



**Groupe de travail**  
**« consommation d'électricité »**



Les usages chauffage, production d'eau  
chaude sanitaire et climatisation/ventilation  
dans le secteur résidentiel

**Appel à contributions dans le cadre du groupe de travail « Consommation d'électricité »  
de la Commission « Perspectives système et réseau »**

Date de publication : 11 mars 2019

Date limite de réponse : 29 mars 2019 inclus

Contact : [rte-concerte-bp@rte-france.com](mailto:rte-concerte-bp@rte-france.com)

## Table des matières

1	Contexte .....	4
2	La consommation de chauffage .....	8
2.1	Etablissement du parc de logements .....	8
2.2	Estimation de la consommation de chauffage .....	14
2.3	Grands déterminants de la consommation de chauffage .....	20
2.4	Analyse de sensibilité .....	22
2.5	Tableaux récapitulatifs des hypothèses utilisées .....	24
3	La consommation d'eau chaude sanitaire.....	26
3.1	Etablissement du parc de logements .....	26
3.2	Estimation de la consommation.....	29
3.3	Grands déterminants.....	32
3.4	Analyse de sensibilité .....	33
3.5	Tableaux récapitulatifs des hypothèses utilisées .....	34
4	La consommation de climatisation et de ventilation .....	36
4.1	Climatisation.....	36
4.2	Ventilation .....	37

## 1 Contexte

### Cadre général

Dans le cadre de ses missions et conformément au Code de l'énergie, RTE établit périodiquement un Bilan prévisionnel pluriannuel de l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité en France. Celui-ci contribue à l'élaboration de la politique énergétique, en éclairant le paysage du système électrique à long terme.

Le prochain Bilan prévisionnel à long terme intégrera un volet portant sur l'horizon 2050 et proposera des scénarios d'évolution possibles du mix électrique français, dans un contexte de transition énergétique et d'ambition de l'atteinte de la neutralité carbone de la France à ce même horizon, portée par la Stratégie nationale bas carbone (SNBC).

La **Stratégie nationale bas carbone (SNBC)** est une feuille de route pour la France portant sur l'ensemble des filières énergétiques et visant à une économie bas carbone, conformément aux objectifs européens et internationaux (paquet énergie-climat européen, accord international de Paris à la COP21, etc.). La dernière révision, dont le projet a été rendu public fin 2018, a pour objectif d'atteindre une neutralité carbone de la France en 2050 et fournit les grandes lignes en matière de transformation de la mobilité, des logements, de l'industrie, de l'agriculture, etc. L'atteinte de l'objectif passe notamment par une électrification massive des usages assortie d'une décarbonation complète de la production électrique.

La **Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)** est une déclinaison opérationnelle de la Stratégie nationale bas carbone pour le secteur de l'énergie et fixe la trajectoire énergétique de la France pour les périodes 2019-2023 et 2024-2028. Elle est donc définie en cohérence avec la SNBC. En particulier, les hypothèses de demande sont communes entre les deux exercices.

Pour ce faire, le Bilan prévisionnel est adossé à une modélisation détaillée des deux volets offre et demande, requérant un volume important de données produites par RTE ou provenant de multiples acteurs du secteur (estimations sectorielles sur les réseaux de distribution transmises par Enedis, bases de données CEREN...). En outre, RTE dispose, d'une part, d'informations qui lui sont communiquées sous couvert de confidentialité lors de consultations bilatérales avec des acteurs du secteur de l'énergie, d'autre part, des retours obtenus lors des consultations collégiales en Commission « Perspectives système et réseau ».

Dans la continuité de sa démarche de transparence et d'alimentation du débat public sur l'énergie, RTE anime, sous forme de groupes de travail, des consultations collégiales sur certaines thématiques à fort enjeu pour l'évolution du système électrique : par exemple, le développement de nouveaux usages tels l'électromobilité. A la demande de plusieurs parties prenantes, la décision a été adoptée, lors de réunion plénière de la Commission « Perspectives système et réseau » du 28 septembre 2018, de lancer un groupe de travail sur l'élaboration des trajectoires de consommation à long terme.

En effet, la consommation d'électricité<sup>1</sup>, de par ses disparités sectorielles, présente une complexité qui appelle à un partage approfondi des hypothèses et de la méthodologie de modélisation avec les acteurs.

<sup>1</sup> La consommation électrique considérée dans ce document concerne la France continentale. Elle en outre est corrigée de différents aléas conjoncturels (températures, effacements, années bissextiles) afin de révéler ses évolutions structurelles.

Etant donné l'ampleur des travaux menés par RTE sur la consommation électrique, le choix a été fait de scinder ce sujet en différentes thématiques clés, abordées tour à tour lors des consultations collégiales à venir.

La thématique abordée dans ce premier document est celle des usages thermiques dans le secteur résidentiel, à savoir le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire (ECS), et la climatisation/ventilation. Seule la demande en énergie est ici abordée, la modélisation des appels de puissance horaire fera l'objet d'une réunion ultérieure du groupe de travail, dans une approche transverse (ensemble des secteurs et des usages).

### Usages chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation/ventilation dans le secteur résidentiel

Ces trois usages occupent une place importante dans la consommation d'électricité : ils représentaient, selon nos estimations, 42% de la demande électrique résidentielle en 2017, en données corrigées des aléas climatiques. Le chauffage électrique constitue le premier poste de la consommation électrique résidentielle avec 44 TWh en 2017; suivi par la production d'ECS avec près de 20 TWh de consommation. Enfin, la ventilation en maisons individuelles représente 2 TWh environ de consommation, auxquels s'ajoute 0,9 TWh de climatisation, usage qui demeure encore relativement peu développé en France. A noter que la ventilation des logements en immeubles collectifs est comptée dans la consommation des parties communes d'immeubles et intervient donc dans notre modèle de consommation du secteur tertiaire.

En termes de part de marché, 39% des foyers sont chauffés à l'électricité (part relativement élevée, notamment en comparaison des modes de chauffage dans d'autres pays), 51% disposent d'un système de production d'ECS électrique, et 7% environ ont un équipement de climatisation.

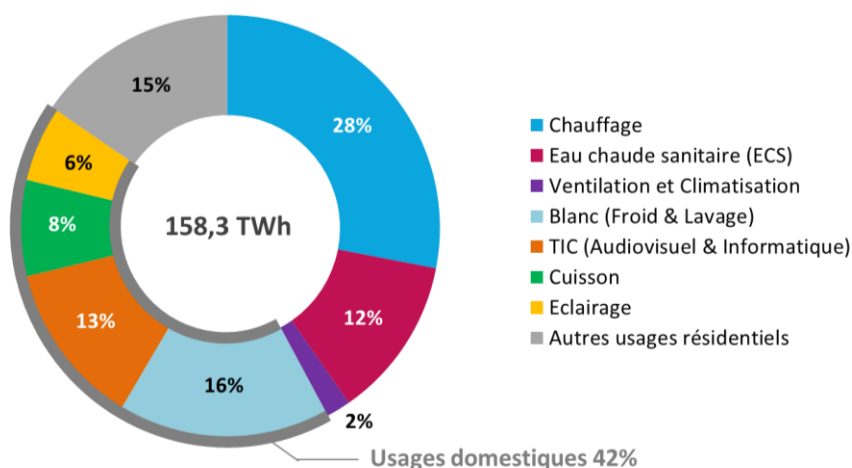


Figure 1 : Répartition par usage de la demande électrique résidentielle pour l'année 2017

Au-delà de la demande en énergie annuelle, le **chauffage électrique** est un usage qui présente certaines particularités en termes d'appels de puissance. Ainsi, la consommation de chauffage se concentre naturellement sur la période hivernale, entre octobre et avril.

Son poids relatif important engendre une forte volatilité de la pointe de consommation électrique, très liée aux aléas de température. Lors d'une vague de froid intense, les besoins en chauffage peuvent être beaucoup plus importants et contribuer à une augmentation significative de la puissance appelée : en période hivernale, le chauffage résidentiel et tertiaire augmente en moyenne de 20 GW la puissance appelée, ce chiffre pouvant approcher ponctuellement 50 GW en cas de vague de froid centennale.

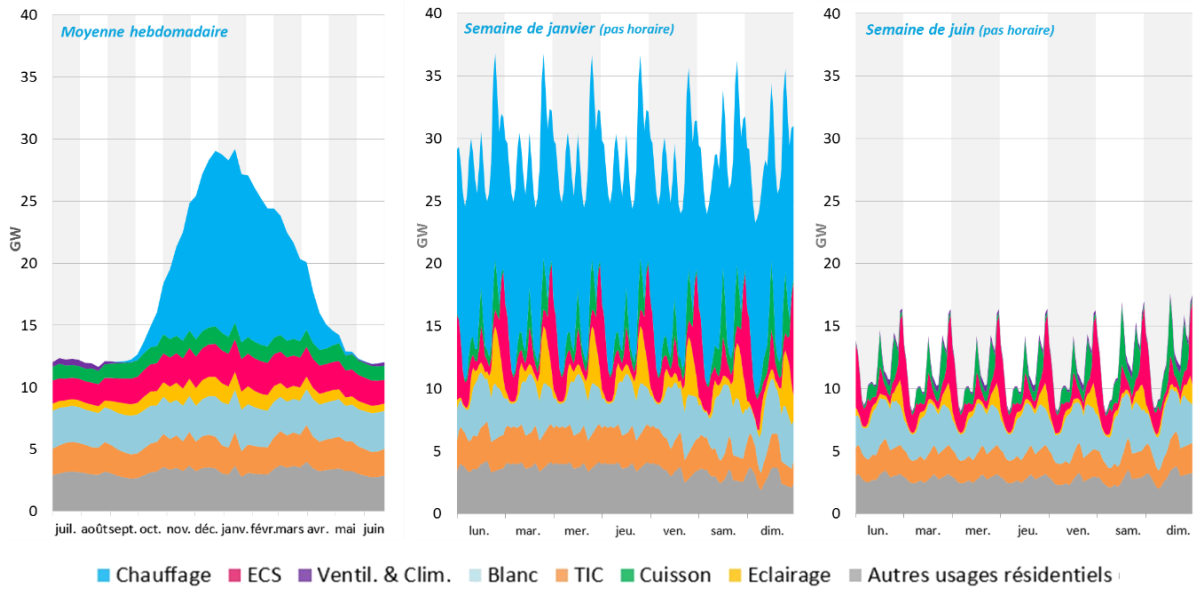


Figure 2 : Profils de la puissance consommée du secteur résidentiel (à températures de référence)

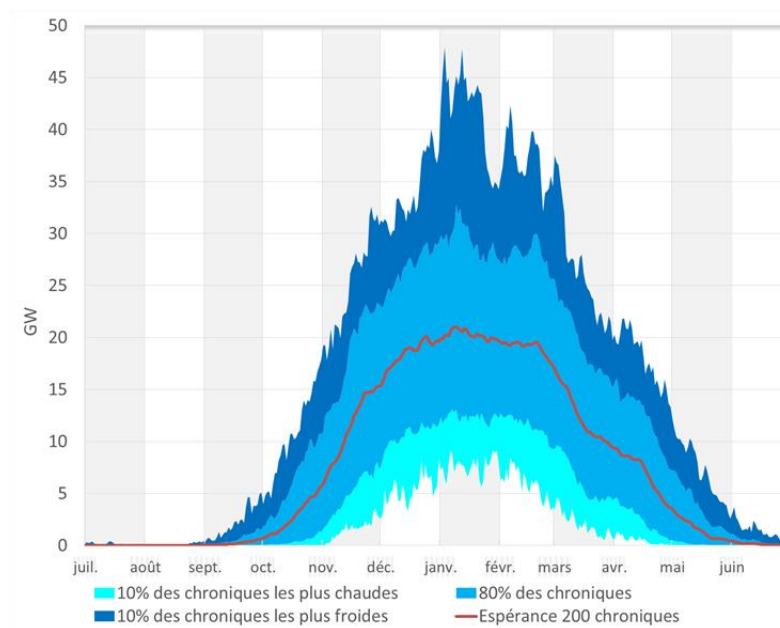


Figure 3 : Puissance moyenne journalière thermosensible : Simulation des deux cent chroniques climatiques (hors climatisation d'été)

La consommation électrique pour la production d'eau chaude sanitaire n'est que légèrement saisonnalisée, mais la puissance appelée présente des variations infrajournalières très importantes. Les chauffe-eau à accumulation sont en effet actuellement largement asservis, à hauteur de 80% environ des installations, aux signaux tarifaires, basés sur le système de tarification heures pleines/heures creuses, ce qui limite les appels de puissance de cet usage en journée pour les repousser durant les heures nocturnes : l'appel de puissance est estimé aujourd'hui à plus de 8 GW en pointe à minuit.

Les ménages français possèdent encore peu de systèmes de **climatisation** ; cet usage est en pleine croissance. Par nature, la consommation de cet usage thermosensible est centrée sur la période estivale. Toutefois, les climatiseurs actuels fonctionnant sur le principe d'une pompe à chaleur inversée sont relativement performants pour refroidir l'air, et les durées d'utilisation et l'intensité de refroidissement sont beaucoup plus faibles que pour le chauffage.

Les besoins de **ventilation** sont peu saisonnalisés. Afin d'assurer un renouvellement permanent de l'air, avec un bâti de mieux en mieux isolé, l'installation de ventilation mécanique contrôlée (VMC) devient systématique. Alors que la ventilation naturelle suffit encore à assurer une bonne qualité de l'air intérieur dans le parc ancien mal isolé, la construction de logements neufs contribue à l'augmentation de la consommation d'électricité pour les besoins de ventilation. Des progrès énergétiques sont attendus sur les futures installations puisqu'ils font partie des produits surveillés par la directive écoconception.

## 2 La consommation de chauffage

La prévision de la consommation d'électricité est basée sur une approche analytique détaillée par empilement. La consommation actuelle est décomposée en secteurs et usages électriques fins. La consommation d'électricité de ces branches ou usages est estimée par le produit de variables « extensives » (quantités produites, surfaces chauffées, taux d'équipement par logement, etc.) et « intensives » (consommations unitaires par unité produite, par mètre carré, par logement, etc.). Les consommations ainsi obtenues sont ensuite agrégées pour chaque secteur.

Ainsi, la consommation de chauffage dans le secteur résidentiel est estimée en appliquant au parc de logements chauffés à l'électricité une consommation unitaire de chauffage. Cette consommation unitaire varie en fonction de la typologie du logement, notamment selon qu'il s'agisse d'une maison individuelle ou d'un appartement, selon la date de construction du bâtiment ou encore selon la solution de chauffage adoptée.

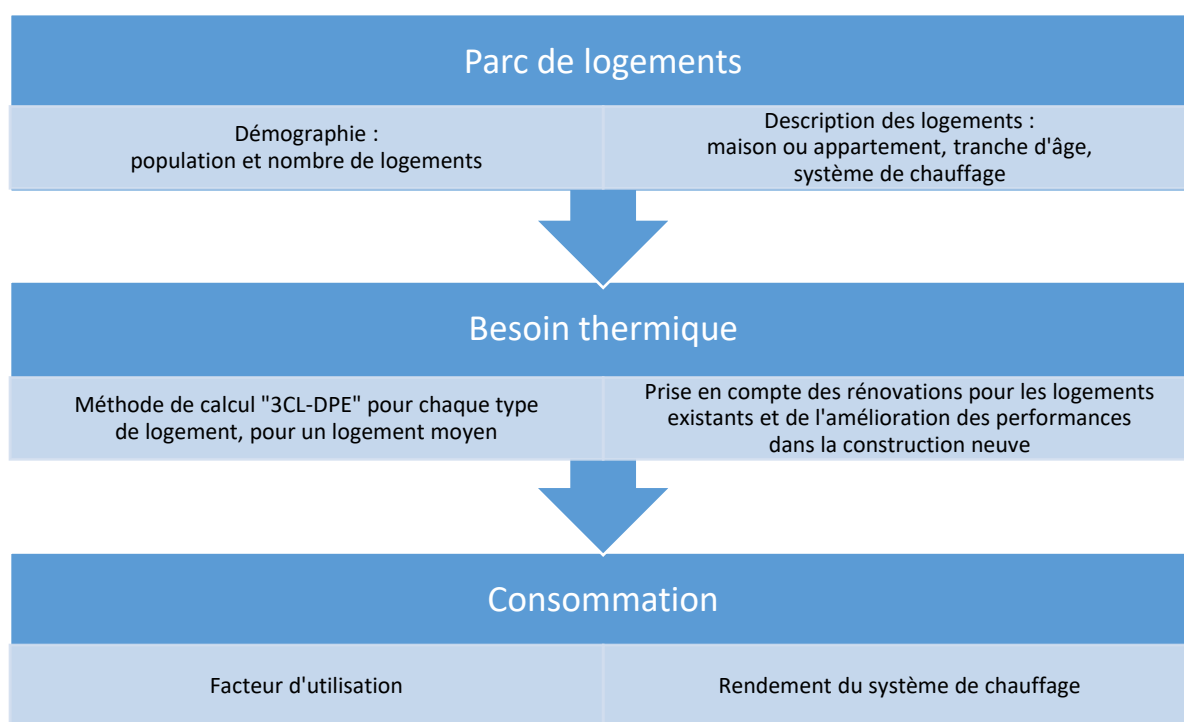


Figure 4 : Principe de modélisation du chauffage électrique résidentiel

### 2.1 Etablissement du parc de logements

Il s'agit donc dans un premier temps d'établir le parc de logements en fonction de ces critères.

#### 2.1.1 Historique

On considère que le nombre de résidences principales correspond au nombre de ménages. Les séries historiques correspondantes sont issues des données publiées par l'INSEE.



La distinction entre maisons individuelles et immeubles collectifs, les années de construction des logements ainsi que les solutions de chauffage installées dans les logements sont quant à elles issues du suivi du parc résidentiel du CEREN. Par souci de cohérence, ces données du CEREN sont recalées sur le nombre de ménages de l'INSEE.

Dans la modélisation, sont considérés comme *anciens* les logements construits avant 1975, date d'application de la première réglementation thermique, comme *récents* les logements construits entre 1975 et 2010, et comme *neufs* les logements construits après 2010.

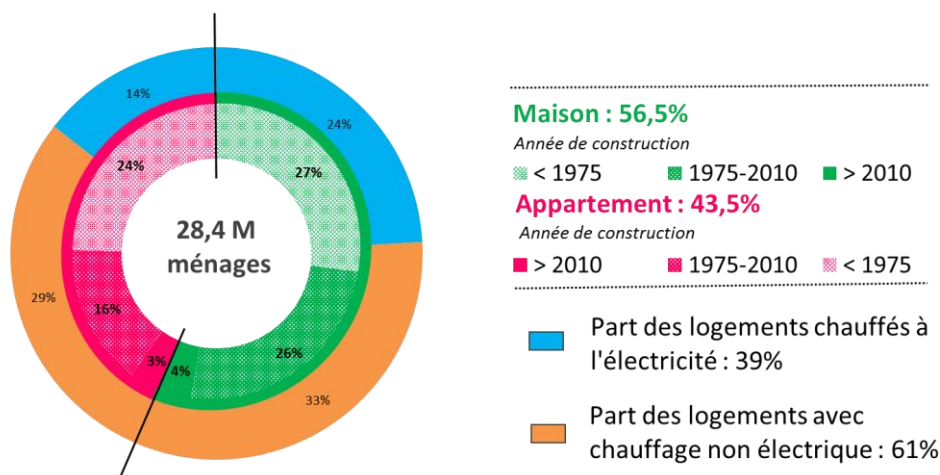


Figure 5 : Répartition du parc de logements en 2016 (sources : INSEE, CEREN)

Entre 2005 et 2016, la part de logements chauffés à l'électricité est passée de 30 à 39%, notamment sous l'effet d'un fort dynamisme du chauffage électrique dans la construction neuve avant l'entrée en vigueur de la réglementation thermique 2012. Cette dernière a en outre induit une évolution structurelle des technologies de chauffage électrique : la part du chauffage Joule est ainsi passée de 95% en 2005 à 86% en 2016, au profit principalement des pompes à chaleur (PAC), dont la part a crû de 2% en 2005 à près de 9% en 2016.

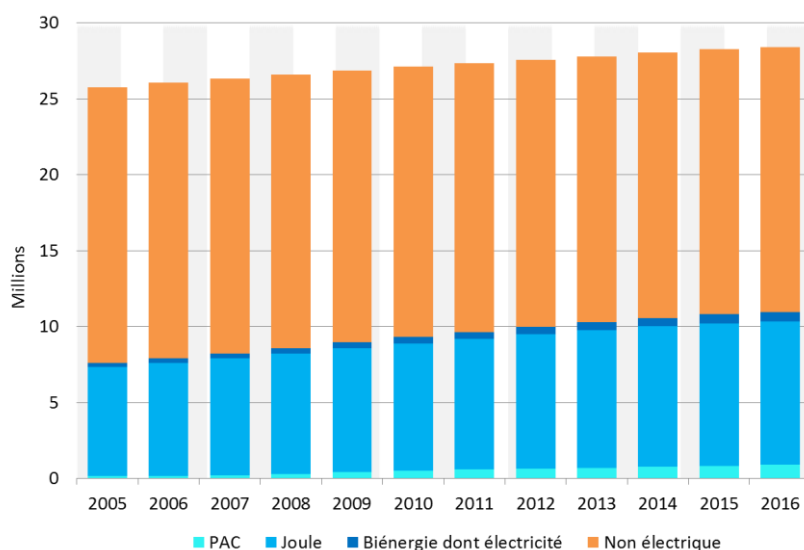


Figure 6 : Répartition des solutions de chauffage de 2005 à 2016 (sources : INSEE, CEREN, recalage RTE)

## 2.1.2 Projections

### Démographie

L'INSEE élabore régulièrement des projections de population, jusqu'en 2070 pour la dernière en date, et a établi en 2012 une projection du nombre de ménages en France.

Différentes variantes sont étudiées par l'INSEE concernant l'évolution de la population, intégrant des valeurs contrastées pour des paramètres tels que l'espérance de vie, la fécondité, le solde migratoire, etc. Parmi ces variantes, seules les projections basse, centrale et haute sont retenues dans la modélisation. Les projections basse et haute sont les scénarios encadrants proposés par l'INSEE. La projection du nombre de ménages en France, plus ancienne, a été recalée selon l'historique de population jusqu'en 2016.

La combinaison de ces différentes projections permet alors d'obtenir des trajectoires d'évolution du nombre de ménages, et donc de résidences principales, en France métropolitaine pour les trois trajectoires de population retenues.

### Flux dans le neuf

Le nombre de reconstructions rend compte des renouvellements dans le parc de logements anciens. Ce paramètre prend en considération les désaffectations, destructions, fusions, affectations et éclatements de logements. Il s'appuie sur les travaux du Commissariat général au développement durable, plus particulièrement « le point sur la demande potentielle de logements à l'horizon 2030 » (août 2012).

Tableau 1 : Nombre annuel de reconstructions (source : projections RTE d'après CEREN, CGDD)

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Nombre annuel de reconstructions	110 000	100 000	150 000

Le nombre annuel de constructions neuves retenu dans le modèle correspond ainsi à la somme de la croissance du nombre de ménages d'une année sur l'autre et du nombre de reconstructions.

L'évolution de la proportion de maisons individuelles parmi les constructions neuves est modélisée. Pour la trajectoire haute, celle-ci s'élève à 50% en 2035, tandis qu'elle est de 35% dans la trajectoire basse. A titre indicatif, elle était de 48% en 2016.

Les solutions de chauffage dans la construction neuve sont ensuite étudiées en considérant, d'une part, la part de marché du chauffage électrique dans la construction neuve et, d'autre part, celle de la pompe à chaleur parmi les constructions neuves chauffées à l'électricité.

Les tendances retenues pour ces hypothèses s'appuient sur les données de l'Observatoire de la construction neuve, fournies par BatiEtude, croisées avec les évolutions observées dans le suivi du parc du CEREN.

La mise en place de la réglementation thermique 2012 (RT 2012) a conduit à une forte baisse des parts de marché de la solution électrique pour le chauffage dans la construction neuve. Si la part de l'électricité se maintient dans les maisons neuves via l'installation de pompes à chaleur, cette solution n'est pas privilégiée pour les appartements neufs (difficulté de mise en œuvre). Ainsi dans la construction neuve, la part d'électricité pour le chauffage est, en 2017, de 60% dans les maisons

individuelles et 20% dans les immeubles collectifs. Dans ces logements neufs chauffés à l'électricité, on observe aujourd'hui que les pompes à chaleur représentent 60% des installations en maison et 10% en immeuble collectif.

Par hypothèse, la trajectoire haute correspond à une électrification soutenue du chauffage et à d'importants efforts d'efficacité énergétique, en supposant une nouvelle réglementation thermique avantageant la solution électrique et un marché favorable. C'est pourquoi les parts de l'électricité dans la construction neuve montent en 2035 à 80% en maison et 60% en appartements. Parmi les logements neufs chauffés à l'électricité, les pompes à chaleur sont supposées représenter 90% des systèmes de chauffage en maison et 50% en immeuble. Cette part croissance de l'électricité pour les solutions de chauffe s'inscrit dans la logique de la SNBC, qui table sur une forte électrification des usages.

A l'inverse, la trajectoire basse table sur un contexte moins porteur pour les solutions électriques et le maintien des parts de marché actuelles.

*Tableau 2 : Parts de marché des solutions de chauffage électrique dans la construction neuve (source : projections RTE d'après BatiEtude et CEREN)*

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Maisons individuelles	60%	60%	80%
Immeubles collectifs	20%	20%	60%

*Tableau 3 : Parts de marché des pompes à chaleur parmi les constructions neuves chauffées à l'électricité (source : projections RTE d'après BatiEtude et CEREN)*

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Maisons individuelles	60%	80%	90%
Immeubles collectifs	10%	30%	50%

### Flux dans l'existant

Les hypothèses concernant les logements existants portent essentiellement sur les transferts d'usage vers des solutions de chauffage électrique, que ce soit à partir d'une solution combustible (gaz, fioul) ou d'une autre solution électrique (chauffage Joule vers pompe à chaleur par exemple).

Les pouvoirs publics ont annoncé en novembre 2018 la volonté de mettre fin au chauffage fioul dans le parc français d'ici dix ans, avec à l'appui des primes à la conversion. Aujourd'hui, environ 3,5 millions de foyers sont équipés de chaudières au fioul. D'autre part, la Programmation pluriannuelle de l'énergie prévoit à l'horizon 2023 « le remplacement de 10 000 chauffages charbon (la moitié de ceux restants) et 1 million de chaudières fioul (sur un parc restant de 3,5 millions) par des moyens de production de chaleur renouvelable ou des chaudières au gaz à très haute performance énergétique »<sup>2</sup>.

Si les remplacements ne se font pas nécessairement vers des systèmes de chauffage électrique, il n'en reste pas moins que le nombre de transferts vers des solutions électriques performantes de type pompes à chaleur devrait augmenter significativement pour atteindre l'objectif.

<sup>2</sup> Synthèse de la Programmation pluriannuelle de l'énergie – p. 5

Tableau 4 : Transferts de solutions de type combustible vers des solutions de chauffage électrique dans les logements existants (en milliers de logements par an)

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Maisons individuelles	30	30	75
Immeubles collectifs	20	15	30

Tableau 5 : Transferts de solutions de chauffage par convecteurs vers des pompes à chaleur dans les logements existants (en milliers de logements par an)

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Maisons individuelles	35	30	65
Immeubles collectifs	3	3	6

Les pompes à chaleur sont privilégiées dans les trajectoires par rapport aux convecteurs électriques du fait de leur meilleur rendement et, lorsqu'elles sont réversibles, du besoin de climatisation qu'elles peuvent satisfaire. Par ailleurs, leur pénétration est plus importante dans les maisons individuelles que dans les immeubles collectifs en raison des contraintes techniques d'installation dans ces derniers.

On notera par ailleurs que, de manière générale, les valeurs prises comme hypothèses pour le flux dans le neuf et le flux dans l'existant vont d'un prolongement des tendances dans la trajectoire basse à une forte électrification dans la trajectoire haute, en ligne avec les orientations de la SNBC.

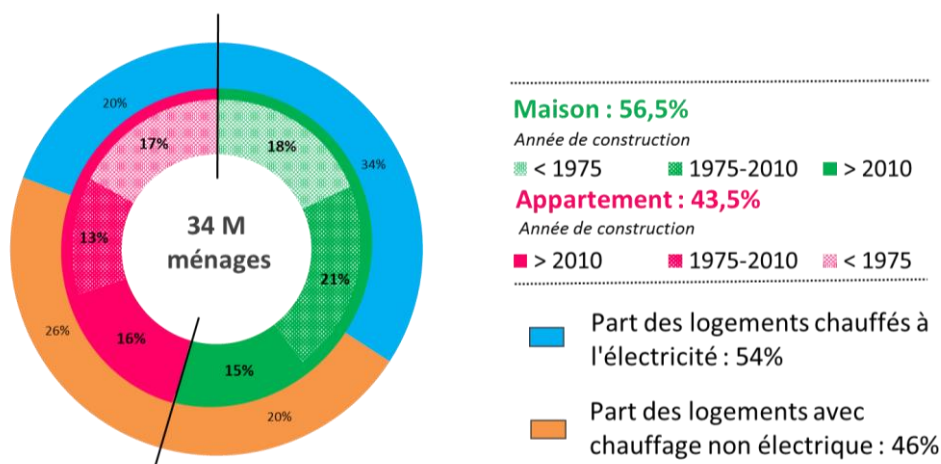


Figure 7 : Répartition du parc de logements en 2035 selon la trajectoire haute (source : projections RTE d'après INSEE, CEREN)

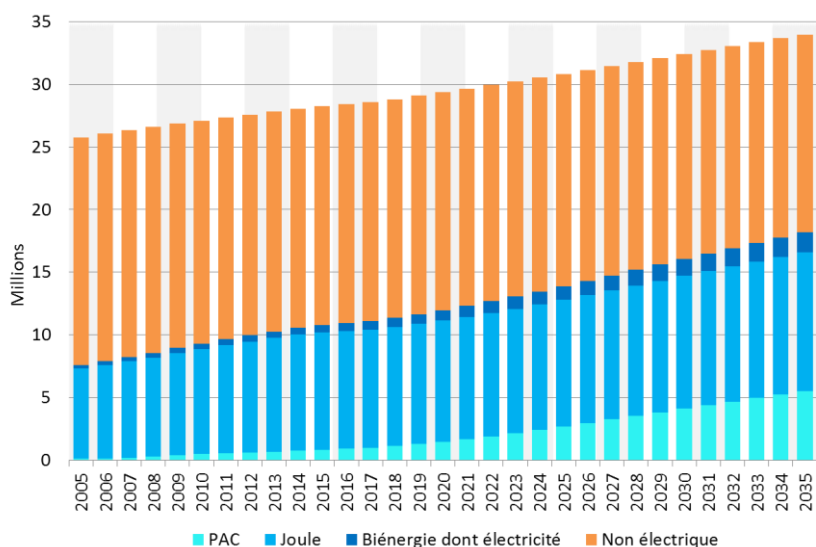


Figure 8 : Projection de la répartition des solutions de chauffage<sup>3</sup> jusqu'en 2035 selon la trajectoire haute  
(source : projections RTE d'après INSEE, CEREN, BatiEtude)

Globalement, dans toutes les trajectoires, le nombre de logements chauffés à l'électricité continue de progresser : aux logements neufs chauffés à l'électricité viennent s'ajouter des logements existants qui basculent d'une solution combustible vers une solution électrique performante.

Il se dégage deux tendances opposées selon les types de logement : le nombre de maisons équipées de chauffage par effet Joule décroît, tandis que le nombre d'appartements équipés de chauffage par effet Joule augmente.

Les tendances diffèrent également selon l'âge des logements : dans l'ancien, maisons comme immeubles collectifs, le nombre de chauffages par effet Joule décroît du fait de leur remplacement par des pompes à chaleur ; dans la construction récente, il reste stable ; dans la construction post-2010, il augmente. Au total, les projections montrent une légère augmentation du parc de logements équipés de chauffages par effet Joule, toutes catégories confondues.

A noter qu'une étude en cours en collaboration avec l'ADEME viendra apporter un éclairage supplémentaire sur l'impact de l'électrification du chauffage sur le système électrique (coût pour la collectivité et émissions de CO<sub>2</sub>). Cette étude fera l'objet d'une présentation en Commission perspectives système et réseau du CURTE, et d'un rapport qui sera publié dans les prochains mois.

<sup>3</sup> Les logements « biénergie dont électricité » correspondent à des logements dont l'énergie principale de chauffe n'est pas l'électricité mais qui utilisent l'électricité comme énergie secondaire de chauffe.

## 2.2 Estimation de la consommation de chauffage

### 2.2.1 Besoin thermique

La modélisation de RTE s'appuie en grande partie sur la méthode de calcul de la RT 2012. Dans celle-ci, les besoins thermiques des bâtiments<sup>4</sup> sont estimés en établissant un diagnostic de performance énergétique, selon la méthode dite « 3CL-DPE ».

#### Le besoin de chauffage dans la RT2012

La méthode 3CL-DPE estime le besoin thermique d'un logement en fonction de quatre éléments :

- les déperditions de chaleur de ce bâtiment,
- les apports d'énergie dit « gratuits », à savoir les apports solaires et internes,
- les pertes récupérables des circuits d'eau chaude sanitaire,
- le facteur d'intermittence, qui reflète le fait que le besoin n'est pas constant à un même niveau (baisse du besoin thermique la nuit, absences).

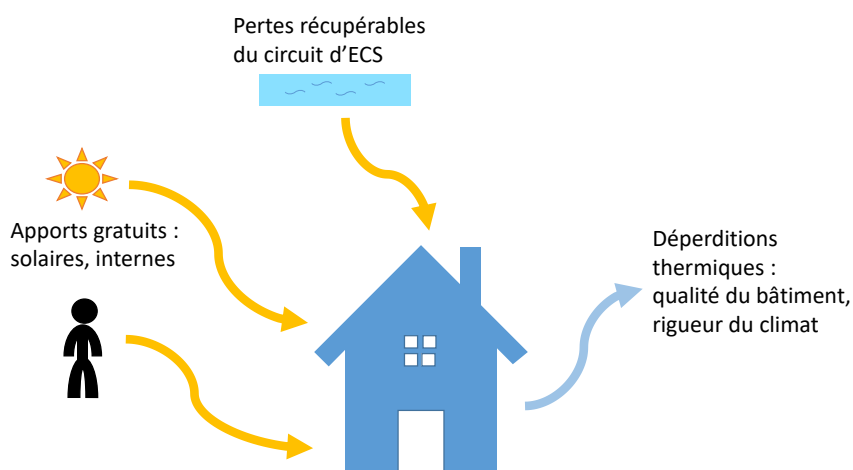


Figure 9 : Schéma des apports et déperditions thermiques d'un bâtiment

Les **déperditions thermiques** sont estimées à partir des caractéristiques du bâtiment d'une part, et d'un indicateur de la rigueur du climat d'autre part. Le volume du bâtiment considéré intervient, ainsi que son coefficient global de déperdition  $G$  en  $W/m^3 \cdot ^\circ C$  : ce coefficient est calculé en fonction de la qualité thermique des murs, fenêtres, toiture, sous-sol, ventilation. Dans la modélisation, les coefficients  $G$  utilisés correspondent aux valeurs moyennes observées (estimées selon les valeurs par défaut de la méthode 3CL-DPE), selon les types de logement et les années de construction (cf. Tableau 6).

Tableau 6 : Coefficients de déperditions thermiques  $G$  (en  $W/m^3 \cdot ^\circ C$ ) utilisés dans la modélisation (source : estimations RTE d'après méthode 3CL-DPE)

	Maison individuelle	Immeuble collectif
Ancien (avant 1975)	2	1,6
Récent (entre 1975 et 2010)	1	0,86
Neuf (après 2010)	0,4	0,37

<sup>4</sup> Le besoin thermique correspond à la quantité de chaleur nécessaire pour maintenir la température de consigne d'un local en toutes circonstances.

La rigueur du climat est quantifiée par l'écart entre la température d'une journée donnée et un seuil de température préétabli (18 °C), et ce pour tous les jours de la période de chauffage. Concrètement, les déperditions représentent le produit de ces trois paramètres.

La **fraction des besoins de chauffage couverts par les apports gratuits** (coefficient F) concerne les apports internes et solaires. Les apports internes sont calculés en fonction du nombre de personnes par logement et par les pertes des appareils à l'intérieur du logement (chaleur dégagée par l'éclairage, etc.). Les apports solaires sont déterminés par la surface des baies vitrées et l'exposition au sud. La fraction de ces apports est calculée en fonction de l'inertie du bâtiment : plus cette inertie est forte, plus la fraction des apports gratuits est élevée et le besoin thermique réduit.

A titre indicatif, le tableau ci-dessous présente les valeurs du coefficient F utilisées dans la modélisation en fonction du type de logement. Les différences observées tiennent principalement des déperditions thermiques, plus importantes dans les logements anciens, réduisant ainsi la part d'apports gratuits effectivement captés dans le logement.

*Tableau 7 : Fraction des besoins de chauffage couverts par les apports gratuits utilisée dans la modélisation (source : estimations RTE)*

	Maison individuelle	Immeuble collectif
Ancien ( <i>avant 1975</i> )	12%	15%
Récent ( <i>entre 1975 et 2010</i> )	23%	27%
Neuf ( <i>après 2010</i> )	50%	53%

Les **pertes récupérables de l'ECS**, de l'ordre de 6 kWh/m<sup>2</sup> par an (source : méthode 3CL-DPE), correspondent à la chaleur perdue du circuit d'ECS pouvant être récupérée pour diminuer le besoin thermique.

Le **facteur d'intermittence** reflète la diminution du besoin de chauffage à certains moments : réduction de la température de chauffage la nuit (d'environ deux degrés), absences (une semaine d'absence en hiver). Ce facteur fluctue de 77% à 90% selon le type de logement et l'ancienneté (source : méthode 3CL-DPE).

Le **besoin thermique** résulte de ces différentes variables selon la formule suivante :

$$\text{Besoin} = [\text{déperditions} * (1-F) - \text{pertes récupérables ECS}] * \text{facteur d'intermittence}$$

Le **besoin thermique pur** correspond à ce besoin thermique diminué du gain lié à la rénovation du bâti dans le cas des logements anciens ou à l'amélioration des performances dans la construction neuve dans le cas des logements neufs.

Les rénovations de l'habitat par amélioration de l'isolation ciblent en particulier les logements mal isolés construits avant 1975, mais aussi certains logements récents construits entre la fin des années 1970 et les années 1980. Le terme de rénovation employé ici correspond à un geste d'isolation de l'enveloppe sans précision sur la nature du geste (toiture ou murs). Aujourd'hui, il est estimé qu'une rénovation correspond à une réduction de 30% du besoin thermique. On estime que le nombre actuel de ces rénovations s'élève à 400 000 par an sur l'ensemble du parc, ce qui concerne environ 130 000 logements chauffés à l'électricité.

Par hypothèse, les rénovations concernent à 60% le parc ancien et à 40% le parc récent.

La prise en compte des rénovations amène donc à la diminution des besoins thermiques moyens des logements anciens et récents pris en compte dans la modélisation.

Tableau 8 : Besoins thermiques purs d'un logement moyen selon sa typologie en 2017 (en kWh/m<sup>2</sup>.an) (résultats de modélisation RTE)

	Maison individuelle	Immeuble collectif
Ancien (avant 1975)	160	130
Récent (entre 1975 et 2010)	80	60
Neuf (après 2010)	20	20

Pour rappel, les valeurs présentées dans le tableau ci-dessus ne sont pas un entrant du modèle, mais un résultat de calcul s'appuyant sur les différentes hypothèses décrites précédemment.

Les surfaces moyennes par logement utilisées dans le modèle, basées sur les données de l'INSEE, sont respectivement de 110 m<sup>2</sup> et 65 m<sup>2</sup> pour les maisons individuelles et les appartements.

### Projections

En accord avec l'objectif du Plan Climat, le nombre de **rénovations** dans la trajectoire haute s'élève à 700 000 logements par an à partir de 2022, toutes énergies de chauffage confondues. Sur le parc de logements chauffés à l'électricité, cela signifie un peu de plus de 200 000 rénovations par an, soit un total de 3,8 millions de logements. Dans la trajectoire basse, le rythme des rénovations reste stable avec 400 000 rénovations par an.

La PPE prévoit quant à elle un rythme de 500 000 rénovations performantes par an jusqu'en 2023, tandis que la version projet de la Stratégie nationale bas carbone, datant de décembre 2018, prévoit que « le rythme de rénovation atteint environ 300 000 rénovations complètes équivalentes en moyenne sur la période 2015-2030 puis augmente pour atteindre 700 000 de rénovations complètes équivalentes en moyenne sur la période 2030-2050 »<sup>5</sup>.

En parallèle, le gain dû à une rénovation utilisé dans le modèle de RTE augmente progressivement de 30% en 2017 à 60% en 2035<sup>6</sup> (en termes de besoin thermique). Ces hypothèses ont été revues à la hausse par rapport à celles prises dans l'exercice 2017 du Bilan prévisionnel suite aux retours de différents acteurs lors de la concertation.

Tableau 9 : Projections du nombre annuel de rénovations et du gain sur le besoin lié à une rénovation (source : projections RTE d'après Plan Climat, SNBC, ADEME, CEREN, étude OPEN)

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Nombre de rénovations	400 000	400 000	700 000
Gain moyen par rénovation	-30%	-50%	-60%

<sup>5</sup> Projet de Stratégie nationale bas carbone – décembre 2018 – pp. 22-23

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Projet%20strategie%20nationale%20bas%20carbone.pdf>

<sup>6</sup> Le nombre de rénovations portent dans ce document uniquement sur l'isolation du bâti et non sur la solution de chauffe contrairement à la campagne OPEN de l'ADEME



On suppose par ailleurs que la **construction neuve** sera **de plus en plus performante** sous l'effet de futures réglementations thermiques : les performances d'isolation du bâtiment se traduisent par un gain croissant sur le besoin thermique, de -30% à -60% entre 2021 à 2035.

Selon les premières informations concernant la RT 2020, la consommation de chauffage des logements neufs ne devra pas excéder 12 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an.

Un autre effet contribue à l'évolution du besoin de chauffage dans les années à venir : la **rationalisation du chauffage**. Celle-ci s'observe via deux vecteurs : l'installation de système de chauffages intelligents, et l'adoption de comportements vertueux, permettant l'un comme l'autre de faire des économies, ne pas chauffer les pièces non occupées et les logements vacants en journée par exemple.

Cet effet est modélisé via une baisse du besoin thermique d'environ 12% entre 2017 et 2035. Il s'agit d'une hypothèse prudente au vu de la fourchette de gain de 10 à 30% mise en avant par les constructeurs de chauffages intelligents.

Ces différents effets conduisent, sur l'ensemble du parc et dans la trajectoire haute, à une réduction des besoins thermiques de 33 à 50% selon le type de logement à l'horizon 2035.

*Tableau 10 : Evolution du besoin thermique pur d'un logement moyen entre 2017 et 2035 (source : résultats RTE après effet des rénovations et de la rationalisation)*

	Maison individuelle	Immeuble collectif
Ancien (avant 1975)	-45%	-36%
Récent (entre 1975 et 2010)	-33%	-33%
Neuf (après 2010)	-48%	-50%

### 2.2.2 Consommation réelle

En théorie, la consommation correspond au **besoin thermique pur divisé par le rendement du système de chauffage**.

Pour le chauffage par convecteurs, un rendement de 90%, résultant d'un rendement d'émission de 95% et d'un rendement de régulation de 95% (source : MEDDTL), a été retenu.

En ce qui concerne les pompes à chaleur, une première distinction est à faire selon leur type : air/air, air/eau ou eau/eau. En effet, leur rendement de chauffage diffère légèrement, ainsi que leur coefficient de performance (COP).

*Tableau 11 : COP moyens observés et répartition des ventes de pompes à chaleur en 2017 (sources : estimations RTE d'après fabricants pour les COP des PAC, et estimations RTE d'après BatiEtude pour les parts des ventes de PAC)*

	COP	Part des ventes de PAC	
		Maisons individuelles	Immeubles collectifs
Air / Air	3,0	15%	45%
Air / Eau	3,4	80%	45%
Eau / Eau	4,2	5%	10%

Un rendement moyen « système » des pompes à chaleur a donc été modélisé en tenant compte de la répartition des ventes de pompes à chaleur par type, dans les maisons individuelles et immeubles collectifs, et de leurs COP respectifs. Pour la répartition des ventes de PAC, les données se basent sur une étude de BatiEtude, dont les tendances ont été prolongées. Cette estimation théorique présente parfois des écarts avec la consommation réelle, c'est pourquoi on se propose ici d'utiliser une modélisation permettant de réduire cet écart.

### La consommation réelle : facteur d'utilisation du chauffage et effet rebond

L'expérience montre que dans certains logements, les moins bien isolés, les ménages ne se chauffent pas à 100% de leur besoin en raison du coût de l'énergie. Le ratio de la consommation effective sur la consommation théorique<sup>7</sup> est appelé facteur d'utilisation du chauffage. Dans ces cas-là, l'estimation de la consommation réelle se fait en appliquant au besoin thermique pur ce facteur d'utilisation. Une formule de calcul pour ce facteur a été proposée dans la thèse de B. Allibe « *Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français à long terme - Amélioration du réalisme comportemental et scénarios volontaristes* » (2012), en effectuant une régression entre le facteur d'utilisation constaté des systèmes de chauffage sur un échantillon de 913 logements (EDF R&D 2009), et le coût du service normé en euros par mètre carré. Ce facteur d'utilisation a été intégré dans la modélisation de la consommation de RTE afin d'estimer la consommation de la façon la plus réaliste possible. Sur le parc actuel de logements, ce facteur est estimé à 45% en moyenne mais la dispersion est importante selon le degré d'isolation du logement : il baisse à 33% environ pour les logements anciens datant d'avant 1975, tandis qu'il atteint les 100% dans les logements neufs.

Le facteur d'utilisation est essentiel pour prendre en compte l'**effet rebond** : pour un ménage dont le logement ancien subit une rénovation, le gain de consommation théorique escompté n'est généralement pas observé, car étant donné les meilleures performances de leur logement, le facteur d'utilisation augmentera en conséquence et même temps que le niveau de confort des occupants.

L'approche de RTE est similaire à celle de SDES présentée dans le rapport « Les ménages et la consommation d'énergie » en mars 2017, qui estime sur la base de l'enquête Phébus<sup>8</sup>, un effet rebond par rapport à la consommation théorique des logements, à savoir celle, estimative, du DPE.

A titre d'exemple, pour les maisons individuelles anciennes, la baisse de besoin thermique de 45% en 2035 par rapport à 2017 correspond dans notre modélisation, après prise en compte du facteur d'utilisation (et donc de l'effet rebond), à une baisse de consommation de 20% pour le chauffage Joule et de 31% pour le chauffage par pompe à chaleur.

D'autres sources externes donnent des ordres de grandeur similaires sur l'effet rebond<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> Rapport d'étude CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) pour RTE issu de la base de données Phébus : « *Modèle de prévision de l'évolution des consommations du parc résidentiel* » (juin 2015)

<sup>8</sup> L'enquête « *Performances de l'Habitat, Équipements, Besoins et Usages* » (Phébus), réalisée par le service statistique du ministère chargé de l'énergie, permet de décrire la performance thermique des logements et éclaire sur les comportements de consommation d'énergie des ménages, que ce soit dans l'habitat ou dans les transports. Le croisement de ces informations avec le revenu des ménages vise à enrichir en outre la compréhension de la précarité énergétique.

<sup>9</sup> Exemples (liste non exhaustive) :

- « *Efficiency in Domestic Space Heating: An Estimation of the Direct Rebound Effect for Domestic Heating in the U.S.* » (Université de Neuchâtel, 2016)
- « *Household Energy Use - EFL Working Group Energy Efficient Buildings & EU Subsidies* » (EFL, 2015)
- « *Empirical estimates of the direct rebound effect: A review* » (Steve Sorrell et al., 2011)
- « *Energy Efficiency and Household Behavior: The Rebound Effect in the Residential Sector* » (Aydin et al., 2015)
- « *The Rebound Effect and Energy Efficiency Policy* » (Gillingham et al., 2015)

## Projections

En ce qui concerne la performance des équipements de chauffage, on suppose que des améliorations techniques permettront dans les années à venir de poursuivre l'amélioration continue des coefficients de performance des pompes à chaleur.

Tableau 12 : Coefficients de performance des pompes à chaleur à la vente en 2035 (source : estimations RTE)

	COP
Air / Air	4,9
Air / Eau	5,3
Eau / Eau	5,3

Les effets combinés des rénovations dans le parc existant, des performances dans la construction neuve et de l'amélioration de la performance des équipements conduisent à augmenter le facteur d'utilisation de l'ensemble du parc.

Tableau 13 : Facteur d'utilisation des logements en fonction de l'année de construction (source : modélisation RTE)

	2017	2035
Ancien (avant 1975)	33%	51%
Récent (entre 1975 et 2010)	52%	66%
Neuf (après 2010)	100%	100%
Ensemble du parc	45%	68%

### 2.2.3 Recalage des consommations historiques

Pour les années historiques, les consommations de chauffage calculées sont recalées sur les consommations réalisées. RTE dispose pour cela de la part thermosensible hivernale de la consommation, évaluée en interne par le logiciel PREMIS, à partir des puissances appelées heure par heure et des conditions climatiques réelles sur la période des cinq dernières années.

Ce volume thermosensible est ensuite réparti entre chauffage résidentiel et chauffage tertiaire. La clé de répartition utilisée est estimée à partir des données de consommations du CEREN. La part de chauffage résidentiel s'établit à environ 72% de la part thermosensible de la consommation.

### 2.2.4 Projections à long terme

Le croisement des parcs de logements et des consommations unitaires projetés permet d'établir des trajectoires de long terme pour la consommation électrique de chauffage. Les trajectoires proposées à l'horizon 2035 sont représentées ci-dessous.

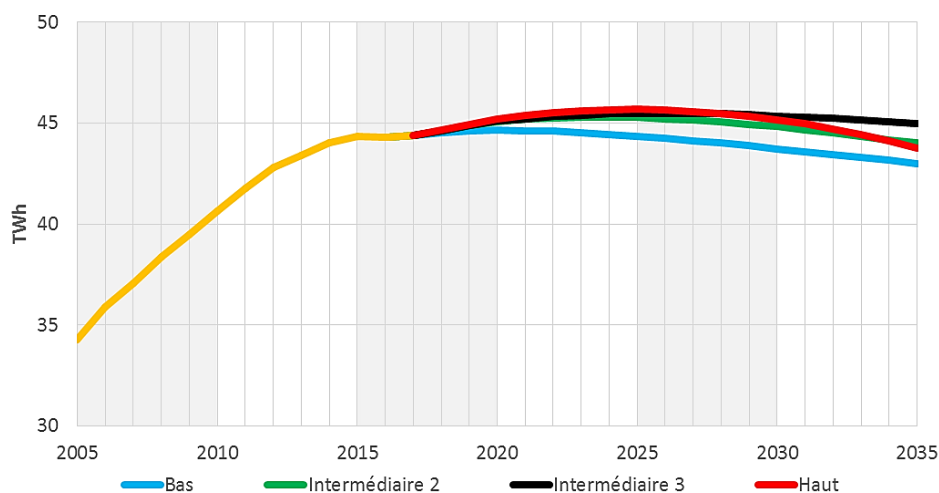


Figure 10 : Consommations de chauffage résidentiel historique et projetées selon les trajectoires actuelles (RTE)

Globalement, l'effet baissier de l'amélioration de l'efficacité énergétique (notamment des rénovations) est contrebalancé par les effets haussiers de la croissance du nombre de ménages et de l'électrification du parc de logement, d'où une relative stabilité de l'ensemble des trajectoires. A noter les importants efforts d'efficacité énergétique modélisés dans la trajectoire haute se traduisent par une consommation de chauffage plus faible que dans les trajectoires intermédiaires, malgré une démographie et une électrification plus importantes.

Tableau 14 : Consommations de chauffage résidentiel projetées à l'horizon 2035

	2017	2035
Haute	44,4 TWh	43,7 TWh
Intermédiaire 3		45,0 TWh
Intermédiaire 2		44,0 TWh
Basse		43,0 TWh

### 2.3 Grands déterminants de la consommation de chauffage

L'évolution de la consommation de chauffage est déterminée par quatre types d'effet : l'effet volume, l'efficacité énergétique, la part d'électricité dans les usages, et les pratiques de rationalisation du chauffage (*smart heating* et autres).

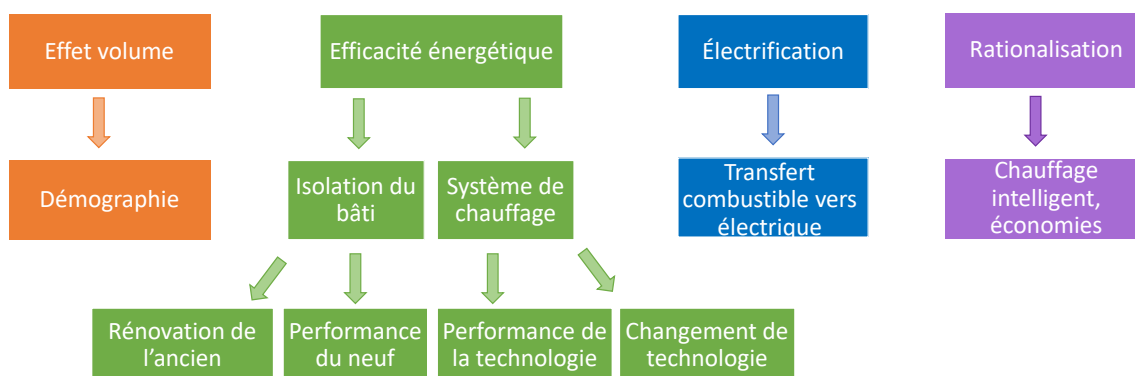


Figure 11 : Principaux déterminants de la consommation de chauffage électrique résidentiel

### 2.3.1 Effet volume

L'**effet volume** correspond à la démographie. Une partie de l'évolution de la consommation est due directement à celle du nombre de ménages : cet effet peut être isolé simplement à partir du taux de croissance du nombre de ménages en France. Cet effet combine deux réalités démographiques : l'augmentation de la population, mais aussi la diminution du nombre de personnes par ménage, liée à des évolutions sociologiques, qui contribue à augmenter le nombre de ménages en France.

Le nombre de ménages passe de 28,4 millions en 2016 à 34,0 millions en 2035 dans la trajectoire haute et 31,5 millions dans la trajectoire basse. L'effet volume sur la consommation de chauffage s'élève à 8,4 TWh selon la trajectoire haute et à 4,5 TWh selon la trajectoire basse.

### 2.3.2 Efficacité énergétique

L'**efficacité énergétique** correspond en réalité à différents postes. On distingue deux grandes catégories d'efficacité énergétique pour le chauffage : l'efficacité du bâti et l'efficacité du système de chauffage.

L'**efficacité énergétique du bâti** correspond au niveau d'isolation du logement : performance thermique des murs, toitures, ouvertures... Dans le bâti ancien, l'isolation peut être améliorée par la rénovation ; dans le neuf, les performances peuvent s'améliorer avec le progrès technique et les nouvelles normes. Il faut en revanche noter que la rénovation n'apporte pas toujours le gain de consommation théorique en raison de l'effet rebond.

Le chauffage électrique se fait principalement via deux technologies : les convecteurs à effet Joule et les pompes à chaleur. L'**efficacité énergétique du système de chauffage** correspond au rendement total du système électrique : le rendement de génération de la chaudière ou du convecteur, mais aussi les rendements de distributions, d'émission... Ces rendements peuvent augmenter avec le progrès technique, notamment pour les pompes à chaleur dont l'essor est plus récent. L'efficacité énergétique du chauffage peut également être améliorée par un changement de technologie, c'est-à-dire en remplaçant un chauffage à effet Joule par une pompe à chaleur, les pompes à chaleur ayant des rendements plus élevés.

Le progrès de l'efficacité énergétique dépend également des investissements consentis dans ce domaine : dans les différents scénarios considérés par RTE, les hypothèses d'investissement dans l'efficacité énergétique sont d'autant plus élevées que celles de croissance du PIB le sont également, et ce afin d'assurer la meilleure cohérence économique des scénarios dans le croisement des hypothèses.

### 2.3.3 Electrification

La **part de l'électricité dans les usages** dépend de l'**électrification** : installation de solutions électriques dans les logements neufs, transferts dans l'existant, c'est-à-dire transfert d'une solution combustible vers une solution électrique : une chaudière au fioul, au gaz, etc., remplacée par une pompe à chaleur ou un système à effet Joule.

Les hypothèses (décrites précédemment) de pénétration de l'électricité dans la construction neuve et de conversion vers l'électricité dans le parc existant tablent (i) sur une poursuite des tendances actuelles dans la trajectoire basse et (ii) sur une électrification plus poussée du chauffage dans la trajectoire haute, en cohérence avec les orientations de la SNBC.

### 2.3.4 Rationalisation

Un gisement d'économies d'énergie est lié à la **rationalisation de l'usage**, qui correspond notamment à la digitalisation des usages, comme le chauffage à effet Joule piloté, ou au fait de ne pas chauffer les pièces inoccupées, les logements vacants, etc., soit par installation de systèmes de chauffage intelligents, soit par changement des comportements des consommateurs. Cela se traduit par une baisse du besoin théorique de chauffage.

## 2.4 Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité des paramètres intervenant dans la modélisation des consommations de chauffage a été réalisée.

Pour cela, les paramètres cités dans le tableau ci-après ont été dans un premier temps figés à leur valeur de 2017, amenant la consommation de chauffage résidentiel en 2035 à 49,9 TWh, au lieu de 43,7 TWh dans la trajectoire haute. Dans un second temps, les paramètres ont été un à un rétablis selon l'évolution modélisée dans la trajectoire haute, afin d'étudier leurs impacts respectifs sur la consommation.

Tableau 15 : Analyse de sensibilité du chauffage aux différents paramètres

		Paramètre étudié	Valeur 2017	Valeur 2035 trajectoire haute	Effet sur la consommation de chauffage par rapport à la trajectoire figée (TWh)
Flux dans le neuf	Reconstruction	Reconstructions	110 000	150 000	-0,67
	Electrification dans le neuf	Part de maisons individuelles neuves chauffées à l'électricité	60%	80%	0,90
		Part d'immeubles collectifs neufs chauffés à l'électricité	20%	60%	1,32
		Part de maisons individuelles neuves avec chauffage biénergie dont électricité	3%	3%	-
	Marché de la PAC dans le neuf	Part de PAC dans les maisons individuelles neuves chauffées à l'électricité	60%	90%	-1,01
		Part de PAC dans les immeubles collectifs neufs chauffés à l'électricité	10%	50%	-0,17
Flux dans l'existant	Transfert combustible vers électricité	Passage au chauffage électrique dans les maisons individuelles existantes	30 000	75 000	3,92
		Passage au chauffage électrique dans les immeubles collectifs existants	20 000	30 000	0,53
	Transfert Joule vers PAC	Passage de convecteurs à une pompe à chaleur dans les maisons individuelles existantes	35 000	65 000	-0,83
		Passage de convecteurs à une pompe à chaleur dans les immeubles collectifs existants	3 000	6 000	-0,05
	Transfert vers électricité biénergie	Passage au chauffage biénergie dont électricité dans les maisons individuelles existantes	35 000	50 000	0,94
		Passage au chauffage biénergie dont électricité dans les immeubles collectifs existants	3 000	4 000	0,04
Efficacité énergétique	Rénovation	Nombre de rénovations (isolation)	400 000	700 000	-1,08
		Gain par rénovation	-30%	-60%	-1,24
	Performance des nouveaux logements	Gain supplémentaire après 2020	-30%	-60%	-2,44
			(à partir de 2021)	-30%	-1,22
	Efficacité des PAC	COP PAC ventes air/air	3,0	4,9	-0,61
		COP PAC ventes air/eau	3,4	5,3	
COP PAC ventes eau/eau		4,2	5,3		
Rationalisation	Baisse du besoin par rapport à 2017	-	-12%	-3,02	

## 2.5 Tableaux récapitulatifs des hypothèses utilisées

### Flux dans le neuf

		2017	2035			Sources et commentaires
			Bas	Médian	Haut	
Reconstructions		110 000	100 000	110 000	150 000	Suivi du parc CEREN Tendances CGDD Volontés politiques de renouvellement / urbanisme
Part de maisons dans la construction neuve		46%	35%	40%	50%	Suivi du parc CEREN
Part de chauffage électrique dans la construction neuve	Maisons individuelles	60%	60%	70%	80%	<u>Historique</u> : BatiEtude (Observatoire de la construction neuve) retravaillé avec le suivi du parc CEREN <u>Projections</u> : tendances de BatiEtude prolongées avec augmentation de la part de chauffage électrique et taux de pénétration plus important des PAC dans la trajectoire haute ; possibilité d'un retour de la solution électrique dans le chauffage avec la future réglementation thermique
	Immeubles collectifs	20%	20%	40%	60%	
Part de pompes à chaleur dans les logements neufs chauffés à l'électricité	Maisons individuelles	60%	80%	85%	90%	
	Immeubles collectifs	10%	30%	30 ou 50%	50%	

### Flux dans l'existant

		2017	2035			Sources et commentaires
			Bas	Médian	Haut	
Transferts de chauffage combustible vers chauffage électrique	Maisons individuelles	30 000	30 000	55 000	75 000	<u>Historique</u> : Suivi du parc résidentiel et panel installateur CEREN <u>Projections</u> : Prolongation des tendances avec, pour la trajectoire haute, intensification des transferts vers l'électricité et augmentation de la part de PAC dans ces transferts (efforts d'efficacité énergétique plus importants dans cette trajectoire)
	Immeubles collectifs	20 000	15 000	25 000	30 000	
Transferts de chauffage Joule vers pompe à chaleur	Maisons individuelles	35 000	30 000	50 000	65 000	
	Immeubles collectifs	3 000	3 000	5 000	6 000	
Passage à un chauffage biénergie dont électricité	Maisons individuelles	35 000	35 000	40 000	50 000	La différenciation entre maisons et appartements tient compte de l'historique et des contraintes techniques d'installation de PAC dans les immeubles collectifs.
	Immeubles collectifs	3 000	2 000	3 000	4 000	



## Résultat sur le parc de logements

	2017	2035		
		Bas	Médian	Haut
Parc de logements chauffés à l'électricité ( <i>en millions</i> )	11,1	13,7	15,7	18,2
<i>dont Joule</i>	85%	72%	66%	61%
<i>dont PAC</i>	9%	18%	25%	30%

## Efficacité énergétique et rationalisation

	2017	2035			Sources et commentaires
		Bas	Médian	Haut	
Rénovations (isolation du bâti)	400 000	400 000	500 000	700 000	Plan Climat / SNBC / ADEME / CEREN
Gain sur le besoin lié à une rénovation	-30%	-50%	-50 ou -60%	-60%	<i>Estimations RTE</i> à partir de l'étude OPEN et des données du CEREN
Performance des nouveaux logements après 2020	-30% ( <i>en 2021</i> )	-50%	-50 ou -60%	-60%	Amélioration de la performance des logements avec les futures RT RT 2020 : consommation de chauffage <12 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .an
Coefficient de performance des pompes à chaleur	PAC air/air	3,0	4,9		<i>Estimations RTE</i> Progrès techniques permettant l'amélioration de l'efficacité des équipements dans les années à venir
	PAC air/eau	3,4	5,3		
	PAC eau/eau	4,2	5,3		
Rationalisation : baisse du besoin par rapport à 2017			-12%		Emergence des chauffages dits intelligents

### Question 1 : Chauffage résidentiel

Partagez-vous l'approche retenue pour la modélisation ? Si ce n'est pas le cas, quelle méthode proposez-vous ?

Êtes-vous favorable à l'utilisation des valeurs présentées dans cette partie à l'horizon 2035 ? Avez-vous d'autres valeurs ou des demandes de variantes à proposer ? Avez-vous d'autres sources de données à proposer ?

Quelles évolutions (ou quelles plages d'évolution) de ces paramètres devraient selon vous être retenues à plus long terme (horizon 2050) ?

## 3 La consommation d'eau chaude sanitaire

Comme pour le chauffage, la méthode utilisée pour estimer la consommation d'électricité destinée à la production d'eau chaude sanitaire consiste à appliquer une consommation unitaire au parc de logements concernés par une solution électrique de production d'eau chaude sanitaire.

En revanche, cette consommation unitaire ne dépend pas du niveau d'isolation du logement, mais uniquement du nombre de personnes occupant le logement et de la solution adoptée. Il s'agit donc d'établir le nombre de maisons individuelles et d'immeubles disposant d'une production électrique d'eau chaude sanitaire, ainsi que la solution adoptée.

Par hypothèse, les chauffe-eau solaires individuels, dont la diffusion est devenue marginale ces dernières années, représentent une part négligeable des solutions électriques de production d'eau chaude sanitaire retenues dans les projections. Seuls les chauffe-eau à effet Joule d'une part et les chauffe-eau thermodynamiques (CET) ou pompes à chaleur double service<sup>10</sup> d'autre part sont pris en compte dans la modélisation.

La consommation unitaire est estimée à partir du besoin d'eau chaude sanitaire par personne, ramené ensuite à un besoin en kWh thermiques par logement, et du rendement de l'équipement de production.

### 3.1 Etablissement du parc de logements

La première étape de la modélisation consiste à établir le nombre de ménages concernés par une solution électrique de production d'eau chaude sanitaire.

Les données concernant la démographie (population, nombre de ménages) et la structure du parc total de logements en France métropolitaine (parts de maisons individuelles et d'immeubles collectifs, flux dans l'existant) sont les mêmes que pour la modélisation du chauffage.

#### 3.1.1 Historique

L'historique du nombre de logements concernés par une solution électrique de production d'eau chaude sanitaire est fourni par le suivi du parc résidentiel du CEREN. Par souci de cohérence, les données sont légèrement recalées pour correspondre aux données de l'INSEE concernant le nombre de ménages.

Du fait de l'entrée en application de la RT 2012, la part de la solution électrique a reculé dans la construction neuve ces dernières années. Ce recul est particulièrement marqué pour les ballons électriques à accumulation (effet Joule), tandis que la part des chauffe-eau thermodynamiques augmente nettement.

Pour autant, les transferts de solutions à base d'énergies combustibles vers des solutions électriques dans les logements existants tendent à maintenir voire augmenter la part d'électricité pour la production d'eau chaude sanitaire dans l'ensemble du parc (cf. figure 12). Celle-ci s'élève ainsi en 2016 à près de 51%, tandis qu'elle était de 44% en 2005.

---

<sup>10</sup> Pompes à chaleur servant à la fois au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire

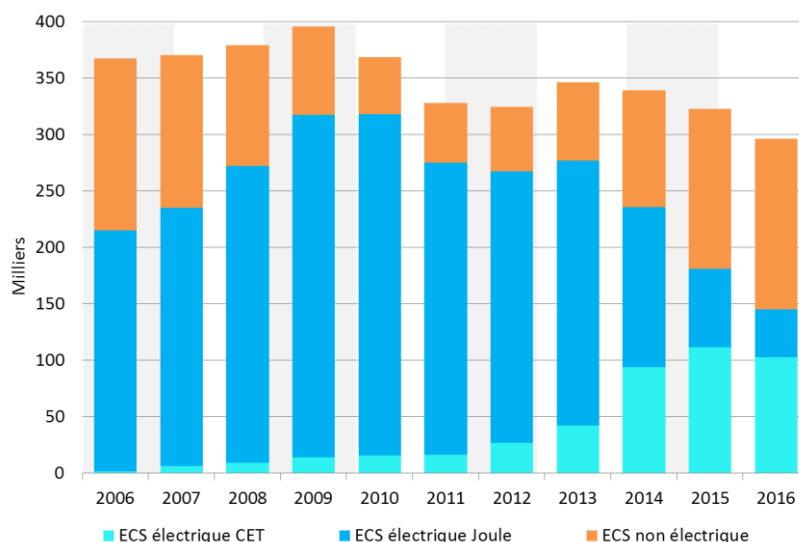


Figure 12 : Répartition des solutions de production d'eau chaude sanitaire dans la construction neuve entre 2005 et 2016 (source : CEREN, recalé sur données INSEE)

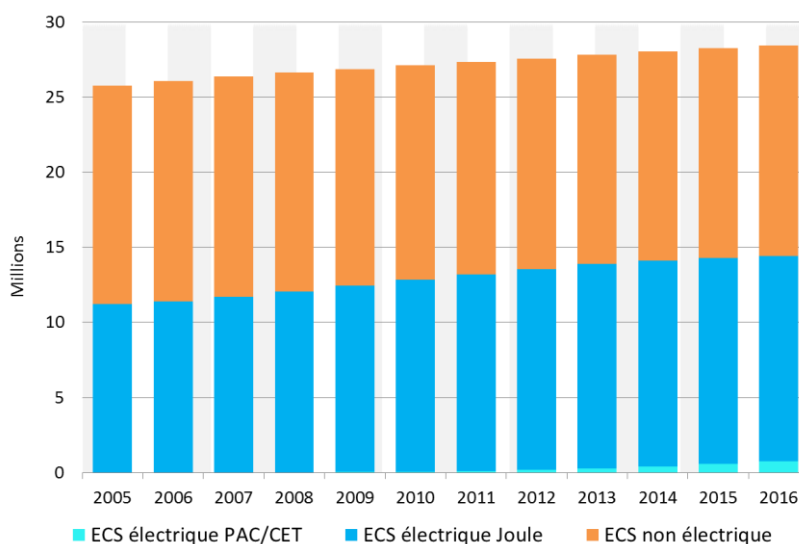


Figure 13 : Répartition des solutions de production d'eau chaude sanitaire dans le parc de logements de 2005 à 2016 (source : CEREN, recalé sur données INSEE)

### 3.1.2 Projections

Comme pour le chauffage, les hypothèses utilisées pour les projections d'évolution du parc s'appuient sur les données de l'Observatoire de la construction neuve, fournies par BatiEtude, croisées avec les évolutions observées dans le suivi du parc du CEREN.

#### Flux dans le neuf

Si la part des solutions électriques a reculé ces dernières années du fait de la RT 2012, les évolutions futures de la réglementation thermique devraient intégrer les émissions de gaz à effet de serre et par là-même favoriser le recours aux solutions électriques.

Tableau 16 : Parts de marché des solutions électriques d'eau chaude sanitaire dans la construction neuve  
(source : projections RTE d'après BatiEtude et CEREN)

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Maisons individuelles	79%	80%	90%
Immeubles collectifs	20%	20%	50%

Tableau 17 : Parts de marché des chauffe-eau thermodynamiques et pompes à chaleur double service parmi les logements neufs avec production électrique d'eau chaude sanitaire  
(source : projections RTE d'après BatiEtude et CEREN)

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Maisons individuelles	85%	90%	95%
Immeubles collectifs	60%	83%	90%

### Flux dans l'existant

Dans les logements existants, les transferts vers des solutions électriques pour l'eau chaude sanitaire se font essentiellement vers des solutions à effet Joule. Les ballons d'eau chaude sont en effet plus compacts et plus faciles à installer que les pompes à chaleur ou les chauffe-eau thermodynamiques.

Ceci explique donc la proportion nettement plus faible de PAC et CET parmi les transferts dans l'existant que dans la construction neuve.

Tableau 18 : Transferts de solutions combustibles vers électriques pour l'eau chaude sanitaire dans les logements existants (en milliers de logements par an)  
(source : projections RTE d'après CEREN)

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Maisons individuelles	30	40	80
Immeubles collectifs	10	15	25

Tableau 19 : Parts de marché des chauffe-eau thermodynamiques et pompes à chaleur double service parmi les transferts vers des solutions électriques dans les logements existants  
(source : projections RTE d'après CEREN)

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
Maisons individuelles	17%	41%	50%
Immeubles collectifs	20%	27%	38%

Rappelons également que, par hypothèse, la trajectoire haute correspond à une électrification soutenue et à d'importants efforts d'efficacité énergétique, en supposant une nouvelle réglementation thermique avantageant la solution électrique et un marché favorable.

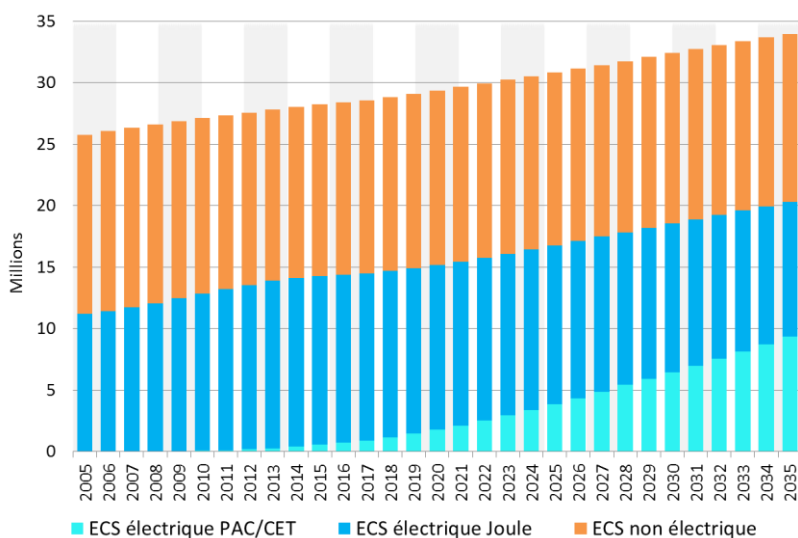


Figure 14 : Projection de la répartition des solutions de production d'eau chaude sanitaire jusqu'en 2035 selon la trajectoire haute (source : projections RTE d'après CEREN)

L'ensemble des hypothèses retenues conduit à une part d'eau chaude sanitaire électrique de 60% sur l'ensemble du parc à horizon 2035 selon la trajectoire haute, et de 53% selon la trajectoire basse.

## 3.2 Estimation de la consommation

### 3.2.1 Besoin d'eau chaude sanitaire

Dans la modélisation de RTE, la consommation d'eau chaude sanitaire est évaluée à partir du besoin d'ECS par personne, estimé à 28 L/personne/jour après examen de différentes sources (ADEME, constructeurs de systèmes de chauffage...). Celui-ci est converti en un besoin annuel en kWh thermiques par ménage via le nombre de personnes par ménage, la différence entre la température de l'ECS et la température de l'eau froide, et la chaleur spécifique de l'eau.

On estime par ailleurs que l'installation de mitigeurs plus performants dans les logements permettra dans les années à venir une réduction du besoin d'eau chaude sanitaire. Ces équipements permettent en effet un confort d'utilisation équivalent tout en consommant moins d'eau au robinet. On notera que l'amélioration des mitigeurs est déjà prise en compte dans l'estimation de la consommation actuelle d'eau chaude sanitaire.

A cet effet s'ajoute l'évolution de la structure des ménages, avec une tendance à la baisse du nombre de personnes par ménage, déjà évoquée dans le cas du chauffage.

Tableau 20 : Besoin d'eau chaude sanitaire (source : estimations RTE d'après ADEME, fabricants)

	2017	2035
Besoin par personne <sup>11</sup>	28 L/jour	25 L/jour
Besoin par ménage	62 L/jour	52 L/jour
	1,1 MWh <sub>th</sub> /an	0,9 MWh <sub>th</sub> /an

<sup>11</sup> Besoin pour une température d'eau chaude de 52°C et une température d'eau froide de 12°C

### 3.2.2 Consommation d'électricité pour l'eau chaude sanitaire

La consommation d'électricité est ensuite obtenue via le rendement des installations de production d'ECS<sup>12</sup>.

Pour l'ensemble des installations, quelle que soit leur nature, on considère des pertes statiques de l'ordre de 0,8 kWh/jour en 2017. On estime que cette valeur sera orientée à la baisse dans les années à venir en raison de l'amélioration technique des équipements. Ainsi, cette valeur serait portée à 0,4 kWh/jour de pertes pour les équipements neufs en 2035.

Pour les chauffe-eau thermodynamiques et pompes à chaleur, on considère pour 2017 un coefficient de performance (COP) des équipements neufs de 3. On considère également une amélioration future des équipements, conduisant à un COP de 3,9 en 2035 (évaluation à dire d'expert).

Le calcul de la consommation unitaire pour l'eau chaude produite par effet Joule et l'eau chaude produite par une pompe à chaleur ou un chauffe-eau thermodynamique se fait par l'intermédiaire d'un modèle de parc.

Les différentes hypothèses citées précédemment concernant le parc de logements et les performances des équipements sont concaténées de manière à obtenir pour le parc concerné par l'eau chaude sanitaire électrique :

- la part moyenne de ballons électriques (effet Joule) ;
- la part moyenne de chauffe-eau thermodynamiques ou pompes à chaleur ;
- les pertes statiques moyennes par jour ;
- le COP moyen des chauffe-eau thermodynamiques.

On obtient ainsi la consommation unitaire par logement, en distinguant logements collectifs et maisons individuelles, pour les chauffe-eau Joule et thermodynamiques. La consommation totale d'électricité pour la production d'eau chaude sanitaire est alors calculée à partir de ces consommations unitaires.

En pratique, la consommation d'eau chaude sanitaire est sensiblement la même qu'il s'agisse d'une maison individuelle ou d'un appartement en immeuble collectif.

*Tableau 21 : Consommation unitaire d'électricité pour l'eau chaude sanitaire selon le type d'équipement (kWh/an)  
(source : résultats RTE)*

	2017	2035	
		Trajectoire basse	Trajectoire haute
ECS Joule	1 390	1 130	1 120
ECS PAC/CET	700	510	490

<sup>12</sup> Cette modélisation diffère de la méthode 3CL-DPE, où il est estimé de façon forfaitaire en fonction de la surface habitable des logements considérés et du département (pour la zone climatique)

### 3.2.3 Projections à long terme

Le croisement des parcs de logements et des consommations unitaires projetés permet d'établir des trajectoires de long terme de la consommation électrique de production d'eau chaude sanitaire. Les trajectoires proposées à l'horizon 2035 sont représentées ci-dessous.

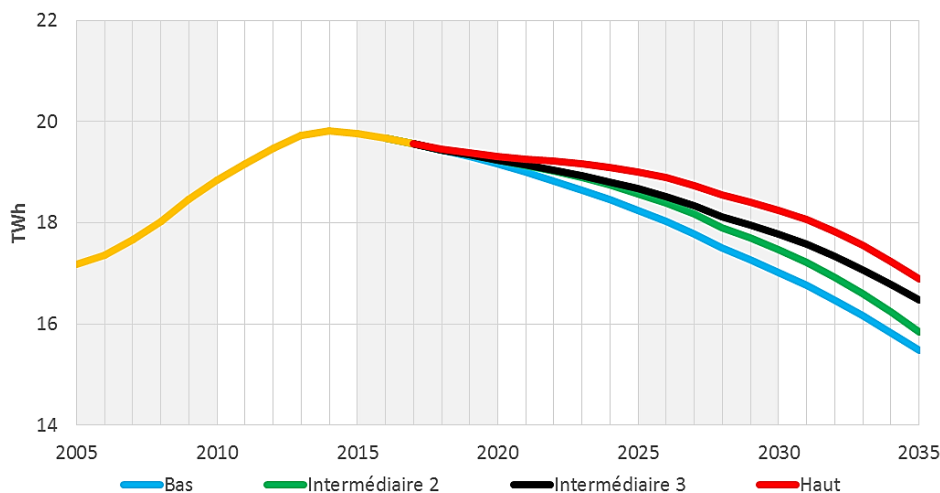


Figure 15 : Consommations d'électricité pour l'eau chaude sanitaire historique et projetées selon les trajectoires actuelles de RTE

Globalement, l'effet baissier de l'amélioration de l'efficacité énergétique (notamment liée à l'essor des modes de production thermodynamiques) est prégnant et oriente l'ensemble des trajectoires à la baisse.

Tableau 22 : Consommations d'ECS résidentielle projetées à l'horizon 2035

	2017	2035
Haute	19,4 TWh	16,8 TWh
Intermédiaire 3		16,4 TWh
Intermédiaire 2		15,7 TWh
Basse		15,4 TWh

### 3.3 Grands déterminants

Comme pour le chauffage, la consommation d'eau chaude sanitaire évolue suivant les effets de volume, d'électrification et d'efficacité énergétique.

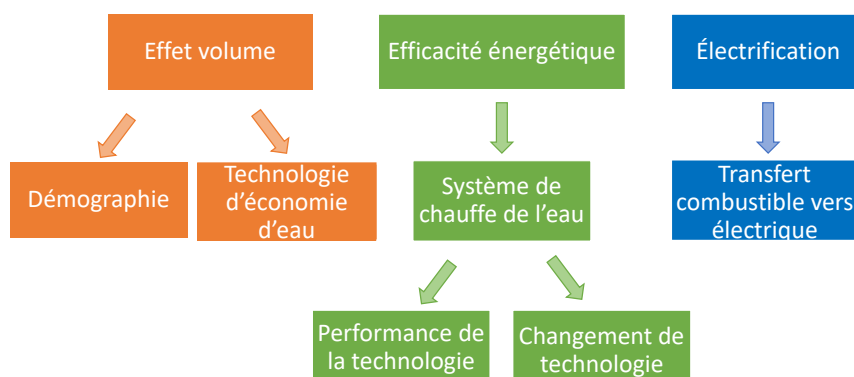


Figure 16: Principaux déterminants de la consommation d'eau chaude sanitaire électrique résidentielle

#### 3.3.1 Effet volume

L'effet volume correspond d'une part à la démographie, à savoir l'évolution de la population et du nombre de personnes par ménage, et d'autre part aux progrès technologiques des mitigeurs qui permettent de réduire le volume d'eau utilisé à confort d'utilisation égal.

#### 3.3.2 Efficacité énergétique

Contrairement au cas du chauffage, l'isolation du bâti ne joue pas sur la consommation d'eau chaude sanitaire et la problématique de l'efficacité énergétique se résume à celle des systèmes de chauffe-eau : ballon d'eau chaude à effet Joule ou chauffe-eau thermodynamique.

On distingue deux principaux leviers d'efficacité énergétique : l'équipement lui-même, un chauffe-eau thermodynamique étant plus performant qu'un chauffe-eau à effet Joule, et l'amélioration des équipements dans les années à venir, avec la réduction des pertes statiques et l'augmentation du coefficient de performance des chauffe-eau thermodynamiques.

#### 3.3.3 Electrification

Le choix d'une solution électrique de production d'eau chaude sanitaire, que ce soit dans la construction neuve ou en substitution d'une solution combustible dans le parc existant, va généralement de pair avec l'adoption d'une solution électrique de chauffage.

Favorisée par les futures réglementations thermiques et en ligne avec les orientations de la SNBC, l'électrification de la production d'eau chaude sanitaire à base d'électricité devrait donc croître dans l'ensemble des trajectoires, et de façon particulièrement marquée dans la trajectoire haute.



### 3.4 Analyse de sensibilité

Le tableau suivant présente l'analyse de sensibilité réalisée pour la consommation d'électricité pour la production d'eau chaude sanitaire, selon la même méthode que pour le chauffage.

Si tous les paramètres cités étaient figés à leur valeur de 2017, la consommation d'électricité pour l'eau chaude sanitaire s'élèverait en 2035 à 19,3 TWh, alors qu'elle serait de 16,9 TWh selon la trajectoire haute.

Tableau 23 : Analyse de sensibilité de l'ECS aux différents paramètres

		Paramètre étudié	Valeur 2017	Valeur 2035 trajectoire haute	Effet sur la consommation d'eau chaude sanitaire par rapport à la trajectoire figée (TWh)
Flux dans le neuf	Reconstruction	Reconstructions	110 000	150 000	0,01
	Electrification dans le neuf	Part de maisons individuelles neuves avec ECS électrique	79%	90%	0,25
		Part d'immeubles collectifs neufs avec ECS électrique	20%	50%	0,84
	Marché des PAC et CET dans le neuf	Répartition entre Joule et PAC/CET parmi les maisons individuelles neuves avec ECS électrique	Joule 15% PAC/CET 85%	Joule 5% PAC/CET 95%	-0,15
		Répartition entre Joule et PAC/CET parmi les immeubles collectifs neufs avec ECS électrique	Joule 40% PAC/CET 60%	Joule 10% PAC/CET 90%	-0,08
Flux dans l'existant	Transfert combustible vers électricité	Passage à l'ECS électrique dans les maisons individuelles existantes	30 000	80 000	0,59
		Passage à l'ECS électrique dans les immeubles collectifs existants	10 000	25 000	0,21
	Marché des PAC et CET dans l'existant	Répartition entre Joule et PAC/CET parmi les maisons individuelles existantes avec ECS électrique	Joule 83% PAC/CET 17%	Joule 50% PAC/CET 50%	-0,84
		Répartition entre Joule et PAC/CET parmi les maisons individuelles existantes avec ECS électrique	Joule 80% PAC/CET 20%	Joule 62% PAC/CET 38%	-0,22
Efficacité énergétique	Amélioration des mitigeurs	Besoin d'eau chaude par personne	28L	25L	-1,37
	Pertes statiques	Réduction des pertes statiques par jour (kWh)	0,8	0,4	-0,88
	Efficacité des PAC et CET	COP PAC ventes eau/eau	3,0	3,9	-0,21

### 3.5 Tableaux récapitulatifs des hypothèses utilisées

Les hypothèses communes avec la modélisation du chauffage, concernant notamment les reconstructions ou la part de maisons individuelles dans la construction, ne sont pas reprises dans les tableaux ci-après.

#### Flux dans le neuf

		2017	2035			Sources et commentaires
			Bas	Médian	Haut	
Part de production d'eau chaude électrique dans la construction neuve	Maisons individuelles	79%	80%	85%	90%	<u>Historique</u> : BatiEtude (Observatoire de la construction neuve) retravaillé avec le suivi du parc CEREN <u>Projections</u> : tendances de BatiEtude prolongées avec augmentation de la part de la solution électrique et taux de pénétration plus important des PAC/CET dans la trajectoire haute ; possibilité d'un retour de la solution électrique avec la future réglementation thermique
	Immeubles collectifs	20%	20%	40%	50%	
Part de CET et PAC dans les logements neufs avec ECS électrique	Maisons individuelles	85%	90%	90 ou 95%	95%	
	Immeubles collectifs	60%	83%	83 ou 90%	90%	

#### Flux dans l'existant

		2017	2035			Sources et commentaires
			Bas	Médian	Haut	
Transferts combustible vers électricité pour l'eau chaude	Maisons individuelles	30 000	40 000	60 000	80 000	<u>Historique</u> : panel installateur et suivi du parc CEREN <u>Projections</u> : Prolongation des tendances avec, pour la trajectoire haute, intensification des transferts vers l'électricité et augmentation de la part de PAC/CET dans ces transferts (efforts d'efficacité énergétique plus importants dans cette trajectoire)
	Immeubles collectifs	10 000	15 000	20 000	25 000	
Part de CET et PAC dans les logements existants avec solution électrique	Maisons individuelles	17%	41%	41 ou 50%	50%	
	Immeubles collectifs	20%	27%	27 ou 38%	38%	

### Résultat sur le parc de logements

	2017	2035		
		Bas	Médian	Haut
Parc de logements avec ECS électrique ( <i>en millions</i> )	14,5	16,6	18,3	20,3
<i>dont Joule</i>	94%	68%	59 ou 63%	54%
<i>dont PAC</i>	6%	32%	41 ou 37%	46%

### Efficacité des équipements

	2017	2035			Sources et commentaires
		Bas	Médian	Haut	
Besoin d'eau chaude par personne et par jour	28 L	25 L			<i>Estimations RTE à dire d'expert</i> Amélioration des mitigeurs qui permettent, à confort d'utilisation égal, de réduire le besoin d'eau chaude
Réduction des pertes statiques par jour	0,8 kWh	0,4 kWh			<i>Estimations RTE à dire d'expert</i>
Coefficient de performance des chauffe-eau thermodynamiques et pompes à chaleur eau/eau	3,0	3,9			<i>Estimations RTE à dire d'expert</i> Progrès techniques permettant l'amélioration de l'efficacité des équipements dans les années à venir

### Question 2 : Eau chaude sanitaire résidentielle

**Partagez-vous l'approche retenue pour la modélisation ? Si ce n'est pas le cas, quelle méthode proposez-vous ?**

**Êtes-vous favorable à l'utilisation des valeurs présentées dans cette partie à l'horizon 2035 ? Avez-vous d'autres valeurs ou des demandes de variantes à proposer ? Avez-vous d'autres sources de données à proposer ?**

**Quelles évolutions (ou quelles plages d'évolution) de ces paramètres devraient selon vous être retenues à plus long terme (horizon 2050) ?**

## 4 La consommation de climatisation et de ventilation

### 4.1 Climatisation

La climatisation représente, par rapport au chauffage ou à l'eau chaude sanitaire, une part bien moins importante de la consommation du secteur résidentiel. Ceci est en partie lié à la faible proportion de ménages français équipés de systèmes de climatisation.

#### 4.1.1 Hypothèses et méthode de calcul

La modélisation de la climatisation repose sur deux hypothèses principales : le taux d'équipement et la consommation unitaire.

On obtient simplement le nombre de logements équipés de climatisation en appliquant au nombre de ménages de l'année considérée le taux d'équipement correspondant. Ce dénombrement s'effectue sans tenir compte du type de climatisation installée.

On applique alors au parc concerné la consommation unitaire de climatisation prise comme hypothèse pour déterminer la consommation totale. On notera que dans nos hypothèses, il s'agit d'une consommation unitaire forfaitaire, indépendante du type de climatisation installée.

On estime le taux d'équipement actuel à environ 7% des ménages, ce qui représente environ 2 millions de ménages. Selon les trajectoires utilisées dans la modélisation, ce taux serait compris entre 21% et 33% à l'horizon 2035, soit un parc d'environ 6,5 à 11 millions de ménages.

Les données historiques de taux d'équipement s'appuient sur le « bilan froid » du CEREN, recalé sur les données démographiques de l'INSEE. Les ménages français sont actuellement peu équipés de systèmes de climatisation, mais la tendance est à la hausse.

*Tableau 24 : Taux d'équipement et parc de logements climatisés selon les différentes trajectoires actuelles (source : sur 2017, données CEREN, INSEE ; sur 2035, projections RTE à dire d'expert)*

	2017	2035		
		Bas	Médian	Haut
Taux d'équipement	7%	21%	25%	33%
Nombre de ménages équipés d'un système de climatisation (en millions)	2,1	6,5	8,3	11

Rappelons que la scénarisation adoptée prévoit une démographie différente d'une trajectoire à l'autre. Le nombre de ménages disposant de climatisation ne dépend donc pas uniquement du taux d'équipement supposé.

La consommation unitaire actuelle d'un système de climatisation est estimée à 450 kWh/an. Du fait de l'amélioration technique des équipements, notamment l'amélioration de leur coefficient de performance, ainsi que d'une utilisation plus massive de pompes à chaleur réversibles pouvant également assurer le rafraîchissement d'un logement, cette consommation unitaire sera ramenée à la baisse à l'avenir. Selon la trajectoire considérée, correspondant à plus ou moins d'efficacité énergétique, celle-ci serait de 270 à 340 kWh/an en 2035, soit une baisse de 24 à 40% par rapport à 2017.

#### 4.1.2 Résultats

L'augmentation du parc de logements climatisés tend à faire augmenter la consommation de climatisation, augmentation qui ne peut être compensée entièrement par l'efficacité grandissante des équipements.

Cependant, la consommation de climatisation ne devrait représenter toujours qu'une faible part de la consommation résidentielle en 2035, à hauteur d'environ 2%.

Tableau 25 : Consommations de climatisation résidentielle projetées à l'horizon 2035

	2017	2035
Haute	0,9 TWh	3,0 TWh
Intermédiaire 3		2,8 TWh
Intermédiaire 2		2,2 TWh
Basse		2,2 TWh

## 4.2 Ventilation

### 4.2.1 Parc de logements

La consommation de ventilation n'est modélisée que pour les maisons individuelles.

L'isolation thermique performante du bâti dans le neuf nécessite l'installation d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) afin d'assurer un renouvellement permanent de l'air, alors que la ventilation naturelle suffit à assurer une bonne qualité de l'air intérieur dans le parc ancien mal isolé. Ainsi, la construction de logements neufs contribue à l'augmentation de la consommation d'électricité pour la ventilation.

Par hypothèse, 100% des maisons neuves sont équipées d'une VMC. En revanche, le taux d'installation de VMC lors d'une rénovation suit une évolution contrastée selon la trajectoire étudiée. Ce taux est estimé à un peu plus de 10% en 2017 et serait entre 17 et 25% d'ici 2035.

Ces différentes hypothèses aboutissent aux résultats suivants sur le parc de maisons individuelles équipées de VMC.

Tableau 26 : Taux d'équipement et parc de maisons individuelles équipées d'une VMC selon les différentes trajectoires (source : estimations RTE)

	2017	2035		
		Bas	Médian	Haut
Taux d'équipement	52%	63%	67%	73%
Nombre de ménages équipés d'une VMC (en millions)	7,4	10,7	11,7	13,5

#### 4.2.2 Consommation de ventilation

Les hypothèses retenues portent sur la puissance des VMC vendues. Un modèle de parc est alors utilisé pour déterminer la puissance moyenne des VMC sur le parc de maisons équipées puis la consommation unitaire correspondante.

Cette consommation unitaire s'établit à environ 240 kWh/an en 2017. A l'horizon 2035, elle est estimée entre 185 et 200 kWh/an selon les efforts d'efficacité des équipements consentis.

On obtient ainsi les consommations suivantes de ventilation mécanique dans les maisons individuelles :

Tableau 27 : Consommations de ventilation résidentielle projetées à l'horizon 2035

	2017	2035
Haute	2,0 TWh	2,5 TWh
Intermédiaire 3		2,3 TWh
Intermédiaire 2		2,2 TWh
Basse		2,2 TWh

#### Question 3 : Climatisation et ventilation résidentielles

Partagez-vous l'approche retenue pour la modélisation ? Si ce n'est pas le cas, quelle méthode proposez-vous ?

Êtes-vous favorable à l'utilisation des valeurs présentées dans cette partie à l'horizon 2035 ? Avez-vous d'autres valeurs ou des demandes de variantes à proposer ? Avez-vous d'autres sources de données à proposer ?

Quelles évolutions (ou quelles plages d'évolution) de ces paramètres devraient selon vous être retenues à plus long terme (horizon 2050) ?