

## Atteindre la neutralité carbone dans l'habitat en 2050

Philippe Charlez\*

@ 13929

**Mots-clés :** *habitat, rénovation énergétique, gaz à effet de serre, neutralité carbone, sobriété énergétique*

**Le présent article développe des scénarios d'isolation et de décarbonation de l'habitat français (résidentiel et tertiaire). Des travaux d'isolation sont engagés et aux équipements thermiques actuels sont substitués des équipements électriques. La stratégie réduit aussi de 80 % à 50 % le taux d'occupation énergétique du tertiaire (utilisation plus sobre des bâtiments et évolution sociétale du travail). La consommation d'énergie finale baisse de 40 % et 1 450 GtCO<sub>2</sub> ne sont pas émises. Le mix énergétique se compose alors de 80 % d'électricité et de 20 % de biomasse. La demande électrique s'accroît de 69 TWh. Le coût du projet s'élève à 391 G€ et dégage une VAN 2 % de 357 G€ à l'horizon 2050. La VAN devient positive en 2034.**

### Introduction

L'habitat est avec les transports et l'industrie l'un des trois principaux usages énergétiques. Il représente en France 42 %<sup>1</sup> de la consommation d'énergie finale et donc l'un des principaux leviers pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. La Convention citoyenne pour le climat<sup>2</sup> avait pointé que «le parc immobilier français nécessite de diviser ses émissions par 10 pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050». Dans le plan de relance<sup>3</sup> présenté le 3 septembre 2020 par le Premier ministre Jean Castex, la rénovation énergétique de l'habitat apparaît comme l'une des mesures phares. Un budget de 6 Mds d'euros répartis sur 2021 et 2022 a ainsi été attribué. Il se décompose en 2 Mds d'euros pour l'habitat résidentiel privé et 4 Mds d'euros pour le tertiaire public. Pour le privé, il est notamment mentionné que «les efforts doivent être

amplifiés pour éradiquer les passoires énergétiques en 2030 et atteindre l'objectif de rénovation du parc au niveau BBC en 2050». Pour le public (il représente 100 millions de mètres carrés soit 10 % de l'ensemble du parc tertiaire de l'ordre d'un million de mètres carrés<sup>4</sup>), le financement devrait «permettre la rénovation d'environ 15 millions de m<sup>2</sup>» soit 1,5 % seulement du tertiaire global.

Le présent article développe des scénarios alternatifs d'isolation et de décarbonation complète de l'habitat français à l'horizon 2050. Le réalisme de l'option gouvernementale quant à faire passer l'ensemble du parc en catégories BBC est notamment discuté.

\* Institut Sapiens (cf. biographies p. 48).

## 1. Ligne de référence 2018

Ne pouvant être traité unilatéralement, l'habitat est décomposé en trois catégories différentes : l'habitat résidentiel principal, l'habitat résidentiel secondaire occupé de façon occasionnelle (incluant les logements vacants) et enfin le tertiaire regroupant tout ce qui n'est pas résidentiel. Le tertiaire privé inclut toutes les surfaces correspondant à des activités économiques et commerciales (des petits locaux de commerce de détail, bars et restaurants aux grands centres commerciaux en passant par les théâtres, les cinémas et les bureaux). Le tertiaire public regroupe quant à lui l'ensemble des bâtiments publics (administrations, mairies, préfectures, écoles, collèges, lycées et universités).

### 1.1. Résidentiel principal

En 2018, le parc résidentiel principal français<sup>5</sup> contenait un peu plus de 29 millions de logements pour une surface totale de 2,650 milliards de mètres carrés soit une moyenne de 91,5 m<sup>2</sup> par logement et d'environ 40 m<sup>2</sup> par habitant.

Les performances énergétiques de ce parc résidentiel sont issues de la base de données de l'ADEME<sup>6</sup>. Elles ont été estimées à partir de la consommation énergétique des particuliers, mais reposent surtout sur un nombre croissant de diagnostics énergétiques aujourd'hui indispensables pour vendre ou louer un logement. Les données (Figure 1) montrent qu'un tiers des logements se situent dans la catégorie

«passoires énergétiques» (E/F/G) tandis que 36 % se classent dans la catégorie «bonnes performances énergétiques» (A/B/C). Les 30 % restants se situent dans la catégorie intermédiaire D. En moyenne, chaque mètre carré de résidentiel français consommait en 2018 285 kWh d'énergie par an et se situait en catégorie D (245 kWh/m<sup>2</sup> < consommation < 340 kWh/m<sup>2</sup>).

Depuis 2009, le parc a évolué favorablement. Le pourcentage des logements classés dans les catégories E/F/G est passé de 39 % à 33 % tandis que celui des logements classés en A/B/C est passé de 25 % à 36 %. Cette tendance positive s'est accélérée depuis la promulgation de la nouvelle loi RT2012 : depuis 2013, 350 000 nouveaux logements par an (de catégorie A) ont été construits et 350 000 logements anciens ont été rénovés.

La conjugaison de constructions nouvelles et de rénovations thermiques a permis de réduire significativement sur la dernière décennie la consommation énergétique du parc résidentiel principal. Elle est passée de 510 TWh en 2009 à 440 TWh en 2018 soit une réduction de l'ordre de 14 %<sup>7</sup>. Le résidentiel principal était en 2018 responsable de 46 millions de tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Rapportée à la performance énergétique moyenne, la consommation d'énergie permet de calculer la surface moyenne réellement énergétisée (aussi appelée surface énergétique) qui dépend du taux d'occupation moyen :

	A	B	C	D	E	F	G
$C_i$ (kWh/m <sup>2</sup> )	65	128	213	298	383	468	510
$P_i$ (%)	7,6%	11,4%	17,3%	30,6%	21,7%	8,2%	3,2%

} 34%

Figure 1. Performances énergétiques du parc résidentiel principal en 2018

Source : ADEME

$C_i$  et  $P_i$  sont respectivement la consommation énergétique moyenne de la catégorie et le pourcentage de logements situés dans cette catégorie (situation 2018).

## Atteindre la neutralité carbone dans l'habitat en 2050

$$\text{surface énergétique} = \frac{\text{consommation annuelle moyenne d'énergie par mètre carré}}{\sum_{i=1}^7 CP_i}$$

$$\text{taux d'occupation} = \frac{\text{surface énergétique}}{\text{surface totale}}$$

Pour le résidentiel principal, le taux d'occupation est égal à 60 %.

Du point de vue de ses usages<sup>8</sup>, la consommation d'énergie dans le résidentiel principal peut se scinder en quatre postes majeurs (Figure 2 – gauche) : le chauffage (66 %), l'eau chaude sanitaire (11 %), la cuisson des aliments (6 %) et l'électricité spécifique (éclairage, électroménager, hi-fi, informatique : 17 %). La chaleur (chauffage + eau chaude + cuisson) représente donc plus de 80 % de la consommation énergétique des logements.

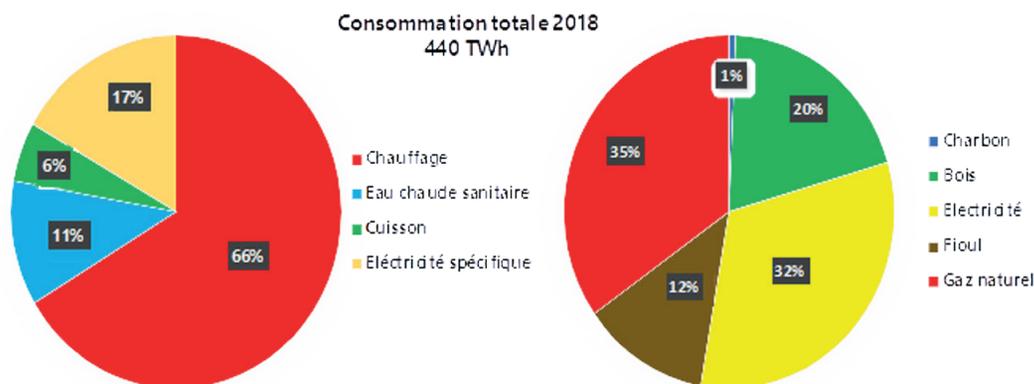
En 2018, les énergies fossiles (Figure 2 – droite) comptaient encore pour 48 % de la consommation d'énergie globale et restaient largement dominantes en tant que sources de chaleur (58 %). La décarbonation de l'habitat principal repose donc essentiellement sur le déplacement des sources de chaleur fossiles (chaudières, eau chaude et plaques de cuisson

au fioul et au gaz) vers des sources électriques (pompes à chaleur aérothermiques/géothermiques, chauffe-eaux électriques/thermodynamiques, plaques vitrocéramiques ou à induction) et vers la biomasse (bois et biogaz).

### 1.2. Résidentiel secondaire

Le parc immobilier résidentiel secondaire français (qui inclut les logements vacants) contenait en 2018 6,7 millions de logements<sup>9</sup>. Leur surface a été considérée identique à celle du résidentiel principal soit 91,5 m<sup>2</sup> par logement. Leur nombre est relativement stable depuis une dizaine d'années. L'ADEME ne différenciant pas le résidentiel principal du secondaire, ses performances énergétiques moyennes 2018 ont été considérées comme identiques à celles des résidences principales (Figure 1).

Le résidentiel secondaire conduit en toute logique à un taux d'occupation bien inférieur au résidentiel principal : il était en 2018 de l'ordre de 35 %. Comme pour le résidentiel principal, les énergies fossiles y comptaient pour plus de



**Figure 2. Consommation d'énergie dans le résidentiel principal**  
Gauche : selon les usages – Droite : selon les sources d'énergie

Source des données : CEREN

la moitié de la consommation énergétique et restent donc à ce jour largement dominantes en tant que sources de chaleur (58 %).

La consommation totale 2018 dans le résidentiel secondaire était égale à 56 TWh. Il était responsable de 5,9 millions de tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub>.

### 1.3. Parc tertiaire

Compte tenu de la variété de tailles des différents bâtiments (du petit magasin au grand centre commercial en passant par le lycée et la tour de bureaux), on ne peut plus comme dans le résidentiel parler de nombre et de surface moyenne, mais seulement de surface globale. Cette dernière était en 2018 d'environ un milliard de mètres carrés<sup>10</sup>. Depuis 2009, elle a augmenté d'un peu plus de 1 % par an.

Si les catégories A/B/C du tertiaire atteignent 36 %, un chiffre identique à celui du résidentiel<sup>11</sup> (Figure 3 – haut), les «passoires énergétiques» y sont plus nombreuses (40 % contre

34 % dans le résidentiel). La consommation moyenne du mètre carré tertiaire (307 kWh/m<sup>2</sup>) est donc en toute logique supérieure à celle du résidentiel (285 kWh/m<sup>2</sup>).

La consommation moyenne dans le tertiaire a atteint en 2018 240 TWh soit un peu plus de la moitié du résidentiel dont le nombre de mètres carrés est pourtant deux fois et demie supérieur. En 2018, le tertiaire a émis 24 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>.

Cette surconsommation est due en partie à la moins bonne isolation thermique telle qu'expliquée ci-dessus, mais surtout à un taux d'occupation énergétique supérieur (80 % contre 60 % dans le résidentiel principal). La suroccupation énergétique dans le tertiaire peut paraître surprenante de premier abord dans la mesure où il est *a priori* nettement moins occupé que le résidentiel principal<sup>12</sup>. Cette suroccupation énergétique s'explique par une gestion peu économe de bâtiments chauffés et éclairés en permanence indépendamment du taux d'occupation physique. La réduction du

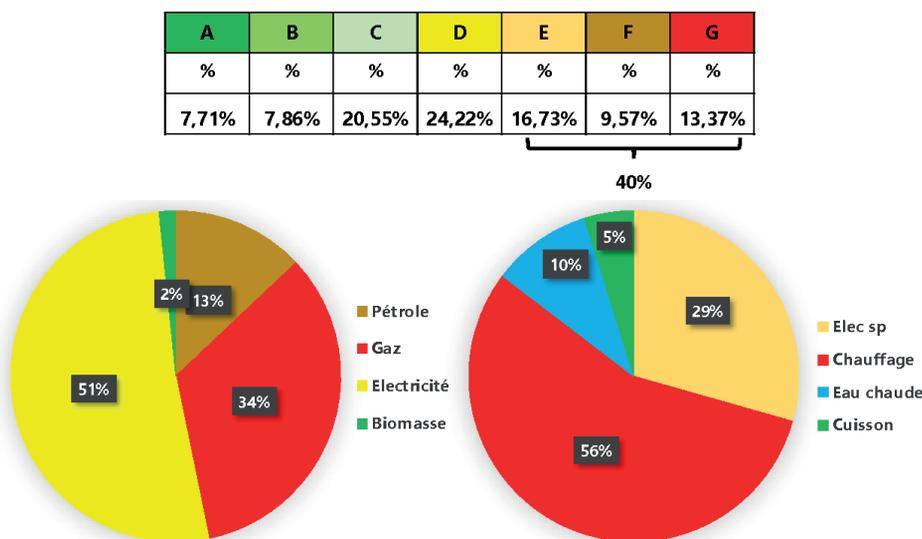


Figure 3. Performances énergétiques et mix énergétique dans le tertiaire en 2018

Source des données : CEREN

## Atteindre la neutralité carbone dans l'habitat en 2050

taux d'occupation énergétique représente une source très significative d'économies d'énergie (la consommation est proportionnelle au taux d'occupation), et ce sans investissement aucun. Les prix réduits de l'électricité la nuit n'encouragent évidemment pas les comportements vertueux.

Le mix énergétique 2018 du tertiaire se composait grosso modo d'une moitié d'électricité, de 34 % de gaz et de 13 % de fioul (Figure 3 – bas et gauche). La surconsommation d'électricité dans le tertiaire par rapport au résidentiel s'explique (Figure 3 – bas et droite) en partie par la climatisation, mais surtout par l'utilisation massive du numérique qui représentait en 2018 12,5 % de la consommation globale d'électricité<sup>13</sup>. En revanche, le chauffage compte pour dix points de moins que dans le résidentiel.

### 2. Plan de rénovation 2022-2050

#### 2.1. Résidentiel principal

Le plan de rénovation de base cherche en premier lieu à décarboner l'habitat principal. Pour ce faire, les équipements thermiques fossiles (chaudières, chauffe-eaux et plaques de

cuisson) au fioul et au gaz sont progressivement remplacés par des équipements électriques.

D'autre part, des travaux d'isolation sont engagés pour éliminer à l'horizon 2040 toutes les passoires énergétiques de catégories E/F/G et les faire passer en catégorie D. Le plan considère également que :

- La construction de logements neufs progresse au rythme actuel de 350 000 logements par an; conformément à la RT2012, ils sont tous classés en catégorie A.
- Si la surface moyenne (91,5 m<sup>2</sup>) et le coefficient d'occupation (60 %) restent constants durant la période 2022–2050, la surface par habitant s'accroît de 10 m<sup>2</sup>, passant de 40 m<sup>2</sup> à 50 m<sup>2</sup>. Cette hypothèse se justifie notamment par un transfert de mètres carrés tertiaires vers le résidentiel principal faisant suite à l'accroissement du télétravail à domicile au cours des années à venir.

Le plan glissant d'isolation (Figure 4 – gauche) nécessite de rénover 8,5 millions de logements soit une moyenne de 430 000 logements par an (contre 350 000 en 2018) entre 2022 et 2041.

Une variante plus agressive a été testée (Figure 4 – droite). Elle consiste, comme le

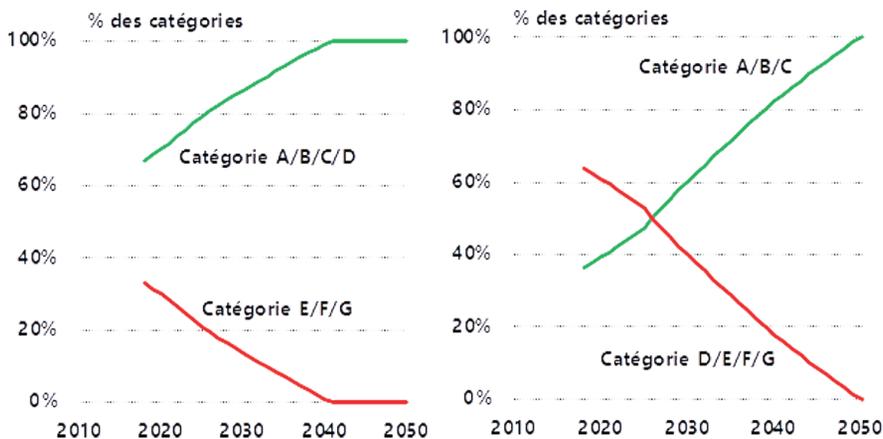


Figure 4. Plan glissant isolation  
Gauche : passoires énergétique E/G/H ramenées en D en 2040  
Droite : ensemble des logements amenés en A/B/C en 2050

souhaite le gouvernement (voir introduction), à amener l'ensemble de l'habitat principal en catégorie ABC à l'horizon 2050. Le nombre total de logements à rénover passe alors à 19,2 millions soit 650 000 par an en moyenne, presque le double du rythme actuel.

En ce qui concerne les équipements, les convecteurs électriques et les chaudières à la biomasse sont maintenus tandis que tous les équipements thermiques au fioul et au gaz sont remplacés. Le plan de décarbonation requiert de substituer plus de 1,55 milliard de mètres carrés de chauffage thermique par des pompes à chaleur, de remplacer 14,5 millions de chauffe-eaux et 16,2 millions de plaques de cuisson. Notons que la mise en œuvre des pompes à chaleur (consommation annuelle de l'ordre de 30 kWh/m<sup>2</sup> contre plus de 100 kWh/m<sup>2</sup> pour les chauffages au fioul et au gaz) permet à la fois de décarboner, mais aussi de réduire significativement la consommation énergétique.

Le plan de rénovation permet de décarboner totalement le résidentiel principal et de réduire sa consommation énergétique de 117 TWh soit

27 % par rapport à 2018 (Figure 5 – gauche). Le mix 2050 est alors composé de trois quarts d'électricité et d'un quart de biomasse<sup>14</sup>. La part de la chaleur (chauffage + eau chaude + cuisson) qui en 2018 comptait pour 83 % de la consommation énergétique ne représente plus que 77 % à l'horizon 2050. Au contraire, la part de l'électricité spécifique est en relatif passée de 17 % à 23 %. Par rapport à 2018, ce plan de rénovation accroît la demande électrique de l'habitat principal de 105 TWh.

Si l'ensemble du parc avait été amené en ABC, la réduction annuelle de la consommation d'énergie aurait été très significative : 55 % soit 123 TWh d'économies supplémentaires. La consommation supplémentaire d'électricité par rapport à 2018 ne serait alors que de 10 TWh.

En revanche, la courbe de décarbonation (Figure 5 – droite) de la variante est à peine différente de celle du scénario de base. Ceci confirme que c'est surtout le changement des équipements et non l'isolation thermique qui contribue à décarboner totalement le mix habitat. Un investissement d'isolation plus conséquent a toutefois l'avantage d'accroître la durée

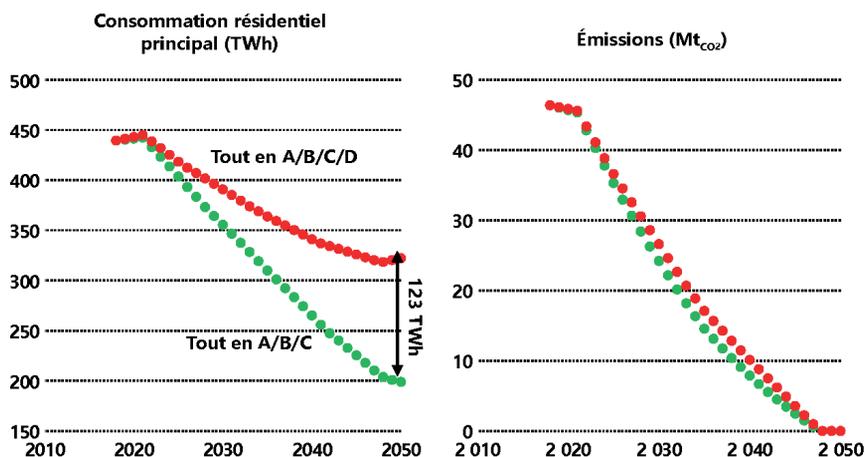
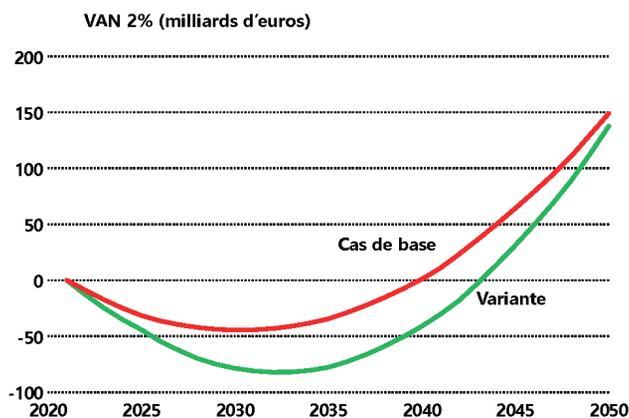


Figure 5. Réduction de la consommation et des GES dans le résidentiel principal  
Comparaison du scénario de base et de la variante

## Atteindre la neutralité carbone dans l'habitat en 2050



	Isolation	PAC	Ballon	Plaques	Total	Annuel	VAN2%	Positivité
	G€	G€	G€	G€	G€	G€	G€	Année
Cas de base	78	151	6	4	239	8	149	2040
Variante	316	151	6	4	477	16	138	2044

Figure 6. Économies du projet résidentiel principal – Cas de base et variante

de vie des pompes à chaleur (PAC) et donc de limiter leur remplacement à plus long terme.

La valeur actualisée nette (VAN) du projet (2 % de taux d'actualisation) a été calculée sur base des hypothèses suivantes :

- 100 €/m<sup>2</sup> pour le passage E/F/G en D,
- 100 €/m<sup>2</sup> supplémentaire (variante) pour le passage de D en C et de C en B,
- 100 €/m<sup>2</sup> pour la mise en œuvre de PAC (soit 9000 € en moyenne par logement),
- 450 € pour le remplacement d'un chauffe-eau,
- 250 € pour le remplacement d'une plaque de cuisson,
- prix moyen du kWh 2022 égal à 0,11 € augmentant de 1 % par an,
- taxe carbone augmentant de 50 €/tonne en 2022 à 100 €/tonne en 2030 (en ligne avec la loi de finances 2018) puis accroissement régulier de 5 % par an jusqu'en 2050 (ce qui conduit à 265 €/tonne en 2050).

Le coût complet du cas de base est de 239 milliards d'euros sur trente ans (8 milliards

d'euros par an en moyenne). Les économies globales d'énergie (2730 TWh) couplées à la valeur du carbone non émis (800 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>) dégagent à l'horizon 2050 une VAN 2 % de 148 milliards d'euros (Figure 6). Toutefois, cette dernière ne devient positive qu'en 2040, soit 18 ans après le début du projet. Seules des augmentations plus significatives des prix de l'énergie et de la taxe carbone pourraient permettre de réduire ce délai.

La variante double le prix du projet (477 milliards d'euros soit 16 milliards d'euros par an). Ce résultat est dû au coût exorbitant de la rénovation thermique passant de 78 à 316 milliards d'euros. Même si l'économie d'énergie qui en résulte est substantielle, la variante est moins économique que le cas de base dégageant en 2050 une VAN 2 % légèrement inférieure de 137 G€ (Figure 6). Elle ne devient positive qu'en 2044. Sauf à en faire supporter la majorité des coûts par le citoyen, l'option gouvernementale consistant à faire passer l'ensemble du résidentiel principal en catégorie A/B/C à l'horizon 2050 tout en visant la neutralité carbone

apparaît peu crédible en parallèle des budgets publics proposés.

**2.2. Résidentiel secondaire**

Le plan de rénovation du résidentiel secondaire est similaire à celui du résidentiel principal hormis que la surface globale reste constante : «plan glissant» permettant de faire passer 2 millions de passoires thermiques des catégories E/F/G en catégorie D à l'horizon 2050 (de l'ordre de 100000 rénovations par an) et remplacement de l'ensemble des équipements thermiques au fioul et au gaz par des équipements électriques. La variante n'a pas été considérée dans le cas des résidences secondaires.

Le plan de décarbonation requiert de substituer 324 millions de mètres carrés de gaz et de fioul par des pompes à chaleur, de remplacer 3,1 millions de chauffe-eaux et 3,5 millions de plaques de cuisson.

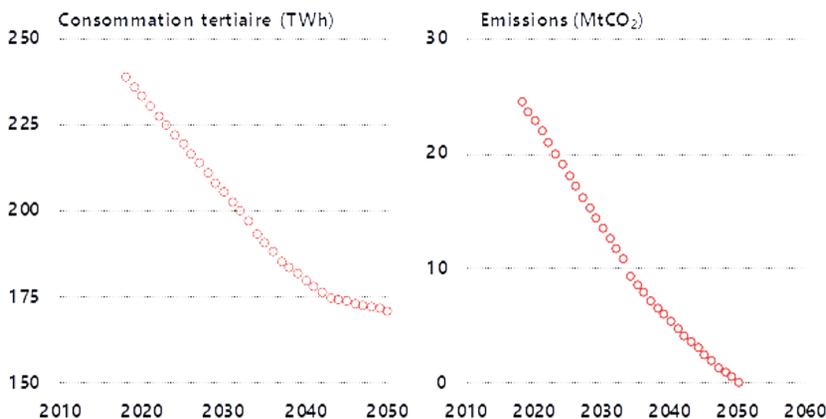
Le projet permet de réduire la consommation d'énergie à l'horizon 2050 de 20 TWh et d'économiser 100 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>. La décarbonation requiert 7 TWh d'électricité supplémentaire.

Le coût du projet atteint 53 milliards d'euros, dont 19 milliards d'isolation et 32 milliards de PAC. Compte tenu du faible taux d'occupation, la VAN 2 % du résidentiel secondaire ne devient positive qu'en 2048 soit 8 ans après le résidentiel principal.

**2.3. Tertiaire**

Au cours des dernières années, la surface du tertiaire augmentait annuellement de 12 millions de m<sup>2</sup>/an. En prenant en compte les nouvelles méthodes de travail (télétravail et *coworking*) ainsi que le commerce en ligne, nous avons dans cette version de base considéré qu'à partir de 2019 la surface du tertiaire restait stationnaire. En revanche, le taux d'occupation a été maintenu à 80 %. Le télétravail se traduit également par un non-accroissement de l'électricité spécifique supposée rester constante jusqu'en 2050.

La stratégie d'isolation du tertiaire est similaire à celle du résidentiel et vise à faire passer à l'horizon 2042 l'ensemble des passoires énergétiques E/F/G en D. Le plan de rénovation requiert d'isoler 343 millions de mètres carrés soit environ 15 millions de mètres carrés par an.



**Figure 7. Réduction de la consommation d'énergie (gauche) et des GES (droite) dans le tertiaire**

## Atteindre la neutralité carbone dans l'habitat en 2050

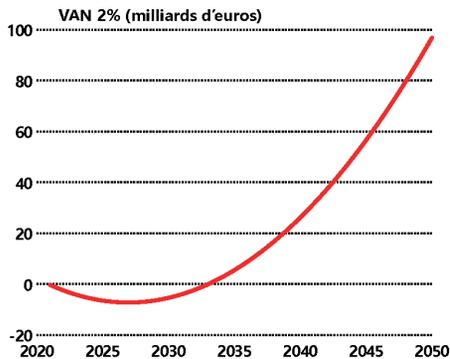


Figure 8. Valeur actualisée nette du projet tertiaire

Comme pour le résidentiel, la décarbonation passe par la mise en œuvre de pompes à chaleur (100 €/m<sup>2</sup>) en substitution des chaudières au fioul et au gaz (650 millions de mètres carrés) ainsi que par le remplacement de près de 9 millions de chauffe-eaux et de plus de 8 millions de plaques de cuisson.

Le plan de rénovation (isolation + remplacements) permet de réduire la consommation d'énergie de 29 % soit environ 68 TWh par rapport à 2018 (Figure 7 – gauche) et de décarboner l'ensemble du tertiaire (Figure 7 – gauche) à l'horizon 2050. Contrairement au résidentiel principal où la biomasse occupait une part significative, le mix énergétique tertiaire sera alors pratiquement 100 % électrique. Cette électrification demandera 57 TWh supplémentaires (venant s'ajouter aux 112 TWh du résidentiel).

Le coût global du projet (100 G€ soit 3,3 G€ par an) se décompose en un tiers d'isolation (34 G€) et deux tiers de décarbonation, dont 59 G€ de pompes à chaleur. Le plan tertiaire s'avère plus économique que le plan résidentiel principal avec une VAN 2% qui devient positive dès 2032 (contre 2040 pour le résidentiel principal — cas de base). Si cette meilleure économie provient en partie de la moins

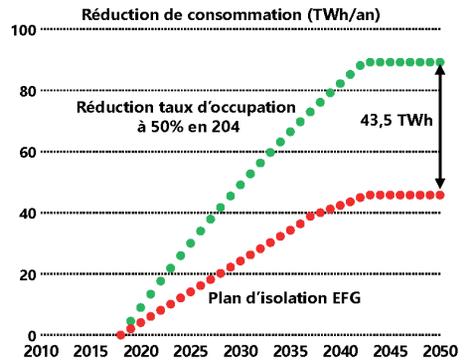


Figure 9. Réduction du taux d'occupation dans le tertiaire et réduction de la consommation d'énergie

bonne performance énergétique moyenne du tertiaire par rapport au secondaire, elle doit toutefois être relativisée, car elle est principalement due au taux d'occupation (énergétique et non effectif rappelons-le) supérieur du tertiaire par rapport au résidentiel principal. À l'horizon 2050, le projet de rénovation tertiaire dégage une VAN 2 % de l'ordre de 100 milliards d'euros (Figure 8).

Parmi les hypothèses du plan de rénovation du tertiaire, le maintien du coefficient d'occupation à 80 % apparaît très conservateur et assez peu en phase avec les évolutions sociétales et comportementales attendues au cours des prochaines décennies. L'évolution des méthodes de travail vers la généralisation au moins partielle du télétravail, l'accroissement des prix de l'énergie (directement, mais aussi via la taxe carbone) mais surtout la volonté de réduire les dépenses inutiles d'énergie comme l'éclairage et le chauffage nocturne devraient conduire au cours des prochaines années à une réduction sensible du taux d'occupation énergétique du tertiaire. Les 80 % observés aujourd'hui ne semblent pas tenables dans une société qui se veut sobre en énergie. Aussi, avons-nous considéré une variante consistant à réduire de 2 % par an à partir de 2019 le taux d'occupation énergétique du tertiaire l'amenant à 50 %

à l'horizon 2042 (Figure 9 – gauche), l'année de la fin du plan d'isolation. Nous avons comparé sur la Figure 9 (droite) la réduction de consommation annuelle liée au plan d'isolation seul (avec un taux d'occupation énergétique constant égal à 80 %) à l'option de réduction du taux d'occupation énergétique. L'économie supplémentaire de 43,5 TWh démontre l'efficacité de la réduction du taux d'utilisation, et ce sans aucun investissement.

Ceci confirme donc que l'option gouvernementale de miser principalement sur la rénovation du tertiaire ne devrait pas être la priorité. Tels sont les risques inhérents aux « agendas inversés »<sup>15</sup> définissant les objectifs prioritaires et le planning avant d'avoir analysé le problème.

## Conclusion

Les résultats énergétiques et économiques globaux du plan de rénovation de l'habitat français sont résumés dans la Figure 10.

En se restreignant à l'isolation des passives énergétiques EFG en D, il permet sur la période 2018 à 2050 de réduire la consommation annuelle d'énergie d'un peu moins de 200 TWh soit de 26 %. En revanche, la décarbonation totale de l'habitat requiert d'accroître de 169 TWh la production d'électricité. Cette production viendra s'ajouter aux demandes supplémentaires émanant des transports et de l'industrie. Le mix électrique habitat se composerait alors de 84 % d'électricité et de 16 % de biomasse (bois et biogaz non différenciés). Sur la période 2022 à 2050, 4 253 TWh d'énergie auront été économisés et 1 350 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> n'auront pas été émises. Bien que significatif à l'échelle nationale (il représente quatre

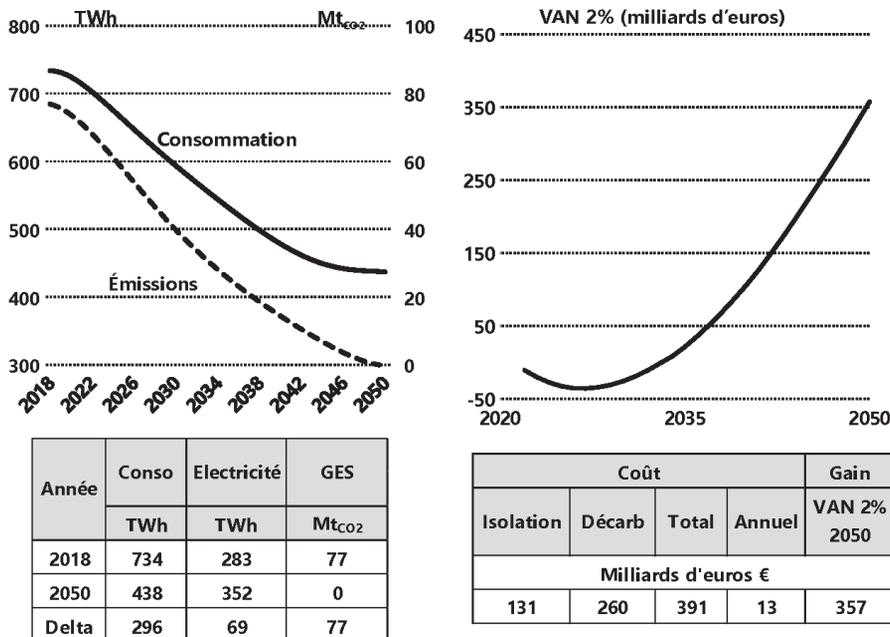


Figure 10. Résultats globaux énergétiques (gauche) et économiques (droite) du projet habitat

années d'émissions françaises), ce chiffre doit être relativisé à l'échelle mondiale : il ne représente que... deux semaines d'émissions actuelles.

Pour la France, possédant, grâce à sa génération électrique nucléaire, l'un des mix les plus décarbonés du monde, la transition énergétique sera beaucoup moins économique que pour d'autres pays européens comme l'Allemagne ou la Pologne, possédant des mégawatt-heures deux fois plus carbonés. Le dernier kilomètre du marathon est toujours le plus coûteux!

### NOTES

1. Référence INSEE. Bilan énergétique.
  2. <https://propositions.conventioncitoyennepourleclimat.fr/pdf/CCC-propositions-synthese.pdf>.
  3. [https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\\_services/plan-de-relance/annexe-fiche-mesures.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/plan-de-relance/annexe-fiche-mesures.pdf).
  4. Source : INSEE.
  5. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/serie/001791241>.
  6. <https://www.observatoire-dpe.fr/index.php/graphique/dpeParEtiquette>.
  7. [https://negawatt.org/IMG/pdf/200121\\_la-renovation-thermique-reduit-reellement-votre-facture-denergie-a-condition-qu-elle-soit-performante.pdf](https://negawatt.org/IMG/pdf/200121_la-renovation-thermique-reduit-reellement-votre-facture-denergie-a-condition-qu-elle-soit-performante.pdf).
  8. <https://www.ceren.fr/publications/telecharger-les-documents/download-id/891/>.
  9. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/serie/001791241>.
  10. <https://www.ceren.fr/publications/telecharger-les-documents/download-id/882/>.
  11. <https://www.observatoire-dpe.fr/index.php/graphique/dpeParEtiquette>.
  12. L'occupation physique d'un bureau est au maximum de 1800 heures par an soit un taux d'occupation physique de 20 %.
  13. <https://www.contrepoints.org/2020/07/09/375684-le-numerique-source-deconomies-ou-de-depenses-denergie>.
  14. Bien qu'émettant du CO<sub>2</sub> lors de sa combustion, la biomasse est légalement considérée comme neutre en carbone, supposant qu'elle capte autant qu'elle émet. Ce concept critiquable est discuté dans <https://www.citepa.org/wp-content/uploads/3.2-Biomasse-%C3%A9nergie-et-neutralit%C3%A9-carbone.pdf>.
15. <https://www.contrepoints.org/2020/09/19/380430-lag-enda-climat-inverse-ursula-von-der-layen>.