



Comment atteindre la neutralité carbone dans le secteur résidentiel ?

La neutralité carbone est désormais un objectif premier de la politique énergie-climat de la France et de l'Union européenne. Elle est indispensable si l'on veut que les quantités considérables de gaz à effet de serre rejetées chaque année dans l'atmosphère du fait des activités humaines ne s'y accumulent pas pour des siècles, en mettant en péril l'avenir de l'humanité. Mais cette neutralité carbone est-elle possible et si oui, comment l'atteindre ? Le cas du secteur résidentiel est l'un des plus cruciaux.

JEAN-MICHEL CAYLA¹, LAURENT GRIGNON-MASSÉ¹,
JEAN-PIERRE HAUET²
¹ELECTRICITÉ DE FRANCE EDF, ²EQUILIBRE DES ENERGIES
(EDEN)

Le résidentiel : un enjeu majeur de la transition énergétique

Le secteur résidentiel, hors bâtiments à usage tertiaire, est responsable de 20 % des émissions de CO₂¹ de la France et de 30 % des consommations finales d'énergie. C'est donc un secteur prioritaire de la politique de transition énergétique pour lequel des objectifs très ambitieux ont été retenus, dès la première Stratégie nationale bas carbone (SNBC) approuvée en 2015.

Mais les résultats observés à fin 2016 et fin 2017 ont été très décevants et il est clair que le secteur résidentiel, comme celui des transports, n'évolue pas aujourd'hui

conformément à la trajectoire souhaitée. Cependant, les pouvoirs publics considèrent qu'il est possible de rattraper ce retard au cours du 4^e budget carbone (2029-2033) et de viser à horizon 2050 un objectif national encore plus ambitieux que le facteur 4 : celui de la neutralité carbone.

L'atteinte d'un tel objectif suppose que les émissions de gaz à effet de serre (GES) résiduelles soient compensées en totalité par les puits de carbone : forêts, autres espaces boisés. Le récent projet de nouvelle Stratégie nationale bas carbone met en lumière que ces puits permettront, en première approximation, de compenser les émissions de GES autres que le CO₂ ainsi que les émissions de CO₂ résultant d'activités industrielles spécifiques (ciment, verre, chaux...). Cela signifie, dans le secteur résidentiel **qu'une décarbonation quasi-complète du secteur à l'horizon 2050 est nécessaire pour permettre à la France de devenir neutre en carbone**².

¹ Y compris les émissions indirectes liées à la production d'électricité (2,4 % environ).

² Projet de SNBC – Version de décembre 2018 – Page 74.

Un tel objectif est-il atteignable et si oui quelle stratégie doit être suivie à cet effet ? Dans une première partie nous établirons un diagnostic du parc de logements français de façon à identifier les logements dont la rénovation thermique devrait être entreprise au plus vite. On retrouve là, la notion de **passoires thermiques**, aujourd’hui fortement médiatisées, mais qu’il faut s’efforcer de bien caractériser car sa définition correcte conditionne l’efficacité des moyens déployés.

Dans une seconde partie, nous aborderons le second volet du problème : quelles stratégies et quelles solutions sont-elles possibles pour atteindre la neutralité carbone ?

Première partie : Etat des lieux et priorités

Diagnostic de l’état du parc et identification des priorités

L’urgence réaffirmée par les projets de SNBC et de PPE est l’**urgence climatique** et l’ambition de toute stratégie de rénovation du parc de logements doit être d’atteindre, si possible dès 2050, la neutralité carbone.

Mais il faut y regarder de plus près et des considérations complémentaires sont à prendre en compte :

- l’amélioration de la qualité des bâtis, gage de faibles consommations à long terme, quel que soit l’avenir énergétique du pays³ ;
- la maîtrise des factures énergétiques des ménages ;
- la réduction de la précarité énergétique.

Il est clairement apparu, au travers des événements qui ont affecté la France en fin d’année 2018, que ces deux

³ On rappelle que la durée de vie des logements est aujourd’hui supérieure à 100 ans.

dernières considérations, intimement liées, sont aujourd’hui essentielles.

Le parc de logements doit donc être analysé selon plusieurs critères. Une telle analyse permet de déterminer les segments du parc à rénover en priorité avant d’établir une stratégie de rénovation à plus long terme visant à atteindre la neutralité carbone.

La notion de « passoire thermique »

Les politiques publiques de rénovation énergétique de l’habitat ont mis en avant le concept de « passoire thermique » dont on comprend intuitivement qu’il désigne les logements fortement déperditifs et donc à traiter en priorité. Il est vrai que la première réglementation thermique des bâtiments date en France du 10 avril 1974 et que, selon l’INSEE⁴, il y a encore 20 millions de logements, soit 58 % du parc, construits avant 1974, donc sans aucune contrainte sur le plan thermique, à l’exception des logements chauffés à l’électricité pour lesquels dès 1971 EDF a promu des labels de qualité du bâti.

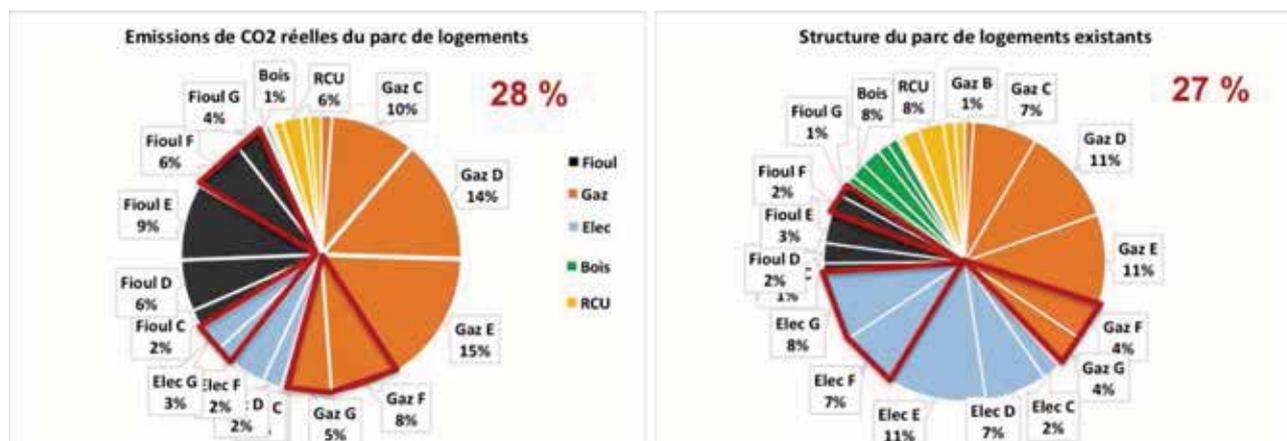
Les pouvoirs publics souhaitent ainsi cibler les logements F et G selon l’étiquette Energie du diagnostic de performance énergétique (DPE) qui est censé représenter la qualité thermique des logements.

Mais on connaît les réserves qui sont formulées sur cet indicateur dont les récentes dispositions de la loi ELAN rendent la réforme nécessaire afin de le rendre « opposable ». On peut donc se poser la question de savoir si le critère de « passoire thermique » officiellement retenu est pertinent au regard des objectifs définis ci-dessus.

D’où viennent les émissions de CO₂ du parc résidentiel ?

Les émissions de CO₂ dépendent des consommations d’énergie mais également des facteurs d’émission des

⁴ Insee Références, édition 2017 - Fiches - Parc de logements.



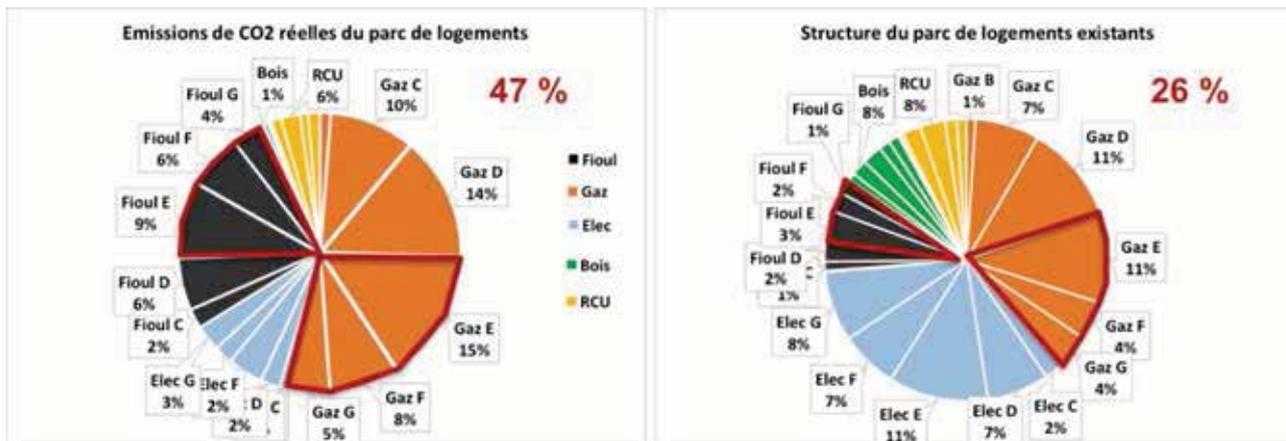


Figure 2 : Ciblage des logements français les plus émetteurs de CO₂ – Source : SDES enquête PHEBUS 2013.

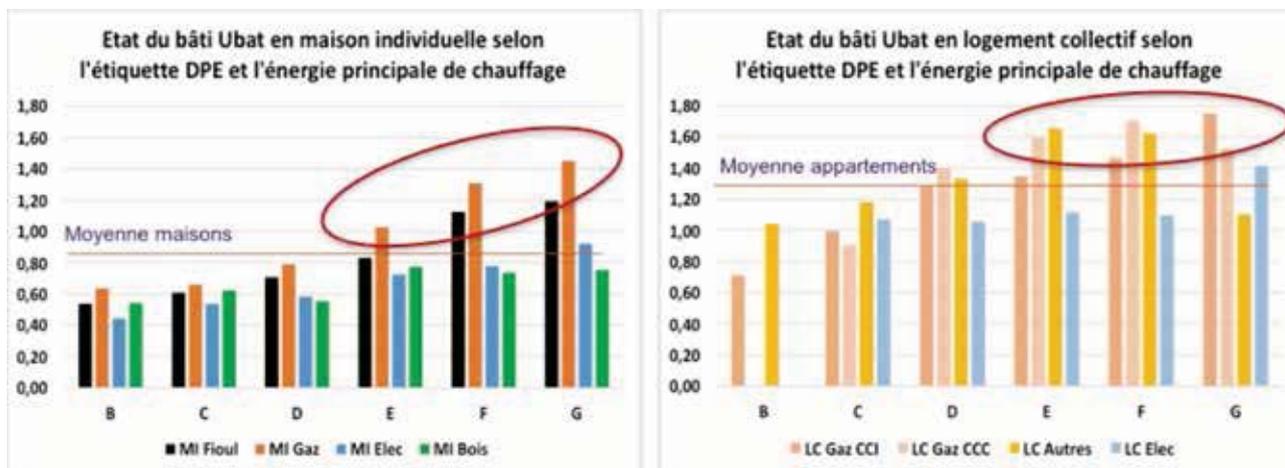


Figure 3 : Performance thermique du bâti des logements français – Source : SDES enquête PHEBUS 2013.

énergies qui varient significativement : 139 grammes de CO₂/kWh pour le chauffage électrique⁵, 205 grammes de CO₂/kWh pour le gaz naturel et 272 grammes de CO₂/kWh pour le fioul d'après la Base carbone de l'ADEME en 2015. Il est alors possible de dresser les graphiques repris dans les figures 1 et 2 qui analysent le parc des logements en fonction de l'énergie de chauffage et de l'étiquette DPE et des émissions que chaque segment du parc ainsi déterminé occasionne.

La figure 1 montre que le critère officiel de définition des passoires thermiques correspond à 27 % du parc représentant 28 % des émissions.

Mais les mêmes graphiques repris dans la figure 2 montrent qu'un fléchage sur les logements chauffés aux énergies fossiles et présentant une étiquette énergie E, F ou G permettrait de cibler 47 % des émissions pour un nombre de logements pratiquement identique (26 %).

Ces logements correspondent par ailleurs très largement (à 80 %) aux étiquettes F et G du DPE exprimé en

émissions de GES. Il y aurait donc là une autre possibilité de cibler les logements à rénover en priorité en utilisant l'étiquette GES du DPE.

Où se trouvent les bâtis de mauvaise qualité ?

Les performances énergétiques de l'enveloppe d'un logement dépendent principalement des propriétés isolantes des éléments qui la constituent (vitrages, parois). L'indicateur Ubât (pertes par m² de surfaces déperditives) est un bon indicateur de la performance de l'enveloppe des logements ; il permet d'identifier les bâtis de mauvaise qualité.

L'enquête Phébus de 2013⁶ fournit une vision de l'état thermique du parc et permet notamment de rapprocher la valeur de l'Ubât de l'étiquette énergie du DPE. La corrélation entre les deux grandeurs est très médiocre et, pour une même étiquette, il y a une grande disparité des valeurs de l'Ubât :

- à étiquette DPE donnée, les logements collectifs (LC) ont des Ubât plus mauvais que les maisons individuelles (MI). En effet, dans l'étiquette DPE, leurs parois de moins bonne

⁵ Une mise à jour récente de la base carbone fournit plutôt un contenu carbone de l'électricité pour le chauffage de 119 g CO₂/kWh en 2018.

⁶ Enquête Performance de l'Habitat, Équipements, Besoins et Usages de l'énergie (Phébus) – Ministère de la transition écologique et solidaire.

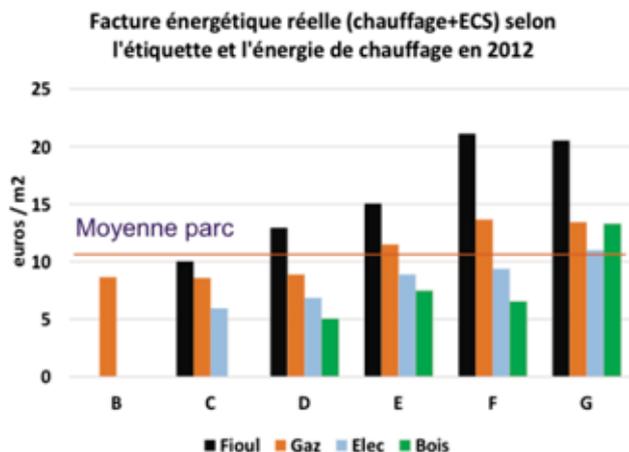


Figure 4 : Facture énergétique des logements français. Source : SDES enquête PHEBUS 2013.

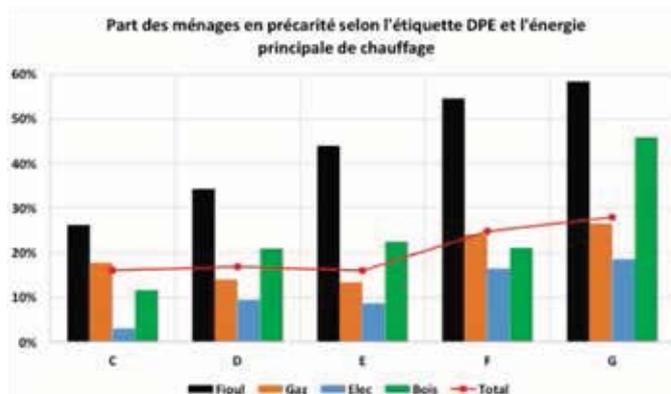


Figure 5 : Précarité énergétique dans les logements français. Source : SDES enquête PHEBUS 2013.

qualité⁷ sont compensées par des pertes globales plus faibles car ils sont plus compacts ;

- à étiquette DPE donnée, les logements chauffés à l'électricité ont de meilleurs Ubât car la classification DPE est pénalisée par le coefficient de conversion du kWh électrique en énergie primaire de 2,58. Les logements F chauffés à l'électricité présentent par exemple un bâti de meilleure qualité thermique que les logements D chauffés au gaz ;
- à étiquette DPE donnée, les logements chauffés au bois ont de meilleurs Ubât car l'impact sur le DPE de la qualité des parois se trouve contrebalancé par les faibles rendements des appareils de chauffage (foyers ouverts...).

D'une façon générale, ce sont les logements E, F et G chauffés aux énergies fossiles qui présentent les bâtis de moins bonne qualité.

Quels sont les logements ayant les factures énergétiques les plus élevées ?

La figure 4 classe les logements, selon leur étiquette DPE Energie, en fonction des factures des ménages. On constate, pour une même étiquette DPE, une grande disparité des charges car, à nouveau, le coefficient d'énergie primaire pesant sur l'électricité distord les comparaisons et par ailleurs il y a des différences importantes de prix entre énergies. **L'étiquette Energie du DPE n'est donc pas une bonne estimation des factures énergétiques supportées par les ménages.**

A étiquette donnée, on constate cependant que le fioul est synonyme de factures sensiblement plus élevées que celles afférentes aux autres énergies ; inver-

sement le bois occasionne significativement moins de dépenses. Notons que l'évolution programmée de la contribution climat-énergie, si elle se poursuit, pèsera fortement sur les usagers chauffés au fioul ou au gaz, pouvant créer ou accroître certaines situations de précarité, comme le montre le paragraphe qui suit.

Si l'on fait une comparaison entre étiquettes, il apparaît clairement que les logements à l'origine des dépenses les plus élevées sont les logements E, F et G chauffés aux énergies fossiles.

Où se trouvent les ménages en situation de précarité énergétique ?

La précarité énergétique est définie par la loi comme étant la situation d'une personne qui éprouve dans son logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ses besoins élémentaires en raison de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat. Elle est classiquement définie ici comme la part des ménages consacrant plus de 10 % de leurs revenus aux dépenses d'énergie. A nouveau, **l'étiquette Energie du DPE n'apparaît pas comme pas un bon indicateur du phénomène de précarité énergétique.** Les ménages chauffés au fioul sont en grande partie en situation de précarité énergétique, même lorsque l'étiquette DPE est relativement bonne (C ou D).

Quelles priorités retenir ?

Il ressort de cette analyse et au regard des critères qui sous-tendent les politiques publiques dans le domaine de l'énergie, que les logements à rénover en priorité sont les logements fortement émissifs, présentant un mauvais état thermique et associés à des factures énergétiques

⁷ Notamment lié à la composition des parois déperditives : plus de murs et de fenêtres et moins de toitures et de planchers. Les murs et surtout les fenêtres présentant des déperditions surfaciques généralement plus importantes que les toitures et les planchers.

élevées. Ce sont les logements d'étiquette Energie E, F et G chauffés aux énergies fossiles. Ces logements correspondent aux logements F et G selon l'étiquette GES.

Cette cible de priorité absolue représente environ 30 % du parc et est facilement identifiable à partir des informations existantes fournies par le DPE tel qu'il est aujourd'hui. S'attaquer à ces logements permettrait des gains rapides et importants en matière de réduction d'émissions de CO₂, de déperditions thermiques, de précarité énergétique et de facture globale des ménages.

A contrario, cibler les logements d'étiquette Energie F et G sans tenir compte de l'énergie principale de chauffage, réduit considérablement l'impact potentiel de la politique publique en termes d'émissions de CO₂ et conduit à allouer des ressources à certains logements alors que d'autres mériteraient d'être traités en priorité.

Deuxième partie : Comment atteindre la neutralité carbone ?

Neutralité carbone et niveau d'émission autorisé en résidentiel

Dans la première partie de cet article, nous avons établi un diagnostic du parc français de logements et identifié ceux dont la rénovation thermique devrait être entreprise au plus vite.

Mais l'objectif de neutralité carbone est très exigeant, il vise à ne pas rejeter toujours davantage de CO₂ dans l'atmosphère dont on sait que seule une faible part pourra être récupérée par les puits de carbone naturels que sont les océans, les sols et la biomasse, le solde restant dans l'atmosphère pour des centaines voire des milliers d'années. Pour compenser le solde des émissions des secteurs qui resteront, dans une certaine mesure, dépendants des ressources carbonées (transports et certains procédés industriels), on pense qu'il sera possible de stimuler des puits de carbone qui pourraient absorber jusqu'à

85 Mt de CO₂ en 2050. Mais il n'est pas prévu que ce potentiel, au demeurant incertain, puisse bénéficier au secteur résidentiel et tertiaire. C'est donc bien la décarbonation complète que le secteur résidentiel doit viser et il faut pour cela conjuguer deux approches complémentaires :

- la rénovation de l'enveloppe des bâtiments ;
- l'amélioration de la performance énergétique et carbone des équipements.

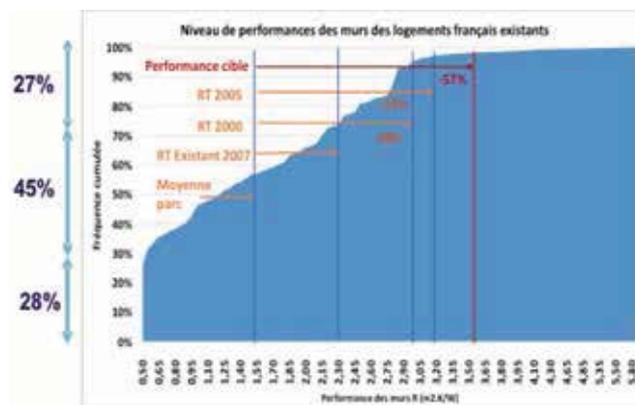
Que peut-on attendre de la rénovation de l'enveloppe des logements ?

Il est possible de considérer qu'à un horizon à fixer, l'enveloppe de tous les bâtiments existants aura pu être rénovée à un niveau de performance globale du bâti proche de celui de la construction neuve RT 2012 pour les maisons et à un niveau compris entre ceux des RT 2005 et 2012 pour les logements collectifs.

Ces niveaux de performance sont compatibles avec les niveaux de performance du label BBC en rénovation et correspondent en pratique aux valeurs observées dans le cadre d'expérimentations⁸. Ils correspondent à des valeurs moyennes des indicateurs Ubât de l'ordre de 0,35 en maison et de 0,55 en logement collectif, caractérisés par les indicateurs suivants : toiture, R=8 ; murs, R=3,5 ; planchers, R=4,5 ; fenêtres, U=1,5 ; ponts thermiques, PT=20.

La rénovation thermique du bâti à de tels niveaux génère un volume d'économies d'énergie très variable selon l'état initial du bâti. Les figures 6 illustrent ce phénomène en segmentant le parc à rénover en fonction des performances thermiques des murs, premier poste de déperditions du bâti. Environ un quart des logements possèdent des murs ne faisant l'objet d'aucune isolation et pour lesquels le gain sera maximal, de l'ordre de 80 à 85 % de réduction des déper-

⁸ Comme par exemple le programme « Je rénove BBC » en Alsace.



Figures 6 : Distribution du parc de logements en fonction de la qualité des murs et gains escomptés de leur rénovation à un niveau très performant. Source : Enquête PHEBUS (SDES) 2013.

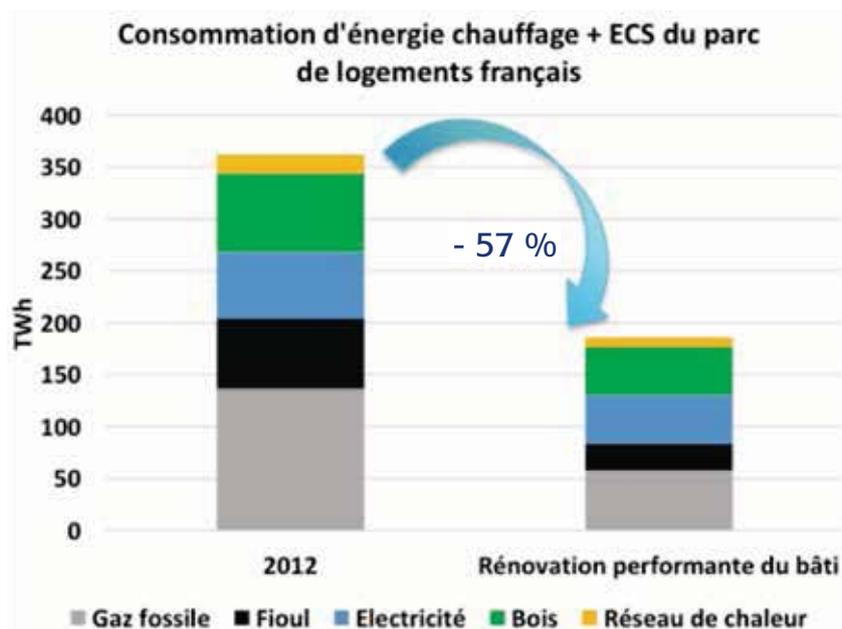


Figure 7 : Impact sur la consommation d'énergie des logements français d'une rénovation complète des bâtiments.

ditions à travers les parois. A l'opposé, environ un quart des logements ont un niveau de performance déjà supérieur à l'exigence de la précédente réglementation thermique pour l'existant de 2007 et les gains y seront donc très modérés, de l'ordre de 15 à 20 %. Entre les deux, environ la moitié du parc de logements possèdent des murs aux performances variables pour lesquels il est possible d'espérer des gains intermédiaires. En moyenne sur tout le parc, il est possible de compter sur un gain de performance de 57 % après rénovation de l'ensemble des logements.

Au global, en tenant compte des potentiels de gain des différentes parois du bâti, et en supposant possible la rénovation de l'ensemble du parc, une réduction potentielle de plus d'un facteur 2 sur les consommations

d'énergie et les émissions de CO₂ est possible grâce à la rénovation du bâti (figure 7).

La rénovation des équipements de chauffage et d'ECS

Quelles solutions sont aujourd'hui disponibles ?

Selon les systèmes en place, diverses solutions de rénovation sont aujourd'hui disponibles. Elles sont résumées par le tableau 1.

Quel potentiel technique pour les différentes énergies ?

La migration des différents systèmes de chauffage vers des solutions performantes doit tenir compte de plusieurs

	Avant rénovation	Après rénovation
Maisons individuelles	• Chauffage au gaz ou au fioul	• Solutions bois • Pompes à chaleur air/eau
	• Chauffage à l'électricité	• Conservation des solutions avec amélioration des rendements • Pompes à chaleur air/air
	• Chauffage au bois	• Conservation des solutions avec amélioration des rendements
Logements collectifs	• Chauffage collectif centralisé aux énergies fossiles	• Chaudières plus efficaces • Raccordement à un réseau de chaleur • Pompes à chaleur air/eau
	• Chauffage électrique individuel	• Conservation des solutions avec amélioration des performances
	• Chauffage centralisé individuel aux énergies fossiles	• Chaudières plus efficaces • Pompes à chaleur air/air ou air/eau • Radiateurs électriques à hautes performances

Tableau 1 : Solutions de rénovation disponibles selon la situation initiale.

contraintes et notamment de la possibilité technique de raccordement aux réseaux de chaleur, de la disponibilité de la ressource en bois ainsi que la disponibilité en gaz renouvelable. Ces différentes contraintes sont discutées ci-après.

Le raccordement aux réseaux de chaleur

Les coûts de développement de nouveaux réseaux de chaleur font que la pertinence technico-économique de la solution réseau de chaleur repose principalement sur la densité et le nombre de logements à raccorder. En considérant la totalité des logements théoriquement éligibles car proches d'un réseau de chaleur existant, ainsi que 50 % des logements théoriquement éligibles⁹ mais pour lesquels il n'existe aujourd'hui aucun réseau de chaleur à proximité, on parvient au chiffre de 1 million de logements supplémentaires chauffés au réseau de chaleur urbain à long-terme ce qui constitue une augmentation de 75 %.

Le recours au bois à des fins énergétiques

Les ressources en bois sont limitées. Une étude récente IGN/ADEME/FCBA permet de penser que la ressource actuelle pourrait être augmentée de 40 % en 2035 par rapport à 2015. Après déduction de ce potentiel des besoins prioritaires du bois d'œuvre, dont les ossatures bois pour la

construction et les panneaux isolants¹⁰, et de l'industrie (papier et matériaux bio-sourcés), il pourrait subsister un potentiel de 100 TWh environ disponibles à des fins énergétiques.

Ce potentiel risque d'être absorbé par le chauffage bois direct (48 TWh), les réseaux de chaleur (23 TWh) et l'usage d'appoint bois des ménages (33 TWh). La ressource mobilisable pour la production de méthane par pyrogazéification serait alors pratiquement nulle. Nous retiendrons cependant un potentiel de production de méthane de 10 TWh correspondant à la valorisation de combustibles solides de récupération – chiffre conforme à l'évaluation de l'ADEME dans son scénario central « Vision 2030-2050 » – et, en hypothèse haute, un potentiel de 24 TWh correspondant à l'estimation de la SNBC sur la base d'un scénario de mobilisation de la ressource bois très volontariste.

Le recours au gaz décarboné : un volume de biogaz disponible pour le résidentiel compris entre 0 et 25 TWh

L'arrivée massive de gaz décarboné dans le système énergétique est présentée comme tout à fait possible par beaucoup de parties prenantes du secteur gazier. Cependant une forte incertitude demeure dans la mesure où le point de départ est très faible (0,4 TWh en 2017) alors que les objectifs visés sont très ambitieux.

¹⁰ Source pour les besoins de la construction : ENSA Toulouse/Les Amis de la Terre « Projet de recherche TERRACREA. Disponibilités en terres arables métropolitaines pour une production soutenable de matériaux biosourcés pour la construction/réhabilitation de bâtiments compatibles avec les objectifs « Grenelle » 2014.

⁹ Calculs EDF considérant l'ensemble des bâtiments équipés de chaudières collectives dans les IRIS dont la densité est supérieure à 20 logements/km². Source : INSEE, AMORCE.

Ressources en méthane renouvelable TWh PCI	Vision 2030-2050 ADEME Scénario médian		Stratégie Nationale Bas-Carbone Scénario haut	
	Forte (ADEME)	Faible (SNBC)	Forte (ADEME)	Faible (SNBC)
<i>Méthanisation</i>	73		139	
<i>Pyrogazéification</i>	10			
<i>Power to CH₄</i>	0		3	
Total	83		142	
Demande de gaz	Forte (ADEME)	Faible (SNBC)	Forte (ADEME)	Faible (SNBC)
<i>Part électricité dans l'industrie</i>	38%	75%	38%	75%
<i>Industrie</i>	77	30	77	30
<i>Autres secteurs dont production électricité et transports</i>	124	82	124	82
Total hors bâtiments	201	112	201	112
Ressource méthane renouvelable disponible pour le secteur résidentiel	0 (-120)	0 (-30)	0 (-60)	27

Tableau 2 : Estimation des ressources en gaz renouvelable disponible pour le secteur résidentiel après prise en compte des besoins prioritaires en gaz (en TWh PCI).

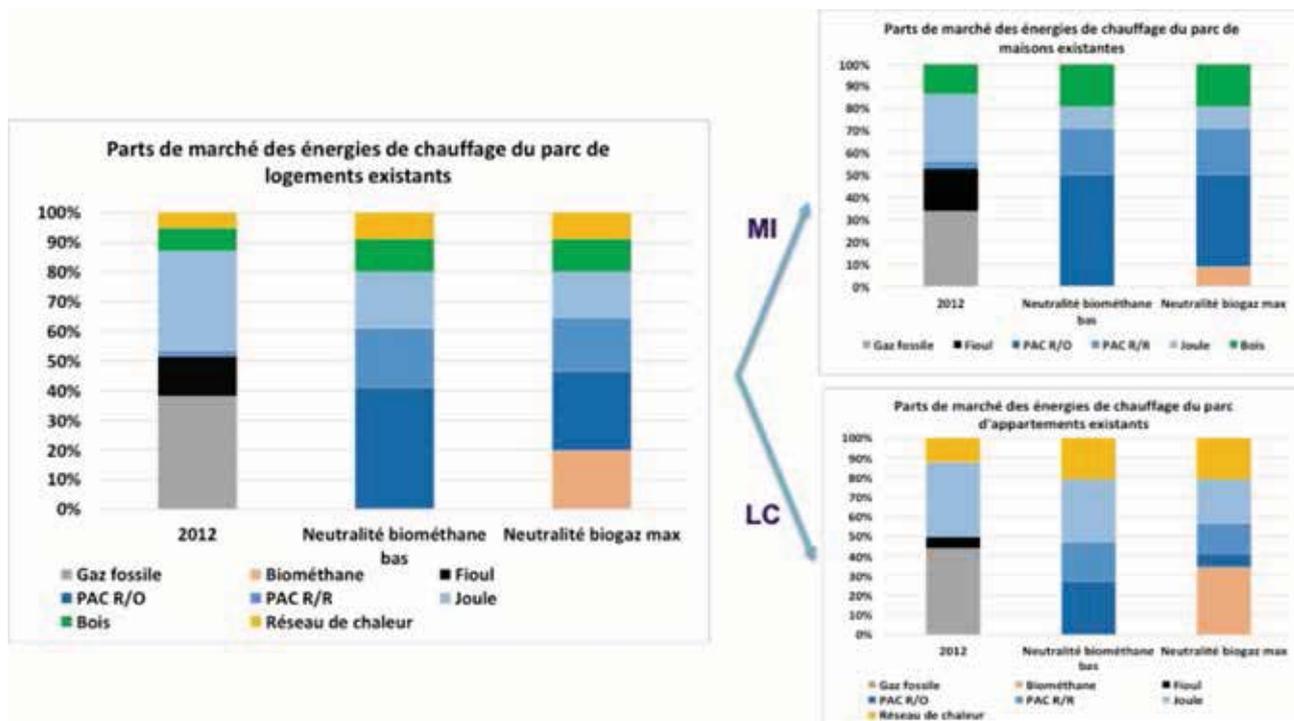


Figure 8 : Evolution vers la décarbonation du mix énergétique du secteur résidentiel (chauffage et ECS) dans deux hypothèses de disponibilité du gaz décarboné.

Nous avons considéré deux scénarios volontaristes¹¹ de mobilisation des ressources : l'un *médian*, homogène avec le scénario « Vision 2030- 2050 » de l'ADEME, l'autre *haut*, cohérent avec le scénario SNBC produit par la DGECC correspondant à des ressources potentielles de 83 ou 142 TWh résultant chacune de trois origines dont la pyrogazéification évoquée précédemment.

Ces ressources sont croisées avec les besoins en gaz¹² difficilement substituables de l'industrie puis ceux de la production d'électricité et des transports (tableau 2). La vision du besoin résiduel en gaz dans l'industrie est très contrastée entre les scénarios ADEME et SNBC, notamment en raison d'une trajectoire d'électrification des usages très volontariste retenue par l'exercice SNBC, et en relatif décalage par rapport aux hypothèses retenues habituellement sur le sujet par les exercices prospectifs de décarbonation profonde. Il est donc proposé de contraster également la vision du besoin en gaz de ces secteurs pour lesquels l'allocation du gaz doit être prioritaire.

Au final, il apparaît que le volume de gaz renouvelable pouvant être alloué au secteur résidentiel risque d'être de 0 TWh avec un maximum possible de l'ordre de 25 TWh

PCI. Ce dernier volume permettrait de couvrir les besoins d'environ 5 millions de logements bien rénovés, laissant au gaz une part de marché d'environ 20 % du parc de logements existants.

Quelle évolution des parts de marché au sein du parc existant ?

Nous conservons ces deux hypothèses (0 TWh ou 25 TWh de gaz décarboné disponibles pour le résidentiel) pour finaliser les scénarios possibles d'évolution du mix énergétique (chauffage et ECS) du secteur résidentiel. Nous constatons (figure 8) qu'il est possible dans les deux cas, d'atteindre la neutralité carbone, grâce à un développement très important des pompes à chaleur (PAC) qui équipent entre 40 % et 60 % des logements

Développer massivement le marché de la PAC, y compris en rénovation, constitue donc une stratégie sans regret, à lancer par conséquent dès à présent.

La neutralité carbone entraîne-t-elle une explosion des consommations d'électricité ?

Sur la base des scénarios qui précèdent, la figure 9 représente l'évolution des consommations d'énergie par forme d'énergie. On constate que le recours important à l'électricité, comme au bois, ne se traduit pas par une variation significa-

¹¹ D'autres scénarios présentent cependant des visions beaucoup plus prudentes : ADEME 2013, ICCT 2017, IDDRI 2019.

¹² Source : Scénario « Vision 2030-2050 » [ADEME 2017] et Stratégie Nationale Bas-Carbone [MTES 2019].

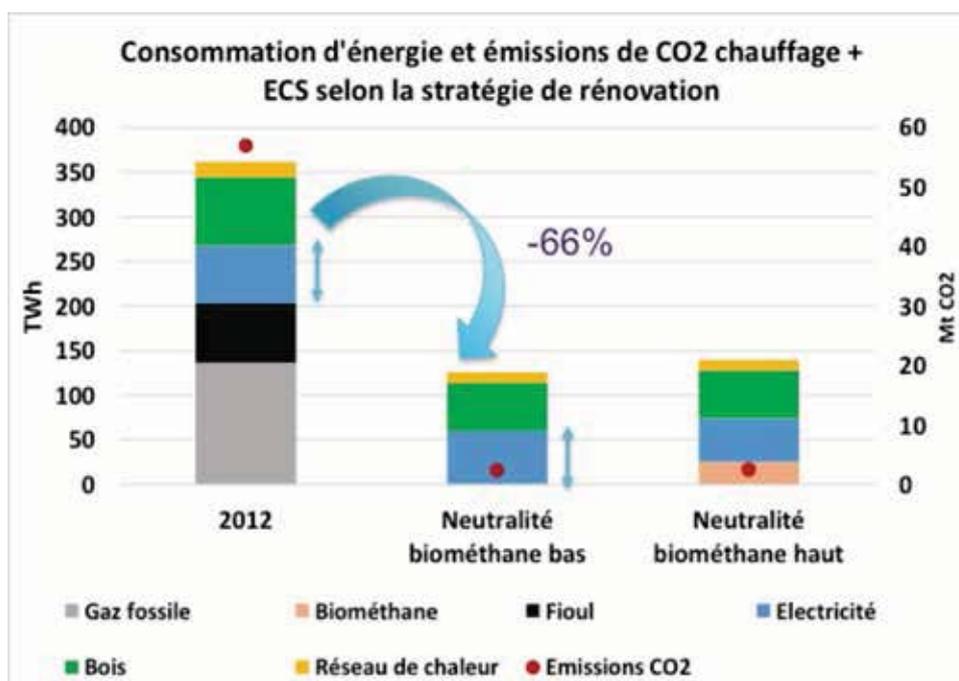


Figure 9 : Evolution des consommations d'énergie et des émissions de CO₂.

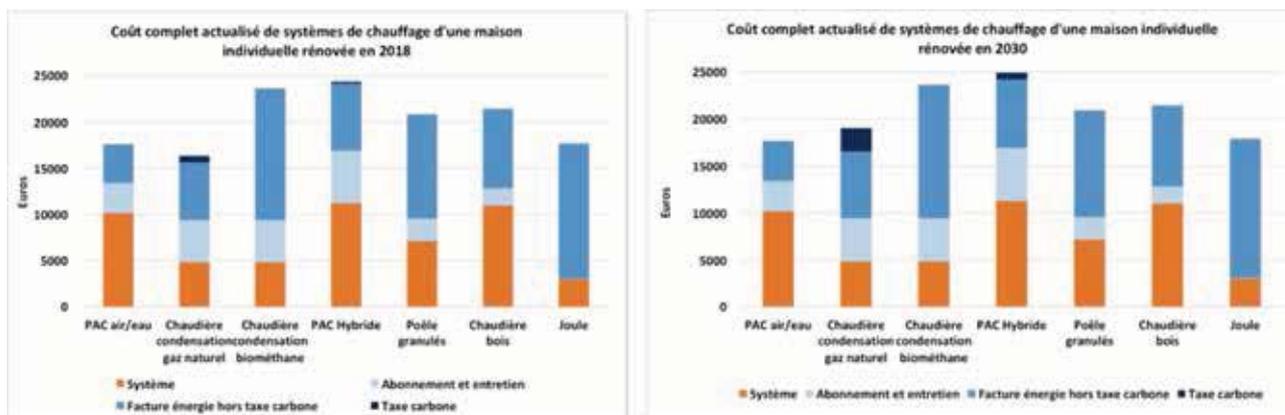


Figure 10 : Coûts complets actualisés des différents systèmes de chauffage/ECS en maison individuelle.

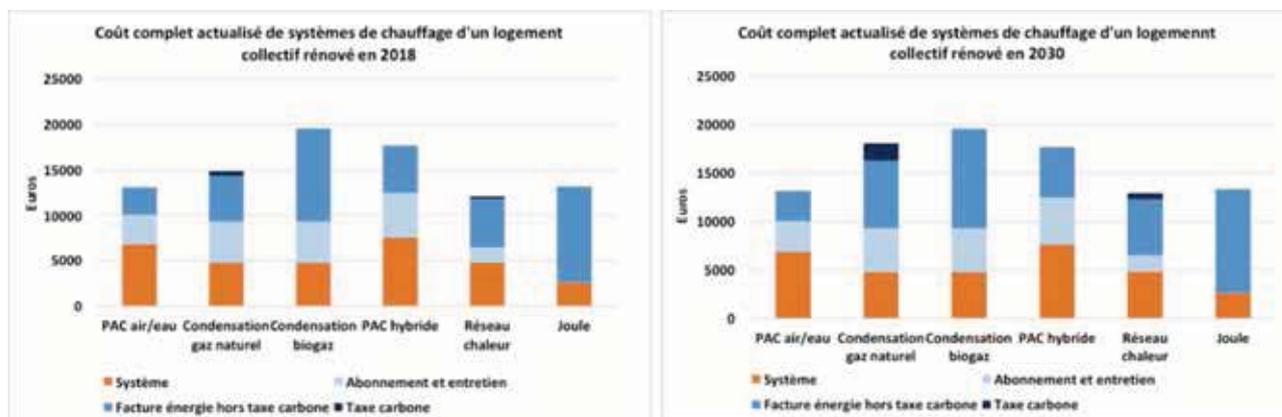


Figure 11 : Coûts complets actualisés des différents systèmes de chauffage/ECS en logement collectif.

tive des consommations de ces énergies qui restent équivalentes à celles de 2018. Le développement important des parts de marché est en effet compensé par les gains d'efficacité énergétique (isolation et haute performance des PAC).

Les impacts économiques des différentes options technologiques

La rénovation de l'enveloppe des logements existants implique un effort financier considérable que nous évaluons à environ 28 000 euros pour une maison et 13 000 euros pour un appartement¹³ à l'horizon de la neutralité carbone soit environ 600 milliards d'euros. Ce coût important nécessite de suivre une stratégie de rénovation par étape afin de lisser les investissements consentis par les ménages, logique qui correspond à celle du passeport efficacité énergétique mis en œuvre par The Shift Project. Cette stratégie permet également de ne pas avoir à tabler sur un doublement voire un triplement du nombre de gestes annuel de rénovation, qui semble plus qu'hypothétique.

Cet effort doit être accompli quelle que soit la solution retenue pour la rénovation des équipements thermiques. Sur ce point, le calcul du coût global actualisé des différentes solutions¹⁴ met en évidence que la solution pompe à chaleur air/eau est, en maison, clairement la plus compétitive

¹³ Source : Bâtiprix, Bâtichiffage.

¹⁴ Taux actualisation de 4%, prix TTC hors CITE : chaudière condensation 4900 euros, PAC R/O 10200 euros, PAC hybride 11300 euros, poêle bois+appoint 7000 euros, chaudière pellets 11000 euros, radiateurs électriques 3000 euros, taxe carbone 100 euros/tCO₂ en 2030. Sources : Bâtiprix, Bâtichiffage, Atlantic, AMORCE.

des solutions bas-carbone. Elle est d'ores et déjà compétitive avec la solution chaudière gaz à condensation et le sera encore plus demain, du fait d'une hausse probable du prix des combustibles et de la taxe carbone (figure 10).

Dans les logements collectifs, le raccordement à un réseau de chaleur, lorsqu'il est possible, est une solution compétitive. Dans le cas contraire, la PAC air/eau collective est une solution bas-carbone très intéressante, bien plus que la chaudière biométhane ou la PAC hybride (figure 11).

On peut noter que pour les petits appartements, dans la mesure où ils sont bien isolés, la solution radiateurs électriques performants peut également s'avérer compétitive grâce à son très faible coût d'investissement initial, son absence de coûts de maintenance et des besoins de chauffage très faibles.

La neutralité carbone impose que la construction neuve ait uniquement recours aux énergies décarbonées.

Sur la base des parts de marché actuelles dans la construction neuve, la consommation de gaz augmente d'environ 0,8 TWh/an. Si cette répartition devait se maintenir, les dix prochaines années amèneraient 8 TWh de demande de gaz supplémentaires, ce qui alourdirait encore la contrainte sur le potentiel de gaz décarboné, déjà limité.

Or, il est d'ores et déjà possible de construire sans surcoût des logements quasiment neutres en carbone. Un solde éventuel de gaz décarboné pourra toujours être valorisé sans difficulté de façon à accélérer la décarbonation des bâtiments existants. ■

En conclusion, l'atteinte de la neutralité carbone dans le secteur résidentiel est un objectif difficile mais possible

La rénovation des logements chauffés aux énergies fossiles en étiquettes E, F et G (ou F et G en étiquette GES) est prioritaire. Elle permet une décarbonation importante et immédiate, une diminution de la facture énergétique des ménages et une réduction de la précarité.

La rénovation complète du bâti dans le parc existant permet une réduction par un facteur 2 des émissions de CO₂ et des consommations d'énergie mais au prix d'un effort financier de plus de 600 Mrd EUR. Cette contrainte suppose un étalement des investissements relatifs à la rénovation thermique et implique donc que l'horizon auquel le parc de logements atteindra un niveau de performance proche du neuf actuel sera lointain.

La décarbonation complète du parc de logements existants passe donc nécessairement aussi par un recours aux énergies décarbonées. La diffusion massive des solutions PAC, solution d'ores et déjà disponible et compétitive, constitue le pilier majeur de la stratégie de décarbonation. Promouvoir les PAC constitue une solution sans regret et permet une réduction rapide des émissions. Le bois, les réseaux de chaleur urbains, les radiateurs électriques ainsi que le biométhane s'il y en a, constituent des solutions additionnelles qui viendront compléter le futur mix énergétique du secteur résidentiel mais dont la zone de pertinence est plus limitée.

Les logements neufs doivent recourir aux solutions qui sont d'ores et déjà décarbonées afin de ne pas alourdir encore davantage la contrainte de décarbonation de l'existant.

Résumé

La neutralité carbone dès 2050 est un objectif retenu par le gouvernement français et par l'Union européenne en application de l'accord de Paris sur le climat. L'un des secteurs concernés au premier chef est le secteur résidentiel, responsable de 20 % des émissions de CO₂ de la France. L'évolution récente des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ qui en résultent n'est pas en ligne avec l'objectif de neutralité carbone.

La question se pose donc de savoir si cet objectif peut encore être atteint dès 2050. Le présent article identifie tout d'abord les logements à traiter en priorité absolue, que l'on qualifie souvent de "passoires thermiques". Il conclut que ce sont les logements chauffés aux énergies fossiles et dotés d'une étiquette Energie E, F ou G selon le diagnostic de performance énergétique actuelle (DPE). Cette population s'identifie aux logements classés F ou G selon leur étiquette carbone.

L'article décrit ensuite une stratégie permettant d'atteindre la neutralité carbone, en tenant compte de la limitation des ressources décarbonées telles que le bois et le gaz renouvelable. Cette stratégie est possible : la moitié du chemin doit être fait grâce à un effort très important d'amélioration des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments. L'autre moitié pourra être réalisée grâce à un développement massif des pompes à chaleur, accompagné d'une mise en œuvre de solutions alternatives : bois, gaz renouvelable, réseaux de chauffage urbain, géothermie... dans la limite de disponibilité des ressources.

Compte tenu de l'effort de rénovation des bâtiments, cette stratégie ne conduit pas à un accroissement des consommations d'énergie. Elle suppose par contre une mise en œuvre immédiate. Tout logement neuf construit aujourd'hui en ayant recours aux énergies fossiles rend sa mise en œuvre plus difficile.

Abstract

Carbon neutrality by 2050 is an objective adopted by the French government and the European Union in application of the Paris agreement on climate change. One of the sectors primarily concerned is the residential sector, responsible for 20% of CO₂ emissions in France. The recent evolution of energy consumption and CO₂ emissions in this sector is not in line with the goal of carbon neutrality.

The question therefore arises whether this objective can still be achieved as early as 2050. The present article firstly identifies homes to be treated with the highest priority, which are often referred to as "heat sieves". We conclude that these homes are those heated with fossil fuels and labeled Energy E, F or G according to the current energy performance diagnosis (DPE). This population can also be characterized as those classified F or G according to their carbon label.

The article then describes a strategy to achieve carbon neutrality, taking into account the limitation of carbon-free resources such as wood and renewable gases. This strategy is possible: half of the way must be done through a drastic effort to improve the thermal characteristics of the building envelope. The other half can be achieved through a massive development of heat pumps, accompanied by the implementation of alternative solutions : wood, renewable gas, urban heating, geothermal energy... within the limits of available resources.

Given the building renovation effort, this strategy does not lead to an increase in energy consumption. On the other hand, it implies immediate implementation. Any new home built today using fossil fuels makes implementation more difficult.



Jean-Michel Cayla ingénieur ESPCI, titulaire d'un doctorat en économie et finances de l'Ecole des mines de Paris, travaille comme analyste à la direction de la stratégie d'EDF. Depuis 2007, ses travaux traitent de la compréhension des déterminants de la demande de services énergétiques et à leurs possibles évolutions à long terme, en lien avec les enjeux climatiques et la transition énergétique. Ils ont notamment porté sur la prise en compte des questions comportementales dans les modèles de prospective et se sont appuyés sur le développement de différents modèles et scénarios énergétiques, en collaboration avec le milieu académique.



Laurent Grignon Massé est ingénieur-docteur en énergétique de Mines Paristech. Il a dans ce cadre été impliqué dans plusieurs projets européens relatifs à la définition des politiques communautaires d'efficacité énergétique. Après une expérience de chercheur à la R&D d'EdF sur les questions de prospective énergétique, il est aujourd'hui en charge des activités du pôle Clients et Services d'EdF sur la performance environnementale des bâtiments.



Jean-Pierre Hauet est ancien élève de l'Ecole polytechnique et ingénieur au corps des mines. Il est ancien Chief Technology Officer du groupe ALSTOM. Au cours de sa carrière, il a été adjoint au Délégué général à l'énergie et rapporteur de la Commission de l'énergie du plan. Il est actuellement rédacteur en chef de la REE et président du Comité scientifique d'Equilibre des Energies. Il est l'auteur de l'ouvrage « Comprendre l'Energie – Pour une transition énergétique responsable » paru aux éditions L'Harmattan (2014).