous avons tous le pouvoir d'agir. À l'efficacité énergétique devront s'ajouter les énergies renouvelables, les nouvelles ressources en matière de stockage d'énergie et de nouveaux vecteurs énergétiques (tels que l'hydrogène) et, probablement, les technologies naissantes en matière de décarbonation.

Le cadeau qu'est l'existence de la vie humaine sur notre planète mérite incontestablement une mobilisation allant bien au-delà de ce que nous croyons possible de faire.

---

(4) Clin d'œil au fameux slogan « En France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées ».

# Les grandes orientations sont tracées, il faut à présent les suivre

Par Jean BERGOUIGNOUX et Jean-Pierre HAUET  
Association Équilibre des énergies

Le secteur des bâtiments est responsable, en France, de 43 % des consommations finales d'énergie et de 31 % des émissions de CO<sub>2</sub>. Les énergies fossiles (gaz et fuel) sont à l'origine de 70 % de ces émissions. Il y a donc un effort considérable à entreprendre pour atteindre les objectifs de réduction des consommations et des émissions de gaz à effet de serre fixés par la loi relative à la transition énergétique.

Cette évolution ne se fera pas spontanément, des politiques publiques sont donc nécessaires pour orienter les décisions des investisseurs et des consommateurs. Mais le dispositif réglementaire, incitatif et fiscal, est aujourd'hui d'une trop grande complexité ; son efficacité est faible, car les signaux qu'il envoie ne correspondent plus aux priorités actuelles, en particulier à l'impératif de la décarbonation.

Face à cette situation, nous proposons ici de revisiter ce dispositif, en trois étapes : 1) tirer les conséquences des objectifs majeurs de la loi de Transition énergétique pour la croissance verte, 2) identifier et promouvoir des solutions performantes au regard de ces objectifs et, enfin, 3) mettre en place un dispositif approprié en matière d'incitations et de réglementations.

## Le bâtiment est devenu un objet de réglementation d'une grande complexité

Le secteur résidentiel et tertiaire est le secteur le plus gros consommateur en énergie de toute l'économie française : son poids dans la consommation finale d'énergie s'est accru au cours des récentes décennies, passant de 40 % en

1973 à 43 % en 2016. En revanche, les émissions de CO<sub>2</sub> qui lui sont imputables ne représentent que 31 % des émissions totales du pays, car l'électricité pèse beaucoup moins lourd dans le bilan des émissions de CO<sub>2</sub> que dans le bilan des consommations d'énergie (voir la Figure 1 ci-après).

Au sein du secteur résidentiel-tertiaire, les consommations du secteur résidentiel comptent pour 64 % du total.

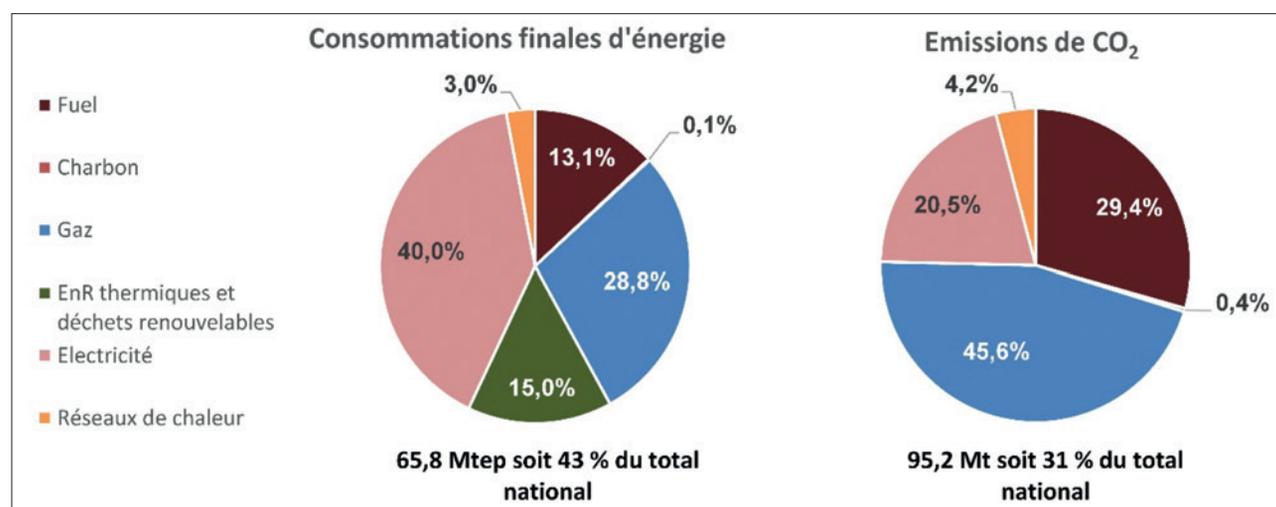


Figure 1 : Parts des différentes formes d'énergie dans la consommation finale d'énergie du secteur résidentiel-tertiaire (à gauche) et dans les émissions de CO<sub>2</sub> qui lui sont imputables (à droite) – Chiffres 2016 CVC, d'après les données du *Bilan énergétique de la France pour 2016*.

La facture énergétique liée au logement pèse donc lourd dans le budget des ménages, en particulier dans celui des ménages les plus modestes : 5,6 millions d'entre eux se trouvent aujourd'hui en situation de précarité énergétique au regard de l'un au moins des indicateurs retenus par l'Observatoire de la précarité énergétique <sup>(1)</sup>.

Il n'est donc pas étonnant que la consommation énergétique des bâtiments résidentiels – s'agissant en particulier des usages de base que sont le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la ventilation et l'éclairage – ait été depuis plus de 40 ans au cœur des politiques énergétiques des pouvoirs publics. Il s'agissait, après les chocs pétroliers de 1973 et de 1979, de « chasser le gaspi », de supprimer au plus vite les surchauffes et les pertes inutiles de chaleur. Ainsi sont nées les limitations de la température intérieure des logements à 20 °C (1974), puis à 19 °C (1979), et les règles de comptage individuel de l'eau chaude, puis du chauffage dans le cas où la fourniture est assurée collectivement au niveau de l'immeuble. En parallèle sont apparues les réglementations thermiques successives, qui ont considérablement renforcé les exigences en matière de construction, d'isolation et d'équipement énergétique des bâtiments neufs, les faisant passer du statut de « passoires thermiques » (logements consommant 300 kWh et plus d'énergie primaire par mètre carré et par an) à celui de logements sur-isolés consommant moins de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an (voir la Figure 2 ci-dessous et l'Encadré ci-contre).

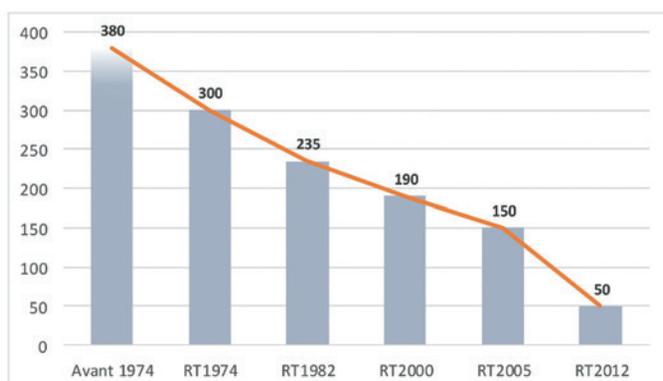


Figure 2 : Évolution des consommations des bâtiments neufs en fonction des réglementations thermiques successives (en kWh/m<sup>2</sup>/an).

Au fil des années, les préoccupations se sont diversifiées et de nouveaux impératifs se sont ajoutés au souci de l'efficacité énergétique. La loi relative à la Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) d'août 2015 les a précisés.

En premier lieu, l'objectif de la réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre retenu par la LTECV (d'un facteur 4 en 2050) a été traduit dans la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) par un objectif de réduction des émissions du secteur résidentiel-tertiaire de 87 %, entre 2013 et 2050 : ce qui conduit à une cible d'émissions de l'ordre de 3 kg eqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an en 2050, tous bâtiments confondus, neufs et existants, contre une moyenne de 23 kg en 2014. La LTECV a en outre élargi le

### Rappel sur la notion d'énergie primaire

La réglementation thermique des bâtiments reste formulée en énergie primaire, c'est-à-dire en agrégeant les consommations de gaz, de fuel, d'électricité, d'énergies renouvelables (EnR)..., après les avoir pondérées par des coefficients d'équivalence supposés représenter l'efficacité énergétique des chaînes de production de ces énergies.

Le coefficient de conversion des kWh électriques en énergie primaire, de 2,58, a été déterminé en 1972, à une époque où les moyens de production de l'électricité utilisaient essentiellement des énergies fossiles. Avec le développement du nucléaire, puis des énergies renouvelables, il est devenu inapproprié et constitue aujourd'hui un handicap considérable pour le développement des usages performants de l'électricité décarbonée.

Il est à noter que la loi relative à la Transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) a retenu dans ses objectifs le critère de l'énergie finale et non celui de l'énergie primaire.

concept de bâtiments à faible émission en spécifiant que ces derniers devaient être construits de manière à minimiser leur contribution aux émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble de leur cycle de vie, de leur construction jusqu'à leur déconstruction.

Dans la LTECV, a été également renforcée la volonté de développer l'utilisation des énergies renouvelables, de façon à ce que celles-ci assurent au minimum 32 % de la consommation finale d'énergie en 2030. Cette ambition conforte l'idée, apparue depuis un certain nombre d'années, de faire du bâtiment l'un des acteurs majeurs de la scène énergétique, non seulement au niveau des consommations, mais aussi au niveau de la production d'énergie. Dans la ligne de l'évolution retracée par la Figure 2, certains voudraient que les règles en cours de préparation pour horizon 2020 imposent une généralisation des « bâtiments à énergie positive » (des bâtiments censés produire plus d'énergie qu'ils n'en consomment). La LTECV a par ailleurs souhaité étendre ce concept à la notion de « territoires à énergie positive » qui s'inscrivent dans le cadre du mouvement de décentralisation des structures de production et de distribution d'énergie, territoires pouvant donner naissance à des « communautés locales d'énergie » plus ou moins autonomes.

Toutefois, la notion d'autonomie fait débat : est notamment posée la question du rôle joué par les réseaux électriques en soutien aux productions locales. La notion de bilan énergétique annuel est en effet loin de suffire à caractériser l'autonomie d'un bâtiment ; la question de la puissance garantie, souscrite à titre assurantiel auprès des

(1) Source : Observatoire national de la précarité énergétique (ONPE), « Les chiffres clés de la précarité énergétique », novembre 2016.

réseaux de distribution, devient dès lors un facteur primordial à prendre en considération.

Avec le développement de la mobilité électrique, cette question amène celle de la puissance et des conditions d'exploitation des infrastructures de recharge des véhicules électriques. L'intégration de bornes de recharge dans les environnements que constituent les réseaux routiers, les bâtiments et les quartiers devient un impératif essentiel, et la mobilité électrique, avec ses problèmes (impact sur la courbe de charge) et ses opportunités (capacité de stockage du kWh d'électricité dans les batteries des véhicules), s'invite dans le périmètre de la problématique de la gestion de l'énergie dans les bâtiments résidentiels et tertiaires.

Enfin, la transition énergétique n'est que l'un des aspects de la préoccupation de durabilité que reflète le concept de transition écologique : la gestion de l'énergie doit être couplée à celle de l'air, de l'eau, des ressources rares et des déchets.

La prise en compte de tous ces facteurs a entraîné une complexification croissante de la réglementation. Si la RT 2012 a généré plus de 1 000 pages de textes réglementaires, la réglementation 2020 risque d'aller bien au-delà, tout en recourant par ailleurs à des modélisations complexes transformant le bâtiment en véritable boîte noire occultant toute visibilité sur ses processus internes.

### Les résultats sont-ils au rendez-vous ?

À l'issue de deux décennies de complexification croissante des réglementations, il convient de faire un bilan de leur efficacité et, plus généralement, de toute l'action publique faite de réglementations, de politiques fiscales et d'incitations diverses.

Dans le secteur du bâtiment neuf, il est incontestable qu'au fil des années, la qualité des logements mis sur le marché s'est considérablement améliorée et que les professionnels de la construction ont su répondre aux défis qui leur étaient lancés. Toutefois, certaines limites apparaissent : avec la RT 2012, la qualité de l'air dans des logements sur-isolés, les « vols » de chaleur entre appartements, l'intolérance aux bruits internes... sont autant

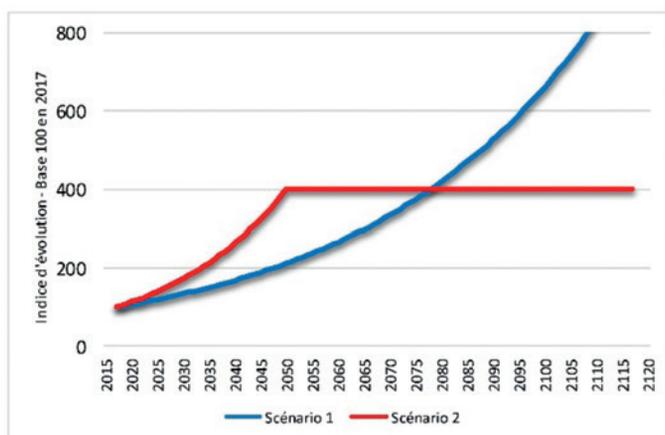


Figure 3 : Deux scénarios pessimistes de l'évolution du prix du gaz (contribution climat-énergie incluse).

de problèmes qui ont pris une importance qu'ils n'avaient pas auparavant.

Par ailleurs, il est patent qu'en termes d'isolation thermique, cette réglementation va bien au-delà de ce qu'il est possible de justifier économiquement. À la fin de l'année 2017, s'est posée la question de l'opportunité de renouveler la dérogation de 15 % dont bénéficient les logements collectifs dans le calcul de leur consommation d'énergie primaire maximale autorisée, fixée par conséquent à 57,5 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an au lieu de 50. Cette question a fait débat, mais les travaux de l'association Équilibre des énergies ont montré que, dans le cas d'un logement chauffé au gaz, il faudrait imaginer des scénarios de très fortes hausses du prix du gaz, taxe CO<sub>2</sub> comprise, pour justifier un supplément d'isolation entraînant un surcoût de la construction d'un seul pourcent. Or, la profession prédisait un surcoût de la construction d'au moins 5 % en cas d'abrogation (voir les Figures 3 et 4 ci-après).

Par ailleurs, la réglementation continue de s'appuyer sur le concept d'énergie primaire, sur la base du coefficient de conversion de 2,58 de l'énergie électrique en énergie primaire, coefficient calculé en 1972 (c'est-à-dire à une époque où la quasi-totalité des énergies primaires utilisées étaient des énergies fossiles). Aujourd'hui, alors que l'électricité est à 92 % d'origine nucléaire ou renouvelable, un tel coefficient n'a plus de sens. Il conduit à des inégalités de traitement entre les différentes formes d'énergie : il pénalise le recours à l'électricité, y compris sous ses formes les plus performantes. Il encourage en revanche les usages du gaz, qui a pris une position dominante (à plus de 75 % de parts de marché) dans le secteur du logement collectif (voir la Figure 5 de la page suivante), entraînant, pour des décennies, des émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 12,5 kg de CO<sub>2</sub> par mètre carré et par an, donc très supérieures aux 3 kg permis par la SNBC ; un plafond d'émissions que les solutions électriques permettraient de respecter, si elles n'étaient pas pénalisées par la réglementation.

Dans le même temps, ont été encouragées des approches techniques qui se sont révélées être des impasses : la micro-cogénération et les piles à combustible, un avantage excessif ayant été donné à la production locale d'électri-

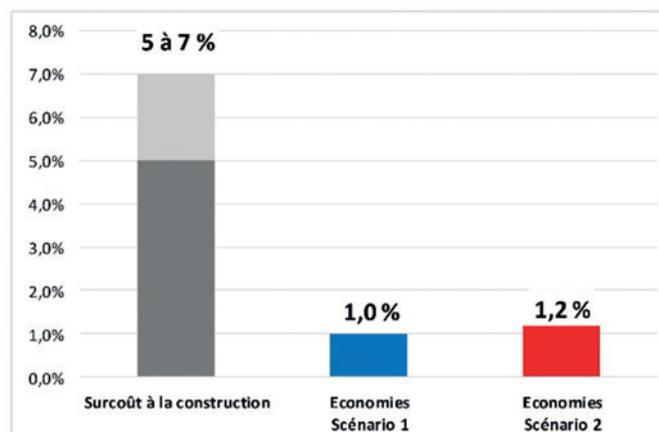


Figure 4 : Un supplément d'isolation en marge de la RT 2012 ne serait pas justifié au regard de coûts induits très supérieurs aux économies d'énergie que l'on pourrait en attendre.

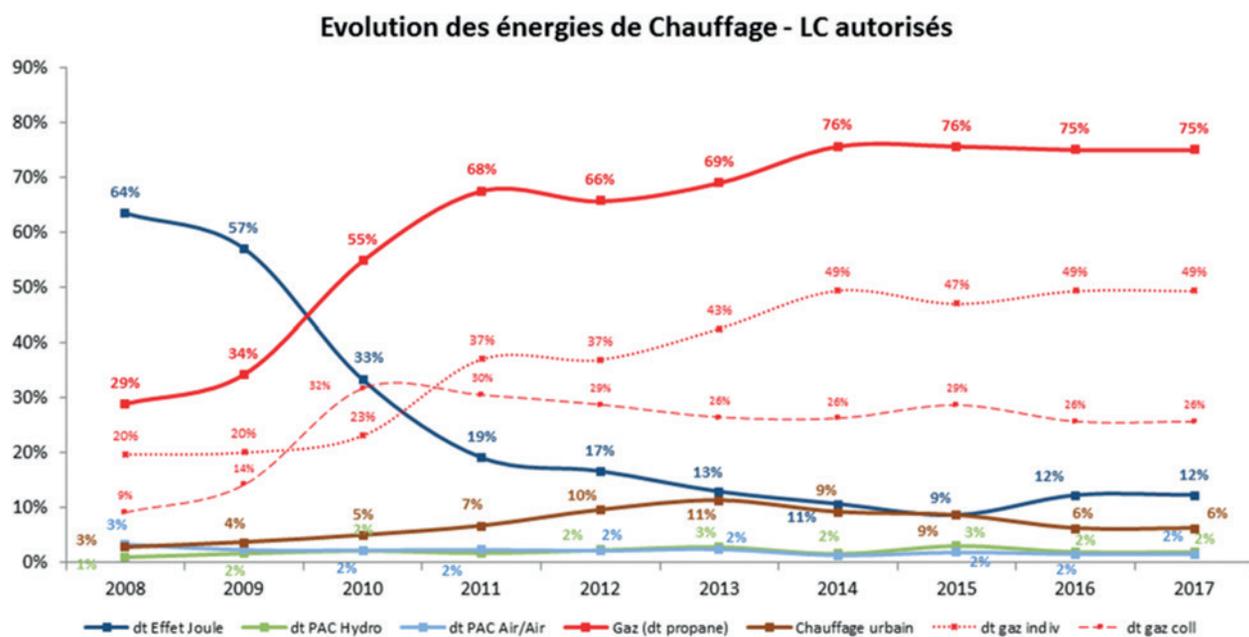


Figure 5 : Évolution des parts de marché des énergies de chauffage dans les logements collectifs neufs. Effet Joule : émetteurs électriques simples (convecteurs et radiateurs) ; PAC Hydro : pompes à chaleur utilisant de l'eau comme fluide caloporteur.

cité, alors qu'il n'était pas tenu compte, dans la réglementation (comme c'est le cas pour le bois et les réseaux de chaleur), du contenu décarboné de l'électricité distribuée par le réseau.

Dans le domaine des bâtiments existants, la situation est plus critique. En effet, le rythme de renouvellement des logements est de 100 ans environ et l'état du patrimoine immobilier de la France est médiocre. Les objectifs résultant de la LTECV et de la SNBC sont très ambitieux : -87 % d'émissions de CO<sub>2</sub> et -50 % (environ) de consommation finale d'énergie. La Figure 6 ci-après montre que la trajectoire suivie au cours des dernières années n'est pas en ligne avec ces objectifs : les consommations finales d'énergie évoluent peu (situation observée depuis de

nombreuses années) et les émissions de CO<sub>2</sub> ne baissent pas à un rythme suffisant, même si la transition du fuel vers le gaz et vers le bois permet d'obtenir des résultats appréciables. Les tout derniers chiffres publiés en janvier 2017 sont même beaucoup plus pessimistes et font état, pour l'année 2016, d'une remontée des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur résidentiel et tertiaire, lesquelles seraient aujourd'hui supérieures de 11 % à ce que prévoit la trajectoire de la SNBC !

Cette situation est évidemment liée non seulement à l'insuffisance des investissements réalisés, mais aussi à un fléchage de ces investissements en direction d'objectifs qui ne correspondent plus aux priorités nouvelles de la transition énergétique.

Tout le système réglementaire et incitatif reste, dans l'habitat existant comme dans l'habitat neuf, axé sur les économies d'énergie primaire, alors que le critère « émissions de CO<sub>2</sub> » est encore quasiment ignoré, bien qu'il ait été introduit, dès 2006, dans la réglementation. Par le jeu du coefficient de conversion en énergie primaire, un logement ancien, chauffé initialement à l'électricité mais passant au gaz, pourra se réclamer d'économies d'énergie primaire substantielles et pourra donc bénéficier des aides correspondantes, même si cette conversion s'accompagne de gestes de rénovation thermique minimaux et d'une détérioration de son bilan en CO<sub>2</sub>. Dans le même temps, les solutions performantes d'utilisation de l'électricité (pompes à chaleur double service et radiateurs évolués associés à une production d'eau chaude thermodynamique) sont handicapées dans leur développement.

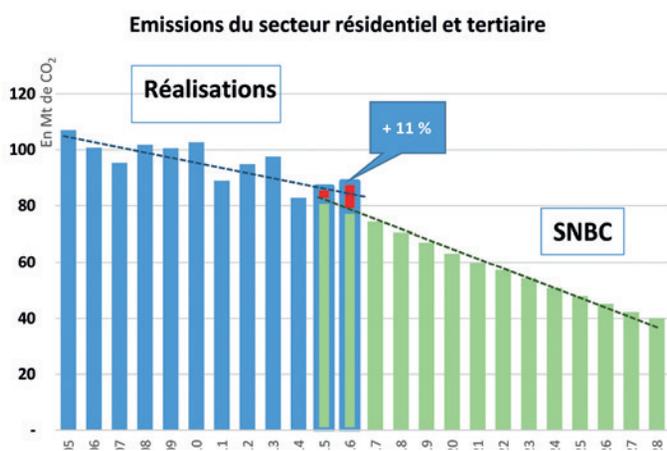


Figure 6 : Évolution des émissions de gaz à effet de serre du secteur résidentiel et tertiaire. Comparaison entre les émissions réelles et les émissions prévues par la SNBC. Source : Indicateurs de résultats de la SNBC (janvier 2018).

## Quelles solutions encourager, et de quelle manière ?

Face à ce bilan mitigé, nous pensons qu'il faut infléchir et renforcer les politiques publiques afin que le bâtiment trouve toute sa place dans la transition énergétique. Cela suppose une action en trois temps.

### 1) Tirer les conséquences des objectifs majeurs de la loi de Transition énergétique pour la croissance verte, à savoir :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 ;
- réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012, en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030.

L'énoncé de ces objectifs signifie clairement que, désormais :

- les consommations des différentes énergies et les économies que l'on s'efforcera de promouvoir devront être exprimées en énergie finale et non en énergie primaire ;
- les économies d'énergie ne suffiront pas, à elles seules, à réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre. Il faut donc développer massivement l'usage des énergies décarbonées, en particulier en substitution aux énergies fossiles.

### 2) Identifier et promouvoir les solutions performantes au regard de ces objectifs

Elles sont à notre avis de cinq natures complémentaires :

- veiller, tout en restant dans des limites économiquement acceptables, à la qualité intrinsèque du bâti, laquelle conditionne les performances de celui-ci pour des décennies ;
- utiliser des indicateurs de performance énergétique exprimés en énergie finale ;
- privilégier, pour la satisfaction des besoins, les vecteurs énergétiques décarbonés, c'est-à-dire l'électricité, le

bois et les réseaux de chaleur alimentés en énergies renouvelables. L'électricité est sans doute celui qui offre pour l'avenir le maximum de flexibilité et qui permet aussi de recourir le plus facilement aux solutions hybrides ;

- tirer parti des technologies numériques par une gestion active de l'énergie permettant de réaliser à faible coût des économies substantielles. Il a ainsi été démontré que des radiateurs connectés assortis de capteurs de présence et pilotés de façon adaptée permettaient, pour une dépense très modique, de réaliser des économies de 30 à 45 % sur la facture d'électricité. C'est le moyen le plus efficace de redonner du pouvoir d'achat aux ménages en précarité énergétique. C'est également une voie qui, dans du neuf bien isolé, *a fortiori* si elle est couplée à une eau chaude sanitaire produite par voie thermodynamique, offre d'excellentes performances énergétiques et environnementales ;
- valoriser les complémentarités entre le bâtiment et son environnement. On pense, en premier lieu, aux synergies qui peuvent exister entre des logements et des bâtiments à usage industriel ou tertiaire pour tirer le meilleur parti possible des énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire ou la méthanisation des déchets et des produits agricoles. Le développement des véhicules électriques et des infrastructures de recharge offre également de nouveaux espaces de synergie, qu'il convient d'exploiter. En effet, les batteries des véhicules électriques, en usage mobile ou installées à demeure, offrent, dans le cadre d'une seconde vie, des perspectives très intéressantes quant à leur utilisation en tant qu'éléments de régulation des réseaux électriques – à l'instar de ce qui a été fait pour les chauffe-eau électriques –, mais, cette fois, avec des possibilités d'échanges bidirectionnels, notamment en les utilisant comme facteur de lissage des énergies renouvelables non pilotables (l'énergie solaire, en particulier) par des restitutions au réseau, en périodes de pointe, de l'énergie stockée en périodes de faible sollicitation (voir la Figure 7 ci-dessous), mais aussi comme moyen de stabiliser la fréquence sur les réseaux.

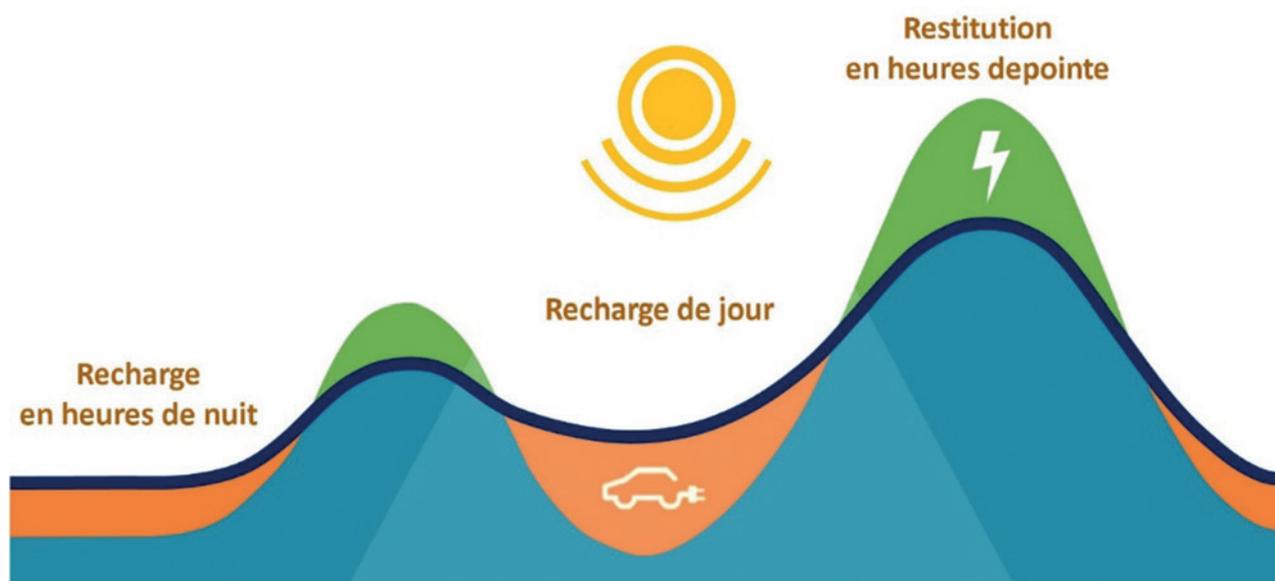


Figure 7 : Mode de gestion active des infrastructures de recharge de véhicules électriques.

Couplées à la gestion optimisée des bâtiments, les infrastructures de recharge des batteries des véhicules électriques pourraient ainsi devenir un instrument efficace d'aide à l'insertion des énergies renouvelables dans les réseaux électriques.

### 3) Mettre en place un dispositif incitatif et réglementaire approprié

Comme nous l'avons vu précédemment, les politiques publiques reposent aujourd'hui sur des critères hérités du passé, qui sont désormais dépassés face aux impératifs de la transition énergétique. C'est une réforme en profondeur qu'il faut entreprendre pour adapter l'arsenal réglementaire, incitatif et fiscal, aux nouveaux objectifs et pour faire en sorte que soient privilégiées les actions les plus efficaces.

Cela passe par la réforme du diagnostic de performance énergétique (DPE) des bâtiments, qui devrait être reformulé en retenant les deux critères que sont l'énergie finale et les émissions de GES et, surtout, en donnant à ces deux critères la même importance. Aucune incitation ou aucun financement particulier ne devrait désormais être accordé au bénéfice d'actions qui amélioreraient un critère sans être simultanément bénéfique à l'autre, et ce, dans des proportions comparables.

Plutôt que de chercher à imposer des niveaux d'isolation toujours plus élevés, il serait préférable que les réglementations incitent à tirer parti des technologies numériques au moyen d'une optimisation aussi poussée que possible de la gestion des énergies.

S'agissant de l'électricité, il faut, en particulier, que la tarification, lorsqu'elle relève de la compétence de la puissance publique, prenne en compte les problématiques nouvelles et qu'elle encourage notamment les dispositions visant à limiter les puissances souscrites sur les réseaux et à développer les solutions d'écrêtement ou de stockage. Le compteur électrique Linky est un outil exceptionnel dont le consommateur doit pouvoir tirer parti sous la forme d'une meilleure connaissance de ses consommations et en usant de ce moyen pour les optimiser dans le cadre d'une tarification appropriée. On attend donc tant des organismes chargés de la régulation des réseaux que des fournisseurs d'énergie qu'ils prennent les initiatives nécessaires pour ouvrir, au profit du consommateur, de nouveaux espaces de flexibilité pour lui permettre de retirer un bénéfice tangible de la transition énergétique.

# Le bâtiment, entre idéal et réalité : les facteurs clés du succès de la transition énergétique

Par Étienne CRÉPON

Président du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

et Hervé CHARRUE

Directeur général adjoint du CSTB et directeur Recherche et Développement du CSTB

Acteur majeur du changement climatique, révélant des interactions multiples avec le système urbain, le bâtiment peine cependant à concrétiser sa nécessaire mutation. Trois raisons à cela : 1) le parc, ancien, est peu ou mal connu ; 2) les innovations restent sectorielles, incrémentales, et faiblement systémiques, et, enfin, 3) la capacité de production du secteur et la qualité de celle-ci restent insuffisantes au regard des objectifs de rénovation 2050 et des performances escomptées.

On peut identifier trois axes majeurs pour une rénovation du parc bâti qui soit massive, performante et intégrée, visant l'optimisation du système urbain dans ses différents usages : l'installation d'un observatoire de l'existant et du neuf pour identifier les besoins d'innovation spécifiques qu'appelle un usage efficient dudit parc ; une évaluation des performances socioéconomiques et techniques réelles de la rénovation aux échelles du bâtiment, du quartier et de la ville durables ; et, enfin, le développement d'une approche industrielle allant des composants et des systèmes jusqu'au bâtiment, dans l'optique de l'accroissement de la performance économique des acteurs du secteur, de la qualité et de la performance des réalisations, de l'instauration d'une filière professionnelle revalorisée et donc attractive. La transition numérique, *via* le traitement de la donnée (dans son acception la plus large), le développement d'outils d'analyse, de simulation, d'optimisation, de formation... – tous numériques –, est l'innovation de rupture que le secteur se doit de ne pas manquer, sans pour autant perdre ce qui est son essence même, à savoir : sa capacité d'adaptation dans la durée, une capacité de résilience qui est le gage de sa pérennité.

**E**n France, le secteur du bâtiment représente 43 % de l'énergie consommée (avec 69 Mtep) et 20 % des émissions de gaz à effet de serre (soit plus de 88 MteqCO<sub>2</sub>). C'est avec les transports, un des secteurs clés de la transition énergétique dans la réponse au réchauffement climatique. Avec un taux d'urbanisation de 80 % et une démographie parmi les plus dynamiques d'Europe, ainsi qu'une mobilisation croissante des ressources, le bâtiment français et son environnement urbain sont donc plus que jamais au cœur des problématiques sociologiques, économiques et techniques du XXI<sup>e</sup> siècle.

Une modification radicale dans la perception des impacts du changement climatique a conduit l'ensemble de la société à réinterroger les principales contributions et interactions des différents composants de l'urbain au regard

des usages – bâtiment, mobilité, réseaux énergie-eau-déchets... – et des aspirations des citoyens dans ces différents domaines.

Avec plus de 80 % de notre existence passés à vivre dans des bâtiments, le parc construit (environ 3 milliards (Mds) de m<sup>2</sup> pour 34,5 millions de logements et 1 Md de m<sup>2</sup> de bâtiments à usage tertiaire) est au cœur de bon nombre de préoccupations que ce soit en termes de social (accession au logement, mixité sociale, aménités urbaines, services), d'adaptabilité aux cycles de vie et d'activité des usagers (parcours résidentiel, connectivité, vieillissement), d'économie (foncier, coût d'exploitation, patrimoine), mais aussi, tout autant, de santé (acoustique, qualité de l'air), de bien-être (qualité de vie, biodiversité, transports) et de réduction des impacts énergétiques et environnementaux

(économies d'énergie, impact sur les ressources naturelles, économie circulaire, énergies renouvelables...).

Plus question donc de penser le bâtiment comme un composant isolé et quasi indépendant d'un système urbain et périurbain, dans lequel il s'inscrivait trop souvent selon une conception très locale et non connectée. L'heure est à une approche systémique et transversale, rendue aujourd'hui possible par l'évolution du numérique et de l'information, pour peu que l'on sache concilier deux approches : celle du bâtiment conditionné dans beaucoup de ses dimensions par le temps (pour sa durée de réalisation, sa résilience, sa robustesse, sa longévité, son adaptabilité, et ce, tout au long du cycle de vie des usagers), et celle, plus actuelle, de l'instant et de l'individualisation associés à l'ère digitale. Le défi est donc bien de conjuguer toutes ces composantes, aux différentes échelles temporelles pour les optimiser au travers à la fois de leur mutualisation et de leur individualisation.

Pour ce qui relève de l'énergie, cette vision systémique doit permettre de répondre aux enjeux d'adaptation de la production, de la consommation et du stockage pour les différents usages, aux échelles du bâtiment lui-même, de l'îlot, du quartier, de la ville et du territoire. Elle se traduit partiellement par l'approche *smart grid*, laquelle est basée sur un couplage entre une énergie mutualisée/distribuée et un stockage rendu indispensable par l'intégration potentielle et programmée des énergies renouvelables, des co-productions et de récupérations d'énergie-chaleur dans une mixité des réseaux tertiaire-logement et d'une synergie bâtiment-mobilité à venir.

Cet ensemble met en perspective un gisement d'économies potentielles sans commune mesure avec celles issues d'approches uniquement sectorielles. Cela nécessite néanmoins que les besoins en énergie et les différents usages qui en sont faits soient connus et pris en compte, et ce, à différentes échelles spatiales et temporelles. Il importe dès lors de s'engager concomitamment et de manière non exclusive sur les voies de la réduction des consommations, de productions faiblement carbonées, d'une optimisation de la demande, des réseaux et des mix énergétiques, et ce, sans qu'il y ait décroissance dans les usages.

Ces préoccupations trouvent une résonance toute particulière dans la structure même du parc bâti existant, que l'on peut qualifier d'ancien.

Mais même avec un taux de renouvellement d'environ 1 % (logement + tertiaire) et même s'il affiche environ 130 Md€ de chiffre d'affaires annuel, mobilise plus de 1,4 million d'acteurs et représente plus de 7 % du PIB, le secteur du bâtiment apparaît en tension permanente. Alors que les attentes tant politiques que citoyennes sont fortes face aux objectifs et aux échéances définis aux niveaux national et européen, notamment en termes d'énergie et d'environnement, l'ensemble du secteur peine à s'organiser et à s'engager en conséquence. Pourquoi ?

## Une méconnaissance du parc des bâtiments, ainsi que des usages et comportements associés

Certes, des données statistiques existent : localisation, typologie, années de construction, consommations, usages, revenus... Mais la nature même et la répartition du parc, notamment pour le logement (56 % individuel, 44 % collectif ; 62 % de propriétaires), restent un frein structurel à la production d'informations détaillées directes ou indirectes, tant techniques que relatives à l'usage, d'une part, du fait du processus de construction lui-même, lequel, entre les acteurs des phases de conception, de réalisation et de gestion, laisse peu de place à une traçabilité centralisée et effective de la réalité de chaque bâtiment, et, d'autre part, (principalement pour les usages) du fait de limitations liées à la protection de la vie privée.

L'historique des évolutions d'un bâtiment, et plus encore pour ce qui est du logement en secteur privé, reste peu voire pas du tout documenté, à l'exception du tertiaire et du logement social, qui relèvent plus d'une logique de gestion de patrimoine. Cependant, les bâtiments sont tous organisés autour de composants passifs d'enveloppe à la fois structureaux, d'isolation thermique, d'isolation acoustique ou d'étanchéité, et de systèmes actifs, comme les équipements de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de ventilation et d'éclairage. Mais du fait des spécificités des bâtiments – typologie, géolocalisation – et de celles des acteurs individuels – de par leur capacité d'endettement, sans parler de leur engagement citoyen –, il est difficile de spécifier un ensemble de solutions qui soit adapté à la rénovation de chacun d'entre eux, au-delà d'une approche générale.

Cela a un impact à la fois sur l'équation économique qui ne peut s'appuyer sur une logique de massification permettant une réduction des coûts, mais aussi, et surtout, sur la réalité des performances *in fine* des constructions réalisées, en particulier des performances relevant de l'énergie, et ce, tant en rénovation qu'en neuf. Celles-ci, malgré les réglementations, restent aujourd'hui, sur le plan énergétique, très en deçà des objectifs visés du fait d'erreurs de conception ou de mise en œuvre, ainsi que (mais dans une moindre mesure) d'usages inappropriés. Seule une véritable approche performantielle, avec, à terme, une obligation de résultat, conduira à une mutation radicale par rapport à la situation actuelle.

L'observation des parcs ancien et neuf, avant et après rénovation ou réalisation, doit permettre d'identifier les solutions les mieux adaptées aux conditions d'usage locales/globales du bâtiment dans son environnement urbain, et ce, dans un contexte économique adapté.

Le passage à l'ère numérique est en ce sens une réelle opportunité, mais elle reste un grand défi pour le secteur. En permettant de structurer des données effectives relatives à la description de chaque bâtiment en tant qu'ensemble

technique, en y surimposant des données d'usages tant sociologiques et comportementaux qu'économiques..., il permettra d'avoir une vision transversale nécessaire à l'optimisation multicritères. Basée sur un ensemble d'outils de simulation appropriés, celle-ci rendra possible l'accompagnement des acteurs publics et privés dans une amélioration de leurs plans d'aménagement et de rénovation, ainsi que des systèmes de financement et d'aide associés.

Mais encore faudra-t-il que les solutions technologiques, organisationnelles, économiques et juridiques supportées par l'innovation (au sens large de ce terme) le permettent réellement.

### Une capacité limitée en matière d'innovations de rupture, à laquelle s'ajoutent des contraintes en constante évolution

Avec environ 0,1 % consacré à la R&D, pour un chiffre d'affaires d'environ 130 milliards d'euros, en l'absence d'intégrateur, et étant constitué, en dehors des quelques grands groupes de construction, en quasi-totalité de TPE-PME, le secteur du bâtiment reste économiquement atypique. Même s'il existe un nombre important d'innovations qu'accompagnent les différentes politiques de développement aux niveaux régional, national et européen, force est de constater qu'elles restent, le plus souvent, incrémentales. Au-delà de l'actualité du digital, elles n'ont, pour la majorité d'entre elles, que peu intégré la nécessité de leur interopérabilité au sein d'une chaîne de valeur optimisant à la fois des composants passifs et des composants actifs, et ce, à l'échelle locale du bâtiment et/ou à celle, mutualisée, de l'îlot urbain ou du quartier.

Et c'est très certainement dans ce cadre que la perspective de synergies positives, notamment énergétiques, est la plus prometteuse, pour peu que l'on rapproche cette orientation d'une connaissance améliorée du parc et de ses usages. Aussi la description des bâtiments dans le cadre du processus *Building Information Model* (BIM), constitue-t-elle une base de données structurante pour le secteur. Couplée aux outils de simulation multi-échelles, elle permet de simuler le comportement du bâtiment soumis à différentes sollicitations et d'accompagner efficacement le développement de solutions innovantes.

La différenciation entre le neuf et l'ancien continue néanmoins à conditionner la démarche. D'un côté, le neuf, très précisément décrit, peut apparaître comme un composant permettant, dès la conception, la prise en compte des contraintes induites par l'intégration aux échelles de l'îlot, du quartier ou de la ville. De l'autre, l'ancien, par sa diversité et sa faible caractérisation, doit pouvoir être amélioré et intégré aux systèmes de management de l'énergie sans surcoût rédhibitoire, idéalement au moyen de solutions industrialisées. En cela, la réduction des consommations par le recours à des composants passifs (isolation, ouvrants, sol) reste la solution prioritaire, tout en y couplant de manière coordonnée les évolutions des technologies de production de chaleur, de froid et d'eau chaude sanitaire, et les technologies de ventilation.

Néanmoins, le paysage des innovations reste contrasté, ne faisant le plus souvent qu'intégrer et adapter les avancées de secteurs connexes, comme le BIM, et encore tardivement. Mais toutes les innovations, en s'inscrivant dans des échelles bien plus larges, conduisent à revisiter les cadres réglementaires, que ce soit en termes de sécurité (incendie, stabilité structures), de santé (qualité de l'air, acoustique), d'énergie, d'environnement, d'économie et, plus particulièrement, le volet juridique (lequel est aujourd'hui « orphelin » en termes de recherches menées sur ce secteur). Même si bon nombre de problématiques sont en attente de solution innovante quant à leur intégrabilité, numérique en particulier, et nécessitent donc des investissements dans la R&D, il importe qu'*in fine*, une véritable réflexion de politique industrielle soit engagée quant aux choix de solutions devant être effectivement promues de manière massive.

Pour ce qui relève de l'énergie à l'échelle du bâtiment, et ce, pour les matériaux de construction et les composants passifs, les technologies de production sont souvent matures (ou tout au moins identifiées). Toutefois, les approches combinées de transposition/substitution de constituants, ou de modification de *process* sous contraintes énergétiques, environnementales (gaz à effet de serre, polluants, eau) et sanitaires, ainsi que de disponibilité de la ressource, conduisent à réévaluer les caractéristiques des produits quant à leur intégration dans les différents systèmes constructifs. L'émergence rapide de produits issus de l'économie circulaire qui, au-delà de la réutilisation de composants ouvrant la voie aux matières premières secondaires issues de secteurs industriels connexes, pose la question des risques sanitaires potentiels, du fait d'une faible traçabilité de leur composition physicochimique à l'échelle micro (présence de nanotubes de carbone, de fibres d'amiante...).

Pour ce qui concerne les équipements de production de chaleur, les chaudières à haute performance (à condensation, à basse température) sont en limite haute et doivent laisser la place aux technologies des pompes à chaleur, de micro-cogénération, au gaz biomasse et aux piles à combustible stationnaires. Le développement de réseaux de chaleur à l'échelle d'un quartier couplés à ces dernières solutions dans une logique d'échanges énergétiques reste à évaluer tant sous l'angle de la disponibilité de la ressource et des services rendus que sous celui de l'équation économique globale. Les pompes à chaleur restent d'un coût très élevé, en particulier pour la rénovation. L'industrialisation de technologies innovantes devrait permettre une forte pénétration de ce type de solution, notamment les applications géothermiques en ce qui concerne la capacité chauffage/refroidissement.

En matière d'énergie spécifique, les innovations à venir seront le fait de l'industrie électronique : dans leur grande majorité, elles sont basées sur une réduction notable des consommations. Cependant, le bénéfice qui peut y être associé a tendance à être annulé par une modification des comportements basée sur la multiplication des équipements (produits bruns, blancs, multimédia...) et par un effet rebond pour les solutions en production-autoconsommation.

À l'échelle des systèmes bâtiment-quartier-ville, où se situe l'enjeu de l'optimisation énergétique, le développement de solutions de production d'énergie renouvelable couplées aux réseaux d'énergie et de mobilité devra prendre en compte les différents gisements ainsi que les énergies fatales, en fonction des intermittences et des solutions de stockage associées, renouvelables et non renouvelables. Cependant, il conviendra de faire en sorte que les potentiels des solutions solaires et éoliennes à l'échelle urbaine ne soient pas surestimés du fait de leur forte dépendance à la surface, donnée antinomique avec la logique de densification urbaine. Quoi qu'il en soit, l'optimisation de la gestion de la demande d'énergie (vs celle de la production et du mix énergétique) reste un des enjeux majeurs de la recherche, car elle est au cœur de la transversalité technologies-usages-économie.

### Une capacité de production insuffisante pour atteindre les objectifs 2050 de rénovations et de constructions neuves

Avec environ 8 millions de rénovations de logements existants, soit 20 fois plus que la production de logements neufs (375 000 à 400 000), dont plus de 38 % (~ 3 millions) ont un impact sur les consommations énergétiques, on pourrait penser que la dynamique de rénovation du parc est engagée. Mais une analyse détaillée montre que les rénovations énergétiques, notamment pour le logement individuel, mais aussi pour le logement collectif, ne sont pas complètes, étant trop dispersées entre les différentes composantes – isolation des murs, des planchers, des toitures, ouvrants, chauffage, eau chaude sanitaire et ventilation. En effet, la dépense moyenne est d'environ 5 000 € par logement, alors qu'avec une surface moyenne de 91 m<sup>2</sup>, la dépense totale évolue entre 300€ m<sup>2</sup> et 600€ m<sup>2</sup>, soit 5 à 11 fois plus, suivant le niveau de performance visé. Si l'on s'essaie à une comparaison moyennée par rapport à la dépense totale, chaque année la rénovation énergétique partielle de 38 % des 8 millions de logements correspondrait à la rénovation énergétique complète de 380 000 logements, ce nombre équivalant à la production dans le neuf, soit un peu plus de 1 % du parc. Mais avec des différences significatives : la rénovation est généralement effectuée en site occupé, son intensité en main-d'œuvre est moindre, mais les coûts d'intervention sont plus élevés, et l'insuffisante solvabilité des ménages, malgré les politiques d'aides de l'État, ne permet pas à une majorité de ceux-ci d'engager la totalité de la dépense nécessaire à la rénovation.

En surajoutant à la production actuelle l'orientation vers + 500 000 logements rénovés/an, et en prenant en compte la qualité relative des réalisations en regard des performances effectives, il apparaît clairement que la capacité de production ainsi que le niveau de qualification nécessaire à cette ambition font aujourd'hui cruellement défaut. Que ce soit dans l'activité telle qu'elle existe aujourd'hui, mais plus encore dans la perspective de la généralisation du processus BIM, qui ouvre la voie à la mutation numérique des différentes spécialités. Les outils numériques seront, à n'en pas douter, un élément clé de la formation aux métiers existants et à venir en permettant d'adapter l'apprentissage à des populations souvent en rupture par rapport à l'enseignement traditionnel. Même si les formations de haut niveau visant l'interconnexion entre les différentes technologies se développent, il faut que les fonctions principales, pour ne pas dire historiques, du bâtiment soient revalorisées et rendues ainsi plus attractives afin d'assurer le niveau de performance escompté.

En résumé, on rappellera ce que sont, pour le secteur du bâtiment, les trois axes et les facteurs clés associés garantissant le succès de la transition énergétique : une connaissance des usages et un suivi généralisé du parc, un accompagnement des innovations tant passives qu'actives, dans leur formulation et dans leur évaluation en termes d'impact sur le bâtiment intégré au système urbain tant du point de vue énergétique qu'environnemental, mais aussi sociologique et économique, et une formation des acteurs adaptée à l'évolution du bâtiment et des technologies qui y sont associées.

L'ensemble de ces objectifs passent par une intégration, dans toutes les phases du processus constructif (conception, réalisation, gestion, formation), des composantes numériques au sens large, que ce soit la donnée, mais plus encore la simulation numérique, la réalité virtuelle, et ce, grâce à une industrialisation effective des différents composants et systèmes allant jusqu'au bâtiment lui-même (production *off site*, *on site*) et conduisant à un niveau de qualité optimal grâce à la formation des divers acteurs aux technologies et aux nouveaux modes et structuration de la construction qu'ouvre l'ère numérique.

Situé en bout de chaîne, le bâtiment, ce composant majeur pour l'énergie et l'environnement, est par définition un intégrateur. Certes, il évolue lentement, mais les interconnexions à l'échelle urbaine sont inéluctables, et il saura s'adapter en conséquence. Faisons tout pour qu'il accélère son évolution...

# L'innovation dans le secteur du bâtiment dans les programmes européens de financement de la R&D

Par Antoine DUGUÉ et Germain ADELL  
NOBATEK/INEF4

La recherche financée dans le cadre de l'Union européenne est structurée par les programmes cadres, et également, depuis 2009, par quelques partenariats public-privé contractuels organisés autour de l'industrie et de toute sa chaîne de valeur. Le PPP Energy Efficient Buildings, géré par l'ECTP (European Construction Technology Platform), porte un programme spécifique au « bâtiment ». Cet instrument est encadré par des feuilles de route coconstruites par toutes les parties prenantes, ce qui assure la pertinence des priorités de recherche et des thèmes des appels à projets annuels. Ceux-ci, très compétitifs, représentent des opportunités majeures pour le développement des nouvelles technologies et pour leur validation dans le cadre d'opérations pilotes, partout en Europe. Cette activité est tout autant nécessaire au maintien de la compétitivité européenne qu'elle est structurante, en visant l'objectif de l'excellence. NOBATEK/INEF4, l'Institut pour la transition énergétique (ITE) de la construction durable en France, est un des acteurs majeurs de ce PPP, et ses projets coordonnés sont des exemples des thématiques prioritaires, ces dernières années.

**A**u sein de l'Union européenne, les bâtiments sont responsables de 40 % de la consommation d'énergie et de 36 % des émissions de gaz à effet de serre. Si le secteur de la construction est résolument engagé sur la voie impérieuse de la décarbonation de l'économie d'ici à 2050 – en réduisant ses émissions de CO<sub>2</sub> d'au moins 80 % et sa consommation d'énergie jusqu'à 50 % –, le taux de remplacement du parc immobilier existant reste trop faible (1-2 % par an). De ce fait, l'accélération de la réhabilitation des bâtiments existants est une urgence. Dans le même temps, s'attaquer à ce problème offre une opportunité unique pour la croissance durable des entreprises, à la condition que les produits et les services connexes, à la fois pour les bâtiments neufs et les bâtiments réhabilités, soient abordables, non intrusifs et de qualité durable, conformément aux directives européennes. Pour ce faire, la recherche et l'innovation sont des éléments indispensables, notamment pour l'industrie de la construction qui présente, encore plus en Europe, un taux d'investissement en R&D parmi les plus faibles<sup>(1)</sup>.

## Le financement de la recherche européenne par les programmes cadres

Depuis la création de la Communauté européenne, en 1957, l'idée de soutenir la recherche et l'innovation à

l'échelle européenne a toujours été centrale. Ainsi, les programmes cadres (PC) ont été mis en place à partir de 1984 pour devenir les principaux instruments de la politique de la recherche dans l'Union. Les institutions européennes ont alors convenu de consacrer des ressources financières à ce nouvel instrument politique, dont le budget est passé au fil des ans de 3,75 milliards d'euros (pour le PC1) à presque 80 milliards d'euros pour Horizon 2020 (le PC8). Le lancement de ce dernier, qui est structuré autour de l'excellence scientifique, de la primauté industrielle et des défis sociétaux, est un marqueur d'une évolution encore plus importante que celle impulsée par les précédents PC vers la recherche appliquée, la prise en compte de l'impact des projets et la mise sur le marché des innovations. H2020 se démarque aussi par sa volonté de simplifier son fonctionnement, en particulier ses règles de financement, de manière à faciliter l'accès des PME au dispositif (un objectif de 20 % de financements orientés vers les PME est visé). H2020 reste néanmoins un instrument très sélectif visant l'excellence, avec des taux de réussite assez bas, qui tournent, ces dernières années, autour de 8-10 % pour le domaine qui nous intéresse ici, à savoir les re-

(1) Source : "The 2016 EU Industrial R&D Investment Scoreboard", European Commission, JRC/DG RTD, 2016.

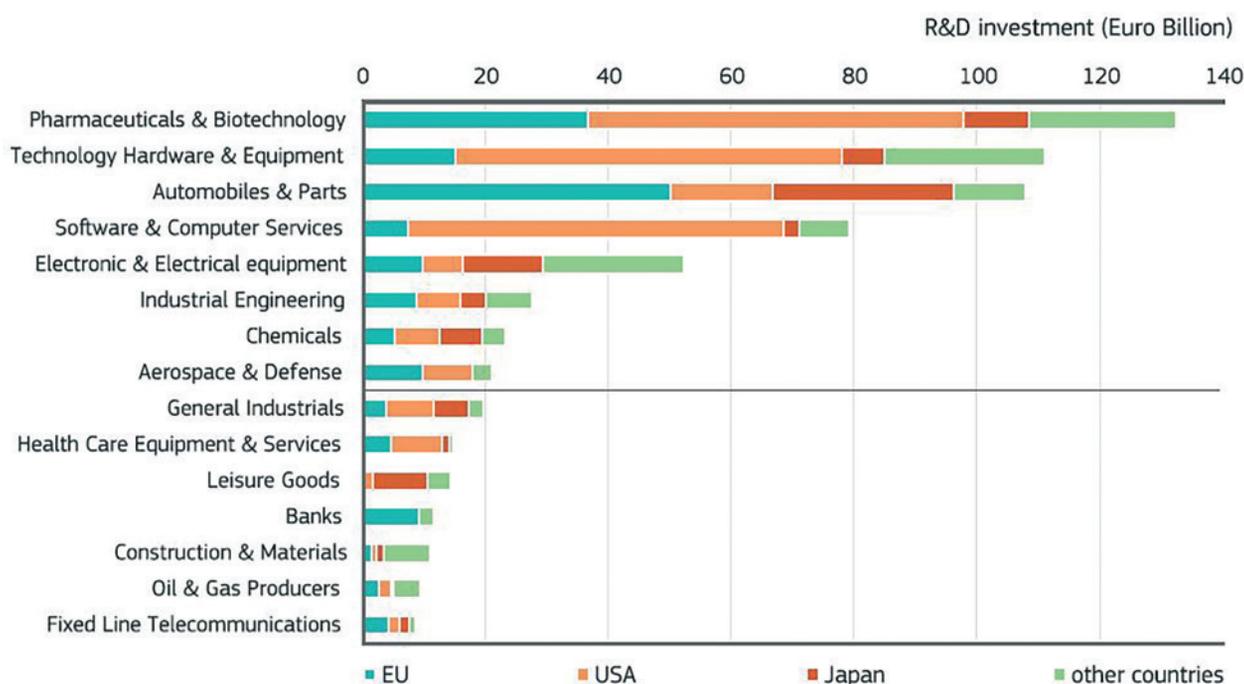


FIGURE 3.1 - R&D RANKING OF INDUSTRIAL SECTORS AND SHARE OF MAIN WORLD REGIONS FOR THE WORLD'S TOP 2500 COMPANIES.  
Source: The 2016 EU Industrial R&D Investment Scoreboard, European Commission, JRC/DG RTD.

cherches sur le bâtiment et l'efficacité énergétique. Le bâtiment, pris dans son acception la plus large (construction, architecture, urbanisme, etc.), s'est historiquement trouvé à la croisée de nombreuses disciplines scientifiques. En conséquence, les appels à projets de recherche pouvant le concerner se rattachent à différents programmes : les matériaux, les *Smart Cities*, l'excellence industrielle, les défis sociétaux, l'environnement, les sciences sociales...

Cela étant, une filière spécifique de financement de la R&D « bâtiment » existe depuis la création, en 2009, d'un instrument spécifique, le PPP Energy Efficient Buildings, qui est un partenariat public-privé dédié à l'efficacité énergétique des bâtiments. Il est porté par tous les acteurs de la filière, rassemblés autour d'une plateforme technologique que l'industrie a fortement investie. L'instrument des PPP contractuels a été conçu pour mettre en œuvre des stratégies visant à améliorer l'impact de la R&D européenne sur la compétitivité, grâce aux programmes cadres, en misant sur un rôle plus actif de l'industrie dans la gestion de ces instruments et dans la promotion de projets mettant en œuvre des technologies présentant un niveau de maturité supérieure, et donc à TRL<sup>(2)</sup> plus élevé.

Aujourd'hui, les PPP, qui viennent d'être évalués très récemment sur la base de leurs résultats, sur la première moitié de la période H2020, par la Commission européenne<sup>(3)</sup> (CE), ont sensiblement atteint leurs objectifs de mi-parcours, ce qui représente la réussite d'un changement de modèle allant du « top-down » vers le « bottom-up » dans la définition des stratégies européennes de la RDI, et concerne l'ensemble du cycle de l'innovation et tous les acteurs de la chaîne de valeur.

### La plateforme technologique européenne ECTP et le PPP Energy Efficient Buildings

La plateforme technologique européenne ECTP (European Construction Technology Platform) a été lancée, en 2004, par le secteur de la construction dans l'optique de développer de nouvelles stratégies de recherche, développement et innovation (RDI) pour lui permettre d'améliorer sa compétitivité, de répondre aux besoins sociétaux et de relever les défis environnementaux. Elle rassemble aujourd'hui environ 170 organisations membres représentant toute la chaîne de valeur de l'environnement bâti. L'ECTP est l'une des 38 plateformes technologiques européennes reconnues par la Commission européenne comme étant des acteurs clés de l'innovation, du transfert des connaissances et de la compétitivité économique.

L'ECTP mène auprès des acteurs concernés un travail sur l'émergence des besoins, qui se matérialise par l'établissement en commun de feuilles de route, dont la dernière en date<sup>(4)</sup> couvre la période Horizon 2020, soit 2014-2020. Ces *roadmaps* encadrent le partenariat public-privé contractuel Energy Efficient Buildings, dont la partie privée est gérée actuellement par l'ECTP à travers

(2) TRL : Technology Readiness Level.  
(3) "Mid-term review of the contractual Public Private Partnerships (cPPPs) under Horizon 2020", Report of the independent expert group, European Commission, 2017.  
(4) "Energy-efficient Buildings, Multi-Annual Roadmap for the Contractual PPP under Horizon 2020", European Commission, 2013.

son Energy Efficient Buildings Committee. Ce PPP s'achèvera contractuellement en 2020, mais l'ECTP se mobilise d'ores et déjà pour le prolonger, avec un périmètre et une échelle élargis.

La rationalité d'un PPP pour le secteur de la construction repose sur un double constat : d'une part, l'efficacité énergétique représente un des plus grands défis, mais offre également des leviers d'action pour nos sociétés contre le changement climatique, et, d'autre part, elle a, dans l'environnement bâti, une dimension européenne, ne pouvant être abordée correctement à l'échelle d'un seul État membre. En effet, il est nécessaire de développer de nouvelles technologies et des solutions systémiques à l'échelle de l'Union européenne, qui tirent parti des capacités de la recherche dans les différents États membres, tout en étant déployées et adaptées à l'échelle locale. Des normes et des réglementations harmonisées sont également nécessaires, sur la base de recherches prénormatives et de mesures efficaces qu'il serait difficile de développer au niveau des États membres ou en ayant une approche uniquement axée sur le marché et en se reposant exclusivement sur l'industrie. En ce sens, le PPP contractuel EeB réunit toutes les parties prenantes, allant de l'industrie à l'académie en passant par des associations professionnelles et des centres technologiques, comme NOBATEK/INEF4.

Pour assurer ce déploiement, la collaboration des acteurs industriels concernés est indispensable, et ce, à un stade

précoce de la chaîne d'innovation. Voilà tout l'intérêt de gérer et de flécher les fonds de financement de la R&D européenne au travers de PPP. Dans le cas du secteur de la construction et, plus largement, de l'environnement bâti, une stratégie de recherche et d'innovation à long terme, pluriannuelle, solide et stable, mise en œuvre par un PPP entre l'industrie et la CE, avec des priorités clairement définies et une masse critique de ressources tant techniques que financières, représente la meilleure option pour pouvoir réduire les risques, stimuler des partenariats solides et durables, s'assurer de la pertinence pour le marché de thématiques de recherche priorisées et financées et, *in fine*, accélérer l'innovation.

Pour donner une idée de la capacité financière de ce PPP, sur la période 2014-2016, il a attribué presque 204 millions d'euros à 46 projets, que ce soit des RIA (*Research and Innovation Actions*), des IA (*Innovation Actions*, plus près du marché) ou des CSA (*Coordination and Support Action*, plus petits et finançant la constitution de réseaux et d'actions de diffusion).

### L'activité de NOBATEK/INEF4 dans la R&D européenne

NOBATEK/INEF4, l'Institut pour la transition énergétique (ITE) spécialisé dans le bâtiment durable, est l'un des principaux centres technologiques français du secteur, à côté du Centre scientifique et technologique du bâtiment (CSTB). Ces deux organismes sont actuellement les deux



Photo © NOBATEK/INEF4

Vue du ciel du siège social de la société NOBATEK/INEF4 et du banc d'essais Façades

seuls représentants de la France élus par leurs pairs européens au sein de la catégorie « Académies et Centres de recherche », pour faire partie, avec une dizaine d'autres membres, du comité de direction de l'ECTP.

En mettant à profit son orientation très marquée vers la recherche appliquée et en ayant développé, durant des années, une expertise en innovation ouverte dans le cadre de projets collaboratifs, l'ITE trouve dans les appels à projets Horizon 2020 des opportunités de premier ordre de développer des actifs technologiques propres, de codévelopper avec ses partenaires des systèmes constructifs ou des services plus complexes et, surtout, de profiter de la dimension des projets financés (entre 5 et 7 M€, en moyenne) pour atteindre des stades supérieurs de maturité technologique (TRL 7 à 9) par l'implémentation d'opérations pilotes, en France, en Europe et, parfois, à l'échelle globale<sup>(5)</sup>.

Dans l'ensemble, le succès de cette activité a permis de faire émerger et de consolider un écosystème international de collaboration étendu et performant qui rassemble, autour de l'Institut, plus de 150 partenaires de 25 pays différents représentant toute la chaîne de valeur de la production de l'environnement bâti. Ces partenaires travaillent actuellement avec l'ITE sur 13 projets H2020, dotés de plus de 100 M€ de financements levés en Europe, dont 33 M€ correspondent à 5 projets coordonnés par l'ITE. Sur ces 5 projets, 3 sont financés dans le cadre du PPP EeB (BUILT2SPEC, E2VENT et HIT2GAP) et sont représentatifs des thématiques à avoir été priorisées ces dernières années.

### **BUILT2SPEC (EeB 2014, RIA) en réponse au topic *Development of new self-inspection techniques and quality check measures for efficient construction processes***

BUILT2SPEC réunit un ensemble innovant d'avancées technologiques pour l'auto-inspection, la gestion et le contrôle de la qualité sur les chantiers. Les différents modules sont développés autour d'une plateforme informatisée de gestion de la construction accessible dans le « cloud » et hébergeant des applications qui, couplées à de nouveaux outils de mesure et de contrôle (thermique, acoustique, qualité de l'air intérieur, structure, étanchéité à l'air, acquisition et modélisation 3D, contrôles de qualité automatisés sur le modèle BIM, etc.) portables et d'utilisation aisée, faciliteront les activités de chantier et le respect de la qualité en mettant les connaissances entre les mains des entrepreneurs et des opérateurs de la construction, sous la forme de spécifications de conception partagées et de modèles 3D, de cahiers des charges, de directives d'installation et d'informations sur les cadres réglementaires, tout cela étant accessible sur *smartphones* et tablettes.

Le système B2S est en train d'être intégré et testé dans les activités des compagnies de la construction (PME et grandes entreprises), et ce, sur des opérations de réhabilitation et de maintenance des bâtiments d'un bailleur social, à Paris, en assurant des mesures de rendement systématiques et scientifiques, un *feedback* pour l'amélioration de stratégies très puissantes d'exploitation, d'ar-



Installation du projet E2VENT à Gdansk (Pologne).

Photo © A. DUGUÉ - NOBATEK/INEF4

rivée sur le marché et de diffusion. Ce projet est mené par un consortium rassemblant 20 partenaires et bénéficie d'un soutien financier de la CE de 5,5 M€ (et d'un financement complémentaire de 0,45 M€ de la Suisse), sur 48 mois.

### **E2VENT (EeB 2014, IA) en réponse au topic *Adaptable envelopes integrated in building refurbishment projects***

Le système E2VENT a été pensé pour le marché de la rénovation énergétique des grands bâtiments de logements collectifs en Europe se caractérisant par une mauvaise isolation et une mauvaise qualité de l'air intérieur due à un renouvellement d'air mal maîtrisé, ainsi que par une façade à améliorer sur le plan esthétique. Il s'agit d'une solution de façade ventilée (isolant extérieur, lame d'air et bardage) qui a la particularité d'intégrer un module de renouvellement de l'air associé à un échangeur double flux placé dans l'épaisseur de l'isolant. De cette manière, le système E2VENT assure à la fois l'isolation thermique du logement et une meilleure qualité de l'air, tout en limitant

(5) Par exemple, le projet H2020 INNOQUA (Water Programme 2015), coordonné par NOBATEK/INEF4, déploiera des pilotes non seulement en Europe, mais aussi en Turquie, en Inde, en Tanzanie, en Équateur et au Pérou.

les besoins énergétiques associés. Un module de rafraîchissement semi-actif basé sur l'utilisation de matériaux à changement de phase y est aussi intégré. À ces deux systèmes énergétiques est associé un système de gestion de façade intelligente en temps réel pour en assurer le contrôle. L'impact attendu est une réduction de 40 % des besoins en énergie primaire et des émissions de CO<sub>2</sub>.

Après une phase de test de la performance des prototypes réalisée sur le banc d'essais de façades de NOBATEK/INEF4, ce projet, qui compte 13 partenaires et bénéficie d'un financement CE de 3,4 M€ sur 42 mois, est actuellement en phase pilote sur des bâtiments en Espagne et en Pologne.

### **HIT2GAP (EeB 2015, IA) en réponse au topic *New tools and methodologies to reduce the gap between predicted and actual energy performances at the levels of buildings and blocks of buildings***

Les campagnes de *monitoring* des performances énergétiques des bâtiments montrent habituellement des écarts importants entre la consommation énergétique prévue et la consommation réelle. En parallèle, des systèmes de gestion de l'énergie automatisés (GTC) sont aujourd'hui classiquement intégrés dans les bâtiments tertiaires. Ils fournissent une grande quantité de données (*Big data*) que le projet HIT2GAP vise à exploiter. L'objectif est une nouvelle génération d'outils de surveillance et de contrôle des constructions sur la base de techniques avancées de traitement de ces données permettant de nouvelles approches pour évaluer la performance énergétique, obtenir une meilleure compréhension du comportement de la

construction, et donc une meilleure performance. Partant de solides acquis au niveau de la recherche sur le traitement des données, HIT2GAP utilise des outils de mesure et de contrôle existants, qui sont intégrés à une nouvelle plateforme logicielle en vue de l'optimisation de la performance. Pour ce projet, le consortium est composé de 22 partenaires internationaux, avec 4 sites pilotes en Europe et un soutien financier de la Commission européenne de près de 8 M€, sur 48 mois.

### **La prise en compte du bâtiment dans la R&D européenne : un défi à relever**

Alors que les grandes puissances mondiales (Chine en tête) investissent massivement sur ces thématiques, la mise en place et la montée en puissance d'un programme européen de recherche cohérent et ambitieux et impliquant tous les acteurs de la filière de la construction constituent une condition indispensable pour maintenir la compétitivité scientifique des pôles de recherche européens, promouvoir l'innovation au sein des entreprises et atteindre des objectifs environnementaux se voulant exemplaires.

Enfin, en ce qui concerne NOBATEK/INEF4, sa contribution à la définition des priorités de la recherche *via* son investissement dans l'ECTP, tout comme sa participation à des projets de R&D UE sur le bâtiment lui offrent la possibilité de travailler dans un cadre multiculturel en prise avec les défis les plus actuels de notre société, dans lequel on peut trouver aussi bien un défi à relever portant sur l'excellence qu'un épanouissement professionnel pour les chercheurs directement impliqués.

# Bilan énergétique de la France en 2016

## Données définitives

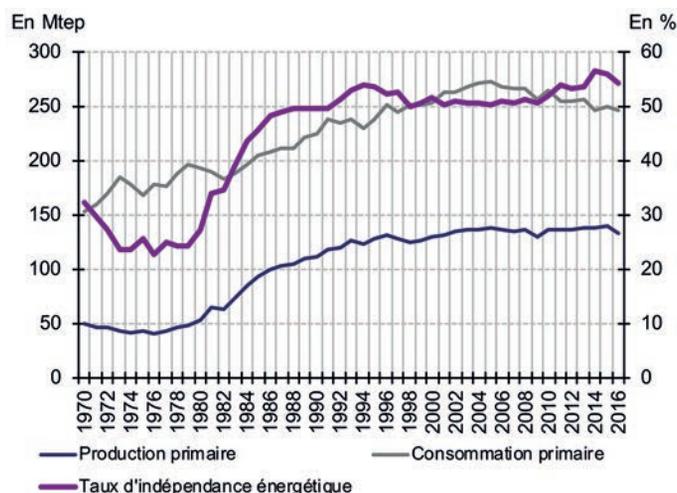
Ministère de la Transition écologique et solidaire  
Commissariat général au développement durable  
Sous-direction des statistiques de l'énergie (SDES)

Même s'il reste à un niveau historiquement élevé, le taux d'indépendance énergétique de la France métropolitaine baisse de deux points en 2016. En effet, la production primaire baisse de 4,8 % en raison d'arrêts prolongés de centrales nucléaires, tandis que la consommation primaire décroît plus modérément de 1,6 %. Compte tenu de températures moins douces en 2016 qu'en 2015, la baisse de la consommation primaire corrigée des variations climatiques atteint même 3,2 %. Elle trouve son origine à la fois dans la diminution des pertes de transformation (liée à celle de la production nucléaire) et dans celle de la consommation finale. Ainsi, si la consommation se stabilise dans les transports, elle baisse légèrement dans le résidentiel et, de manière plus marquée, dans l'industrie et le tertiaire, à climat constant. La facture énergétique des ménages, malgré la hausse de leur consommation réelle, reste stable grâce à la baisse des prix du gaz et des produits pétroliers et au ralentissement de celui de l'électricité. La consommation d'énergie primaire des départements d'outre-mer (DOM) s'élève à 3,6 Mtep, elle est en hausse de 0,5 %.

### Un taux d'indépendance énergétique en baisse de deux points en 2016

En France métropolitaine, la production d'énergie primaire baisse de 4,8 % en 2016, elle se situe à 133,1 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep). Cette diminution s'explique par les arrêts de plusieurs centrales nucléaires en fin d'année (voir *Datalab Essentiel* publié en mai 2017 : « Bilan énergétique de la France métropolitaine en 2016 – Données provisoires »). La consommation d'énergie primaire nationale, quant à elle, décroît plus modérément de 1,6 %, à 245,8 Mtep, dans un contexte de besoins de chauffage accrus du fait de températures moins douces qu'en 2015. En conséquence, les importations nettes d'énergie augmentent de 1,1 % et le taux d'indépendance énergétique perd deux points, à 54 %. Ce dernier reste toutefois à un niveau historiquement élevé (voir le Graphique 1 ci-contre).

Corrigée des variations climatiques, la consommation d'énergie primaire baisse de 3,2 % (voir le Graphique 2 de la page suivante). Le nucléaire représente 41 % du bouquet énergétique (en baisse de 2 points), suivent le pétrole (28 %), le gaz (16 %), les énergies renouvelables (11 %) et le charbon (3 %). Le bouquet énergétique apparaît au total légèrement plus carboné en 2016 qu'en 2015 : les émis-

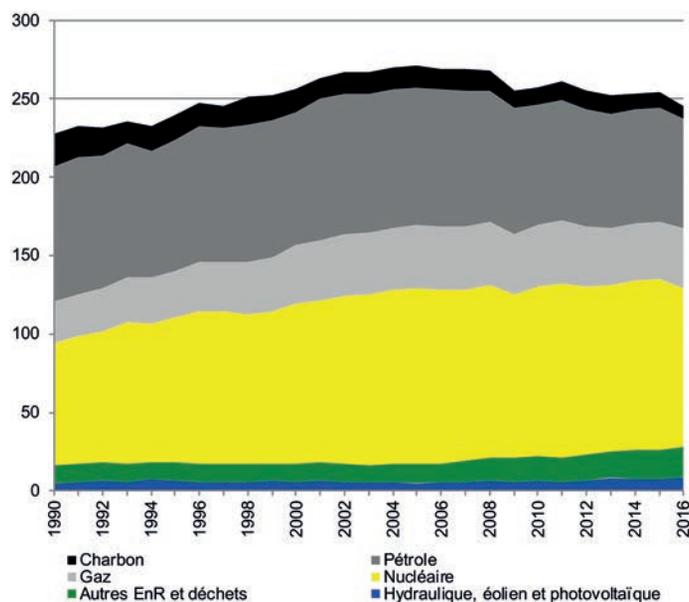


Graphique 1 : Consommation primaire, production primaire et taux d'indépendance énergétique.

Source : SDES.

Note : La production et la consommation primaires se lisent sur l'échelle de gauche, le taux d'indépendance énergétique (rapport des deux grandeurs précédentes) sur l'échelle de droite.

sions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion d'énergie décroissent dans une moindre proportion (2,2 %) par rapport à la consommation primaire, à climat constant.



Graphique 2 : Consommation primaire (corrégée des variations climatiques) par forme d'énergie (en Mtep).

Source : SDES.

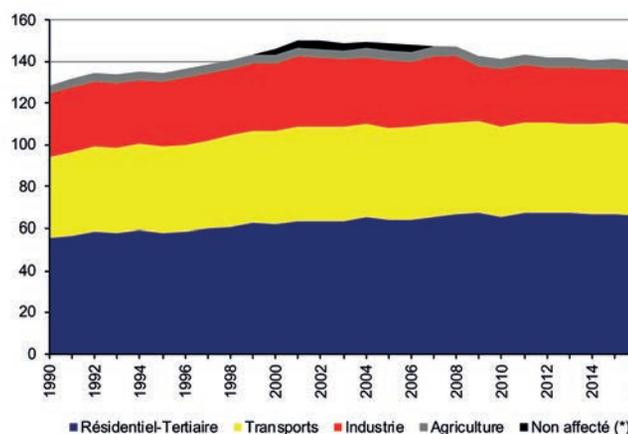
Note : L'énergie nucléaire est comptabilisée en équivalent primaire à la production (chaleur dégagée par la réaction nucléaire, puis convertie en électricité), déduction faite du solde exportateur d'électricité.

## Des pertes de transformation moindres en raison de la baisse de la production nucléaire

La consommation primaire peut être décomposée comme la somme de la consommation finale (à usage énergétique ou non) et des pertes de transformation, de transport et de distribution d'énergie (à l'écart statistique près). Ces dernières représentent 92,4 Mtep en 2016, en baisse de 6,5 %. Cette baisse s'explique principalement par celle de la production nucléaire et des pertes de chaleur induites (pour chaque kilowattheure d'électricité produit par une centrale nucléaire, deux kilowattheures de chaleur sont perdus). Elle n'est que partiellement compensée par la hausse de l'activité, et donc des pertes de transformation induites, des centrales électriques, calogènes et de cogénération utilisant du gaz ou du bois. La consommation de charbon des hauts-fourneaux (considérés dans le présent bilan comme faisant partie du secteur de la transformation d'énergie), nette de la production de gaz dérivés, diminue de 6,4 %, à 3,3 Mtep, en raison notamment de leur baisse d'activité.

## Diminution de la consommation finale corrigée des variations climatiques

Dans un contexte de croissance modérée du PIB (+ 1,2 %) et malgré la baisse des prix dont bénéficient les ménages et les entreprises (voir *infra*), la consommation finale d'énergie corrigée des variations climatiques diminue de 1,1 %, à 153,3 Mtep. La baisse concerne à la fois la consommation à usage non énergétique (-3,7 %, à 13,3 Mtep, suite notamment à l'arrêt d'un vapocraqueur, fin 2015), et celle à usage énergétique (-0,8 %, à 140,0 Mtep). La décomposition sectorielle de cette dernière est la suivante : transports, 31 % ; résidentiel, 30 % ; industrie, 19 % ; tertiaire, 17 % ; et agriculture-pêche, 3 % (voir le Graphique 3 ci-contre).



Graphique 3 : Consommation finale (corrégée des variations climatiques) par secteur ou usage (en Mtep).

Source : SDES.

\* : La ventilation de la chaleur vendue entre secteurs consommateurs n'est pas disponible entre 2000 et 2006.

## Stabilité globale de la consommation dans les transports

La consommation d'énergie à usage de transport reste globalement stable, bien que les trafics intérieurs de passagers et de marchandises augmentent de respectivement 2,3 % et 1,2 %. Sa structure par forme d'énergie évolue toutefois : la baisse de la consommation de produits pétroliers (-0,2 %), qui restent de loin la principale forme d'énergie utilisée pour le transport, est compensée par la progression de 3,1 % des biocarburants (+ 2,7 % pour le biodiesel, et + 5,3 % pour le bioéthanol). Par ailleurs, le rééquilibrage progressif, depuis 2013, du marché des véhicules neufs vers l'essence commence à être perceptible dans la structure de consommation des carburants routiers, celle de gazole décroissant de 0,5 %, tandis que la consommation d'essence augmente de 1,5 % (hors biocarburants incorporés). La consommation d'électricité pour le transport s'élève à 0,9 Mtep, en légère baisse en raison du repli du transport ferroviaire à grande vitesse. Les voitures électriques, même si elles se développent rapidement, pèsent toujours peu dans ce total (entre 0,01 et 0,02 Mtep).

## Évolutions contrastées suivant les formes d'énergie dans le résidentiel

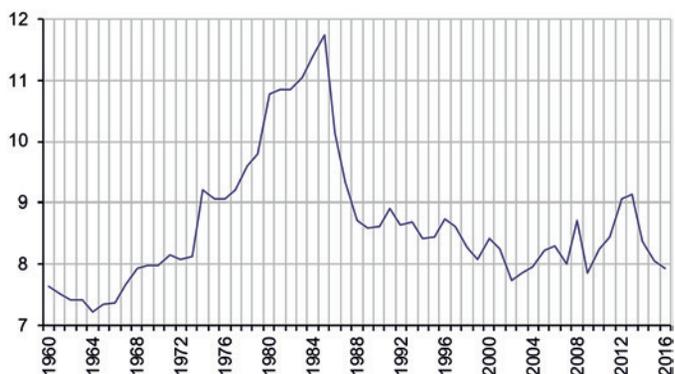
La consommation d'énergie résidentielle corrigée des variations climatiques décroît de 1,1 % en 2016. Cette baisse est entièrement imputable à la chute de 14,0 % de la consommation de produits pétroliers. Son ampleur s'explique probablement, au-delà de la baisse continue du recours au fioul domestique ou au GPL pour le chauffage domestique, par un niveau élevé de remplissage des cuves de fioul au début de l'année 2016 (la consommation de fioul du résidentiel étant assimilée à ses achats dans le présent bilan). À l'inverse, la consommation de chacune des autres formes d'énergie croît. La hausse est sensible pour le gaz (+ 2,2 %), ce qui pourrait être lié à la baisse de son prix (voir *infra*), ainsi que pour les énergies renouvelables, en raison de la poursuite de l'essor des pompes à chaleur. La consommation d'électricité, qui reste la principale énergie utilisée dans les logements, augmente plus

modestement (+ 0,5 %). La consommation de chaleur livrée *via* des réseaux augmente de 1,7 %, pour atteindre 1,2 Mtep.

### Baisse globale des prix et stabilité de la facture pour les ménages

Les prix de l'énergie payés par les ménages baissent globalement en 2016. C'est particulièrement le cas pour les produits pétroliers (-4,1 % pour le gazole, -3,7 % pour les supercarburants, -10,0 % pour le fioul domestique) et le gaz (-7,0 %), en raison de la baisse des prix du pétrole brut et du gaz sur les marchés internationaux, et malgré la hausse de la fiscalité des énergies carbonées. Le prix de l'électricité résidentielle, quant à lui, augmente (+1,4 %), mais plus modérément que les années précédentes. Cette hausse s'explique intégralement par l'augmentation de la contribution au service public de l'électricité, le prix hors toutes taxes de l'électricité diminuant légèrement.

La facture moyenne d'énergie des ménages s'élève à un peu plus de 2 700 € – et est quasiment stable par rapport à 2015. Plus précisément, celle liée au logement croît de 3,2 %, en raison de la hausse de la consommation imputable au climat moins doux qu'en 2015, tandis que celle liée au transport, tirée par la chute des prix des carburants, baisse de 3,3 %. L'énergie représente 7,9 % du budget des ménages en 2016, proportion plutôt basse au regard de son historique (voir le Graphique 4 ci-dessous).



Graphique 4 : Part de la dépense énergétique dans le budget des ménages (en %).

Source : Insee, SDES.

Note : Le budget des ménages est calculé comme les dépenses des ménages au sens de la Comptabilité nationale, hors loyers imputés et services d'intermédiation financière indirectement mesurés (Sifim).

### Baisse de la consommation dans le secteur productif

Le secteur tertiaire consomme globalement moins d'énergie en 2016 qu'en 2015 (-1,9 % à climat constant). La baisse est particulièrement forte pour les énergies fossiles (gaz : -3,1 % ; produits pétroliers : -5,6 %) et est plus modérée pour l'électricité (-0,9 %), qui demeure majoritaire dans le bouquet du secteur. Les énergies renouvelables et la chaleur vendue *via* des réseaux, en hausse respecti-

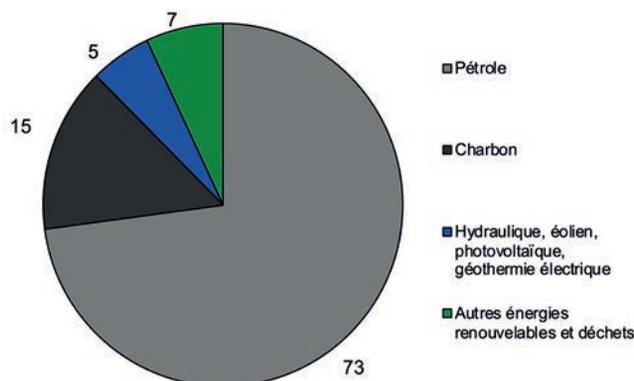
vement de 0,6 % et 4,6 %, font exception, traduisant les efforts de diversification énergétique du secteur.

La consommation d'énergie de l'industrie (y compris la construction) est stable à climat réel et baisse de 0,8 % à climat constant, malgré une hausse des productions de l'industrie manufacturière et de la construction respectivement de 0,1 % et 3,5 %. Ce découplage traduit la poursuite d'une dynamique de gains d'efficacité énergétique, dont le rythme est proche, en 2016, de celui observé en moyenne depuis le début de la décennie et ne semble donc pas avoir été affecté par la baisse des prix de l'énergie, dont bénéficient les entreprises industrielles. L'électricité redevient la première forme d'énergie utilisée dans l'industrie, sa consommation étant stable. Elle détrône le gaz, dont la consommation baisse de 3,7 %, à climat constant.

Enfin, la consommation d'énergie destinée à l'agriculture et à la pêche s'avère stable, pour l'ensemble des formes d'énergie.

### Des bouquets électriques diversifiés dans les DOM

La consommation d'énergie primaire dans les DOM (La Réunion, Mayotte, Martinique, Guadeloupe et Guyane) s'élève à 3,6 Mtep en 2016, en hausse de 0,5 %. Le bouquet énergétique primaire ultramarin reste dominé en 2016 par les produits pétroliers (73 %) et le charbon (15 %), malgré le développement des énergies renouvelables (12 %) (voir le Graphique 5 ci-après). Les DOM se distinguent entre eux notamment par leurs bouquets électriques. Les produits pétroliers constituent les intrants majoritaires des centrales électriques en Martinique (où se situe la seule raffinerie française d'outre-mer), à Mayotte et, dans une moindre mesure, en Guadeloupe. Ce dernier département ainsi que La Réunion utilisent aussi du charbon, auquel ils tendent à substituer toutefois de la bagasse (un résidu de la canne à sucre). L'hydroélectricité assure une part majoritaire de la production en Guyane et une part significative à La Réunion. Le photovoltaïque représente environ 5 % du bouquet électrique dans chacun des DOM, excepté à La Réunion, où sa part atteint 8 %. La Guadeloupe, enfin, se distingue par l'exploitation de la géothermie volcanique.



Graphique 5 : Bouquet énergétique primaire des DOM.

Source : SDES.

## Méthodologie

Présentant les résultats définitifs du bilan énergétique de la France en 2016, cette publication révisé les résultats provisoires présentés dans le *Datalab Essentiel* n°109 publié en mai 2017, les complète en ventilant la consommation finale par grand secteur et comprend, en outre, une section dédiée aux départements d'outre-mer. Comme précisé dans cette dernière publication, la méthodologie du bilan suit désormais pleinement les recommandations de l'Agence internationale de l'énergie et d'Eurostat. La méthode de correction des variations climatiques a, en outre, été améliorée et étendue aux pertes de transformation, de transport et de distribution.

Une publication plus détaillée est disponible sur le site du Service de la donnée et des études statistiques du ministère de la Transition écologique et solidaire à l'adresse suivante : [http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Themes/Energies\\_et\\_climat/Toutes\\_energies/Bilan/2016/datalab-30-bilan-energetique-france-2016-mars2018-b.pdf](http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Themes/Energies_et_climat/Toutes_energies/Bilan/2016/datalab-30-bilan-energetique-france-2016-mars2018-b.pdf)

L'ensemble des séries du bilan y sont également disponibles.

Les séries établies suivant l'ancienne méthodologie, arrêtées en 2015, restent disponibles sur ce même site au sein de la base de données Pegase.

### Pour en savoir plus

« Bilan énergétique de la France métropolitaine en 2016 – Données provisoires », CGDD/SDES, *Datalab Essentiel*, n°109, mai 2017, 4 p.

« Les énergies renouvelables en France en 2016 – Suivi de la directive 2009/28/CE relative à la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables », CGDD/SDES, *Datalab Essentiel*, n°116, septembre 2017, 4 p.

« Les ventes de produits pétroliers en 2016 (France métropolitaine) », CGDD/SDES, *Datalab Essentiel*, n°124, novembre 2017, 4 p.

# RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

## Transition numérique et transition écologique

Avant-Propos - *Laurence MONNOYER-SMITH*

Introduction - *Hélène SERVELLE et Richard LAVERGNE*

### Numérique et écologie : deux domaines en transition

Faire converger les transitions numérique et écologique  
*Damien DEMAILLY, Renaud FRANCOU, Daniel KAPLAN et Mathieu SAUJOT*  
Comment transition numérique et transition écologique s'interconnectent-elles ? *Patrice GEOFFRON*

Les réseaux électriques intelligents : un marché aux frontières de l'énergie et de la domotique - *Ivan FAUCHEUX*

La « Digital Society » : un scénario de transition énergétique à l'horizon 2072  
*Nadia MAÏZI, Edi ASSOUMOU et Thomas LE GALLIC*

### Le numérique, outil et accélérateur de la transition énergétique ?

Numérique et énergie, entre rêve et réalité - *Alain BOURDIN*  
Numérique et transition énergétique - *Laurent MICHEL et Guillaume MEHEUT*  
Enjeux et opportunités de l'ouverture des données publiques en matière d'énergie - *Sylvain MOREAU*

La baguette numérique de la Fée Électricité  
*Patrick MORILHAT et Thomas BLADIER*

L'énergéticien du XXI<sup>e</sup> siècle : le numérique au service du consommateur et de la transition énergétique - *Fabien CHONÉ*

La révolution numérique, au cœur de la transformation d'ENGIE  
*Gilles BOURGAIN, Philippe SAINTES, Vincenzo GIORDANO, Étienne GÉHAIN et Maxime WEISS*

Réussir la transition énergétique en utilisant les leviers de l'innovation  
*Jérôme SCHMITT*

Digitalisation et gestion ouverte des données : de nouveaux horizons pour les distributeurs d'électricité - *Michel DERDEVET*

Premier *microgrid* de quartier à énergie partagée, RennesGrid® est le préfigurateur de la transition énergétique à l'échelle territoriale  
*Thierry DJAHEL*

La maîtrise de l'empreinte énergétique des services informatiques et des réseaux en entreprise - *Laurent BENATAR*

La place du numérique dans les feuilles de route de prospective énergétique de l'Agence Internationale de l'Énergie - *Kamel BEN-NACEUR*

### Au-delà de l'énergie : numérique et environnement

Numérique et écologie - *Françoise BERTHOUD*  
Numérique et recherche environnementale : quelles évolutions ?  
*François JACQ et Benoît FAUCONNEAU*

La photonique (la maîtrise de la lumière) au cœur de la transition écologique  
*Karl GEDDAMUDROV*

Les services Copernicus Atmosphère (CAMS) : une révolution numérique au service de l'environnement - *Laurence ROUIL*

Numérique et agriculture de précision - *Jean-Paul BORDES*

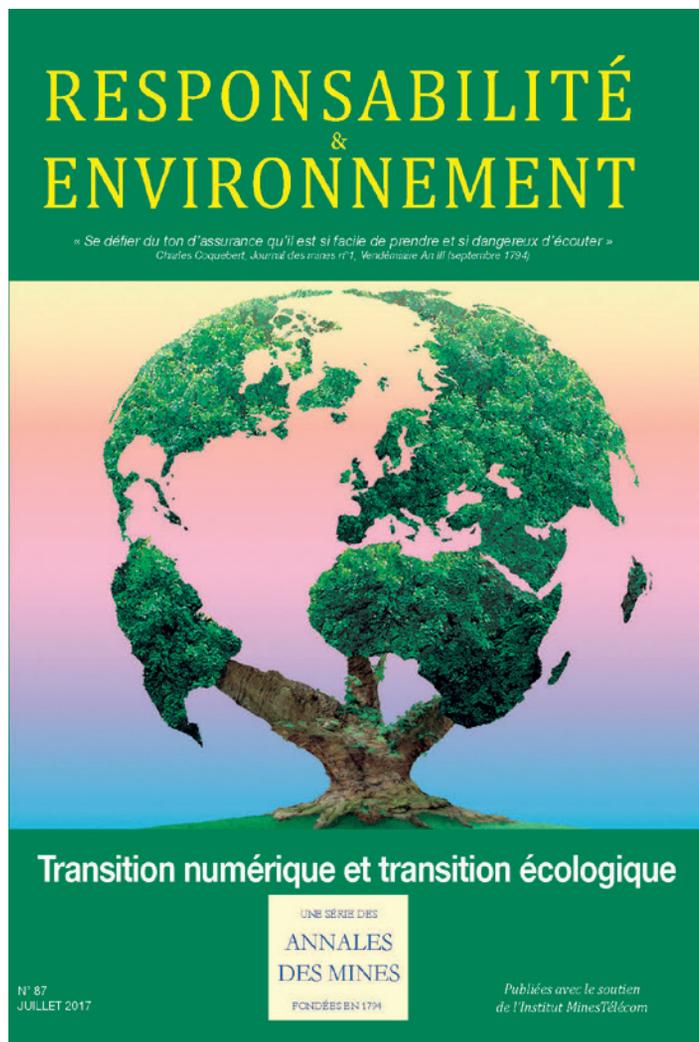
Le point de vue d'une ONG environnementale - *Morgane CRÉACH*

Accelerating Energy & Environmental Transition in Europe through digital  
*Julia REINAUD, Nicolas CLINCKX and Paul FARAGGI*

Peut-on croire aux TIC « vertes » ? - *Fabrice FLIPO*

### HORS DOSSIER

Gouverner les politiques de l'eau  
*Aziza AKHMOUCH et Delphine CLAVREUL*  
Agences de l'eau : rétrospection prospective  
*Bernard BARRAQUÉ et Patrick LAIGNEAU*



Juillet 2017

Le dossier est coordonné par **Richard Lavergne** et **Hélène Serveille**

Pour plus d'informations, nous invitons le lecteur à se reporter à notre site :

<http://www.anales.org>



## RÉPARER LES VIES

Depuis notre première prothèse au Cambodge en 1982 nous continuons de soutenir les populations vulnérabilisées  
Infrastructures de santé - Haïti 2010

**HANDICAP  
INTERNATIONAL**

# The building sector in the energy transition

## Introduction

**Mireille Campana** and **Richard Lavergne**, engineers from the Corps des Mines, Conseil Général de l'Économie

## Energy in buildings, an inventory

### **Energy and buildings: Statistics for France since 1950**

**Françoise Dupont**, general director of the Centre d'Études et de Recherches Économiques sur l'Énergie (CEREN)

Energy consumption in the residential and tertiary sectors – mostly owing to buildings – amounted to 45% of aggregate final consumption expenditures in 2015. After housing conditions were improved during the 1950s and 1960s, the first oil shock in 1973 spawned successive policies for saving energy that, apart from a short period in the 1990s, laid down energy-related requirements for constructing new housing units and, as of 2007, for rehabilitating older buildings. Heating in residential housing, the largest final expenditure, has been divided by 2.5; and electricity consumption accounted for nearly 20% of overall consumption in 2015. Given the tertiary sector's growth in the economy, the surface area being heated has increased by 55%. Installed at a regular pace, air-conditioning is now provided in a little less than a third of this surface area. The consumption of heating per square meter in the tertiary sector is steadily decreasing, regardless of the energy source, thanks to the efforts for improving energy performance.

### **Energy and buildings: Statistics for Germany**

**Sven Rösner**, director of Franco-German Office on the Energy Transition (OFATE), and **Marie Boyette**, OFATE

The situations of France and Germany are much alike. These two neighbors in Europe are pursuing similar objectives for energy efficiency in buildings. As in France, buildings in Germany are the main consumer of energy. Changes in thermal regulations have led to less energy consumption and the installation of renewable heating sources in new buildings. Nonetheless, the renovation of buildings so as to improve their energy performance also provides a way to make buildings carbon-neutral. The German government wants to pair the improvement of energy efficiency in buildings with the development of renewable energy sources with the aim of “decarbonating” government buildings. Given the German real estate market and the country's demographic structure, funding these measures is a real challenge. After an overview of the stock of buildings in Germany, a short description is made of the federal government's strategy for improving the energy efficiency in this domain.

## **Energy and buildings: A look at the rest of the world**

**John Dulac**, energy analyst of the buildings sector at the International Energy Agency (IEA), and **Thibaut Abergel**, buildings sector analyst, IEA

Despite some progress, the demand for energy in the buildings sector is rising while the consumption of fossil fuels is not decreasing. Financial barriers and a lack of strong political signals are impeding the rollout of low-carbon solutions that help save energy. However energy efficiency could be compatible with growth in this sector while also reducing its carbon footprint. Support could also be given to universal access to clean, affordable energy by 2030. An effective management of demand would facilitate the integration of renewables in the energy mix. To meet the UN's sustainable development goals however, this sector must undergo a thoroughgoing change, a transformation impelled by strong political commitments, innovative funding schemes and new business models so that the construction industry takes part in overhauling the whole energy system.

## **Architects, the planet's ambassadors**

**Didier Lenoir**, honorary chairman of CLER-Réseau pour la Transition Énergétique, and **Dominique Gauzin-Müller**, architect, researcher and author

Science now proposes a new vision of life on Earth: humanity as a part of nature has to respect natural equilibria in order to live in security on our planet. In each place and for each energy need, the solution must be chosen that is best for the planet. The environmental transition is a necessity; and the energy transition, one of its aspects, can no longer impose general norms. For the building industry, the obligation of performance and the acceptance of mistakes replace the current administrative system, now incapable of adaptation. Architects realize that their teams and partnerships are diversifying, as is happening in all engineering fields with which they have contact. The architect's role has become essential for integrating contributions from all parties and giving the building industry the coherency and significance expected by its users and environment.

## **Saving energy: Buildings and their occupants**

**Marie-Christine Zélem**, CERTOP UMR 5044 CNRS, Université de Toulouse Jean Jaurès

Plans for the energy transition in the building industry have aroused a technological imagination stymied by problems of ownership, uses, behaviors, learning experiences, skills, qualifications, etc. This so-called “social part of energy projects” is normally hidden behind the idea of “social acceptability”, which is generally brought up when

technology is poorly used or when a technique's presumed effectiveness is not realized. A few keys to understanding the social aspects that shape energy practices, an invitation to break free from a technocentric approach and move more toward social engineering...

### Energy vulnerability, a new dimension to take into account

**Robert Durdilly**, president of SoliNergy, and **Bertrand Lapostolet**, director of SoliNergy's endowment fund

Energy vulnerability is constantly increasing. Awareness of its impact on the living conditions of poor households and on their health has made this recent phenomenon a growing concern to public authorities. Affecting more than 5.6 million households in 2013, energy poverty calls for responses on the right scale in terms of volume and of the residential housing units targeted for energy efficiency (so as to funnel aid to the neediest). Rehabilitating housing units that are "thermal bridges" is a priority, but reducing energy poverty is not just a matter of the energy performance of buildings. The occupants must adopt practices that save energy and are adapted to their situation. This calls for specific forms of support to occupants and for information on their consumption patterns and level of comfort.

### Making buildings carbon-free without forgetting the indirect emissions of greenhouse gases

**Alain Grandjean**, economist, cofounder of Carbone 4; **Roman Ledoux** and **Julie Daunay**, managers, Carbone 4

To fight against climate change, France made the commitment, more than ten years ago, to reach by 2050 the goal of dividing its greenhouse gas emissions by four (compared with 1990). The TECV Act on the energy transition for green growth in 2015 restated this goal as a set of objectives for reducing the consumption of energy, in particular fossil fuels, and increasing the proportion of energy from renewable sources in household consumption. It is easy to prove that, globally, the fight against climate change has two major levers: "decarbonation" of energy sources and a reduction of energy consumption. Nevertheless, the objectives of energy efficiency in the building industry do not automatically fall in line with objectives measured in terms of carbon neutrality.

## Stakeholders and users

### Energy efficiency in buildings: The European Commission's vision and ambitions

**Mechthild Wörsdörfer**, director in charge of renewable energy, research, innovation and energy efficiency, the European Commission's Directorate-General for Energy

The European Union has resolutely set out on the road to "decarbonate" its economy, thus remaining in the role of leader in the energy transition. This falls in line with the ambitious commitments made as part of the Paris Climate Agreement. For this transition, the European Commission is undertaking a legislative reform based on its package of new measures, "Clean Energy for All Europeans", adopted in November 2016. Of interest to the building sector – the

biggest energy consumer in the EU – the Directive on the Energy Performance of Buildings has been modified to assign priority to renovating and modernizing buildings, in particular through more funding for energy efficiency.

### The tools at the service of public authorities for boosting the energy efficiency of buildings

**Gilles Aymoz**, head of the Buildings Service of the Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME)

The French government has set ambitious objectives for reducing energy consumption not only in housing but also in buildings in the secondary and tertiary sectors of the economy. This has a heavy impact on the conditions for constructing or renovating buildings in these sectors. To reach these objectives, measures must be taken to inform, motivate and accompany the parties concerned, in particular professionals in the building trades and households (with special attention for those characterized by energy poverty). How to advance arguments that address the genuine concerns of the people affected? How to make it easier for homeowners to obtain appropriate funding? How to motivate professionals to adapt their offers by improving their qualifications and the quality of their services? Given the importance of these issues, public authorities, both national and regional, are led to intervene. The tools are succinctly described that they can use to promote the rehabilitation of old buildings, in particular private housing units.

### An assessment of the 2012 thermal regulations

**Mireille Campana**, engineer from the Corps des Mines, Conseil Général de l'Économie; **Michel Jean-François**, engineer from the Corps des Ponts, des Eaux et des Forêts, standing member of the Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable; **Anne Florette**, engineer from the Corps des Ponts, des Eaux et des Forêts, Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, and **Didier Pillet**, engineer from the Corps des Mines, Conseil Général de l'Économie

According to a recent assessment of the thermal regulations introduced in 2012 in France, the very ambitious objective set for consumption (50 kWhep/m<sup>2</sup>/year) by the "Grenelle of the Environment", which assembled officials and organizations for a wide-ranging discussion on environmental issues. This success can be set down both to more efficient and complicated equipment (heat pumps, condensing boilers) and to better coordination among stakeholders. This coordination came from public interventions in support of training programs, information services and innovation. This report observed a "majority effect" with regard to the sources of energy, namely a preference for natural gas in apartment buildings but of heat pumps in houses. Problems of overheating were pointed out, even in well-insulated buildings. Cost overruns were also observed, but they might be offset by lower costs as the new equipment is used (even though it is not now possible to verify this). By paying more attention to the "piloting" of certain types of equipment and by taking into account the kilowatts consumed from nonrenewable sources (adapted to load management on the electricity

grid), it might be worthwhile to more often allow less complicated electric heating devices and air-conditioning. This could contribute to rolling out renewables, in particular solar power.

### Environmental regulations for new buildings

Romain Gaëta, Laurent Guldner, Florian Piton, Laetitia Priem and Aloïs Thiébaud, engineers of public works, Ministry of the Energy Transition and Solidarity and Ministry of Territorial Cohesion

To sharply lower greenhouse gas emissions in France, actions must be undertaken on the buildings sector, the biggest energy consumer among all sectors of the economy. The 2012 thermal regulations, now in effect, set an ambitious objective for reducing the energy consumption of new buildings. The 2015 TECV Act on the energy transition for green growth has raised the objective set for 2020: the construction of “energy-positive” buildings with a high level of “environmental performance”. To raise the level of qualifications in the building trades, France launched in November 2016 the experiment “Positive Energy, Carbon Reduction”. It will help prepare future regulations for new buildings that will be not just about energy but also about the environment

### Energy transition of Europe's building stock Implications for EU 2030 Sustainable Development Goals

Dr Yamina Saheb, Senior Climate and Energy Policy Analyst at Openexp, Dr Heinz Ossenbrink, Former Head of the Renewables and Energy Efficiency Unit of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission (EC), Dr Sandor Szabo, Renewables and Energy Efficiency Unit of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission (EC), Dr Katalin Bódis, Joint Research Centre of the European Commission, and Strahil Panev, International expert in energy efficiency policies

Energy transition of the EU building stock, from being an energy waster to being highly energy efficient and an energy producer, is a prerequisite for Europe's carbon neutrality, as well as for meeting Europe's Sustainable Development Goals (SDGs). Achieving these targets requires shifting the emerging energy renovation market from a market of step-by-step and shallow energy renovation financed by grants to a market of industrialized and holistic energy renovation leading to zero energy buildings financed by long-term loans. This paradigm shift is an opportunity for the construction industry to improve its productivity by industrializing the energy renovation process through the use of modern production technics and innovative technologies as well as business models. The industrialization of energy renovation will lead to cost reduction, making zero energy buildings affordable for all EU citizens, regardless of their income.

### Placing thermal regulations at the service of the energy transition

André Pouget, thermal engineer, Pouget Consultants

Since 1982, Pouget Consultants, a team of fifty persons at two locations (Paris and Nantes), is eagerly and decid-

edly involved at worksites for constructing and renovating buildings. Starting at the phase of design, these “advocates of non-energy” intervene – motivated by the pursuit for ever more “sobriety” (energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, etc.) – to imagine sustainable buildings that are comfortable to live in. Following a brief review of successive thermal regulations since 1974, proposals are made about the paths for reaching the goals set for 2050. These proposals still (necessarily) insist on more sobriety and on actions targeting “environmental performance” and renewables. To reduce both energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, it is necessary to harmonize the approaches to construction/renovation and simplify the methods for pooling interventions and creating value thanks to a gradual “massification” of renovation projects. Pouget Consultants shares its nearly forty years of experience in designing and managing energy renovation projects.

### The barriers in France to investment in the energy efficiency of buildings

Isabelle Camilier-Cortial, engineer from the Corps des Mines, Directorate-General of the Treasury; Alexis Loublier and Arthur Souletie, Directorate-General of the Treasury; and Étienne Perrot, student at École Polytechnique

The thermal renovation of residential housing is a major lever for the energy transition and for reducing energy bills. What potential does residential housing hold for saving energy in France? Several barriers (market shortcomings and cognitive biases) might keep us from tapping this potential, which is shown to be profitable for households: from 32 to 51 TWh (without counting “carbon costs”). Restrictions on loans are examined in relation to the hoped-for gains and the differences between owners and renters. Establishing a price for CO<sub>2</sub> would make this profitable potential even more attractive, but it would not suffice to trigger the necessary investments. Some renovation projects are profitable from a socioeconomic but not from a private viewpoint; and this justifies subsidies that target this potential for saving energy.

### How can public interventions increase the number and quality of renovations of housing units in France so as to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions?

Hadrien Hainaut, Ian Cochran and Benoît Leguet, I4CE, Institute for Climate Economics, Paris

The government's ambitious objectives for the “energy performance” of buildings, in particular private housing units, call for major investments, approximately €15 billion/year. Current incentives have proven capable of raising but half of this amount, and most of these funds go to dispersed interventions with little heed for energy efficiency. A will and a way are necessary to meet these objectives. Households have to be offered the opportunities for concretely realizing home improvements. This can be achieved only through a combined use of regulatory, economic and financial tools. Existing tools must be overhauled; and new ones, created at the national and local levels.

### Energy efficiency: A user's guide

**Myriam Maestroni**, president and founder of Économie d'Énergie and of the E5T Foundation

At the core of issues related to the energy transition, there is unanimity about “sobriety” and “energy efficiency”. But these values suppose a global approach that is far from being as clear as it should be...

### Major orientations have been set, now to follow them...

**Jean Bergougnoux** and **Jean-Pierre Hauet**, the association Équilibre des Énergies

In France, buildings represent 43% of final energy consumption and 31% of CO<sub>2</sub> emissions. Fossil fuels (natural gas and heating oil) account for 70% of these emissions. A considerable effort must, therefore, be made to reach the goal of reducing both energy consumption and greenhouse gas emissions. This goal, set in the TECV Act on the energy transition for green growth in 2015, will not be reached spontaneously. Public policies are needed to orient investors' and consumers' decisions. The current regulatory system, based on incentives and taxes, is much too complicated. Nor is it very effective, since the signals it sends no longer correspond to priorities, in particular for carbon neutrality. This system is reviewed in order to: 1) draw the consequences of the major objectives set in the aforementioned act of law; 2) identify and promote solutions effective for reaching these objectives; and 3) set up an appropriate system of incentives and regulations.

### Technological prospects

#### The construction industry between ideals and reality: The key factors for the success of the energy transition

**Étienne Crépon**, chairman of the Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB); and **Hervé Charrue**, assistant general manager and director of R&D, CSTB

As a major player in climate change and given its many interactions with urban systems, the building industry is having difficulty undertaking the called-for changes for three reasons. First of all, little is known about the stock of old housing units; and the existing information is unsatisfactory. Secondly, innovations are incremental, and not very systemic, since they are limited to the sector. Finally, this sector's production capacity and quality are still insufficient when measured against the objective set for

housing renovations by 2050 and the hoped-for results. Three major axes for a massive, integrated, efficient renovation of housing units are proposed so as to optimize the various uses of the urban system: 1) the installation of an observatory of the stock of housing units and of plans for new housing in order to identify the need for specific innovations related to the uses of housing units; 2) an assessment of the socioeconomic and technical “performance” of housing renovations on the scale of the sustainable building, neighborhood and city; and 3) the development of an industrial approach ranging from components and systems to buildings in view of increasing the economic performance of stakeholders in this sector, the quality and efficiency of buildings and the attractiveness of an industry as value is restored to it. The digital transition – owing to data processing (in the broadest sense), analytics, simulations, optimizations, training (all digital?) – is the breakthrough innovation that the building industry must grasp but without losing its essential ability to adapt in time, its resilience, which guarantees its durability.

#### How EU programs for funding R&D take account of innovations in the buildings sector

**Antoine Dugué** and **Germain Adell**, NOBATEK/INEF4

Research is financed under the EU's framework programs and, since 2009, via a few public-private partnerships (PPPs) involving industry and its value chain. The partnership Energy Efficient Buildings, managed by ECTP, contains a program specific to the building industry. This PPP is organized through roadmaps that all stakeholders have helped design – a guarantee of the relevance both of its research priorities and of its offers of contracts for funding annual programs. These very competitive offers provide major opportunities for developing new technology and validating the results through pilot programs anywhere in Europe. This activity is necessary to maintain the EU's competitive edge and to orient this industry toward the goal of excellence. NOBATEK/INEF, a major partner in this PPP, has coordinated projects on topics related to the EU's priorities.

### Miscellany

#### The energy balance sheet, 2016

Sous-direction des Statistiques de l'Énergie, CGDD, MTES

*Issue editors: Mireille Campana and Richard Lavergne*

# « LE CPE, UN CONTRAT AU SERVICE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE »



Carole Le Gall, Directrice Innovation et Marketing Solutions

Parce que le secteur du bâtiment représente près de la moitié de la consommation d'énergie en France et un quart des émissions de gaz à effet de serre, ENGIE Cofely accompagne ses clients dans l'optimisation de la performance énergétique de leur patrimoine bâti via les Contrats de Performance Énergétique (CPE). Le point avec Carole Le Gall, Directrice Innovation et Marketing Solutions de ENGIE Cofely.

### Vous proposez des CPE. De quoi il s'agit ?

L'un des points essentiels du CPE est le concept d'engagement. Il permet d'assurer un double engagement : un engagement de service apportant une prestation de qualité pour le confort des usagers du bâtiment et un engagement de performance assurant des économies d'énergies.

En 2009, ENGIE Cofely a été la 1<sup>ère</sup> entreprise à signer un CPE avec la Région Alsace.

### Que proposez-vous ?

Nous accompagnons nos clients dans l'optimisation de la performance énergétique de leur patrimoine bâti. Suite à un état des lieux précis, la carte d'identité énergétique du bâtiment est établie. Nos équipes élaborent ensuite différents scénarios d'amélioration de la performance énergétique afin de trouver avec le client le juste équilibre entre investissements et économie d'énergie.

Cette démarche couvre les leviers visant à améliorer la performance intrinsèque du bâtiment et à garantir la performance d'usage dans la durée.

À cela s'ajoute l'intégration de solutions autour des énergies renouvelables : chaufferie biomasse, géothermie, pompes

à chaleur sont très souvent intégrées dans un CPE.

Une fois la solution validée, nos spécialistes réalisent les travaux. Dans un souci d'amélioration continue, ils mettent en place des systèmes de mesure et de pilotage intelligent pour suivre et optimiser la performance énergétique et assureront également la maintenance des installations.

Le CPE s'adresse aussi bien aux collectivités locales et territoriales (écoles et campus ; bâtiments administratifs et résidentiels ; équipements culturels et sportifs, musées) que les industriels (centres d'affaires et immeubles de bureaux, data centers).

### Quels sont les enjeux de cette démarche ?

ENGIE Cofely garantit à ses clients un volume de production d'économies d'énergies globales (électricité, gaz, fioul domestique, voire d'autres fluides, comme l'eau) inscrit au CPE et valable sur toute la durée du contrat (en moyenne 8 ans). Il s'agit d'un engagement ferme et contractuel : si nous ne respectons pas les objectifs fixés, nous assumons financièrement le surcoût lié aux consommations supplémentaires.

À l'inverse, si la performance est meilleure que celle prévue au contrat, l'usage est que le maître d'ouvrage et ENGIE Cofely

partagent à parts égales le bénéfice obtenu. Sont également précisés dans le CPE les modalités de suivi de la performance dans le temps, le plan de mesure et de vérification, les conditions de confort assurées aux utilisateurs. Les travaux d'optimisation énergétique sont financés de manière partielle ou intégrale par les économies d'énergie réalisées.

Choisir le CPE permet de valoriser un patrimoine immobilier, maîtriser le budget énergétique global en optimisant durablement l'empreinte énergétique du bâtiment et garantir un certain niveau de confort.

### Et pour conclure ?

Le CPE a été développé par le Parlement Européen et l'État Français depuis la loi Grenelle 1. En parallèle, la loi de transition énergétique ambitieuse de réduire la consommation énergétique primaire des énergies fossiles de 30 % entre 2012 et 2030 et réduire la consommation énergétique finale de 50 % à l'horizon 2050.

Le CPE est aujourd'hui considéré comme un excellent levier clé pour agir. Nos équipes d'ENGIE Cofely se mobilisent pour continuer d'optimiser durablement le patrimoine bâti et les systèmes énergétiques de ces bâtiments est un enjeu crucial, une nécessité absolue.

# « LE BOIS ÉNERGIE OCCUPE UNE PLACE DÉTERMINANTE DANS LE PANORAMA DES ÉNERGIES RENOUVELABLES »



Christophe Chapoulet  
Directeur Général

L'ONF est un EPIC (Etablissement public à caractère industriel et commercial) chargé par l'État de la gestion des forêts publiques françaises, soit 30 % de la surface forestière de l'hexagone. Les missions de l'ONF sont la gestion forestière, la vente de bois, la préservation de l'environnement, l'accueil du public, la gestion des risques naturels, la vente de services. Sa filiale ONF Énergie, créée en 2006, est dédiée à la production de plaquettes forestières. Christophe Chapoulet, Directeur Général, nous explique en quoi cette société apporte une solution pérenne au développement des énergies vertes en France.

### Concrètement, quelle est l'activité d'ONF Énergie ?

Nous prélevons en forêt des bois de faible qualité dont la récolte s'inscrit dans une gestion planifiée de la forêt. Il s'agit de bois présentant de petits diamètres qui ne peuvent être valorisés qu'en bois énergie. Nous abattons les arbres, les stockons le long des routes forestières. Ils sont ensuite broyés et chargés dans des camions qui fournissent directement les chaufferies. 2/3 des plaquettes forestières sont vendues pour alimenter les réseaux de chaleur des villes, 1/3 est destiné à la production d'électricité (sites de cogénération : production d'énergie électrique et thermique).

### Que permet le développement du bois énergie ?

Le bilan carbone du bois énergie est performant car la ressource utilisée se renouvelle constamment. Le bois énergie en France est une énergie renouvelable parce qu'il n'est pas coupé pas plus de bois qu'il n'en pousse. L'intérêt majeur du bois énergie est qu'il contribue à diminuer la dépendance aux énergies

fossiles ; la filière est aussi performante en transport puisque les circuits sont locaux : la distance moyenne entre la forêt et la chaufferie est de 60 km. Cette filière génère des emplois non délocalisables, que ce soit le bûcheron, le transporteur ou l'exploitant en chaufferie. La filière bois énergie emploie aujourd'hui trois à quatre fois plus de salariés que les filières énergies fossiles.

### Quels sont les objectifs atteints par ONF Énergie depuis sa création et quels sont-ils pour les prochaines années à venir ?

En 2016, nous avons dépassé les 550 000 tonnes et sommes le premier fournisseur national de plaquettes forestières. L'objectif d'ONF Énergie et de ses partenaires est d'accompagner la politique publique notamment celle fixée par la Loi sur la transition énergétique. En 2015, la consommation d'énergies renouvelables en France représentait environ 15% de la consommation totale d'énergie.

Dans ces 15%, 40% étaient produits à partir de la biomasse.

Pour 2030, l'objectif est que 30% de la consommation finale française soit

issue d'énergies renouvelables, dont 40% à partir de biomasse. Nous nous attendons donc à ce que dans l'intervalle, la biomasse suive la même évolution, c'est-à-dire que sa production d'énergie soit multipliée par deux. Le bois énergie occupe une place déterminante dans le panorama des énergies renouvelables et son rôle sera accentué dans les années à venir, les gestionnaires restant toujours très vigilants dans la gestion durable des forêts.

L'autre élément est qu'un propriétaire forestier a pour objectif de tirer le meilleur parti de sa forêt et de faire pousser du bois de la qualité la plus élevée possible (bois d'œuvre, bois d'industrie). Le bois énergie n'est pas une fin en soi pour lui.

Les objectifs fixés par le Loi de transition énergétique ne pourront donc être atteints que si la demande française en bois d'œuvre et bois d'industrie progressent elles aussi car ce sont elles qui tirent la production de bois énergie.

## ABERGEL Thibaut



D.R

Thibaut Abergel travaille au sein de la division des technologies de la demande énergétique à l'Agence internationale de l'Énergie (AIE), où il contribue au développement d'un modèle de consommation d'énergie pour le secteur Bâtiments. Ses travaux ont enrichi certaines analyses de l'AIE au regard de la stratégie bas-carbone préconisée pour les bâtiments, du suivi des progrès réalisés au regard de cette même stratégie ainsi que de l'impact de la digitalisation sur le secteur de l'énergie. Il participe également aux travaux de l'Alliance globale pour les bâtiments et la construction, pour laquelle il a co-écrit le *Bilan mondial 2017*. Thibaut Abergel est ingénieur civil diplômé de MINES ParisTech.

## ADELL Germain



D.R

Architecte (Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentine) et urbaniste (Institut d'Urbanisme de Paris), Germain Adell est directeur général adjoint de NOBATEK/INEF4, chargé de la Stratégie & Développement international. Il a été, pendant des années au sein de ce centre, le responsable de la R&D européenne, ayant organisé et dirigé cette activité depuis 2011. Germain Adell est, depuis 2015, membre du comité de direction de l'European Construction Technology Platform à Bruxelles et, depuis 2017, de l'Executive Board de son Energy Efficient Buildings Committee. Il est également coordinateur de 4 projets : Horizon 2020, BUILT2SPEC, INNOQUA et NATURE4CITIES. Il a travaillé en Argentine, en France, en Espagne et au Royaume-Uni, justifiant ainsi d'une expérience académique, scientifique et professionnelle de plus de trente ans dans le secteur.

## AYMOZ Gilles



D.R

Gilles Aymoz est Docteur de l'Université Joseph Fourier de Grenoble I en sciences de la terre et de l'univers, un titre obtenu en 2005. Après un passage à l'INERIS jusqu'en 2009, Gilles Aymoz a été chef du service Qualité de l'air de l'Ademe jusqu'en 2015, puis chef du service Bâtiment de l'Ademe. Les principales missions actuelles de l'Agence sur ce sujet comprennent l'appui aux politiques publiques en matière d'amélioration de la performance énergétique et environnementale des bâtiments, dans le neuf et en rénovation, et le soutien à l'innovation,

notamment dans le cadre du Programme Investissements d'Avenir.

## BERGOUGNOUX Jean



D.R

Jean Bergougnoux est ancien élève de l'École polytechnique et de l'École nationale de la statistique et de l'administration économique. Après avoir commencé sa carrière à l'Institut national de la statistique et au ministère de l'Industrie, il entre à EDF. Après avoir dirigé le service des Études de réseaux et le service des Études économiques générales, il devient directeur de la Stratégie d'EDF, puis directeur général d'EDF de 1987 à 1994. Durant cette période, il est amené à présider l'association des électriciens européens EURELECTRIC et le Comité des études du Conseil mondial de l'énergie. Il est appelé à la présidence de la SNCF en 1994. Président d'honneur de la SNCF depuis 1996, il se partage entre des activités de consultant international dans le domaine de l'énergie et des transports et des activités d'expertise et d'animation de commissions et de groupes de travail pour le compte d'organismes publics, tels que le Centre d'analyse stratégique (aujourd'hui, France Stratégie) ou le Commissariat général à l'investissement. Président fondateur de l'association « Équilibre des énergies » en 2011, il en est, depuis 2014, le président d'honneur.

## BÓDIS Katalin



D.R

Katalin Bódis is a data scientist with degree in mathematics and geography and a PhD in earth sciences, geo-informatics. After eight years of environmental research and teaching at the University of Szeged in Hungary, she joined the multi-disciplinary research and policy supporting activities of the Joint Research Centre of the European Commission in 2003. Katalin's main competences include GIS modelling, applied mathematics, decision support by combining spatial, technical and economic models, data-mining, data harmonization and integration.

## BOYETTE Marie



D.R

Titulaire d'un master en politique et économie de l'énergie (Sciences-Po Paris), Marie Boyette débute au ministère de la Transition écologique et solidaire, au service Climat, où elle travaille sur les politiques nationales d'atténuation des gaz à effet de serre. En 2016, elle rejoint

l'Office franco-allemand pour la transition énergétique (OFATE). Elle traite des questions d'efficacité énergétique et de flexibilité. Dans ce cadre, elle s'occupe de la diffusion d'informations et d'échanges de bonnes pratiques sur l'efficacité énergétique, la chaleur renouvelable, le stockage et le couplage énergétique électrique entre la France et l'Allemagne.

### CAMILIER-CORTIAL Isabelle

Isabelle Camilier-Cortial est ingénieure des Mines et est en poste à la direction générale du Trésor au ministère de l'Économie et des Finances.

### CAMPANA Mireille



D.R

Normalienne, ingénieur général des Mines, Mireille Campana est membre du Conseil général de l'économie, où elle occupe la fonction de Haut fonctionnaire au développement durable des ministères financiers.

Initialement responsable du département R&D de cryptologie et sécurité chez France Télécom, elle a occupé des postes d'encadrement et d'expertise en sécurité dans plusieurs ministères. Elle a ensuite été en charge du soutien au développement des TIC à la direction générale des Entreprises (DGE), notamment en matière de réseaux, contenus, sécurité et Internet, ainsi que de leur diffusion dans l'industrie, la santé, la sécurité et l'éducation, et du Web.

### CHARRUE Hervé

Ancien élève de l'ENS Cachan, Hervé Charrue, après une formation doctorale et d'enseignement dans le supérieur, a rejoint, en 1989, Saint-Gobain Recherche, comme responsable pour le groupe de la recherche sur la mécanique et la thermique des verres. En 1994, il intègre Saint-Gobain Abrasives, en production, puis en dirige l'activité Coated Abrasives Europe.

Depuis 2005, il est directeur de la Recherche du CSTB et, depuis 2012, directeur général adjoint R&D-Expertise. Il a dirigé l'Institut Carnot CSTB, de 2006 à 2015. Il intervient dans les différentes instances de recherche sur le bâtiment et la ville durable, l'énergie, l'environnement, dans le cadre des nombreuses feuilles de route prospectives (EU, Ademe, SNR, SNRE...). Il pilote le groupe Programmatique 7 – Bâtiment de l'ANCRE et est président du conseil scientifique (CS) de l'Institut pour la transition énergétique EFFICACITY, membre des conseils scientifiques de l'Ademe et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées. Il est membre du High Level Group de l'ECTP (European Construction Technical Platform).

### COCHRAN Ian

Ian Cochran encadre les travaux sur les thèmes de l'investissement, du climat et de la finance. Depuis presque dix ans, Ian Cochran travaille dans le domaine du climat



D.R

et de la politique environnementale. Son expertise se concentre sur l'intégration du changement climatique dans la prise de décision et la gouvernance institutionnelle. Il soutient le travail de son équipe sur un large éventail de sujets liés à l'investissement, y compris le rôle des institutions financières publiques dans la transition au bas-carbone, l'intégrité environnementale des produits financiers, la perception du risque climatique par les acteurs financiers, les flux financiers nationaux et internationaux liés au climat et l'alignement du financement du développement sur les objectifs à long terme du changement climatique. Ian Cochran est titulaire d'un Doctorat en sciences économiques de l'Université Paris-Dauphine, d'un Master d'affaires publiques de Sciences-Po Paris et d'un Bachelor (BA) d'études politiques de Syracuse University (États-Unis). Avant de rejoindre I4CE, il a travaillé à l'Organisation pour la coopération économique et le développement (OCDE).

### CRÉPON Étienne

Diplômé de l'École polytechnique et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées à Paris, Étienne Crépon démarre sa carrière en 1993 au ministère du Logement, à la direction du Logement et de la Construction.

Il a été directeur adjoint chargé de l'urbanisme et du développement au cabinet du ministre de l'Équipement. Puis, il a rejoint le cabinet du ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, en tant que directeur adjoint en charge de la recherche, du budget et de l'éducation.

De 2008 à 2014, il est directeur de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages, une direction relevant des ministères du Logement et du Développement durable.

En juillet 2014, il rejoint le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment), en tant que président.

### DAUNAY Julie



D.R

Julie Daunay est manager chez Carbone 4, elle est en poste depuis 5 ans. Elle est co-leader de la Pratique immobilier et est responsable du recrutement.

Elle a accompagné de nombreux acteurs du secteur de l'immobilier sur leurs enjeux climatiques, au travers de missions telles que la coconstruction de stratégies climat, l'analyse de leur empreinte carbone et des risques physiques et fonctionnels pour les parcs immobiliers.

### DUGUÉ Antoine

Ingénieur civil de l'École Nationale Supérieure des Mines de Nancy (en 2008) et Docteur de l'Université de Bordeaux, Antoine Dugué est responsable de l'Innovation de



D.R

NOBATEK/INEF4 et encadre, à ce titre, les projets de R&D et participe à l'écriture de la feuille de route de ce centre de recherche. Depuis 2012, il est le coordonnateur du projet européen E2VENT. Antoine Dugué a d'abord travaillé pendant un an au Chili avant de rejoindre NOBATEK pour y réaliser sa thèse doctorale. De la modélisation énergétique, il s'est ensuite spécialisé dans le développement de systèmes énergétiques en façade en collaboration avec des industriels ou dans le cadre de projets UE. Après en avoir assuré la conception, il a été nommé responsable du banc d'essais de façade de NOBATEK/INEF4, à Anglet.

### DULAC John



D.R

John Dulac est analyste à l'Agence internationale de l'énergie et est responsable du programme Bâtiments depuis septembre 2015. Pour développer l'expertise de l'AIE en matière de technologies et de politiques du bâtiment, il travaille en collaboration étroite avec les programmes de collaboration technologiques de l'AIE (TCP), le consortium sur la cogénération et les réseaux de chaleur (CHP/DHC collaborative), ainsi qu'avec le programme pour le déploiement de l'efficacité énergétique dans les pays émergents (E4). Il a rejoint l'AIE en 2010 en tant que modélisateur. Il a été auparavant associé de recherche à la Banque de Développement Asiatique. John Dulac possède un double Master en affaires internationales et en urbanisme de l'Université de Columbia.

### DUPONT Françoise



D.R

Ancienne élève de l'École Normale Supérieure, agrégée de mathématiques, titulaire d'un DEA de statistique, diplômée de l'Ensaie ParisTech, Françoise Dupont est administrateur de l'Insee. Elle a été assistante de statistique à l'Ensaie ParisTech, puis responsable du suivi conjoncturel de l'investissement au département de la Conjoncture à l'Insee, puis chargée de recherche au sein de l'unité Méthodes statistiques. Elle a été ensuite chef de la division Prix de vente industriels, puis directeur régional adjoint et chef du service Études et diffusion de la direction régionale Rhône-Alpes de l'Insee, cheffe de la division Méthodes et traitements des recensements de l'Insee, conseiller scientifique du Centre d'accès sécurisé distant aux données (CASD), chargée de mission à l'Inspection générale. Elle a travaillé récemment sur l'anony-

misation des données de santé et sur l'accès aux données privées pour la statistique publique dans le cadre des réflexions sur le *Big data*. Elle est, depuis juin 2017, directrice générale du Ceren.

### DURDILLY Robert



D.R

Robert Durdilly est président de Solinergy depuis janvier 2017. Après une carrière au sein d'EDF, où il a occupé différents postes de responsabilité aux niveaux régional et national, il est nommé, en 2007, président de l'UFE (Union française de l'électricité), qui regroupe près de 500 entreprises du secteur de la production, du transport, de la distribution et de la commercialisation de l'électricité. Au titre de ces fonctions, jusqu'en juin 2016, il a représenté la France au Board d'Eurelectric, l'Association européenne des électriciens et s'est impliqué dans la gouvernance du Medef en tant que membre de son conseil exécutif et en tant que vice-président de son pôle Développement durable. À ce titre, il est notamment membre du Conseil national de la transition énergétique.

### FLORETTE Anne



D.R

Ingénieure en cheffe des Ponts, des Eaux et des Forêts, Anne Florette a été responsable dans les années 1980 des labels et des réglementations thermiques dans les bâtiments. Ensuite, elle a poursuivi sa carrière dans l'aménagement, sur un champ allant de la planification urbaine à l'aménagement opérationnel, au sein d'organismes publics et parapublics. Elle a en particulier dirigé une société d'économie mixte d'aménagement et de construction en région Midi-Pyrénées. Puis elle a été directrice de l'immobilier et du foncier pendant 13 ans à Réseau Ferré de France, où elle s'occupait de la vente d'anciens grands terrains ferroviaires aux collectivités locales et aux promoteurs. Ensuite, elle a dirigé un réseau associatif d'aide à la création d'entreprises et au financement des entreprises sociales et solidaires, avant de rejoindre le Conseil général de l'environnement et du développement durable. Elle est également membre du conseil d'administration de SNCF réseau et de la Fondation de France.

### GAËTA Romain

Chef de projet « Évaluation technique et économique des réglementations du bâtiment », Romain Gaëta est diplômé de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (spécialité Bâtiment) et a effectué une quatrième année de spécialisation en Économie du développement durable et de l'énergie à l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

Depuis 2015, il travaille à Paris pour le ministère de la Cohésion des territoires (MCT) et le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) au sein du service en charge de la qualité et du développement durable dans la construction. En tant que chef de projet « Évaluation technique et économique des réglementations du bâtiment », il co-pilote la mise en place et le suivi de l'expérimentation E+C-, notamment sur la thématique du recueil des données économiques.

### GAUZIN-MÜLLER Dominique



D.R

Architecte française installée en Allemagne depuis 1986, Dominique Gauzin-Müller partage ses recherches sur la transition écologique (matériaux, énergie, implications sociales et culturelles) au travers de livres, d'expositions, de cours et de conférences, au niveau international. Membre de la Compagnie des NégaWatts, un groupe d'experts

indépendants qui propose une stratégie de transition énergétique pour la France, elle est aussi professeure honoraire associée de la chaire UNESCO « Architectures de terre, cultures constructives et développement durable ».

### GRANDJEAN Alain



D.R

Diplômé de l'École polytechnique, de l'Ensaë et docteur en économie de l'environnement, Alain Grandjean est co-fondateur et associé de Carbone 4, un cabinet de conseil en stratégie climat.

Il est membre du Comité scientifique de la Fondation Nicolas Hulot et du Conseil économique pour le développement durable

auprès du ministre de la Transition écologique et solidaire. En 2013, il a présidé le Comité des experts du Débat national sur la transition énergétique. En juin 2015, il a remis, avec Pascal Canfin, au président de la République le rapport « Mobiliser les financements pour le climat – Une feuille de route pour financer une économie décarbonée ». En juin 2016, il a remis, avec Gérard Mestrallet et Pascal Canfin, à la présidente de la COP21 un rapport pour des prix du carbone alignés sur l'Accord de Paris. Il est co-auteur de plusieurs livres portant sur la transition écologique. Il est le créateur et l'animateur des « Chroniques de l'anthropocène » : <http://alaingrandjean.fr/> [alain.grandjean@carbone4.com](mailto:alain.grandjean@carbone4.com)

### GULDNER Laurent

Laurent Guldner est chef de projet « Performance environnementale des bâtiments et économie circulaire ».

Laurent Guldner est diplômé de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (spécialité Bâtiment) et est titulaire d'un Master de recherche de l'INSA Lyon (Master

MEGA, spécialité Génie civil).

Depuis octobre 2014, il travaille à Paris pour le ministère de la Cohésion des territoires (MCT) et le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) au sein du service chargé de la qualité et du développement durable dans la construction. En tant que chef de projet « Performance environnementale des bâtiments et économie circulaire », il a animé, en 2015/2016, les concertations avec la filière pour élaborer la partie environnementale du référentiel « Énergie-Carbone ». Depuis 2017, il co-pilote la mise en place et le suivi de l'expérimentation E+C-, en particulier sur le volet des données environnementales en lien avec la base INIES et les déclarants, les éditeurs de logiciels ACV et les bureaux d'études bâtiment.

### HAINAUT Hadrien



D.R

Hadrien Hainaut a rejoint l'équipe d'I4CE en avril 2015, où il est en charge de la nouvelle édition du « Panorama des financements climat ». Sa mission consiste à documenter et à analyser l'investissement climat en France pour mieux comprendre les outils et acteurs du financement de la transition bas-carbone. Avant de rejoindre l'I4CE, Hadrien Hainaut a acquis une expertise transversale sur les politiques

énergie-climat en tant que consultant chez Futur Facteur 4 (Pierre Radanne) et I Care Environnement. Il développe notamment des outils de modélisation de la transition énergétique et des méthodes d'évaluation des politiques publiques sectorielles (bâtiment, R&D), qu'il met en application au cœur du débat public. Hadrien Hainaut est titulaire du Master Environnement, développement durable et gestion des risques (EDDR) de l'École des Affaires internationales de Sciences-Po Paris.

### HAUET Jean-Pierre



D.R

Jean-Pierre Hauet est ancien élève de l'École polytechnique et ingénieur du corps des Mines. Il a commencé sa carrière dans l'administration en tant que chargé de mission auprès du Délégué général à l'énergie et rapporteur général de la Commission de l'énergie du Plan. Il a rejoint ensuite la Compagnie générale d'électricité (CGE) pour y occuper

différentes fonctions :

- président des Laboratoires de Marcoussis, le centre de recherches d'Alcatel-Alsthom ;
- directeur général Produits et Techniques de Cegelec ;
- Senior Vice-President & Chief Technology Officer du groupe ALSTOM.

Depuis 2002, il est Associate Partner de KB Intelligence et exerce des activités de conseil dans les domaines de

l'énergie, des automatismes, des radiocommunications et de la cybersécurité.

Il est également président de la section française de l'ISA (International Society of Automation), membre émérite de la SEE, rédacteur en chef de la REE (Revue de l'Électricité et de l'Électronique) et éditorialiste à *Passages*.

Il est président du Conseil scientifique, économique, environnemental et social de l'association Équilibre des énergies (EdEn).

Jean-Pierre Hauet est l'auteur de nombreuses publications, dont l'ouvrage *Comprendre l'énergie – Pour une transition énergétique responsable*, paru aux Éditions L'Harmattan en 2014.

### JEAN-FRANÇOIS Michel

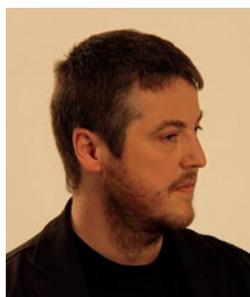


D.R

Michel Jean-François est ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts, membre permanent du Conseil général de l'environnement et du développement durable. Après avoir exercé au sein des services déconcentrés du ministère de l'Équipement dans les domaines des travaux routiers, des transports collectifs, de l'urbanisme et des études plu-

ridisciplinaires d'aménagement, il a été en charge de la maîtrise d'ouvrage de constructions publiques, notamment à Aéroports de Paris, puis est intervenu sur un patrimoine départemental important. Il a ensuite contribué au développement durable dans la construction à la direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages, en administration centrale.

### LAPOSTOLET Bertrand



D.R

Bertrand Lapostolet dirige, depuis 2017, le Fonds de dotation SoliNergy au sein du groupe Effy. Précédemment responsable du programme « Toits d'Abord » à la Fondation Abbé Pierre, il y a animé, depuis 2008, le plaidoyer sur la précarité énergétique et la justice sociale dans la transition énergétique, et participé au comité de pilotage de son rapport

annuel sur l'état du mal-logement en France.

Diplômé en sciences politiques et en sociologie, il s'est engagé sur le terrain de la lutte contre le mal-logement en 1990, dans le secteur associatif (Alpil), puis institutionnel (PDALPD et FSL de la Loire). Il est co-auteur de :

- rapport « Précarité énergétique du Plan Bâtiment Grenelle », avec A. De Quero et Ph. Pelletier, 2009, Documentation Française.
- « Errance et transparence : la question de l'habitat des gens du voyage », 1999, Alpil collectif, Mario Mella Editions.
- « Du Labyrinthe à la spirale : les difficultés de logement dans l'agglomération lyonnaise », 1997, Alpil collectif.

### LAVERGNE Richard



D.R

Richard Lavergne est ingénieur général du Corps des Mines, diplômé de l'École polytechnique (promotion 75), de l'École Supérieure de Métrologie et de Télécom ParisTech. Depuis janvier 2017, il est membre permanent du Conseil général de l'économie (ministère de l'Économie et des Finances), où il y exerce les

fonctions de Référent « Énergie

et Climat ». De 2008 à 2016, il a été conseiller auprès, à la fois, du directeur général de l'Énergie et du Climat (DGEC) et de la Commissaire générale au développement durable (CGDD), au sein du ministère chargé de l'Environnement et de l'Énergie. À ce titre, il a assuré, notamment, les missions de Secrétaire général du Comité pour l'économie verte, de Secrétaire général du Comité d'experts pour la transition énergétique, de vice-président du Comité pour la coopération à long terme (SLT Committee) de l'Agence internationale de l'Énergie et de président pour l'UE du groupe thématique sur les marchés et les stratégies énergétiques dans le cadre du dialogue énergétique UE-Russie. De fin 2012 à mi-2013, Richard Lavergne a été fortement impliqué dans l'organisation du Débat national pour la transition énergétique. De 2008 à 2017, il a été membre du comité directeur de l'Association française des économistes de l'énergie. De 1995 à 2008, il a été directeur de l'Observatoire de l'énergie et des matières premières au sein du ministère chargé de l'Énergie. De 1990 à 1995, il a été directeur du Réseau national d'essais (RNE), organisme national d'accréditation pour les laboratoires d'essai et d'analyse.

### LEDOUX Roman



D.R

Au sein de Carbone 4, Roman Ledoux a contribué à la mise en place de la stratégie carbone de plusieurs clients privés de différents secteurs d'activité (fret, transport de personnes, médias, luxe, industrie, BTP, distribution d'énergie). Pour des clients publics, il a réalisé notamment les bilans carbone du Conseil régional de Martinique, du Conseil

régional d'Auvergne, ainsi que celui du Conseil régional d'Île-de-France et a mis en place le bilan carbone territorial de la collectivité de Saint-Barthélemy. La mission pour le Conseil régional d'Île-de-France a abouti à la création pour le compte de l'Ademe d'un outil Patrimoine et Compétence à destination de collectivités, intégrant la prise en compte des subventions et marchés publics au scope 3.

Co-leader de la Pratique Bâtiment, Roman Ledoux accompagne de nombreux acteurs du bâtiment, que ce soit des promoteurs ou des constructeurs : il possède une expertise reconnue dans la mise en place des stratégies bas-carbone de ces acteurs en lien avec l'ACV des bâti-

ments, que ce soit en phase de construction ou en phase d'exploitation. Il a également accompagné l'association Promotelec dans la définition de son label pour un habitat de qualité énergétique et environnementale (critère CO<sub>2</sub>, mobilité, accessibilité des services, etc.).

Ancien co-leader du groupe de travail Mobilité, Roman Ledoux possède également une expérience des sujets mobilité, énergies renouvelables et des bases de données statistiques (INSEE Budget des familles, INSEE Enquête transports et déplacements...). Il suit également l'actualité des innovations introduites dans la mobilité et le bâtiment, en lien avec les appels à projets immobiliers innovants, comme Réinventer.Paris.

Roman Ledoux est diplômé de l'École Centrale de Nantes, avec une spécialisation en énergie et finance.

### LEGUET Benoît



D.R

Benoît Leguet accompagne depuis 2002 les décideurs publics et privés dans leur compréhension des enjeux liés à la transition vers une économie décarbonée et la mise en place de politiques publiques et d'outils économiques. Il enseigne l'économie du changement climatique dans plusieurs formations de deuxième et troisième cycles. Il est également

membre de plusieurs groupes d'experts : Conseil économique pour le développement durable, Comité de supervision de l'article 6 du protocole de Kyoto, Comité scientifique de la Fondation Goodplanet. Par ailleurs, il a été, en 2013, membre du groupe d'experts mis en place dans le cadre du Débat national sur la transition énergétique.

Benoît Leguet est ingénieur de l'École polytechnique et de l'ENSTA ParisTech, et est titulaire du Master en économie du développement durable, de l'énergie et de l'environnement de l'Université Paris X-AgroParisTech-École polytechnique.

### LENOIR Didier



D.R

Ingénieur civil Ponts (61), Didier Lenoir s'est égaré en 1963 dans les infrastructures des multiples zones dont s'est couverte la France dans les années 1960. Attaché à la notion de territoire et à la nécessité d'une large décentralisation, il se reconvertisse lors de la création des agences d'urbanisme du Havre (66-69), et d'Angers (70-77). La crise pétrolière

s'aggravant, il s'engagea pour développer les énergies locales, mais, dès 1985, la France abandonnait toute politique dans ce domaine. La création de l'AGéMO, dont Didier Lenoir a été délégué général de 1986 à 2008, a permis de résoudre les lourds problèmes financiers des collectivités ayant investi dans la géothermie. Élu en 2002 président du Comité de liaison des Énergies renouvelables

(CLER), il le représenta au cours des débats nationaux, entre 2003 et 2008. Son livre *Énergie, changeons de cap !* a servi d'ouvrage de référence dans le cadre du débat de 2007-2008. Il est actuellement président d'honneur du CLER et urbaniste émérite.

### LOUBLIER Alexis

Alexis Loublier est en poste à la direction générale du Trésor au ministère de l'Économie et des Finances.

### MAESTRONI Myriam

Après une expérience de 20 ans en direction générale dans le secteur du pétrole et du gaz (Dyneff, Agip, Primagaz), Myriam Maestroni a fondé la société Économie d'énergie. Depuis 2011, en partenariat avec les plus grands noms des secteurs de l'énergie, de la distribution, de l'industrie, de la banque et de l'assurance, cette société conçoit des solutions digitales permettant d'accompagner des clients utilisateurs d'énergie dans leur démarche de rénovation et d'optimisation énergétique. En parallèle, elle a traduit son engagement dans la transition énergétique par la création de la Fondation E5T, l'organisation des universités E5T à La Rochelle et en écrivant plusieurs ouvrages (notamment, *Mutations énergétiques* (2010), *Comprendre le nouveau monde de l'énergie 2.0*).

### OSSENBRINK Heinz



D.R

Heinz Ossenbrink is a former head of the Renewables and Energy Efficiency Unit of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission (EC).

His work is dedicated to the scientific support of EU legislation for Renewable Energies and Energy Efficiency. He has led, for more than twenty years, a multidisciplinary team comprised of

about 50 scientists, covering fields like materials science, physics, electrical and building engineering, energy economy, agriculture and geographical information systems. Heinz Ossenbrink holds a Ph.D in Nuclear Physics from Hahn Meitner Institute in Berlin.

### PANEV Strahil



D.R

Strahil Panev is an international expert in energy efficiency policies. He has been a scientific officer at the Joint Research Centre (JRC) and project coordinator at the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

Strahil Panev contributed to several EU publications including the assessment of National Energy Efficiency Action Plans (NEEAPs), the ESCO Market report and the report entitled "Energy Renovation: The

Trump Card for the New Start for Europe". Strahil holds a master's degree on heating, ventilation and cooling products from the Faculty for Mechanical Engineering in Skopje.

### PERROT Étienne

Étienne Perrot est (au moment de la réalisation de cette étude) étudiant à l'École polytechnique.

### PILLET Didier



D.R

Ingénieur en chef des Mines et diplômé de Télécom Paris Tech, Didier Pilet, après avoir exercé plusieurs fonctions opérationnelles de R&D dans le secteur industriel, a intégré, en 2009, le Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies (aujourd'hui, le Conseil général de l'économie (CGE)). Au sein du CGE, il effectue

des missions ministérielles ou interministérielles d'expertises, d'audits et d'inspections, liées notamment à l'industrie, à l'énergie et au développement durable.

### PITON Florian

Chef de projet « Performance environnementale des bâtiments et des produits de construction », Florian Piton a suivi un double cursus d'ingénieur-architecte. Il est diplômé de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (spécialité Bâtiment), ainsi que de l'École Nationale d'Architecture de Lyon.

Après un premier poste au service Bâtiment de l'Ademe, il a rejoint, en 2016, le service en charge de la qualité et du développement durable dans la construction au ministère de la Cohésion des territoires (MCT) et au ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). En tant que chef de projet « Performance environnementale des bâtiments et des produits de construction », il co-pilote la mise en place et le suivi de l'expérimentation E+C- et intervient, notamment, dans le développement de la méthode de calcul E+C-, sur le plan de la performance environnementale.

### POUGET André



D.R

Au gré des évolutions constantes des réglementations thermiques, depuis 1982, POUGET *Consultants* n'a eu de cesse de s'impliquer dans l'élaboration de ces textes et de prôner la sobriété énergétique et la qualité durable du bâti aux services de l'architecture, de la qualité de vie et du confort des occupants.

Implanté à Paris et à Nantes, POUGET *Consultants* est organisé aujourd'hui autour d'un pôle administratif et financier et de deux pôles opérationnels, un sur l'acte de construire, et l'autre sur la rénovation. Fort de 50 colla-

borateurs, POUGET *Consultants* intervient aussi bien en amont (AMO et aide à la conception) qu'en aval de la réalisation de chantiers, voire en accompagnement en phase d'exploitation, en matière de R&D ou de conseil.

Afin d'assurer un passage de relais efficace, André Pouget, gérant et fondateur de POUGET *Consultants*, transmet en interne son expérience à quatre salariés devenus récemment associés : il s'agit, à Nantes, de Vincent Braire et Gilles Guyot, et, à Paris, de Rodrigue Leclech et Charles Arquin. <http://www.pouget-consultants.eu/>

### PRIEM Laetitia

Cheffe de projet « Signes de qualité dans la construction », Laetitia Priem a suivi un double cursus d'ingénieur-architecte. Elle est diplômée de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (spécialité Aménagement et Politiques urbaines), ainsi que de l'École Nationale d'Architecture de Lyon.

Depuis août 2017, elle travaille à Paris pour le ministère de la Cohésion des territoires (MCT) et le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) au sein du service en charge de la qualité et du développement durable dans la construction. En tant que cheffe de projet « Signes de qualité dans la construction », elle co-pilote la mise en place et le suivi de l'expérimentation E+C- et est en charge, notamment, de la communication et de l'accompagnement des acteurs, ainsi que du suivi du label E+C-, en lien avec les organismes de certification.

### RÖSNER Sven



D.R

Après des études d'économie et de gestion en Allemagne et en Angleterre et une première expérience professionnelle d'analyste à Londres (RHUL), Sven Rösner est arrivé en France en 2004. Après avoir occupé différents postes dans l'industrie, il a intégré, en 2009, le secteur des énergies renouvelables. Dans le cadre de son travail, il a notamment

contribué à l'élaboration d'analyses techniques de la faisabilité et de la rentabilité de projets solaires et de stockage d'électricité, sur 4 continents.

En 2014, il intègre, en qualité de directeur adjoint, l'équipe de l'Office franco-allemand pour la transition énergétique (OFATE), forum pour les parties prenantes (administrations, industrie, finance, recherche, société civile) de la transition énergétique en France et en Allemagne, hébergé par la direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) du ministère français de la Transition écologique et solidaire et le ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie à Berlin. Il assure la direction de l'OFATE depuis mai 2016.

### SAHEB Yamina

Yamina Saheb is Senior Climate and Energy Policy Analyst at Openexp.

Prior to this position, Yamina Saheb was Policy and Sci-



D.R

entific Officer at the Renewables and Energy Efficiency Unit of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission (EC). Before joining the JRC, she worked as senior buildings energy efficiency policy analyst at the International Energy Agency (IEA).

Yamina Saheb holds a Ph.D in Energy Engineering, Master's degrees on Landscape Architecture and Development Economics and an Engineering degree in Building technologies.

### SOULETIE Arthur

Arthur Souletie est en poste à la direction générale du Trésor au ministère de l'Économie et des Finances.

### SZABO Sandor



D.R

Sandor Szabo has degree in finance, economics and a PhD. in public policy. After working in the Ministry of Environment and in a private consultancy in Hungary, he joined Renewables and Energy Efficiency Unit of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission (EC).

Sandor Szabo has specialized on risk finance and economic incentive mechanisms for sustainable energy consumption and power systems with high renewable penetration. He has been coordinating the African Renewable Energy Technology Platform, transforming geo-economic models to policy and business applications.

### THIÉBAUT Aloïs

Chef de projet « Réglementation thermique pour les bâtiments neufs », Aloïs Thiébaud est diplômé de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (spécialité Bâtiment) et est titulaire d'un Mastère spécialisé en management de l'environnement et de l'énergie de l'INSA Lyon. Depuis 2016, il travaille à Paris pour le ministère de la Cohésion des territoires (MCT) et le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) dans le service en charge de la qualité et du développement durable dans la construction. En tant que chef de projet « Réglementation thermique pour les bâtiments neufs », il co-pilote la mise en place et le suivi de l'expérimentation E+C- et intervient, notamment, dans le développement de la méthode de calcul E+C-, sur le plan de la performance énergétique.

### WÖRSDÖRFER Mechthild

Mechthild Wörsdörfer est directrice en charge des Énergies renouvelables, Recherche et Innovation et Efficacité énergétique au sein de la Direction générale (DG) Énergie de la Commission européenne (CE). Elle était précédemment



D.R

(2014-2017) directrice pour la Politique énergétique au sein de la même DG et supervisait le développement de la stratégie pour l'Union européenne de l'énergie, les questions de gouvernance énergétique et les relations extérieures. Elle a occupé auparavant divers postes à responsabilité au sein de la DG

Énergie et de la DG Entreprise et Industrie de la CE. Entre 1999 et 2004, elle a été membre du Cabinet de Erkki Liikanen, Commissaire européen à la politique des entreprises et de la société de l'information. Mechthild Wörsdörfer est diplômée en économie de l'Université de Heidelberg (Allemagne), de l'Université de Montpellier (France) et de l'Université Libre de Bruxelles (Belgique). Mechthild Wörsdörfer parle l'allemand, l'anglais, le français et l'espagnol.

### ZÉLEM Marie-Christine



D.R

Marie-Christine Zélem est professeur à l'Université de Toulouse Jean Jaurès. Elle enseigne l'anthropologie des techniques et du développement, la sociologie de l'environnement et des risques, la sociologie de l'énergie et des controverses. Elle est membre du laboratoire CERTOP-CNRS, directrice de l'axe TERNOV (Transitions écologiques.

Risques, innovations, tourisme).

Ses recherches portent sur les interfaces sociotechniques et les conditions du changement social. Elle interroge les modes de réception et de participation aux politiques publiques environnementales, en particulier dans le domaine des déchets et de l'énergie. Elle questionne par ailleurs les modalités de la transition écologique à l'échelle des territoires.

Jusqu'en septembre 2016, elle a fait partie du Comité des experts pour la Transition énergétique et a été membre du Conseil scientifique de la Fondation pour la Nature et l'Homme.

Elle a en particulier publié en 2010 aux Éditions L'Harmattan : *Politiques de maîtrise de la demande d'énergie et résistances au changement* et, en 2015, avec Christophe Beslay, *La sociologie de l'énergie : gouvernance et pratiques sociales*, aux Éditions CNRS.

Elle a écrit en 2016 : « Les effets pervers de la sobriété énergétique. L'écologisation contrainte des modes de vie », *Revue des sciences sociales*, n°55, « Environnementalisme et citoyenneté », pp. 70-80.

Avec Christophe Beslay et Romain Gournet, elle a co-écrit, en 2015 : « Le "bâtiment économe", utopie technicienne et "résistance" des usages », in J. Boissonnade (dir), *La ville durable controversée. Les dynamiques urbaines dans le mouvement critique*, Paris, éd. Petra, coll. « Pragmatismes », pp. 335-363. Et, en 2013 : « Pas de *smarts-cities* sans *smarts-habitants* », *Urbia*, n°15, pp. 45-60.

# RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

## Quel financement efficace des Objectifs de développement durable (ODD) ?

Éditorial - Neven MIMICA

Avant-propos - Françoise ROURE et Mireille CAMPANA

### Une falaise à gravir : une aide publique au développement se chiffrant en trillions

L'atteinte des Objectifs de développement durable : les solutions proposées par la Banque mondiale - **Hervé de VILLEROCHÉ** et **Cécile POT**

Comment prévenir les crises systémiques et les *stranded assets* (actifs échoués) liés aux risques climatiques ? - **Dominique AUVERLOT**

L'Agenda 2030 des Nations Unies pour le financement du développement durable : la conférence d'Addis-Abeba et ses suites - **Cyrille PIERRE**

L'adaptation du cadre statistique du Comité d'aide au développement (CAD) aux Objectifs de développement durables (ODD) - **Valérie THIELEMANS**

Les difficultés du financement de la protection de l'environnement : comment en sortir ? - **Dominique DRON**

### Le financement des ODD : les choix de la France et de l'Union européenne

Quels leviers financiers de coopération pour la France ? Une approche critique de leur efficacité - **Philippe JAHSHAN**

La mise en œuvre des Objectifs de développement durable (ODD) en France : indicateurs de suivi et financement

**Laurence MONNOYER-SMITH** et **Vanessa LORIOUX**

Luxembourg Green Exchange: the meeting place for ESG-conscious issuers and investors - **Chiara CAPRIOLI**

The inclusion of Science, Technology and Innovation (STI) in the Financing of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs)

**Prof. Enrico GIOVANNINI** and **Dr. Françoise ROURE**

Le financement des Objectifs de développement durable (ODD) - **Philippe ORLIANGE**

Le financement des Objectifs de développement durable (ODD) par les choix d'investissement faits par l'ERAFP en matière de gestion du régime de retraite additionnelle de la Fonction publique - **Philippe DESFOSSÉS**

Comment financer l'atteinte de l'Objectif de développement durable « Eau » en 2030 ? - **Gérard PAYEN** et **Patrice FONLLADOSA**

### L'action de la sphère civile et entrepreneuriale en faveur des ODD

Contribuer aux Objectifs de développement durable par une meilleure gestion des ressources naturelles : le cas de l'Initiative pour la Transparence des industries extractives (ITIE) - **Asmara KLEIN**

Urbanization, a financing challenge for a sustainable world - **Douglas FINT**

Une fiscalité verte efficace pour le climat : retour sur l'expérience suédoise - **Pierre-Alexandre MIQUEL**, **Julien GROSJEAN** et **Thomas STERNER**

L'essor des *green bonds* : potentialités et limites - **Arnaud BERGER**

La place des fondations dans le financement de l'Objectif Santé des ODD – L'approche de la Fondation Mérieux - **Benoît MIRIBEL**

Financement du développement et évasion fiscale - **Lucie WATRINET**

Le capitalisme philanthropique : un certain renouveau de la solidarité internationale - **Marc LÉVY**

Les Objectifs de développement durable (ODD) et le secteur financier : l'expérience de la Caisse des Dépôts - **Maria SCOLAN**



Octobre 2017

Ce numéro est coordonné par **Françoise ROURE** et **Mireille CAMPANA**

Pour plus d'informations, nous invitons le lecteur à se reporter sur notre site :

<http://www.anales.org>