

La maîtrise de la consommation d'électricité, levier pour fermer les dernières centrales à charbon ?

Le gestionnaire du réseau de transport d'électricité, RTE, a publié en avril 2019 des analyses complémentaires¹ au bilan prévisionnel (BP) 2018, explicitant les conditions de fermeture des centrales à charbon d'ici 2022. Si le cas de base étudié dans le BP 2018² montrait la possibilité technique de fermer ces centrales tout en conservant un niveau de sécurité d'approvisionnement équivalent à aujourd'hui, les variantes étudiées dans cette nouvelle étude ont montré que dans certaines configurations particulièrement dégradées, le critère de sécurité d'approvisionnement pourrait ne plus être respecté en 2022.

Après avoir rappelé les enseignements apportés par RTE et les conclusions retenues par le gouvernement³, cette note d'analyse propose d'explorer différents leviers permettant à court terme de réduire la puissance électrique appelée, notamment en période de pointe, et donc de permettre la fermeture des centrales à charbon même en conditions dégradées, sans crainte de nuire à la sécurité d'approvisionnement.

Cette note n'a pas pour objet de commenter la pertinence de l'objectif d'arrêt des centrales à charbon d'ici 2022. La réduction de la puissance électrique demeure une nécessité, quel que soit le mix électrique envisagé. Il est simplement rappelé qu'en matière de réduction des émissions françaises de gaz à effet de serre, la fermeture de ces moyens de production reste une action marginale : les centrales à charbon ont représenté en 2018 environ 1 % des émissions françaises.

Rapport réalisé avec la contribution financière des Amis de la terre.

¹ [Analyses complémentaires sur l'équilibre offre-demande d'électricité en France sur la période 2019-2023](#), RTE, avril 2019

² [Bilan prévisionnel 2018](#), RTE, 2018

³ [Conclusions et enseignements des analyses complémentaires de RTE sur l'impact de l'arrêt des centrales à charbon d'ici 2022 pour la sécurité d'approvisionnement en électricité des Français](#), ministère de la Transition écologique et solidaire, 3 avril 2019

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Contexte de l'étude | 3 |
| Utilisation actuelle des centrales à charbon en France | 3 |
| Pour RTE, une sécurité d'approvisionnement maintenue d'ici 2022, sauf si..... | 4 |
| Trois leviers retenus par le gouvernement | 5 |
| Une consommation de pointe qui regroupe de multiples usages, dominés par le chauffage électrique | 6 |
| Mesures proposées dans le secteur résidentiel | 9 |
| Mesures de modernisation des équipements..... | 9 |
| → Rénovation accélérée des « passoires thermiques » d'ici 2022..... | 9 |
| → Remplacement accéléré des convecteurs électriques les plus médiocres | 9 |
| → Asservissement des chauffe-eau électriques non encore asservis..... | 10 |
| Mesures de sobriété | 11 |
| → Appel à des gestes citoyens lors des périodes de pointe..... | 11 |
| → Règlementation des illuminations de Noël..... | 12 |
| Mesures proposées dans le secteur tertiaire | 13 |
| Mesures de modernisation des équipements..... | 13 |
| → Accélération de la modernisation de l'éclairage public | 13 |
| Mesures de sobriété | 13 |
| → Application plus stricte de l'extinction des illuminations de vitrines et bâtiments..... | 13 |
| → Extinction des publicités lumineuses entre 18h et 21h les jours de grand froid | 14 |
| → Modération sur l'éclairage public décoratif les jours de grand froid | 14 |
| → Extinction des équipements inutilement allumés dans les bureaux et locaux d'enseignement | 14 |
| Mesures proposées dans le secteur industriel | 15 |
| Synthèse des mesures proposées et des résultats attendus | 16 |
| Critère de défaillance du système électrique, de quoi parle-t-on ? | 17 |
| Conclusions de l'étude | 19 |
| Annexes | 21 |

Contexte de l'étude

Utilisation actuelle des centrales à charbon en France

Les centrales thermiques à flamme, utilisant du gaz, du pétrole ou du charbon, ont fourni ces dernières années entre 5 et 10 % de la production électrique française. Ces centrales, plus facilement pilotables que les autres moyens de production (hors hydraulique), n'ont pas un fonctionnement régulier tout au long de l'année ; en France, elles permettent de faire face aux pics de consommation, notamment en hiver. On observe ce fonctionnement non régulier sur le graphique ci-dessous.

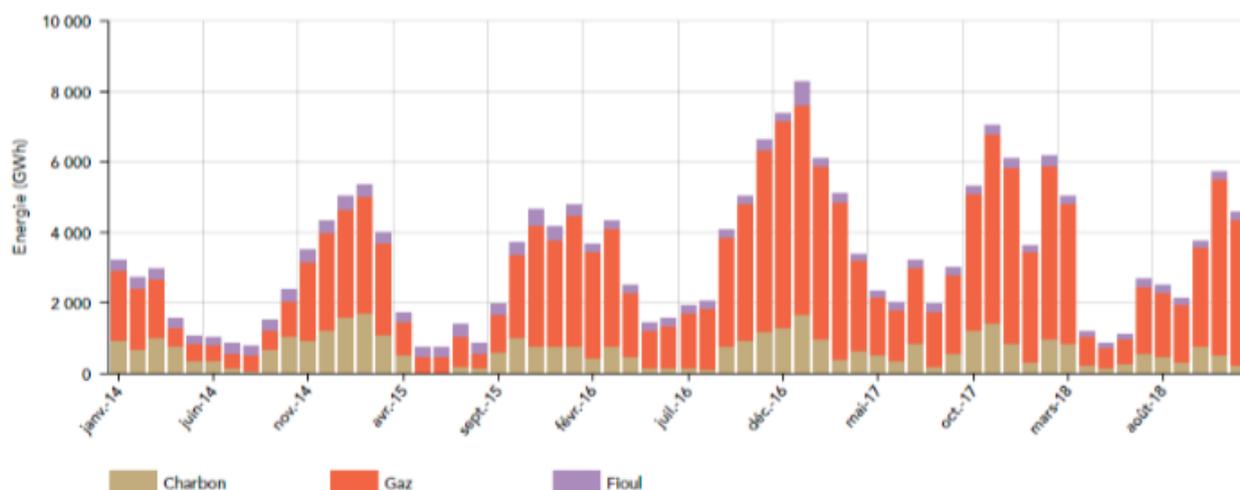


Figure 1 : Évolution de la production thermique à combustible fossile - Source : RTE, bilan électrique 2018

Le graphique ci-dessous représente les monotones de production des centrales à charbon françaises en 2017 (9,7 TWh produits, niveau le plus haut atteint ces cinq dernières années) et en 2018 (5,8 TWh, niveau le plus bas des cinq dernières années).

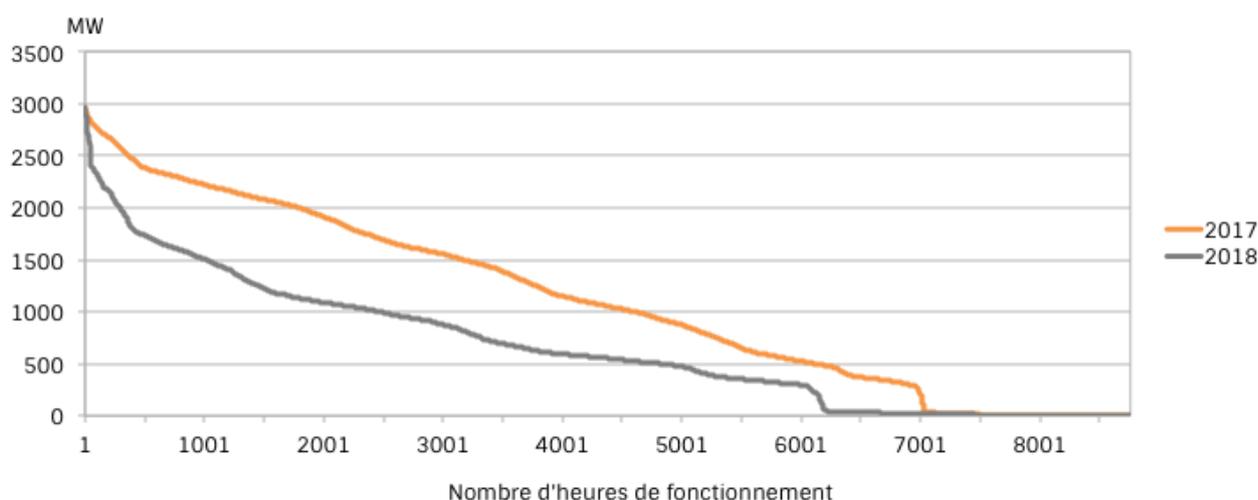


Figure 2 : Monotones de production des centrales à charbon françaises, en 2017 et 2018 - Données : RTE

Ce graphique montre que le système électrique a fait appel à une centrale à charbon pendant plus de 6000 h en 2018 et 7000 h en 2017. Avec des taux de charge de respectivement 35 % et 21 % en 2018 et 2017, on dépasse amplement les périodes pendant lesquelles tous les moyens de pointe doivent être mobilisés. Le fonctionnement ou non de ces centrales charbon ne répond donc pas aujourd'hui qu'au seul critère de la puissance électrique appelée, et, **dans un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre, leur durée de fonctionnement pourrait d'ores et déjà être réduite.**

Pour RTE, une sécurité d'approvisionnement maintenue d'ici 2022, sauf si...

RTE a montré dans son BP 2018 que la sécurité d'approvisionnement pouvait être conservée malgré la fermeture des centrales à charbon d'ici 2022 (cinq tranches concernées), grâce à :

- l'accélération prévue du développement des énergies renouvelables et des effacements de consommation ;
- une stabilisation de la consommation d'électricité, déjà observée depuis 2011 ;
- la mise en service de nouveaux moyens de production (EPR de Flamanville, centrale de Landivisiau) et d'interconnexions (interconnexion Eleclink, entre la France et le Royaume-Uni).

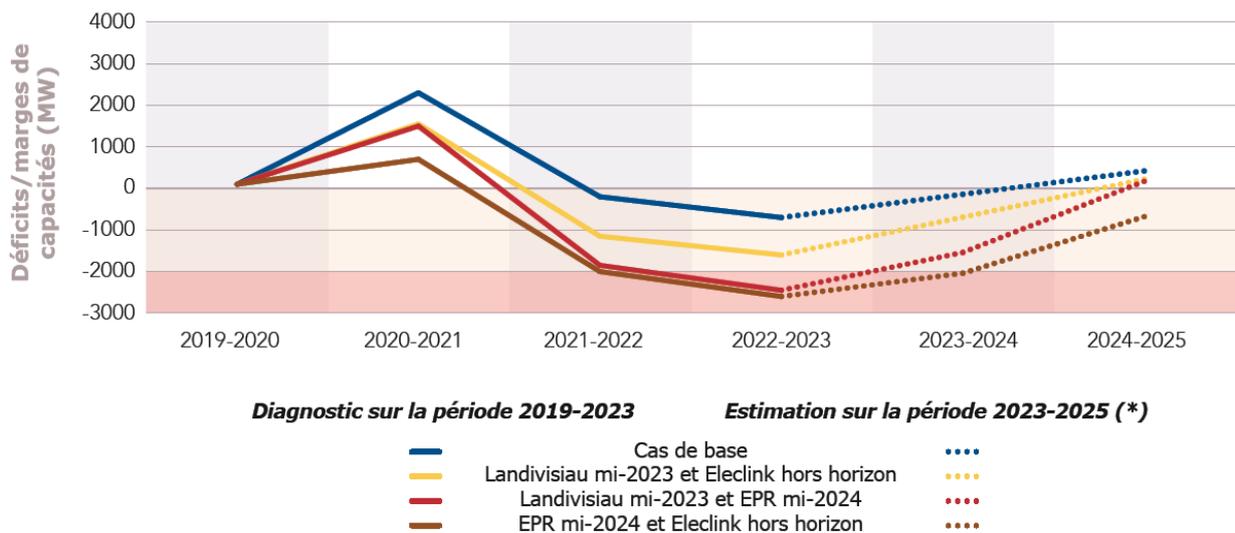
Ce même exercice a également montré que la faculté de fermer toutes les centrales au charbon d'ici 2022, sans dégradation significative de la sécurité d'approvisionnement⁴, résistait à certains aléas, comme par exemple :

- un an de retard sur la mise en service des premiers parcs éoliens en mer ;
- trois ans de retard sur la mise en service de l'EPR de Flamanville (2022 vs. 2019) ;
- un an de retard sur le calendrier de mise en service de la centrale de Landivisiau ;
- un an de retard sur la mise en service de toutes les interconnexions actuellement en construction ;
- une légère augmentation de la consommation.

En complément, RTE avait mis en exergue en 2018 « *la grande sensibilité du diagnostic aux hypothèses retenues sur la performance du parc nucléaire français. [...] Si la disponibilité du parc nucléaire français au cours des prochaines années est strictement conforme aux informations communiquées par EDF lors de la préparation du Bilan prévisionnel 2018, s'agissant (1) de la date de mise en service de l'EPR et (2) du calendrier de visites décennales déclaré, le niveau de sécurité d'approvisionnement actuel sera préservé même avec la fermeture des centrales au charbon, et avec un bon niveau de marge. Si, au contraire, les informations communiquées évoluent au cours des prochains mois et conduisent (1) à décaler significativement l'échéance de mise en service de l'EPR ou (2) à réévaluer à la hausse la durée des visites décennales, alors le niveau de sécurité d'approvisionnement pourra être dégradé par rapport à aujourd'hui.* ».

Les analyses complémentaires publiées début avril par RTE montrent que le critère de sécurité d'approvisionnement⁴ pourrait ne plus être respecté en 2022 si la mise en œuvre de certains moyens (EPR, Landivisiau, Eleclink) n'est pas assurée, et ce de manière simultanée, avant 2022.

⁴ Le critère de sécurité est précisé plus bas dans cette note, dans la partie « Critère de défaillance du système électrique, de quoi parle-t-on ? », pages 17-18



(*) Estimation basée sur la progression des capacités installées en France uniquement (disponibilité nucléaire supposée constante après 2023), hors évolution de la consommation et des parcs étrangers

Figure 3 : Estimation de l'évolution des marges à horizon 2025 dans les configurations les plus dégradées
Source : RTE

Suite à ce constat, RTE a étudié l'impact de plusieurs leviers permettant de réduire la tension sur le critère d'approvisionnement : la maîtrise de la consommation, le pilotage de la consommation à la pointe, l'optimisation et la durée des arrêts de réacteurs nucléaires, et le maintien en disponibilité ou la conversion à la biomasse d'un ou deux groupes de Cordemais. Il en ressort les éléments principaux suivants :

- une hypothèse de baisse modérée de consommation couplée à la conversion à la biomasse de deux groupes charbon permettrait de maintenir la sécurité d'approvisionnement à un niveau proche ou supérieur au critère dans toutes les situations aggravantes analysées ;
- une hypothèse de respect strict du calendrier de visites décennales transmis par le producteur conduit à un effet positif sur les marges d'environ 1 à 2 GW sur les hivers 2021-2022 et 2022-2023 ; dans le cas où la maîtrise stricte des durées des visites décennales par l'exploitant ne serait pas atteignable, un repositionnement de certaines visites permet également de dégager des marges de manœuvre ;
- la conversion à la biomasse de deux tranches au charbon et un meilleur contrôle des visites décennales permet d'aboutir à un niveau de sécurité d'approvisionnement proche du critère réglementaire et conforme au niveau actuel, même dans le cas le plus défavorable ;
- la conversion à la biomasse de deux tranches au charbon et un meilleur contrôle des visites décennales permet d'aboutir à un niveau de sécurité d'approvisionnement proche du critère réglementaire et conforme au niveau actuel, même dans le cas le plus défavorable.

Trois leviers retenus par le gouvernement

Ayant pris connaissance des travaux de RTE, le gouvernement a indiqué début avril vouloir activer les trois leviers suivants, déjà identifiés par RTE :

- intensifier les efforts en matière de maîtrise de la consommation d'électricité ;
- optimiser la date et la durée des arrêts planifiés des réacteurs nucléaires ;
- étudier la faisabilité technique, économique et écologique d'un projet de conversion à la biomasse de la centrale de Cordemais.

Si la date et la durée des arrêts planifiés des réacteurs nucléaires méritent certainement d'être optimisés, la présente note n'a pas pour objet de les étudier. Par contre, afin d'éviter une éventuelle

prolongation de Cordemais, convertie en biomasse ou non, il est nécessaire d'examiner en détail le potentiel atteignable de diminution de la consommation d'électricité, notamment en période de pointe, afin de réduire la puissance appelée.

Cette centrale disposant d'une capacité de production de 1200 MW (deux tranches de 600 MW), il est supposé que **des actions supplémentaires permettant de réduire, par rapport aux prévisions de RTE, la puissance appelée de 1,2 GW pourraient conduire à la fermeture définitive de l'ensemble des centrales à charbon, sans dégrader la sécurité d'approvisionnement**. Cette baisse de la puissance appelée est nécessaire principalement en période de pointe (en hiver, entre 10h et 12h le matin ou à 19h le soir) : d'après RTE, dans une configuration où les deux groupes de Cordemais seraient maintenus, **leur sollicitation pour les seuls besoins de sécurité d'approvisionnement (aux niveaux national et local) ne serait nécessaire qu'une vingtaine d'heures par an en moyenne, et jusqu'à 250 heures par an pour un hiver particulièrement défavorable**⁵.

Une consommation de pointe qui regroupe de multiples usages, dominés par le chauffage électrique

RTE montre dans son BP2017⁶ l'évolution actuelle de la puissance électrique appelée au cours d'une journée hivernale, répartie par usage.

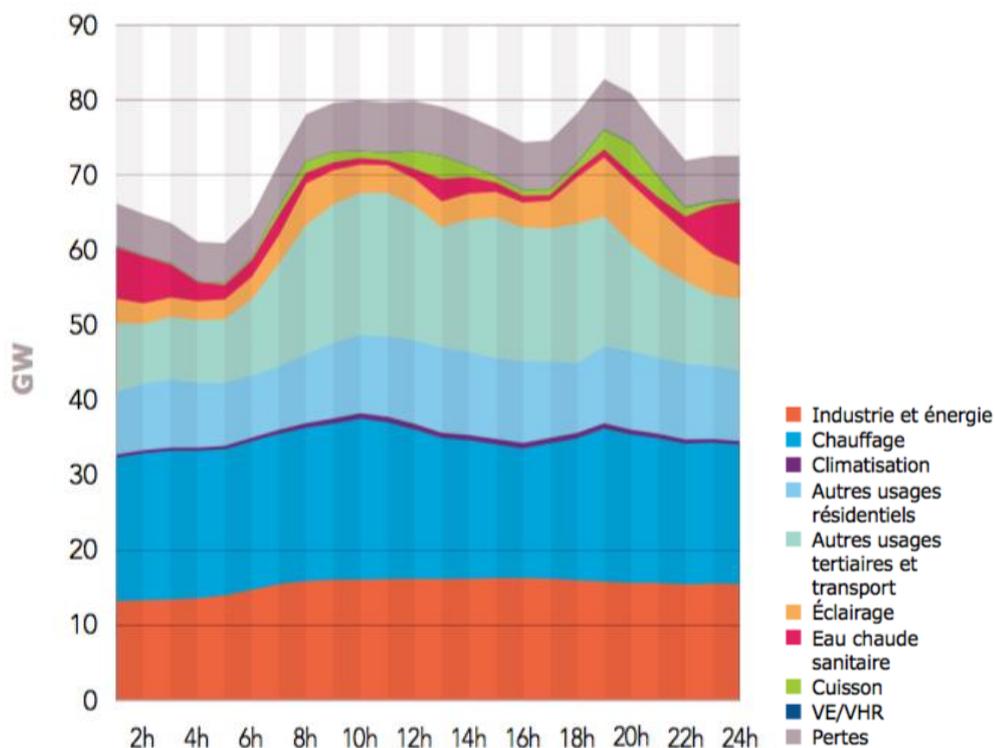


Figure 4 : Profil journalier hivernal de la consommation par usages/secteurs, à températures de référence
Source : RTE

⁵ [Analyses complémentaires sur l'équilibre offre-demande d'électricité en France sur la période 2019-2023](#), RTE, avril 2019

⁶ [Bilan prévisionnel 2017](#), RTE, 2017

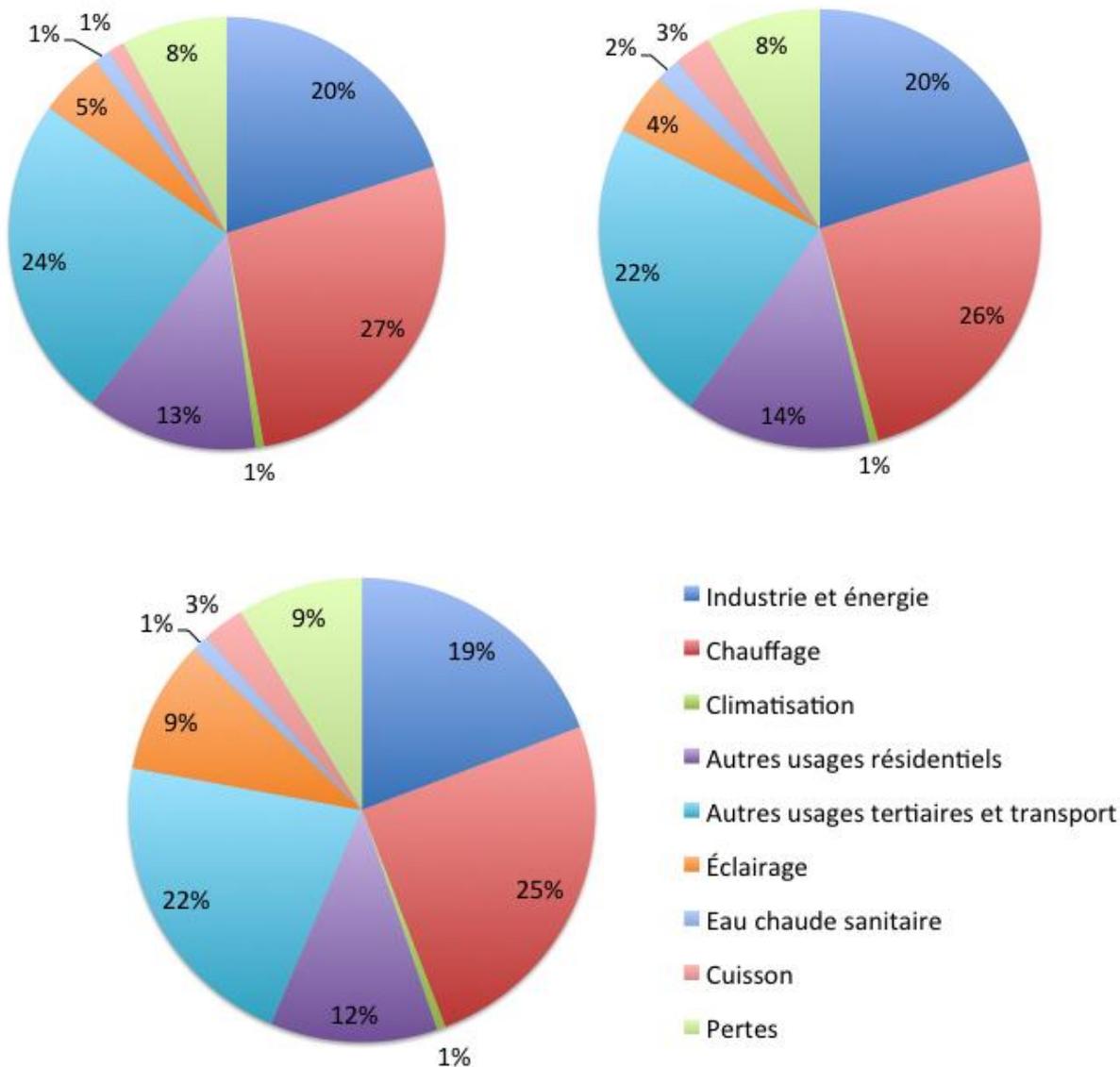


Figure 5 : Répartition des puissances appelées au mois de janvier, à 10h, 12h et 19h - Source RTE

Ces graphiques montrent qu'en période de pointe, 72 % de la puissance appelée provient du secteur résidentiel-tertiaire. Si l'industrie présente aussi des potentiels de réduction, c'est bien sur ce premier secteur que l'action doit porter en priorité.

RTE complète ces informations par le profil journalier de consommation d'un jour ouvré d'extrême pointe :

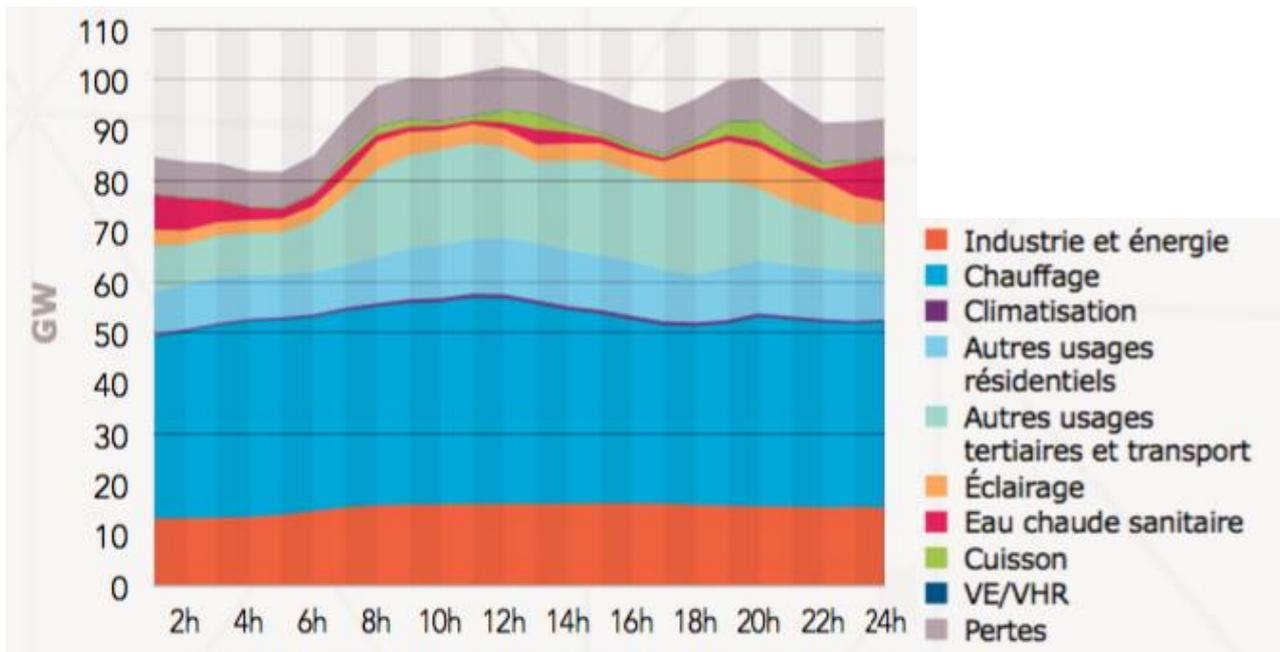


Figure 6 : Profil journalier de consommation d'un jour ouvré d'extrême pointe, par usages/secteurs
Source : RTE

Cette figure montre qu'en situation d'extrême pointe, la consommation du secteur industriel est légèrement réduite ; les mécanismes d'effacement ont permis de réduire la puissance appelée par ce secteur. À l'inverse, la puissance appelée par le chauffage électrique a fortement augmenté, ce qui met en exergue la forte sensibilité du système électrique français à la température extérieure. Ce jour-là, à 12h, moment de la journée où la consommation est maximale, **le chauffage représente une puissance appelée d'environ 40 GW (dont 28 GW pour le seul secteur résidentiel), soit 40 % de la puissance appelée**. Une action spécifique et d'envergure sur ce poste de consommation s'impose donc, à court comme à moyen terme.

Cette forte thermosensibilité du système électrique⁷ est une particularité française, due à la présence de très nombreux chauffages électriques. Elle représente la moitié de la sensibilité européenne⁸.

⁷ RTE estime que pour chaque degré de température en moins au niveau national, la consommation augmente jusqu'à 2 400 MW au cœur de l'hiver, soit l'équivalent de la consommation de Paris intramuros.

⁸ [L'équilibre offre-demande d'électricité pour l'hiver 2017-2018](#), RTE, 2017

Mesures proposées dans le secteur résidentiel

Mesures de modernisation des équipements

→ Rénovation accélérée des « passoires thermiques » d'ici 2022

Comme vu précédemment, le chauffage électrique représente 25 à 40 % de la puissance électrique appelée en période de pointe (résidentiel et tertiaire confondus). Réduire ce poste de consommation est donc un enjeu majeur pour le système électrique. Deux options complémentaires sont à envisager pour cela⁹ : la rénovation thermique performante et complète des bâtiments concernés et le remplacement des chauffages électriques à effet Joule, appelés couramment « grille-pains », par des pompes à chaleur (PAC) à haut rendement (coefficient de performance supérieur à quatre).

Dans le secteur résidentiel, le chauffage électrique représente en situation d'hyper-pointe une puissance appelée de l'ordre de 27-28 GW. Les seuls logements situés en classe F ou G sur l'étiquette du DPE, et équipés de chauffage électrique (4,1 millions de logements concernés), appellent près de 14 GW pour cet usage.

La rénovation de l'ensemble de ces logements énergivores (classés F et G) permettrait de réduire de 9 GW la consommation en période d'hyper-pointe si on conservait un chauffage à effet Joule ; en combinant ces travaux à un remplacement des radiateurs électriques par des PAC, la puissance appelée serait réduite de 12,7 GW, soit **une réduction de la puissance appelée de plus de 90 %**.

Les 4 millions de logements concernés ne pourront bien évidemment pas tous être rénovés d'ici 2022 ; mais un programme ambitieux de rénovations complètes et performantes pourrait être lancé dès aujourd'hui, permettant de rénover d'ici trois ans environ 300 000 logements classés F et G et chauffés à l'électricité¹⁰, et d'équiper la moitié de PAC performantes.

D'ici 2022, cette action permettrait de réduire de 0,8 GW la puissance appelée en situation d'hyper-pointe. En période hivernale à température de référence, la puissance appelée serait réduite d'environ 0,6 GW.

Les sources et hypothèses permettant d'aboutir à ces résultats sont détaillées dans l'Annexe 1 de ce document.

→ Remplacement accéléré des convecteurs électriques les plus médiocres

Un des moyens essentiels pour réduire les pointes de consommation électrique et risques de défaillance est bien entendu de diminuer le nombre de convecteurs électriques, qui sont une des causes principales de ces pointes. Il y a toutefois un certain nombre de cas où, pour des raisons techniques ou historiques, il n'est pas facile de mettre en place une autre solution de chauffage radicalement différente à court terme (dans certains appartements, locaux, commerces, etc.). Il serait utile de faire en sorte que les appareils de chauffage soient dans ces cas-là au moins équipés des systèmes de régulation les plus pointus (thermostat à faible dérive, mode éco, détection de présence et

⁹ Le remplacement de l'électricité par d'autres vecteurs énergétiques (bois-énergie, ...) ne sera pas étudié ici

¹⁰ Hypothèse faite en supposant une rénovation performante dans les trois prochaines années de 300 000 logements F et G, dont la moitié équipés de chauffage électrique. Le rythme de rénovation annuel devra ensuite augmenter les années suivantes pour espérer approcher l'objectif inscrit dans la loi depuis 2015 de rénover l'ensemble des logements classés F ou G.

fenêtre ouverte, etc.). La réglementation européenne interdit d'ailleurs à la vente depuis 2018 les modèles électriques qui n'intègrent pas de fonctions avancées.

Un programme de soutien au remplacement des 15 millions de convecteurs électriques les plus vétustes en France pourrait être lancé, sur la base de l'opération CEE standardisée BAR-TH-158 (étendue aux bâtiments non résidentiels). Il viserait le remplacement accéléré d'un million de ces convecteurs par an (soit 3 millions d'ici 2022) par des modèles plus performants. Cela peut être réalisé à l'aide d'opérations de communication et d'un soutien ciblé sur les logements/locaux les plus pertinents et sur preuve de l'inefficacité des modèles remplacés.

Il est bien sûr difficile d'anticiper le taux d'utilisation des nouvelles fonctionnalités avancées et les réglages qui seront appliqués, mais une estimation montre qu'un tel programme pourrait conduire d'ici 2022 à un gain d'environ 0,2 GW lors des jours de grand froid.

Source du calcul : On trouve des estimations variables des gains permis par les fonctionnalités avancées des appareils de chauffage électriques (les plus optimistes, autour de 30 % d'économies d'énergie, provenant des fabricants¹¹). La réglementation européenne sur les appareils de chauffage électrique table sur environ 10 % de gains d'efficacité¹². L'étude retient ce dernier chiffre sur la puissance appelée et l'applique aux 3 millions de convecteurs changés d'ici 2022. En supposant une puissance unitaire de 1500 W et la moitié d'entre eux simultanément en chauffe lors des pointes de consommation par grand froid, le gain résultant s'élève à environ 0,2 GW.

→ Asservissement des chauffe-eau électriques non encore asservis

Près de la moitié des ménages français est équipée d'un chauffe-eau électrique pour la production d'eau chaude sanitaire. Ces ménages bénéficient le plus souvent d'un tarif heures pleines / heures creuses, avec un ballon électrique asservi : celui-ci ne se déclenche qu'en heures creuses, c'est à dire pendant les heures les moins chargées pour le système électrique (la nuit principalement) ; mais certains ménages disposant d'un chauffe-eau électrique ont un simple tarif, et donc un appareil qui se déclenche dès que de l'eau chaude est consommée dans le logement ; celui-ci contribue alors à la puissance de pointe appelée sur le réseau. Les figures 2 et 3 montrent que ces chauffe-eau électriques non asservis appellent entre 1 et 1,5 GW pendant les heures les plus tendues.

Sans que les ménages actuellement en simple tarif optent pour un double tarif (option pas nécessairement avantageuse d'un point de vue économique), il est possible d'asservir ces ballons électriques pour qu'ils ne se déclenchent que la nuit. Plusieurs solutions techniques simples existent pour cela, détaillées dans l'Annexe 2. Trois millions d'appareils sont potentiellement concernés. Cette action permettrait de réduire de 1,2 GW la puissance appelée à 19h (1,1 GW entre 11h et 12h).

Dans les trois prochaines années, en supposant une part de ménages réfractaires, les deux-tiers des logements concernés pourraient voir asservi leur chauffe-eau électrique ; le gain estimé serait alors de 0,8 GW en période de pointe.

Les sources et hypothèses permettant d'aboutir à ces résultats sont détaillées dans l'Annexe 2 de ce document.

¹¹ *Id.*

¹² <https://www.eco-localspaceheaters.eu/>

Mesures de sobriété

→ Appel à des gestes citoyens lors des périodes de pointe

Le programme Ecowatt en régions Bretagne et PACA montre qu'il est possible de mobiliser les citoyens pour aider à l'équilibre du réseau électrique lorsqu'il y a des risques de pointes de consommation (essentiellement les jours de grand froid en hiver).

Une extension du programme Ecowatt à l'ensemble du territoire métropolitain, sous la forme d'appels relayés sur les chaînes de télévision et les réseaux sociaux, et à l'aide d'applications pour smartphones et tablettes, pourrait mobiliser un potentiel significatif de réduction ou effacement de certaines consommations ces jours-là.

- RTE a déjà estimé que le report d'un quart des **cycles de lave-linge, sèche-linge et lave-vaisselle** des heures de pointe à un autre moment de la journée ou de la nuit peut **engendrer un gain d'environ 0,5 GW** de puissance pour la France entière¹³. On peut trouver une confirmation de ce chiffre en partant des courbes de charge moyennes observées lors d'une campagne de mesure sur ces appareils dans des foyers français¹⁴.
- On pourrait également imaginer un accord avec les chaînes de télévision et/ou fournisseurs d'accès pour qu'un **bandeau d'alerte apparaisse en haut de tous les téléviseurs lors des pics de consommation** suggérant aux utilisateurs d'éteindre leur poste jusqu'à la fin de l'alerte. Il est probable que de nombreuses personnes allument machinalement leur poste le soir en rentrant du travail sans forcément regarder les programmes avec attention avant 20h, et pourraient accepter une telle extinction ponctuelle. Si un quart des postes étaient éteints volontairement autour de 19h, **le gain serait d'environ 0,6 GW**¹⁵.

Une dernière action envisageable serait une baisse de la température de chauffage dans les logements chauffés à l'électricité. En théorie, un degré en moins dans l'ensemble des logements et bureaux permettrait de réduire de 1,1 GW la puissance électrique appelée. Mais cette hypothèse se heurte à plusieurs facteurs :

- on ne connaît pas la proportion de ceux qui se chauffent "trop"¹⁶ ; les enquêtes de l'Ademe sur les éco-gestes¹⁷ montrent qu'une part importante des personnes interrogées considère qu'ils font déjà attention à la température de chauffe ; le potentiel pour que ces personnes fassent davantage semble réduit ;
- cette proportion varie en fonction de la température extérieure : les jours de grand froid, les logements mal isolés peinent parfois à atteindre une température convenable ;
- diminuer la température de chauffe peut être mal acceptée par certaines catégories de personnes (les familles avec enfants en bas âge, les personnes âgées, etc.).

¹³ Analyses complémentaires sur l'équilibre offre-demande d'électricité en France sur la période 2019-2023 (RTE)

¹⁴ Campagne de mesures des appareils de production de froid, des appareils de lavage et de la climatisation, 2016 (Enertech)

¹⁵ On peut estimer le nombre de téléviseurs résidentiels à 45 millions en 2022 (1,5 postes dans 30 millions de foyers) et leur puissance unitaire moyenne à 70 W. Ceci conduit à une puissance appelée de l'ordre de 2,4 GW si trois quart des postes sont allumés chaque soir.

¹⁶ On ne peut pas se baser uniquement sur la température de chauffage, la température de ressenti à l'intérieur d'un bâtiment étant la moyenne entre la température de l'air et la température des parois ; à confort égal, un logement mal isolé devra donc avoir une température de chauffe plus élevée qu'un logement bien isolé.

¹⁷ [Les français et l'environnement](#), ADEME / OpinionWay, 2017

Au vu de ces constats, aucun chiffrage convenable du gain attendu de cette action n'a pu être réalisé ; pour autant, cela n'enlève rien à la pertinence de mesures allant dans ce sens.

→ Règlementation des illuminations de Noël

Il n'existe actuellement aucun encadrement des éclairages de Noël. Si certaines collectivités (et certains particuliers) ont décidé de faire preuve de modération, d'autres ne prêtent guère d'attention à la débauche d'électricité que cela peut représenter.

Par le biais d'un arrêté ou règlement comparable à celui sur les éclairages d'enseignes et devantures, le gouvernement pourrait interdire à partir de 2020 les illuminations qui ne sont pas à LED dans l'espace public et fixer aux communes un seuil maximal de puissance électrique par habitant pour les décorations de Noël. Un accord pourrait également être passé avec les grandes enseignes de distribution pour mettre fin à la mise sur le marché de guirlandes excédant 5 W de puissance (sur le modèle de l'accord qui avait été mis en œuvre en 2009 pour accélérer la fin des ventes d'ampoules à incandescence).

En supposant que ces mesures permettraient un gain supplémentaire d'un quart sur la puissance appelée par ces illuminations d'ici 2022, on parvient à une économie de l'ordre de 0,2 GW pendant la période où elles sont utilisées (qui coïncide avec une probabilité élevée de pointes de consommation).

Les sources et hypothèses permettant d'aboutir à ces résultats sont détaillées dans l'Annexe 3 de ce document.

Mesures proposées dans le secteur tertiaire

Mesures de modernisation des équipements

→ Accélération de la modernisation de l'éclairage public

Il existe encore de nombreux dispositifs d'éclairage public peu performants, alors que les progrès des LED permettent des économies d'énergie très importantes. La lenteur du renouvellement des installations s'explique par les investissements nécessaires (qui sont pourtant rentables) et le manque d'intérêt pour ce poste de dépenses.

RTE prévoit une réduction de la consommation d'électricité de l'éclairage non résidentiel d'environ 4 % par an d'ici 2035¹⁸. Appliquée à l'éclairage public (qui représente environ 1,8 GW de puissance installée¹⁹), cela représente une économie de puissance de 0,2 GW sur la période 2019-2022.

Si cet effort pouvait être accru à 6 % par an, cela permettrait un gain supplémentaire d'environ 0,1 GW en soirée d'ici 2022.

Cette accélération pourrait être favorisée par une communication accrue et un soutien plus important aux collectivités dans leurs projets de modernisation de leur éclairage public, par exemple par un renforcement des actions de l'ADEME dans ce sens.

Mesures de sobriété

→ Application plus stricte de l'extinction des illuminations de vitrines et bâtiments

Depuis 2012, les éclairages intérieurs de bâtiments professionnels doivent être éteints 1h après leur fermeture, et les vitrines et enseignes de magasins entre 1h et 6h du matin²⁰. Cette mesure destinée à éviter des gaspillages flagrants d'électricité pourrait être renforcée et étendue.

Renforcée d'abord, en s'assurant qu'elle est mieux appliquée (par des contrôles plus fréquents et une pénalisation plus dissuasive des contrevenants). De nombreux témoignages existent d'un manque de conformité²¹. Renforcée ensuite, en supprimant les trop nombreuses dérogations possibles, notamment dans les « zones touristiques exceptionnelles ». Il n'y a pas de raison de permettre une poursuite de la gabegie énergétique dans ces lieux qui devraient au contraire être exemplaires puisqu'ils sont visités. Etendue enfin, en requérant l'extinction des enseignes et devantures de magasins à la fermeture du magasin au lieu d'attendre 1h du matin. Toutes celles qui restent allumées en soirée et le dimanche alors que le magasin est fermé ne sont que de la publicité latente.

¹⁸ [Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France](#), RTE, 2017

¹⁹ <http://www.afe-eclairage.fr/afe/l-eclairage-en-chiffres-26.html>

²⁰ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/pollution-lumineuse>

²¹ <http://www.leparisien.fr/societe/pollution-lumineuse-la-loi-encore-trop-peu-respectee-03-11-2018-7934175.php>

L'extinction effective de deux tiers de ces illuminations à la fermeture des magasins permettrait un gain d'environ 0,1 GW autour de 19-20h.

Les sources et hypothèses permettant d'aboutir à ces résultats sont détaillées dans l'Annexe 3 de ce document.

→ Extinction des publicités lumineuses entre 18h et 21h les jours de grand froid

Les obligations d'extinction d'éclairage citées précédemment ne s'appliquent aux publicités lumineuses que de 1h à 6h du matin et seulement à certaines (pas aux pubs d'abribus, aux « sucettes » rétroéclairées, etc.).

Aller plus loin serait tout à fait possible, notamment lors des périodes de tension sur le réseau électrique. Une extinction préventive de l'ensemble des publicités lumineuses pourrait être appliquée lors des périodes les plus critiques pour l'équilibre du réseau, par exemple entre 18h et 21h pendant les mois d'hiver ou lorsque la température moyenne nationale descend en dessous d'un certain seuil. L'impact sur le confort des citoyens serait minime.

L'extinction de deux tiers des panneaux publicitaires lumineux en France engendrerait un gain estimé à au moins 0,1 GW.

Les sources et hypothèses permettant d'aboutir à ces résultats sont détaillées dans l'Annexe 3 de ce document.

→ Modération sur l'éclairage public décoratif les jours de grand froid

Certains éclairages publics non indispensables à la sécurité des personnes, comme la mise en valeur de monuments, de façades, de jardins, etc., peuvent être réduits ou éteints pendant les jours de grand froid en hiver. C'est d'autant plus faisable que par grand froid il n'y a en général pas grand monde dans les rues pour en profiter.

Les villes sont de plus en plus équipées en systèmes de gestion fins de l'éclairage public, permettant d'ajuster les différents points d'éclairage à la demande et de manière très réactive.

En supposant des mesures raisonnables de modération des éclairages publics, telle que l'extinction des illuminations de monuments et jardins et une baisse d'intensité de certains candélabres (par exemple sur les trottoirs de voies peu empruntées le soir, et sur des parties du réseau routier où cela n'entraîne aucun risque), un gain en puissance de l'ordre de 0,1 GW pourrait être obtenu si la mesure était appliquée sur l'ensemble des communes du territoire les jours de grand froid.

Les villes pourraient mettre en place ces extinctions ciblées grâce à des systèmes de gestion fins de leur éclairage, tandis que pour les petites communes il pourrait s'agir simplement d'éteindre les principaux bâtiments (mairie, église, etc.).

Les sources et hypothèses permettant d'aboutir à ces résultats sont détaillées dans l'Annexe 3 de ce document.

→ Extinction des équipements inutilement allumés dans les bureaux et locaux d'enseignement

Un nombre important d'équipements restent très souvent allumés en permanence, jour et nuit, dans les bâtiments tertiaires : éclairage, ventilation, équipements informatiques et réseaux, distributeurs de boisson, etc. Ce fonctionnement maintenu en permanence ne répond que très rarement à un besoin identifié ; bien souvent, il est le fait de négligences ou de méconnaissances.

Le constat qui s'ensuit est saisissant : à de rares exceptions près, sur l'année, les consommations en période d'inoccupation du bâtiment sont supérieures à celles enregistrées en période d'occupation.

Ces consommations superflues peuvent représenter une puissance appelée comprise entre 7 et 13 W/m². En considérant une moyenne de 10 W / m², la puissance appelée par ces bâtiments en période d'inoccupation est d'environ 4,2 GW. Si on estime qu'à 19h les 3/4 des locaux sont inoccupés, on peut estimer le potentiel techniquement accessible à 3,15 GW.

Une campagne importante de sensibilisation pourrait être menée auprès des chefs d'entreprise et des responsables de gestion des bâtiments, avec le concours des ministères concernés, des chambres consulaires et de l'ensemble des relais mobilisables sur le terrain.

En supposant que 10 % des surfaces tertiaires passent à l'acte chaque année et que seule la moitié des actions proposées ici est effectivement mise en œuvre dans ces 10 %, le gain atteignable d'ici 2022 est de 0,5 GW sur la puissance appelée à 19h. Le gain est par contre marginal lors des pics de consommation constatés le matin.

Les sources et hypothèses permettant d'aboutir à ces résultats sont détaillées dans l'Annexe 4 de ce document.

Mesures proposées dans le secteur industriel

Le secteur industriel génère un appel de puissance d'environ 16 GW pendant les périodes de pointe ; secteur peu thermosensible, la puissance appelée est relativement stable au cours de la journée.

Si des mesures de sobriété et d'efficacité énergétique peuvent s'envisager dans ce secteur²², leur mise en œuvre effective d'ici 2022 est une option non retenue dans cette étude, par prudence.

Pour réduire la puissance électrique appelée en période de pointe, une autre action envisageable est l'effacement de consommation. Une étude publiée en 2017 par l'ADEME²³ concluait à un gisement technique²⁴ d'effacement compris entre 4,5 et 6,5 GW. Le gisement technico-économique²⁵ dépend quant à lui du niveau de rémunération accessible et est plus limité (de l'ordre de 3,5 GW pour des rémunérations de 30€/kW/an ou inférieur).

Au vu des contraintes économiques et organisationnelles identifiées et par manque de retours d'expérience suffisamment consolidés, la présente note n'a pas retenu, là aussi par prudence, de gisement mobilisable à l'horizon 2022. Cette piste reste néanmoins à explorer par les acteurs du système, afin de desserrer la contrainte sur la sécurité d'approvisionnement.

²² Des mesures envisageables dans le secteur industriel sont détaillées dans le scénario négaWatt 2017-2050

²³ [L'effacement de consommation électrique en France](#), ADEME, septembre 2017

²⁴ Estimation du maximum de capacité techniquement effaçable sur les différents procédés effaçables à un instant t dans chaque secteur hors contraintes économique

²⁵ Estimation de la puissance valorisable en fonction de la rémunération accordée à la puissance effaçable disponible et des contraintes de rentabilité économique

Synthèse des mesures proposées et des résultats attendus

| Secteur concerné | Mesures proposées | Gain sur la puissance appelée aux heures de pointe en hiver (en GW) | | | |
|--------------------------|--|---|---------------|--|---------------|
| | | À température de référence | | En période d'hyper-pointe (vague de froid) | |
| | | 10h-12h | 19h | 10h-12h | 19h |
| Résidentiel | Rénovation accélérée des « passoires thermiques » | 0,6 | | 0,8 | |
| Résidentiel et tertiaire | Remplacement accéléré des convecteurs électriques les plus médiocres | 0,2 | | 0,2 | |
| Résidentiel | Asservissement des chauffe-eau électriques non encore asservis | 0,8 | | 0,8 | |
| Résidentiel | Appel à des gestes citoyens lors des périodes de pointe | 0 | | 0 | 1,1 |
| Résidentiel et tertiaire | Règlementation des illuminations de Noël (<i>pendant les mois d'utilisation</i>) | 0 | 0,2 | 0 | 0,2 |
| Tertiaire | Accélération de la modernisation de l'éclairage public | 0 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Tertiaire | Application plus stricte de l'extinction des illuminations de vitrines et bâtiments | 0 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Tertiaire | Extinction des publicités lumineuses entre 18h et 21h les jours de grand froid | 0 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Tertiaire | Modération sur l'éclairage public décoratif les jours de grand froid | 0 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Tertiaire | Extinction des équipements inutilement allumés dans les bureaux et locaux d'enseignement | 0 | 0,5 | 0 | 0,5 |
| TOTAL | | 1,6 GW | 2,7 GW | 1,9 GW | 4,1 GW |

Critère de défaillance du système électrique, de quoi parle-t-on ?

RTE doit piloter son réseau à tout moment en évitant non seulement les coupures ponctuelles (délestages) et généralisées (black-out) mais doit également établir ses bilans prévisionnels dans l'objectif de respecter un critère réglementaire de « défaillance de l'équilibre offre-demande », historiquement fixé à 3h en France.

Ce critère est évoqué dans le Code l'énergie (Art. L.141-7) mais sa définition est renvoyée à un acte réglementaire, le décret PPE codifié à l'article D. 141-12-6 et qui se contente de fixer la durée de 3h sans définition.

L'article L141-8 relatif au bilan prévisionnel précise que l'étude approfondie de l'équilibre offre-demande pour les cinq années à venir : « caractérise le risque de défaillance du système électrique pour lequel elle précise, notamment, la durée moyenne de défaillance, sa traduction en fréquence de défaillance, la puissance moyenne de défaillance et l'énergie moyenne de défaillance [...] »

On peut donc considérer que « défaillance » signifie bel et bien une coupure d'électricité ou délestage²⁶ au sens où cette défaillance doit être quantifiable avec précision, et attribuable à un déséquilibre entre l'offre et la demande. Les autres délestages ou coupures ne sont pas concernés et régis par les textes sur la qualité, essentiellement d'ailleurs sous forme contractuelle entre RTE et ses clients.

Il est aussi assez clair que ce critère est un outil essentiellement destiné à l'établissement des bilans prévisionnels puisque les textes régissant les missions de RTE ne le mentionnent pas. Le seul objectif quantifié concerne les coupures des postes sources alimentant le réseau de distribution (2 coupures par an et par poste²⁷). Ce critère sert aussi à dimensionner le mécanisme de capacité à l'impact économique grandissant.

Ce que semble confirmer le Ministère de l'écologie qui précise sur son site internet²⁸ « Le critère impose que chaque année, la durée moyenne, sur l'ensemble des scénarios possibles, et en tenant compte de la contribution des interconnexions, pendant laquelle au moins un consommateur est privé d'électricité pour des raisons d'insuffisance de l'offre doit être inférieure à trois heures. »

On peut conclure de ce qui précède que le critère de défaillance a peu de rapport avec la gestion quotidienne de la sécurité du réseau électrique ni la réalité des temps de coupure observés. C'est uniquement un outil destiné à s'assurer des marges de sécurité suffisantes à l'avenir, et qui peut donc être débattu sans risque.

Cependant, il n'existe à ce jour aucune réelle définition légale de la notion de « défaillance ». Le CGEDD et le CGEJET²⁹, tout comme l'UFE³⁰ ont d'ailleurs appelé à ce qu'une telle définition existe.

²⁶ Selon le CGEDD, RTE distinguerait coupure et délestage en élargissant la notion de délestage à toute action de sa part non contractualisée avec le client et qui affecte la qualité de sa fourniture, donc y compris les baisses de tension.

²⁷ Arrêté du 24 décembre 2007 pris en application du décret n° 2007-1826 du 24 décembre 2007 relatif aux niveaux de qualité et aux prescriptions techniques en matière de qualité des réseaux publics de distribution et de transport d'électricité

²⁸ <https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/securite-dapprovisionnement-energetique>

²⁹ http://cgedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.xsp?id=Cgpc-CGEQV00247314&n=1&q=%28%2B%28%28%2Bquestion_word%3Asecurite+%2Bquestion_word%3Aapprovisionnement%29+question%3A%7Cs%3%A9curit%3%A9+d%27approvisionnement%7C%29%29&fulltext=&depot=&

Dans le cadre de la révision de la PPE en cours, le projet de décret propose en effet une définition plus complète (art.9) :

L'article D141-12-6 du code de l'énergie est remplacé par les dispositions suivantes :

« Le critère de défaillance du système électrique mentionné à l'article L. 141-7 est tel que

– La durée moyenne de défaillance annuelle est inférieure à trois heures.

– La durée moyenne de recours au délestage pour des raisons d'équilibre offre-demande est inférieure à deux heures.

La défaillance se définit comme la nécessité de recourir aux moyens exceptionnels, contractualisés et non contractualisés, pour assurer l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité. Les moyens exceptionnels incluent le recours aux capacités interruptibles mentionnées à l'article L.321-19, l'appel aux gestes citoyens, la sollicitation des gestionnaires de réseaux de transport frontaliers hors mécanismes de marché, la dégradation des marges d'exploitation, la baisse de tension sur les réseaux, et en dernier recours le délestage de consommateurs. »

Même si la précision et la clarification de critères réglementaires est toujours bienvenue, elle amène toutefois quelques commentaires et questions :

- Cette définition semble de facto raccourcir à 2h la « défaillance » telle qu'elle était conçue historiquement, soit du délestage ou des coupures quantifiables. Or, ce raccourcissement entraîne une augmentation du besoin de puissance installée.
- Jusqu'en 2015, RTE définissait clairement la défaillance comme le recours au délestage, hors mobilisation des moyens exceptionnels. Les outils contractualisés n'étaient par ailleurs pas considérés comme des moyens exceptionnels.
- Depuis 2015, RTE semble élargir la défaillance aux situations de déséquilibre. La mobilisation des moyens exceptionnels n'entre dans les 3h de défaillance de manière explicite que lors de la publication du BP 2017 « *La défaillance peut être gérée par des moyens exceptionnels tels que l'interruptibilité de consommateurs volontaires ou la réduction de la tension sur les réseaux de distribution (voir paragraphe 4.6), et en derniers recours par des délestages.* ». Cependant, RTE ne précise pas la durée relative des délestages et du reste.
- Est-ce que la « défaillance » doit comprendre les mesures « exceptionnelles » mais faisant l'objet de contrats et même de dispositifs prévus et financés par le TURPE comme l'interruptibilité des consommateurs industriels ? Ces mesures n'ont en effet pas grand-chose à voir avec des baisses de tension ou des délestages « subis » et se rapprochent plutôt, en nature, de mécanismes classiques de réserves et services système exclus de la définition des moyens exceptionnels utilisée jusqu'en 2015.
- Si l'on élargit le périmètre et réduit le temps admis de délestage, ne prend-on pas le risque de sur-dimensionner les outils de production sans pour autant améliorer la sécurité réelle du système³¹ ? Sans compter l'impact économique sur le mécanisme de capacité.

³⁰ https://ufe-electricite.fr/IMG/pdf/position_ufe_notion_defaillance_20072018.pdf

³¹ « En conséquence, à partir d'une situation équilibrée à 3 h par an, un durcissement du critère à 1 h par an nécessiterait de l'ordre de 4 GW de puissance supplémentaire. À l'inverse, une relaxation du critère pour le passer à une défaillance de 6 h par an contribuerait à dégager une marge de 2 GW. » BP 2016, p 11

Conclusions de l'étude

Les mesures détaillées dans cette étude permettent d'atteindre une baisse de la puissance appelée sur le réseau électrique en période de pointe d'au moins 1,6 GW, et jusqu'à 4,1 GW³² en période de grand froid, à 19h. Dans ces conditions, la fermeture définitive de la centrale de Cordemais à l'horizon 2022 semble tout à fait envisageable, sans envisager une absurde conversion à la biomasse de cette centrale, et sans dépasser les 3h de de défaillance. La définition de ce critère pourrait par ailleurs être revue, pour revenir à la définition initiale : défaillance = délestage.

Parmi ces mesures, certaines relèvent d'appels à la modération dans l'utilisation d'équipements, aussi bien dans le résidentiel que dans le tertiaire ; d'autres sont liés à un remplacement d'appareils électriques (convecteurs notamment) ou à un pilotage plus efficient (asservissement de chauffe-eau électriques non encore asservis) ; dernière mesure, la rénovation des logements chauffés à l'électricité, qui présente même à court terme un potentiel non négligeable de réduction de la pointe électrique.

Si ces mesures permettent la fermeture définitive des centrales à charbon, leur intérêt est loin de se limiter à l'atteinte de cet objectif. Réduire la pointe de consommation électrique - et plus globalement l'ensemble des consommations d'électricité - présente de nombreux atouts, à court, moyen et long terme. Parmi eux, on peut notamment citer :

- **les infrastructures de production, de transport et de distribution sont dimensionnés pour répondre aux pointes de consommation** ; plus l'écart est réduit entre l'hyper-pointe et la consommation dite de base, moins le surdimensionnement des infrastructures est rendu nécessaire ;
- **la pointe électrique est le principal point de fragilité du système électrique actuel.** Toutes choses égales par ailleurs, la réduire renforce considérablement la sécurité du système, en rendant **beaucoup moins probable le risque de « black-out »** ;
- **la précarité énergétique est un enjeu majeur**, qui touche un nombre important de ménages chauffés à l'électricité³³ ; rénover ces logements contribue à la réduction de la précarité énergétique ;
- **dans un contexte de vieillissement du parc nucléaire existant, la diminution de la consommation d'électricité facilite la diversification du mix électrique.** Dans la situation actuelle, la thermosensibilité est un aléa fort qui pèse sur l'atteinte de l'équilibre offre-demande. Demain, cet aléa pourrait être réduit, rendant plus aisé l'atteinte de cet équilibre avec des moyens de production davantage variables ;
- de nouveaux usages électriques apparaissent. Parmi eux, le véhicule électrique est pour certains promis à un bel avenir. Au vu des appels de puissance induits par cet usage, la réduction du chauffage électrique - qui dimensionne aujourd'hui le réseau de distribution - semble indispensable pour éviter des coûts considérables de renforcement des infrastructures.

Si le potentiel de baisse de la demande est déjà significatif à l'horizon 2022, il l'est encore davantage à plus long terme. **Deux mesures notamment présentent des potentiels considérables :**

³² 3,9 GW si on se situe en dehors de la période d'allumage des illuminations de Noël

³³ le pourcentage de précaires chauffés à l'électricité dépend de l'indicateur retenu pour mesurer la précarité énergétique. Selon l'observatoire national de la précarité énergétique, en utilisant l'indicateur « BRDE_m² » (bas revenus et dépenses d'énergie élevées par m²), 7,8 millions de français sont déclarés en situation de précarité énergétique, et 27 % d'entre eux se chauffent à l'électricité.

- **la première est la rénovation de l'ensemble des logements chauffés à l'électricité, dont on peut atteindre une baisse totale de la puissance appelée en période de grand froid de l'ordre de 24 GW** (en supposant un remplacement systématique des convecteurs électriques par des pompes à chaleur performantes) ; la seule rénovation des logements classés F ou G, avec équipement de pompes à chaleur, permet un gain de près de 13 GW.
- **la seconde porte sur le parc tertiaire : l'extinction des équipements inutilement allumés dans les bureaux et locaux d'enseignement, et le remplacement d'appareils par des modèles plus performants, entraînerait une baisse d'environ 7 GW de la puissance appelée. Les retours d'expérience sur des opérations de ce type montrent des temps de retour systématiquement compris entre 3 et 5 ans.**

Si les actions de maîtrise de la demande d'électricité peuvent permettre **la fermeture des centrales à charbon**, l'atteinte de cet objectif **ne doit pas être un trompe-l'œil**. Pour réduire les émissions françaises de gaz à effet de serre, l'action doit avant tout porter sur la réduction des consommations d'énergies fossiles dans le transport, le bâtiment, et l'industrie, et sur la réduction des émissions de méthane dans le secteur agricole.

ANNEXES

Annexe 1 - Étude de la rénovation du parc de logements de classe F et G

Introduction

L'objectif de rénover les logements de classes énergétiques F et G figure à l'art.5 de la LTECV. Alors pourquoi n'existe-t-il pas de décret d'application pour cette disposition ? Simplement parce qu'il s'agit d'un « objectif programmatique », c'est à dire d'une disposition qu'on souhaite voir se réaliser, mais pour laquelle on ne se fixe aucune obligation ni aucune contrainte. Il n'est pas étonnant que, quatre ans après, rien n'ait été fait.

La loi précisait d'ailleurs que cette rénovation devait être achevée en 2025. En revanche, elle ne précisait pas à quel niveau de performance les rénovations devaient être conduites. On supposera dans ce qui suit qu'elles sont faites au meilleur niveau qui soit, c'est à dire la classe A, l'expérience ayant démontré que le niveau de performance atteint n'affectait que marginalement le coût de l'opération.

Cette annexe s'intéresse essentiellement à la rénovation des logements chauffés à l'électricité.

Mais la question préalable est de savoir combien de logements sont en classes énergétiques F et G, et combien parmi eux sont chauffés à l'électricité. Pour y répondre, deux sources d'information coexistent, en apparence aussi fiables l'une que l'autre :

- la base de donnée actuelle de *l'Observatoire du DPE*. Elle contient environ 6,5 millions de DPE. Il s'agit de tous les DPE faits à ce jour. C'est donc la base la plus importante. En revanche, la qualité des données qui la composent est assez hétérogène, car le métier de diagnostiqueur est pratiqué par des personnes qui n'ont pas toujours toutes les qualifications requises. De nombreux litiges existent déjà au sujet des DPE réalisés parfois dans des conditions un peu rapides. Il s'agit donc d'une source abondante mais malheureusement pas très fiable.
- les résultats de *l'enquête Phébus* financée en 2013 par l'ADEME. Il s'agit d'un travail s'appuyant à la fois sur des entretiens réalisés par IPSOS en face à face sur l'énergie dans le logement (environ 5 000 logements enquêtés) et de la réalisation d'un DPE dans les logements qui en ont accepté le principe (environ 2 300). Ce DPE a été effectué par le bureau de contrôle Véritas. Ce second échantillon a une taille beaucoup plus petite que le précédent, mais les logements ont été sélectionnés pour être représentatifs du parc français. Quant au DPE il a été réalisé par de vrais professionnels. Si l'outil DPE est intrinsèquement source d'erreurs, sa mise en œuvre n'est pas ici entachée d'inexpérience et de compétence insuffisante. Aux erreurs de l'outil près, les résultats seront donc, d'après les auteurs de cette note, beaucoup plus fiables dans ce second échantillon que dans le premier.

Cet avis semble confirmé par la comparaison des pourcentages affectés par chacun des deux échantillons aux logements figurant dans les différentes classes énergétiques :

| Sources | Classes énergétiques | | | | | | |
|------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| Observatoire DPE | 8,7% | 13,0% | 16,5% | 29,3% | 21,1% | 8,1% | 3,2% |
| Phébus | 0,3% | 2,0% | 11,7% | 24,1% | 29,5% | 15,4% | 15,3% |

Répartition des logements dans les différentes classes énergétiques selon L'Observatoire DPE et l'enquête Phébus

Il semble très peu probable qu'il y ait en France plus de 20 % de logements en classes A et B, et plus vraisemblable qu'il n'y en ait que 2,3 %. Certes l'enquête Phébus date de 2013 et le parc observé contenait alors peu de logements construits sous RT 2012.

De même le très faible pourcentage de logements en classes F et G selon l'Observatoire (11,3 %) est surprenant, comparé aux près de 31 % estimés par Phébus qui paraissent beaucoup plus proches de la réalité.

Avec quelle base de données convient-il de faire des estimations ?

Comme le montre de très nombreuses publications comme celles du CGDD³⁴, la base la plus fiable est la base Phébus dont les résultats semblent en cohérence avec les observations de terrain et dont les DPE ont été réalisés par de vrais professionnels. C'est donc cette base qui sera utilisée dans les calculs qui suivent.

Mais la base Phébus possède un défaut : elle ne fournit pas la part de chaque énergie dans chaque classe énergétique, du moins n'en avons-nous pas trouvé trace. Pour corriger ce manque la répartition fournie par l'Observatoire du DPE a été utilisée.

Le nombre total de logements dans chaque classe énergétique et le nombre de logements chauffés à l'électricité (y compris avec des pompes à chaleur) sont donc les suivants :

| | Classes énergétiques | | | | | | | Total |
|-----------------------|----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | |
| Ensemble | 87 000 | 580 000 | 3 393 000 | 6 989 000 | 8 555 000 | 4 466 000 | 4 437 000 | 28 507 000 |
| dont Electricité | 31 413 | 83 768 | 680 615 | 2 209 381 | 3 246 010 | 1 905 722 | 2 230 323 | 10 387 232 |
| Part de l'électricité | 36,1% | 14,4% | 20,1% | 31,6% | 37,9% | 42,7% | 50,3% | 36,4% |

Nombre de logements dans chaque classe énergétique (parc actuel de résidences principales)

Détermination de l'énergie consommée pour le chauffage

La consommation d'énergie affichée dans le DPE est une consommation surfacique en énergie primaire incluant le chauffage et l'eau sanitaire. Pour connaître la consommation de chauffage seul, exprimée en énergie finale, il faut donc partir, pour chaque classe énergétique, de la consommation en énergie primaire, la transformer en énergie finale, puis déduire la consommation estimée de production d'eau chaude sanitaire. Concernant la consommation d'énergie primaire de chaque classe énergétique, on supposera qu'elle est égale à la moyenne des bornes basse et haute définissant la classe (ex : classe C égal moyenne 91 et 150, soit 120,5 kWh/m²/an), sauf pour la classe A où l'on adoptera la valeur de 50 kWh/m²/an et celle de classe G où l'on adoptera celle de 480. On obtient donc les consommations surfaciques du chauffage électrique moyennes de chaque classe énergétique, exprimées en énergie finale :

³⁴ Voir notamment Chiffres et statistiques n°534 – Juillet 2014

| Classes énergétiques | A | B | C | D | E | F | G |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Consommation primaire de la classe (kWh/m ² /an) | 50 | 80 | 120,5 | 190,5 | 280,5 | 390,5 | 480 |
| Consommation totale énergie finale | 19 | 31 | 47 | 74 | 109 | 151 | 186 |
| Consommation finale ECS | 6 | 10 | 23 | 35 | 35 | 40 | 40 |
| Consommation finale auxiliaires | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Deduc. conso de chauffage (kWh/m²/an) | 13 | 21 | 24 | 39 | 74 | 111 | 146 |

Détermination des consommations moyennes spécifiques de chauffage électrique (énergie finale) par classe énergétique

Mais le DPE a tendance à surévaluer les consommations. Ceci s'explique d'abord structurellement par les défauts intrinsèques de la méthode de calcul du DPE, mais aussi parce que les logements sont souvent chauffés partiellement à cause du montant élevé des dépenses de chauffage. Il est donc nécessaire d'apporter une pondération à chacune de ces classes énergétiques.

Le calcul des consommations nécessite encore de connaître la surface habitable. Il est probable que l'Observatoire DPE dispose de ces informations, mais nous n'y avons pas eu accès. Toutefois, la surface des classes énergétiques F et G, qui sont précisément les deux classes énergétiques sur lesquelles cette étude est centrée, peut être déterminée avec précision³⁵. Les différents résultats sont regroupés dans le tableau qui suit. Nous avons ajusté les surfaces des autres classes énergétiques à partir de l'analyse faite des données de l'enquête Phébus par le CGDD³⁶ et de la surface moyenne de l'ensemble des logements chauffés à l'électricité qui peut être déduite d'une publication du SOEs³⁷. Cette surface moyenne est de 83,65 m².

| | Classes énergétiques | | | | | | |
|---|----------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| Coefficient de pondération | 1 | 0,925 | 0,825 | 0,75 | 0,675 | 0,625 | 0,575 |
| Surface habitable moyenne [m ²] | 100 | 100 | 95 | 92 | 83,5 | 82,93 | 71,91 |

Coefficient de pondération de la consommation de chauffage et surface habitable moyenne des différentes classes énergétiques

On peut alors déterminer la surface habitable totale des logements de chaque classe énergétique et vérifier la valeur de la surface moyenne ainsi obtenue :

| | Classes énergétiques | | | | | | | Totaux |
|--|-------------------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | |
| Nbre de logements | 31 413 | 83 768 | 680 615 | 2 209 381 | 3 246 010 | 1 905 722 | 2 230 323 | 10 387 232 |
| Surface habitable totale [m ²] | 3 141 300 | 8 376 800 | 64 658 425 | 203 263 052 | 271 041 835 | 158 041 596 | 160 391 306 | 868 914 313 |
| | Surface moyenne [m ²] : | | | | | | | 83,65 |

Bilan de surface

Les paramètres de surface semblent donc correctement calés puisque la valeur de la surface moyenne du parc de logements chauffés à l'électricité est bien confirmée.

La consommation (en énergie finale) de chauffage électrique dans le parc résidentiel français (résidences principales) dans les différentes classes énergétiques peut désormais être déterminée, tout

³⁵ Sources : Banque des Territoires, INSEE et CEREN

³⁶ CGDD – Chiffres et statistiques n°534 – Juillet 2014

³⁷ Soes : « Equipements de chauffage de parc de logements » – Phébus 2013

comme la consommation d'eau chaude sanitaire, ce qui permet de vérifier que l'ensemble des différents paramètres est correctement calé :

| | Classes énergétiques | | | | | | | Total [TWh] |
|--|----------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | |
| Consommation chauffage (énergie finale) [TWh] | 0,04 | 0,16 | 1,26 | 5,92 | 13,49 | 11,00 | 13,47 | 45,35 |
| Part du total en % | 0,1% | 0,4% | 2,8% | 13,1% | 29,7% | 24,3% | 29,7% | 100,0% |
| Consommation eau chaude (énergie finale) [TWh] | 0,02 | 0,08 | 1,23 | 5,34 | 6,40 | 3,95 | 3,69 | 20,70 |
| Part du total en % | 0,1% | 0,4% | 5,9% | 25,8% | 30,9% | 19,1% | 17,8% | 100,0% |

Consommation de chauffage et d'eau chaude électriques du parc de résidences principales par classe énergétique

Les deux valeurs totales de 45,4 TWh (chauffage) et 20,7 TWh (ECS) correspondent bien aux valeurs estimées par RTE. Tous les paramètres semblent correctement calés.

Il est alors intéressant d'observer que la part des logements de classes F et G dans la consommation totale du chauffage électrique du secteur résidentiel est respectivement de 24,3 et 29,7 %. Les classes F et G représentent plus de la moitié de la consommation (54 %) alors qu'elles ne regroupent que 39,8 % des logements chauffés à l'électricité. Elles apparaissent bien comme prioritaires dans la stratégie nationale de rénovation du parc bâti.

Hypothèses sur la rénovation

Il y a de nombreuses manières de faire une rénovation thermique. Mais l'expérience montre qu'elles ne conduisent pas toutes à un très bon résultat en terme de performances, voire même de pathologie.... L'expérience enseigne aussi que la meilleure manière de rénover est de procéder à une rénovation « complète et performante ». Ce qui signifie que les travaux sont tous faits en une seule fois et au « meilleur niveau ». On vise la consommation la plus faible possible en n'hésitant pas à utiliser de fortes épaisseurs d'isolant, à isoler par l'extérieur quand on peut afin de supprimer les ponts thermiques, à soigner l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, les interfaces entre menuiseries et isolants etc., ainsi qu'à utiliser la plupart du temps une ventilation mécanique double flux. Ce faisant il ne subsiste pas de points faibles, et donc pas d'infiltrations parasites ou de ponts thermiques dégradant les performances du bâti et susceptibles de provoquer des condensations et des pathologies.

Ce type de rénovation conduit à de très basses consommations d'énergie, produisant ainsi des économies d'énergie importantes assurant une rentabilité rapide de l'opération. Le coût d'une rénovation complète et performante est beaucoup moins élevé que celui d'une rénovation par étapes en général inachevée faute de moyens. Contrairement aux idées reçues, elle n'est pas plus chère qu'une rénovation moins performante car ce n'est pas l'isolant qui coûte mais la main d'œuvre pour le mettre en place et tout le travail de préparation (études, organisation du chantier, échafaudages, nettoyage du chantier, etc.).

Lorsqu'on fait une rénovation thermique il est souvent assez aisé d'améliorer très sensiblement les performances de l'installation de production d'eau chaude sanitaire. Il faut pour cela travailler sur la limitation des besoins par des réducteurs de pression, des limiteurs de débit auto régulés, et améliorer les rendements de production, de stockage et de distribution, toutes choses souvent assez faciles à réaliser et peu onéreuses. Ces améliorations ont été incluses dans les évaluations qui suivent, tout en les séparant clairement des rénovations sur le chauffage afin d'évaluer l'intérêt qu'elles pourraient présenter.

Des hypothèses ambitieuses, mais réalistes, ont été formulées sur l'objectif de consommation finale des logements rénovés, en fonction de leur classe énergétique d'origine :

| En énergie finale | Classes énergétiques avant rénovation | | | | | | |
|---|---------------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| Conso chauffage après rénovation [kWh/m ² /an] | 13 | 17 | 22 | 30 | 40 | 40 | 40 |
| Conso ECS après rénovation | 6 | 10 | 20 | 25 | 30 | 30 | 35 |

Niveau de consommation après rénovation (en énergie finale) pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire

Le niveau de consommation retenu pour le chauffage des classes E à G (40 kWh/m²/an) peut paraître peu ambitieux, mais les bâtiments entrant dans ces classes énergétiques sont souvent dans un état ne permettant pas de faire mieux. Cette hypothèse est donc conservatrice.

Gisement d'économie d'énergie associé à la rénovation des logements de classes F et G

L'analyse qui suit porte sur la rénovation de l'ensemble du parc de logements chauffés à l'électricité même si, comme on le verra, il n'est évidemment pas nécessaire de rénover les logements de classes énergétiques A ou B. Cet exercice permet néanmoins de préciser les priorités d'action.

À partir des niveaux de consommation actuelle et des hypothèses sur le niveau de consommation après rénovation, il est facile de déterminer le gisement global d'économies pour chaque classe énergétique. Afin d'affiner le résultat, on a également traité le cas où la rénovation inclut l'amélioration de l'installation de production d'eau chaude sanitaire. Enfin, au titre de la production de chaleur, l'étude a porté sur le remplacement des dispositifs à effet Joule par des matériels identiques mais de puissance adaptée, et la mise en oeuvre de pompes à chaleur (PAC). Ces PAC sont supposées être double service (chauffage et production d'eau chaude), avec un coefficient de performance annuel (COP) égal à quatre pour le chauffage, trois en mode production d'eau chaude sanitaire.

L'ensemble des résultats figure dans le tableau suivant :

| | Classes énergétiques | | | | | | | Totaux [TWh] | |
|------------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|------|------|------|-----------------|------------------|
| | A | B | C | D | E | F | G | Ensemble | F & G |
| 1-Maintien de l'effet Joule | En TWh | | | | | | | Ensemble | F & G |
| Chauffage seul | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 1,3 | 6,2 | 7,0 | 9,8 | 24,5 | 16,8 |
| Chauffage + eau chaude | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 2,9 | 7,1 | 8,0 | 10,2 | 28,5 | 18,3 |
| Dont contribution ECS | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 1,5 | 0,9 | 1,0 | 0,5 | 4,0 | 1,4 |
| 2-Utilisation de PAC | En TWh | | | | | | | | |
| Chauffage seul | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 4,8 | 11,7 | 10,0 | 12,5 | 40,1 | 22,6 |
| Chauffage + eau chaude | 0,0 | 0,2 | 1,8 | 8,8 | 16,2 | 13,0 | 15,2 | 55,3 | 28,1 |
| Dont contribution ECS | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 4,1 | 4,6 | 3,0 | 2,6 | 15,2 | 5,6 |

Gisement d'économie d'électricité par rénovation du parc de logements chauffés à l'électricité (en TWh)

Les enseignements de ce tableau sont majeurs :

1. La rénovation du parc de logements chauffés à l'électricité, si elle était faite au moyen de rénovations complètes et performantes, permettrait une économie de 24,5 TWh si le principe d'un chauffage par effet Joule était maintenu (ce qui ne constituerait pas une marque de progrès !), mais elle pourrait atteindre 40,1 TWh par l'utilisation généralisée de pompes à chaleur. Ce dernier cas n'est évidemment pas réaliste, mais on peut imaginer, comme dans le scénario negaWatt, qu'environ la moitié des logements dispose d'une pompe à chaleur, ce qui conduirait à un gisement d'économies de 32 TWh. Pour mémoire la consommation actuelle de

chauffage électrique du secteur résidentiel est d'environ 45 TWh ; elle pourrait donc être réduite de plus de 70 %.

2. Le rôle stratégique des classes F & G devient évident si l'on constate qu'avec 16,8 TWh (utilisation de l'effet Joule), ou 22,6 TWh (utilisation de pompes à chaleur), elles représentent respectivement 68,8 et 56,2 % du gisement global. Avec un logement sur deux équipé de pompes à chaleur, elles constitueraient 62% du gisement total d'économie, alors qu'elles ne représentent que 39,8 % des logements. Elles apparaissent bien comme une priorité stratégique.
3. L'amélioration de l'installation d'eau chaude sanitaire est la plupart du temps une opération peu onéreuse. De surcroît, les hypothèses faites dans cette étude sont très peu ambitieuses et supposent peu de travaux. Par expérience il serait possible d'aller beaucoup plus loin. Néanmoins, la généralisation des améliorations augmenterait les économies du parc de 4 TWh, et celles du sous-ensemble des classes F & G de 1,4 TWh dans le cas de l'utilisation de l'effet Joule. Mais bien sûr, le recours à des pompes à chaleur (ou à des chauffe-eau thermodynamiques très bien réglés) contribuerait de façon spectaculaire à l'augmentation du gisement d'économie : cette augmentation serait de 15,2 TWh sur l'ensemble du parc, et de 5,6 TWh sur les seules classes F & G.
4. La rénovation des logements de classes A à D ne représente que 6 % de l'économie d'énergie sur le chauffage si les travaux s'effectuent avec maintien d'émetteurs par effet Joule. Si la rénovation porte aussi sur l'eau chaude sanitaire, ce taux est un peu amélioré et il passe à 11,2 %. Seule la mise en œuvre de pompes à chaleur en complément de la rénovation de l'enveloppe présente un peu plus d'intérêt et permet alors d'atteindre 15 % de l'économie globale (à condition que toutes les rénovations soient associées à des pompes à chaleur). L'amélioration de la production d'eau chaude porte cette valeur à 20 %. Mais ceci reste faible et laisse penser que la rénovation des logements de classes A à D chauffés à l'électricité n'est pas une priorité actuelle. Elle ne sera nécessaire que dans 15 ou même 20 ans.

Que représentent ces gisements d'économies au regard de la production française d'électricité ? La production d'un réacteur nucléaire est en moyenne de 6,6 TWh/an. La rénovation des seules classes F & G effacerait donc la production annuelle de 2,5 à 3,5 réacteurs selon les solutions retenues (effet Joule/50 % PAC, chauffage seul/avec ECS).

Impact de la rénovation sur la puissance appelée

On dispose de peu d'éléments pour déterminer la puissance appelée puisqu'on ne connaît en principe que la consommation de chauffage. Mais il est possible d'approcher le résultat de manière relativement simple. Les incertitudes seront réduites au moyen de l'expérience qu'offrent à la fois la modélisation et les campagnes de mesure.

→ Détermination de la puissance surfacique de chauffage en fonction du niveau de consommation

La puissance appelée est la puissance maximum sollicitée le jour le plus froid. Elle vaut :

$$P = G \cdot V \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \quad (1) \quad \text{où } \Delta T \text{ est l'écart entre la température intérieure et la température extérieure } [^{\circ}\text{C}], V \text{ le volume habitable [en m}^3\text{] et } G \text{ un coefficient de déperditions volumique [en W/m}^3\text{K] caractérisant l'ensemble des pertes de l'enveloppe et du renouvellement d'air du logement.}$$

La puissance surfacique s'en déduit, en remarquant que $V = S \cdot \Delta h$

$$p = G \cdot \Delta h \cdot \Delta T \quad [\text{W/m}^2] \quad (2)$$

avec Δh : hauteur sous plafond [m].

Il faut déterminer G en fonction de la consommation de chauffage du logement sur une année complète (censée connue). Cette consommation s'exprime de façon simple par la relation :

$$E = (G \cdot V \cdot N_{JT} \cdot 0,024 - A_g) \cdot i / \eta_{ch} \quad [\text{kWh}] \quad \text{où :}$$

- E : consommation annuelle de chauffage [kWh/an]
- N_{JT} : nombre de degrés-jours de base T , T étant la température effective dans le logement (donc pas forcément 18°C),
- A_g : apports gratuits [kWh/an] réellement récupérés et ayant contribué à la réduction de la consommation de chauffage. Ils incluent les apports solaires, les apports humains, les apports dus aux consommations domestiques (électroménager, cuisson). Mais seule une partie de ces apports est récupérée.
- i : coefficient d'intermittence du fonctionnement de l'installation de chauffage pendant la saison de chauffe. Il tient compte des périodes pendant lesquelles les usagers arrêtent ou ralentissent leur installation : la nuit, les vacances, les heures où ils sont au travail, etc.
- η_{ch} : rendement de l'installation de chauffage

Cette consommation peut aussi s'exprimer en fonction de la surface habitable (comme dans le DPE) :

$$e = (G \cdot \Delta h \cdot N_{JT} \cdot 0,024 - a_g) \cdot i / \eta_{ch} \quad (3)$$

De (3) on tire G que l'on remplace dans (2), d'où :

$$p = C_1 \cdot e + C_2$$

où :

$$C_1 = \eta_{ch} \cdot \Delta T / (i \cdot N_{JT} \cdot 0,024)$$

$$C_2 = a_g \cdot \Delta T / (0,024 \cdot N_{JT})$$

→ Application au bilan national de puissance du chauffage électrique

Il est nécessaire de déterminer la valeur numérique de C_1 et C_2 :

- ΔT : le modèle a été testé pour l'épisode de grand froid de février 2012 sur la France, très bien documenté par RTE³⁸. La température moyenne sur la France a été de -5°C . Les campagnes de mesure montrent que la température moyenne effective dans les logements en France, surtout en période de grands froids, est entre 20 et 21°C . Par ailleurs, une étude réalisée sur les ménages en précarité énergétique à partir de l'enquête Phébus par le CSTB et l'ONPE³⁹ (Observatoire National de la Précarité Énergétique) observe que « Concernant la température de chauffage (variable déclarative), les ménages ciblés par les différents indicateurs « économiques »

³⁸ RTE – « La vague de froid de février 2012 »

³⁹ CSTB – ONPE – « Analyse de la précarité énergétique à la lumière de l'enquête Phébus » – Octobre 2015

semblent avoir un comportement proche de celui de l'ensemble de la population, avec une moyenne légèrement supérieure à 20°C ».

La valeur retenue est 20,5°C. Si bien que la valeur adoptée pour ΔT est de 25,5°C.

- N_{JT} : il s'agit du nombre de degrés jours moyens en hiver en France. La base est celle de la température intérieure moyenne, soit 20,5°C. Météo France fournit les degrés jours moyens de base 17°C pour la métropole. Sur les dix dernières années le nombre moyen de degrés jours de base 17°C est de 1919. Pour passer en base 20,5°C il faut ajouter 3,5 °C sur la durée légale de la saison de chauffage (232 j), soit 812 degrés jours. En définitive, le nombre moyen de degrés jours de base 20,5°C est de 2731.
- η_{ch} : la valeur de 0,95 est généralement celle adoptée pour ce rendement
- a_g : les apports gratuits réellement récupérés sont complexes à déterminer. Pour éviter toute spéculation intellectuelle les valeurs adoptées sont celles qui ressortent dans les travaux de simulation thermique dynamique. La valeur retenue est de 15 kWh/m²/an.
- i : le coefficient d'intermittence généralement adopté pour le chauffage électrique est de 0,75.

Sur ces bases on peut déterminer les puissances surfaciques, puis les puissances appelées par le parc de logements chauffés à l'électricité, avant et après rénovation, par classe énergétique (il ne s'agit que des puissances de chauffage, à l'exclusion de l'eau chaude sanitaire).

| Avant rénovation | Classes énergétiques | | | | | | | Totaux [GW] | |
|--|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------------|--------|
| | A | B | C | D | E | F | G | Ensemble | F et G |
| Puissance surfacique [W/m ²] | 12,4 | 15,4 | 15,5 | 20,2 | 30,4 | 40,1 | 47,2 | | |
| Puissance du parc [GW] | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 4,1 | 8,2 | 6,3 | 7,6 | 27,4 | 13,9 |

| Après rénovation | Classes énergétiques | | | | | | | Totaux [GW] | |
|--|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------------|--------|
| | A | B | C | D | E | F | G | Ensemble | F et G |
| 1 - Avec émetteurs Joule | | | | | | | | | |
| Puissance surfacique [W/m ²] | 12,4 | 13,1 | 13,8 | 15,5 | 17,2 | 16,0 | 14,7 | | |
| Puissance du parc [GW] | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 3,1 | 4,7 | 2,5 | 2,4 | 13,7 | 4,9 |
| 2 - Avec pompes à chaleur | | | | | | | | | |
| Puissance surfacique [W/m ²] | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,9 | 4,3 | 4,0 | 3,7 | | |
| Puissance du parc [GW] | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,8 | 1,2 | 0,6 | 0,6 | 3,4 | 1,2 |

| Gain de puissance du parc | Classes énergétiques | | | | | | | Totaux [GW] | |
|----------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|--------|
| | A | B | C | D | E | F | G | Ensemble | F et G |
| 1 - Avec émetteurs Joule | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 3,6 | 3,8 | 5,2 | 13,7 | 9,0 |
| 2 - Avec pompes à chaleur | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 3,3 | 7,1 | 5,7 | 7,0 | 24,0 | 12,7 |

Bilan de puissance avant et après rénovation

Ce tableau montre que :

1. La puissance de pointe du parc, calculée avec les données climatiques fournies par Météo France pour la vague de froid de février 2012, est selon ce modèle simplifié de 27,4 GW. Or RTE estime que cette puissance a été de 28 GW. Il y a donc à nouveau une nouvelle bonne concordance avec le modèle simplifié et la représentation semble correcte.
2. Lors de cette vague de froid, symptomatiquement identique à toutes les grandes vagues de froid en France, la puissance appelée par les logements de classes F & G a été de 13,9 GW, soit 50,8 % de la demande totale. Le caractère dominant de ces logements est donc considérable.
3. **En rénovant le parc tout en conservant une émission de chaleur par effet Joule**, on ramène à 13,7 GW la puissance nécessaire pour le parc et à 4,9 celle pour les classes F & G. Ce qui signifie que **la réduction de puissance sur l'ensemble du parc est de 13,7 GW et qu'elle est de 9,0 GW pour les seuls logements des classes F & G** (soit le tiers de la puissance totale lors de la vague de froid). Soit encore 10 réacteurs de 900 MWe.
4. **En rénovant le parc et en associant à cette rénovation une production de chaleur par pompe à chaleur**, on ramène à 3,4 GW la puissance nécessaire pour le parc et à 1,2 celle pour les classes F & G. Ce qui signifie que la réduction de puissance sur l'ensemble du parc est de 24,0 GW et qu'elle est de 12,7 GW pour les seuls logements des classes F et G. **En imaginant que seule la moitié des logements soit équipée de pompe à chaleur, on ramènerait à 8,5 GW la puissance du parc et à 3,0 celle des logements de classes F & G. La réduction de puissance en pointe serait donc de 18,9 GW sur l'ensemble du parc, et de 10,9 pour les classes F & G.**
5. C'est probablement les effets majeurs sur la puissance de pointe qui justifieraient le plus une rénovation urgente des logements de classes F & G, car celle-ci permettrait de faire évoluer significativement le dossier des moyens de production d'électricité. Mais cet intérêt « industriel » en aurait un second socialement au moins aussi important : celui de réduire drastiquement la facture des millions de ménages qui vivent dans ces logements inconfortables et coûteux. Beaucoup sont en situation de précarité, au sens de la loi.

En résumé

| Bilan de la rénovation du parc de logements chauffés à l'électricité | | | |
|---|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Avant rénovation | Total parc | Classes F& G | Part F& G |
| Puissance appelée [GWe] | 27,4 | 13,9 | 50,8% |
| Consommation [TWh] | 45,3 | 24,5 | 54,0% |
| Réduction de puissance et de consommation après rénovation | | | |
| En conservant un chauffage par effet Joule | | | |
| | Total parc | Classes F& G | Part F& G |
| Réduction de puissance appelée [GWe] | 13,7 | 9,0 | 66,1% |
| Réduction de consommation [TWh] | 24,5 | 16,8 | 68,8% |
| En utilisant des pompes à chaleur sur l'ensemble des rénovations | | | |
| | Total parc | Classes F& G | Part F& G |
| Réduction de puissance appelée [GWe] | 24,0 | 12,7 | 53,0% |
| Réduction de consommation [TWh] | 40,1 | 22,6 | 56,2% |

Faut-il craindre l'effet rebond ?

La plupart des travaux portant sur les gisements d'économie d'énergie réduisent ceux-ci d'un facteur parfois significatif qu'ils attribuent à « l'effet rebond ». A la base de cette approche il y a l'idée que les économies d'énergie génèrent des économies financières qui sont réinvesties en dépenses, soit directement dans le dispositif ayant fait l'objet des travaux d'économie (par exemple on augmente la température de chauffage), soit indirectement (on se paye une semaine de ski grâce aux économies faites).

L'expérience tend quand même à montrer que, lorsque les prévisions d'économie d'énergie sont correctement évaluées, ce qui, en matière de rénovation, n'est pas très fréquent (elles sont souvent surestimées pour différentes raisons bien identifiées), la mesure atteste qu'il n'existe pas de dérive significative avec la prévision. Le seul cas où la dérive est possible est celui des logements aujourd'hui peu chauffés pour des raisons économiques : après rénovation, il est légitime que les occupants s'octroient un peu de confort supplémentaire. Mais l'étude CSTB-ONEP citée précédemment montre que, même dans les logements de classes F et G, la température est supérieure à 20°C.

Il est donc probable que l'impact direct de l'effet rebond sur les réductions de la puissance de pointe et des consommations d'électricité restera tout à fait marginal. Cet effet est aujourd'hui mal évalué et la plupart des études en surestiment les impacts, ne distinguant pas ce qui relève d'une erreur d'évaluation du gisement d'économie.

Annexe 2 - Étude de l'asservissement des chauffe-eau fonctionnant au fil de l'eau

Observations

Selon l'ADEME⁴⁰, il y avait en 2013 :

| | Chauffage élec | Chauffe eau élec |
|------------------|----------------|------------------|
| Maisons indiv. | 5 557 000 | 8 146 000 |
| Logts Collectifs | 3 752 000 | 4 734 000 |
| Total | 9 309 000 | 12 880 000 |

Source : ADEME - Chiffres clés de bâtiment 2013

On peut en déduire qu'il y a $12\,880\,000 - 9\,309\,000 = 3\,571\,000$ chauffe-eau qui ne sont pas associés à un chauffage électrique.

Il est légitime de supposer que tous les logements dotés d'un chauffage électrique sont équipés d'un abonnement double tarif. Il reste donc à savoir combien, parmi les 3 571 000 logements équipés de chauffe eau électriques mais pas de chauffage électrique sont équipés d'un abonnement simple tarif. Procédons par analyse de l'intérêt tarifaire.

La grille actuelle des tarifs réglementés est la suivante :

| P [kVA] | Abont base € TTC | kWh base € TTC | Abont double € TTC | kWh jour € TTC | kWh nuit € TTC |
|---------|---------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| 3 | 91,92 | 0,1452 | --- | 0,158 | 0,123 |
| 6 | 110,52 | 0,1452 | 123,6 | 0,158 | 0,123 |
| 9 | 130,32 | 0,1452 | 151,32 | 0,158 | 0,123 |
| 12 | 150,96 | 0,1452 | 177,24 | 0,158 | 0,123 |

Grilles des tarifs réglementés de l'électricité au mois de mai 2019

Il faut déterminer les niveaux de consommations qui justifient un tarif plutôt que l'autre. Mais la présence désormais de deux montants différents pour le kWh de jour rend impossible la détermination de la consommation minimale de nuit. Nous supposons donc que la consommation des chauffe-eau est égale à leur consommation moyenne dans le parc. La consommation globale des chauffe-eau est de 20 TWh/an. Ramenée au nombre de chauffe eau, on en déduit que la consommation moyenne d'un chauffe eau est de **1 550 kWh/an**. Nous adopterons cette valeur comme étant celle qui pourrait être observée la nuit.

Dès lors la condition pour que l'abonnement double tarif ait de l'intérêt, pour un niveau de puissance souscrite donné, s'écrit :

$$E_j < [E_n * (p_{js} - p_{nd}) + A_b - A_d] / (p_{jd} - p_{js})$$

⁴⁰ ADEME - Chiffres clés du bâtiment 2013

Où :

- E_j : consommation de jour [kWh]
- E_n : consommation de nuit. On la prendra égale à 1 550 kWh
- p_{js} : coût du kWh en tarif de base [€ TTC]
- p_{nd} : coût du kWh de nuit en double tarif [€ TTC]
- p_{jd} : coût du kWh de jour en double tarif [€ TTC]
- A_b : Abonnement annuel du tarif de base [€ TTC]
- A_d : Abonnement annuel du double tarif [€ TTC]

Le tableau suivant fournit la valeur de la consommation **maximale** en heures de jour, ainsi que la consommation **totale maximale** du logement en fonction de la puissance souscrite pour que l'option double tarif soit plus intéressante que l'option de base :

| P [kVA] | Consommation de jour maxi | Consommation totale maximum |
|---------|---------------------------|-----------------------------|
| 3 | | |
| 6 | 1 666 | 3 216 |
| 9 | 1 048 | 2 598 |
| 12 | 635 | 2 185 |

Conditions de consommation rendant l'option double tarif plus économique que l'option de base

La consommation électrodomestique hors chauffe-eau s'élevant en moyenne à 2560 kWh/an en France, la consommation moyenne d'un foyer équipé d'un chauffe-eau électrique devrait donc être d'environ 4100 kWh/an. L'examen du tableau précédent montre qu'en moyenne il n'y a aucun intérêt à adopter un abonnement double tarif pour un usager utilisant un chauffe-eau électrique. Évidemment pour les très gros utilisateurs d'eau chaude dont la consommation pourrait atteindre 2500 kWh/an, cette conclusion n'est plus exacte. Toutefois, compte tenu du niveau moyen de consommation des chauffe-eau, il faut considérer que les usagers disposant d'un chauffe-eau électrique mais pas d'un chauffage à l'électricité auront dans leur grande majorité un abonnement de base. Par voie de conséquence ils n'ont aucune raison d'asservir par une horloge le fonctionnement de leur chauffe-eau à des heures de nuit puisqu'ils n'y ont, en principe, aucun intérêt financier.

C'est la raison pour laquelle de très nombreux chauffe-eau en France fonctionnent « au fil de l'eau », se mettant en route après chaque puisage tout au long de la journée.

L'objectif poursuivi ici est de déterminer quelle est la puissance que peut représenter l'ensemble de ces chauffe-eau non asservis au moment des heures de pointe.

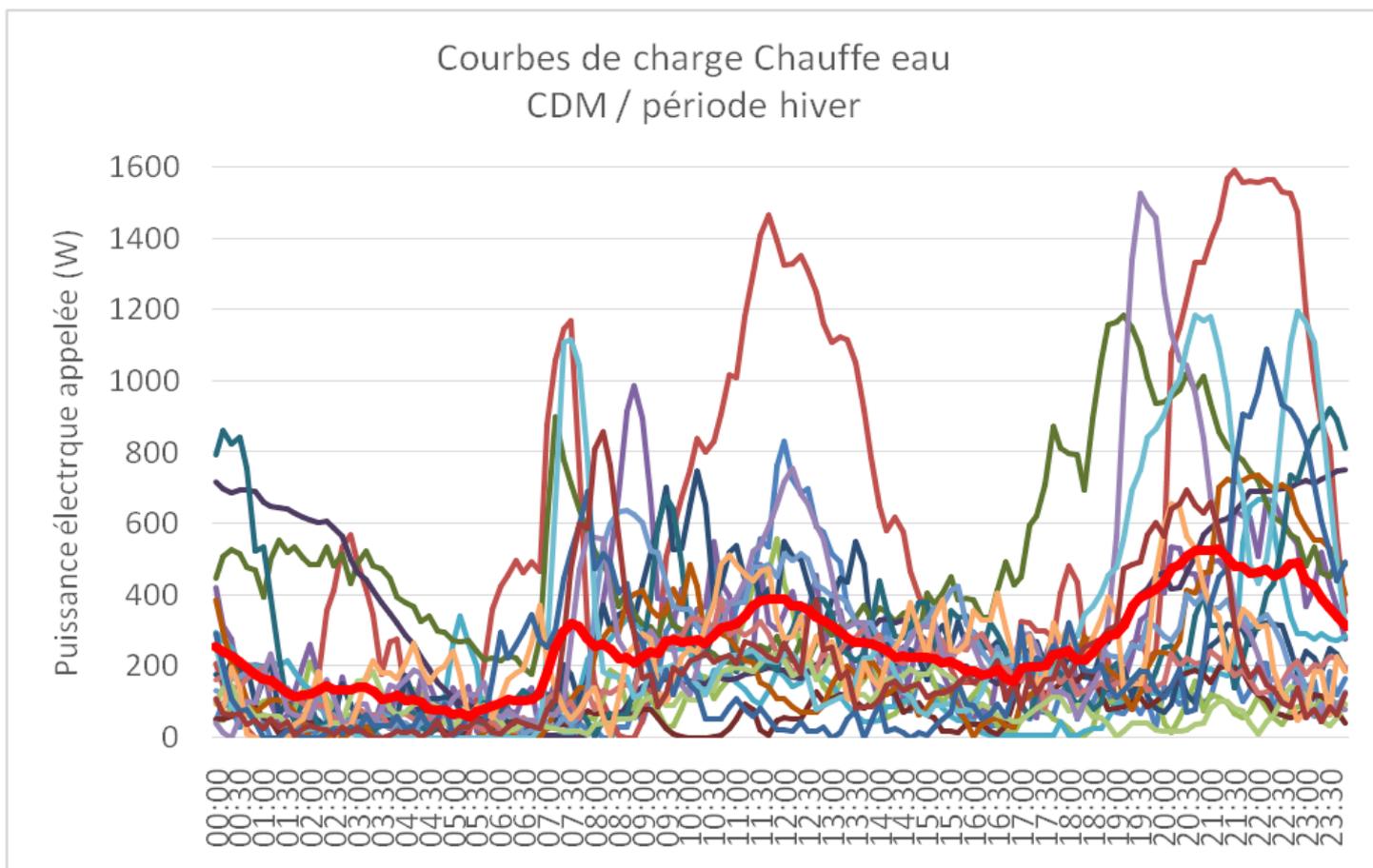
Détermination de la puissance appelée par les « chauffe-eau au fil de l'eau » la journée

Une campagne de mesure récente effectuée sur plusieurs dizaines de chauffe-eau fonctionnant au fil de l'eau permet, malgré la représentativité limitée de l'échantillon, d'avoir une idée des puissances moyennes appelées tout au long de la journée.

Il y a au cours de la journée désormais trois périodes de pointe, même si la période la plus critique reste celle qui se situe entre 19 et 21 heures :

- entre le 7 et 8 h : les ménages utilisent de l'eau chaude, de l'éclairage et remettent en route les installations de chauffage qui ont fonctionné au ralenti durant la nuit,
- entre 11 et 12h : dans cette tranche horaire c'est à la fois l'activité industrielle et celle du secteur tertiaire qui sont à leur maximum d'intensité,
- entre eux 19 et 21h : les ménages font la cuisine (majoritairement à l'électricité), les installations de chauffage ont été relancées, et on observe de fréquents usages de l'eau chaude sanitaire.

Le graphique suivant montre de grandes disparités dans le fonctionnement des chauffe-eau au fil de l'eau. Précisons que l'échantillon ne comprend aucun chauffe-eau thermodynamique.



Source Enertech

On peut alors déterminer pour chacune des heures critiques quelle est la puissance moyenne appelée par ces chauffe-eau :

| Heures | Puissance moyenne [kW] |
|------------------|------------------------|
| Entre 7 et 8 h | 0,319 |
| Entre 11 et 12 h | 0,39 |
| Entre 19 et 20 h | 0,433 |
| Entre 20 et 21 h | 0,525 |

Puissance moyenne mesurée aux heures de pointe sur des chauffe-eau « au fil de l'eau »

Ne connaissant pas avec précision le nombre de chauffe-eau associés à un abonnement en simple tarif, même si, selon toute probabilité, il y en a très peu comme l'a montré l'analyse précédente, les estimations qui suivent ont été construites en faisant varier le taux de chauffe-eau bénéficiant d'un abonnement double tarif :

| % chauffe-eau en double tarif | Nbre chauffe eau simple tarif | Effacement 7h-8h [GWe] | Effacement 11h-12h [GWe] | Effacement 19h-20h [GWe] | Effacement 20h-21h [GWe] |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0 | 3 571 000 | 1,1 | 1,4 | 1,5 | 1,9 |
| 10 | 3 213 900 | 1,0 | 1,3 | 1,4 | 1,7 |
| 20 | 2 856 800 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,5 |
| 30 | 2 499 700 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,3 |
| Valeur RTE [GWe] | --- | 1,3 | 2,0 | 1,3 | 1,9 |
| Jour pointe RTE [GWe] | --- | 2,75 | 0,84 | 1,05 | 1,33 |

Estimation du potentiel de puissance effaçable en fonction du nombre de chauffe-eau fonctionnant « au fil de l'eau »

Ce tableau a été établi en faisant varier le pourcentage de chauffe eau bénéficiant d'abonnement double tarif, les autres étant alors tous bénéficiaires du tarif de base ce qui permet de supposer qu'ils fonctionnent « au fil de l'eau ». On applique ensuite à ceux-ci, pour les différentes heures de pointe, les valeurs de la puissance moyenne issues du graphique précédent. Cela fournit le potentiel d'effacement global pour chacune de ces heures critiques.

Si tous les chauffe-eau fonctionnaient « au fil de l'eau », l'effacement maximum observable durant la pointe du soir (19-20 h) serait de **1,5 GW**. Cette valeur est proche de celle proposée par RTE⁴¹ pour une journée d'hiver normale (1,3 GW). Curieusement, RTE⁴² estime que pour un jour de pointe hivernale extrême, cette puissance n'est que de 1,05 GW, ce qui n'est pas très compréhensible.

En revanche, si 20 % des chauffe-eau sont associés à un abonnement double tarif, le gisement de pointe effaçable est encore de **1,2 GW** au moment de la pointe du soir.

Conclusion

Compte tenu de ce qui précède et de la faible probabilité à ce qu'un grand nombre de chauffe-eau soit associé à un abonnement double tarif, on doit considérer que **la valeur potentielle d'effacement de puissance par asservissement des chauffe-eau fonctionnant au fil de l'eau est de l'ordre de 1,2 GW**. Un peu moins de 3 millions d'appareils seraient concernés. Il existe plusieurs solutions techniques simples pour réaliser cet asservissement. Pour les usagers disposant du compteur Linky, il serait possible d'utiliser un contact sec permettant le pilotage du chauffe-eau, en fonction des contraintes du distributeur. Mais ce contact est en principe accordé aux usagers disposant du double tarif. Il faut donc que le distributeur déroge à cette règle, et il est le seul à pouvoir le faire (il restera ensuite à ce qu'un électricien indépendant fasse le raccordement du compteur au tableau d'abonné). A défaut de compteur Linky, on pourrait installer une horloge de programmation la plus simple possible (mais avec réserve de marche) avec l'inconvénient que les heures de fonctionnement resteraient à la liberté de l'utilisateur, ce qui n'est pas forcément optimal. Les horloges ont aussi le gros défaut, constaté sur le terrain, d'être bien souvent dérégées et de ne pas fonctionner correctement.

Cette disposition ne concerne évidemment que les chauffe-eau à accumulation et pas les chauffe-eau instantanés ou les chauffe-eau thermodynamiques. L'opération serait à la charge financière du distributeur puisqu'il serait le seul à avoir un intérêt dans cette modification.

⁴¹ RTE - Bilan prévisionnel 2017 - Fig 1.19

⁴² RTE - Bilan prévisionnel 2017 - Fig 1.21

Annexe 3 – Mesures de sobriété sur l'éclairage

Introduction

Lors des plus grosses pointes de puissance électrique en hiver (autour de 19h), l'éclairage est fortement sollicité. Il contribue à près de 10% de la puissance appelée.

Si les LED permettent des progrès d'efficacité énergétique importants qui vont progressivement se répandre, on assiste à une multiplication des points lumineux et éclairages décoratifs (parfois franchement superflus), ce qui annule une partie des gains. De nombreuses mesures de modération sont envisageables, sans impact significatif sur le confort ou la sécurité des personnes.

Illuminations de Noël

Il n'existe pas de données précises sur la puissance appelée par les illuminations de Noël.

L'ADEME l'estimait en 2010 à environ 1 GW dans les logements et 0,3 GW dans l'espace public⁴³. L'utilisation de guirlandes à LED étant plus courante aujourd'hui, on peut supposer une baisse d'un tiers de ces valeurs, ce qui donne 0,9 GW au total.

En supposant que les mesures proposées dans cette étude permettent une réduction d'un quart des puissances appelées, le gain s'élève à **0,2 GW** pendant la période d'utilisation de ces illuminations (en général de décembre à janvier).

Application plus stricte de l'extinction des illuminations de vitrines et bâtiments

Pour estimer le gain que permettrait l'extinction de toutes les enseignes et devantures de magasins à la fermeture du magasin (au lieu d'attendre 1h du matin), il est nécessaire d'estimer la consommation que celles-ci représentent. Ce n'est pas aisé, car les données précises manquent et il existe une grande variété de lieux de vente et de types d'éclairage des devantures et enseignes.

La France compte environ 460 000 magasins au total⁴⁴, dont la surface moyenne peut être estimée à 130 m² environ⁴⁵. En supposant une puissance moyenne d'éclairage de 250 W pour la vitrine et 100 W pour l'enseigne/façade, cela représente environ 0,16 GW pour l'ensemble des magasins.

En supposant qu'un tiers de ces éclairages resteront allumés après 20h (par exemple pour les lieux de vente qui restent ouverts plus tard), la puissance cumulée de ceux qui pourraient se retrouver éteints avant 20h représente au total environ **0,1 GW**.

⁴³ <http://presse.ademe.fr/2010/12/apporter-une-touche-de-vert-a-votre-noel-grace-aux-7-conseils-de-lademe.html>

⁴⁴ Chiffres clés du commerce (2018), DGE.

⁴⁵ ARENE (2008), Enquête sur les consommations d'énergie des commerces et services de proximité en région Ile-de-France

Extinction des publicités lumineuses entre 18h et 21h

Le nombre total de panneaux publicitaires est estimé à environ 500 000 en France⁴⁶. Il n'existe pas de recensement national précis permettant de savoir combien d'entre eux sont éclairés et de quelle manière.

Un recensement dans l'agglomération dijonnaise, réalisé par une association⁴⁷, a trouvé environ 600 petits panneaux classiques rétroéclairés de 2 m² (« sucettes » urbaines, abribus, etc.) et 600 grands panneaux éclairés de 8 m² et plus (type panneaux d'entrée de ville). L'extrapolation de ces chiffres à la France métropolitaine (sur la base des ratios de population) fournit une estimation totale d'environ 120 000 petits et 120 000 grands panneaux éclairés. A cela s'ajoutent environ 50 000 panneaux numériques⁴⁸ (ceux qui diffusent des vidéos et que l'on trouve en extérieur et dans les centres commerciaux, métros, etc.), dont le nombre est en forte croissance.

Les panneaux classiques éclairés ont une puissance que l'on peut estimer à 90 W par m² environ⁴⁹, tandis que celle des panneaux numériques peut être estimée aux alentours de 350 W par m² environ⁵⁰.

| Type de panneaux | Nombre total | Puissance unitaire estimée | Puissance agrégée |
|--|----------------|----------------------------|-------------------|
| Petits panneaux éclairés (2 m ²) | 120 000 | 180 W | 0,02 GW |
| Grands panneaux éclairés (8 m ²) | 120 000 | 720 W | 0,09 GW |
| Panneaux numériques (2 m ²) | 50 000 | 700 W | 0,04 GW |
| Total | 290 000 | | 0,14 GW |

Bilan des puissances agrégées au niveau de la France métropolitaine

L'extinction à la demande de ces panneaux pouvant se heurter à certaines difficultés et pesanteurs (identification de l'opérateur en charge, réponses pas toujours fiables à l'injonction, systèmes défaillants, etc.), une hypothèse d'une extinction de deux tiers des panneaux est retenue, correspondant à **0,1 GW** environ.

Modération sur l'éclairage public

Les calculs se basent sur l'exemple de la Métropole de Nice, qui a montré qu'elle était capable d'ajuster finement ses éclairages publics et qu'elle pouvait parfaitement modérer de 400 kW l'éclairage des bâtiments publics, de 360 kW celui sur quelques voies et de 200 kW celui du réseau routier pour aider

⁴⁶ <https://www.affimetrie.fr/siteweb/chiffres-cles/performances.html>

⁴⁷ <http://dijon-ecolo.fr/doc-telechargeable/publicite/dossier-stop-pub-AT21.pdf>

⁴⁸ <https://www.displayce.com/a-propos/>

⁴⁹ En prenant la moyenne d'un panneau à tubes néons (2 tubes néons de 58 W par m²) et d'un panneau à LED (40 % de puissance en moins)

⁵⁰ Sur la base de données de consommation de fabricants trouvées sur internet

à soulager le réseau électrique de la région PACA lors de grosses pointes de consommation hivernales⁵¹.

Il est d'ailleurs à noter que cet effort semble relativement léger, puisqu'il s'agit parfois juste d'éteindre une partie des ampoules de chaque candélabre.

En supposant que l'agglomération niçoise est représentative des autres agglomérations françaises et en extrapolant cet exemple (960 kW de gains) à tout le territoire métropolitain (sur la base des ratios de population), on aboutit à un potentiel total de modération de l'éclairage public égal à environ **0,1 GW**.

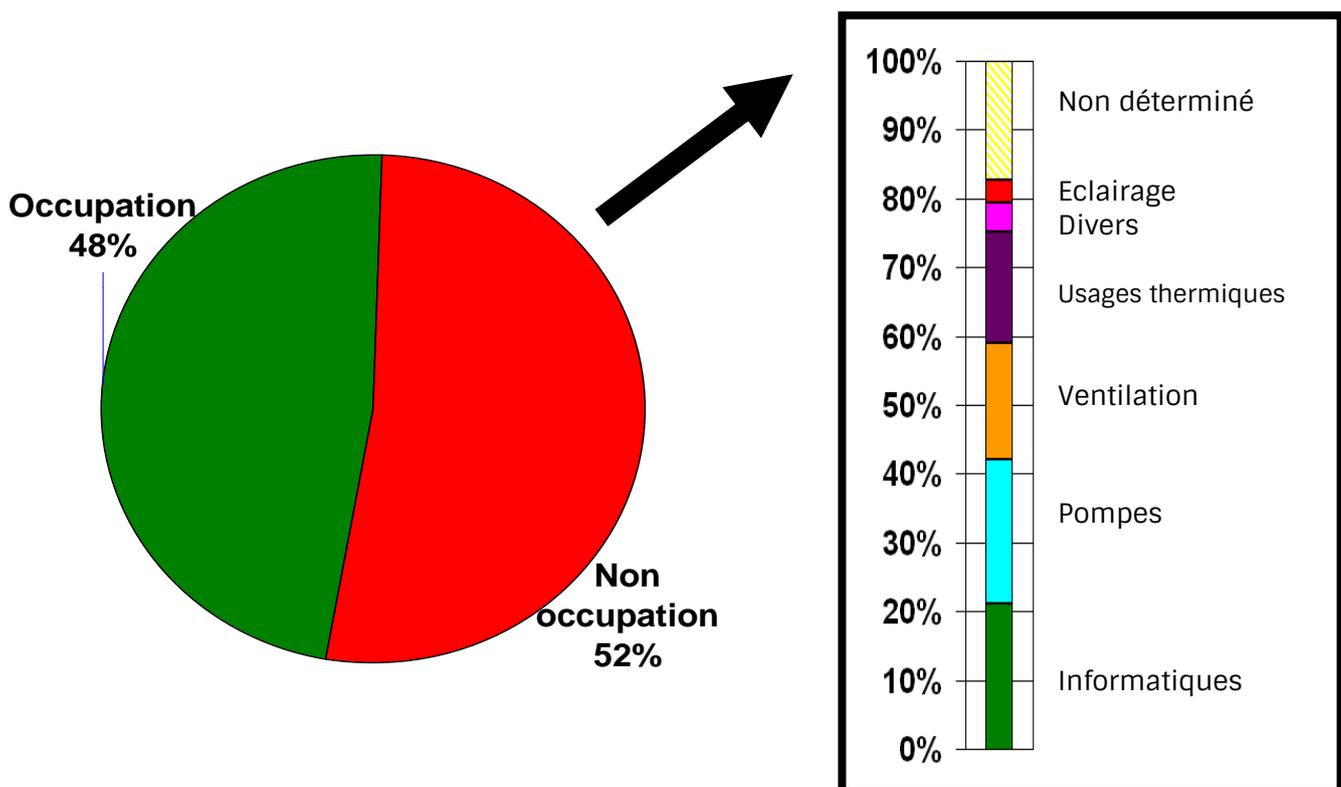
⁵¹ <https://www.nice.fr/fr/actualites/ecowatt-alerte-orange?type=articles>

Annexe 4 - La sobriété dans les bâtiments tertiaires

Observation

Malgré leur grande hétérogénéité, les bâtiments tertiaires se prêtent très bien au jeu de la sobriété énergétique. Mais derrière ce jeu se cachent des réductions potentielles de puissance appelée extrêmement importantes comme le prouvent toutes les campagnes de mesures qui ont été faites sur le sujet à ce jour.

La grande majorité des bâtiments tertiaires à occupation intermittente (bureaux, enseignement, etc.) consomme plus d'énergie en période d'occupation qu'en période d'inoccupation (en cumul sur l'année) ! Il n'y a évidemment aucune explication rationnelle, si ce n'est une grande négligence à la fois des services techniques et des usagers, comme en atteste toutes les observations de terrain :

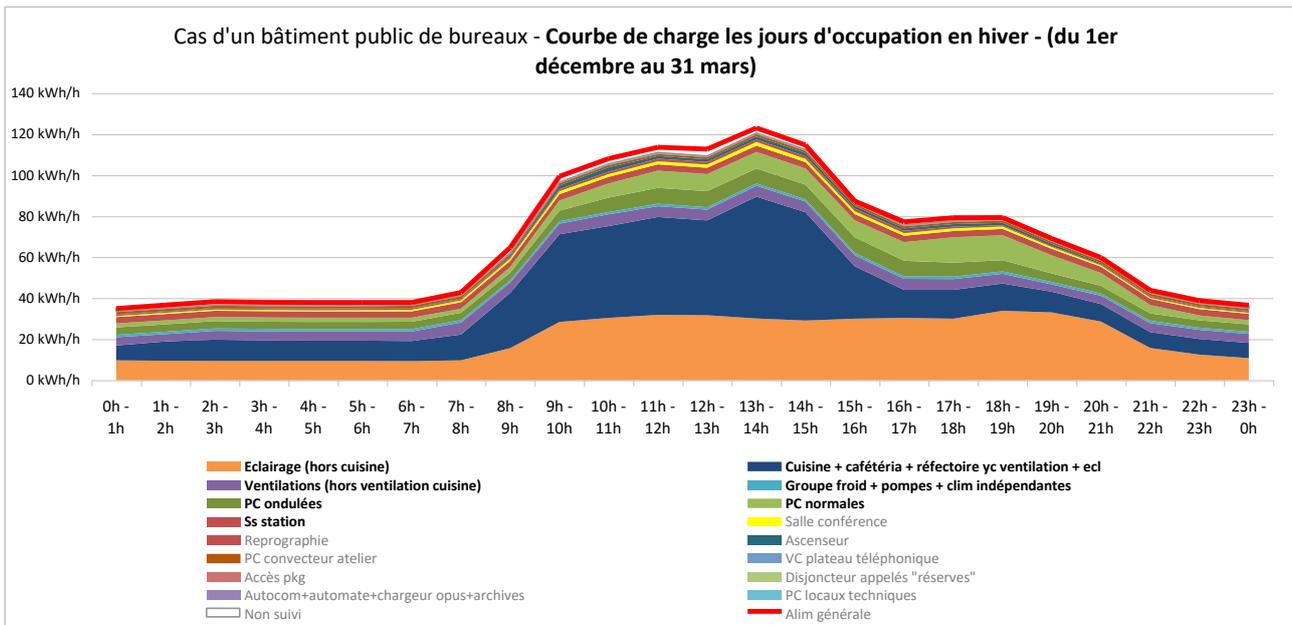


Consommations d'électricité en période d'occupation et d'inoccupation dans un bâtiment de bureaux de 24 000 m² - Source : Enertech

Dans l'exemple ci-dessus, la décomposition des consommations en période d'inoccupation montre que les ordinateurs des bureaux fonctionnent toujours, que la ventilation est à plein régime, tout comme les pompes et une partie de l'installation de chauffage (qui devraient pourtant être au ralenti, voire arrêtées), et qu'il y a même de l'éclairage fonctionnant la nuit, le week-end, et pendant les vacances.

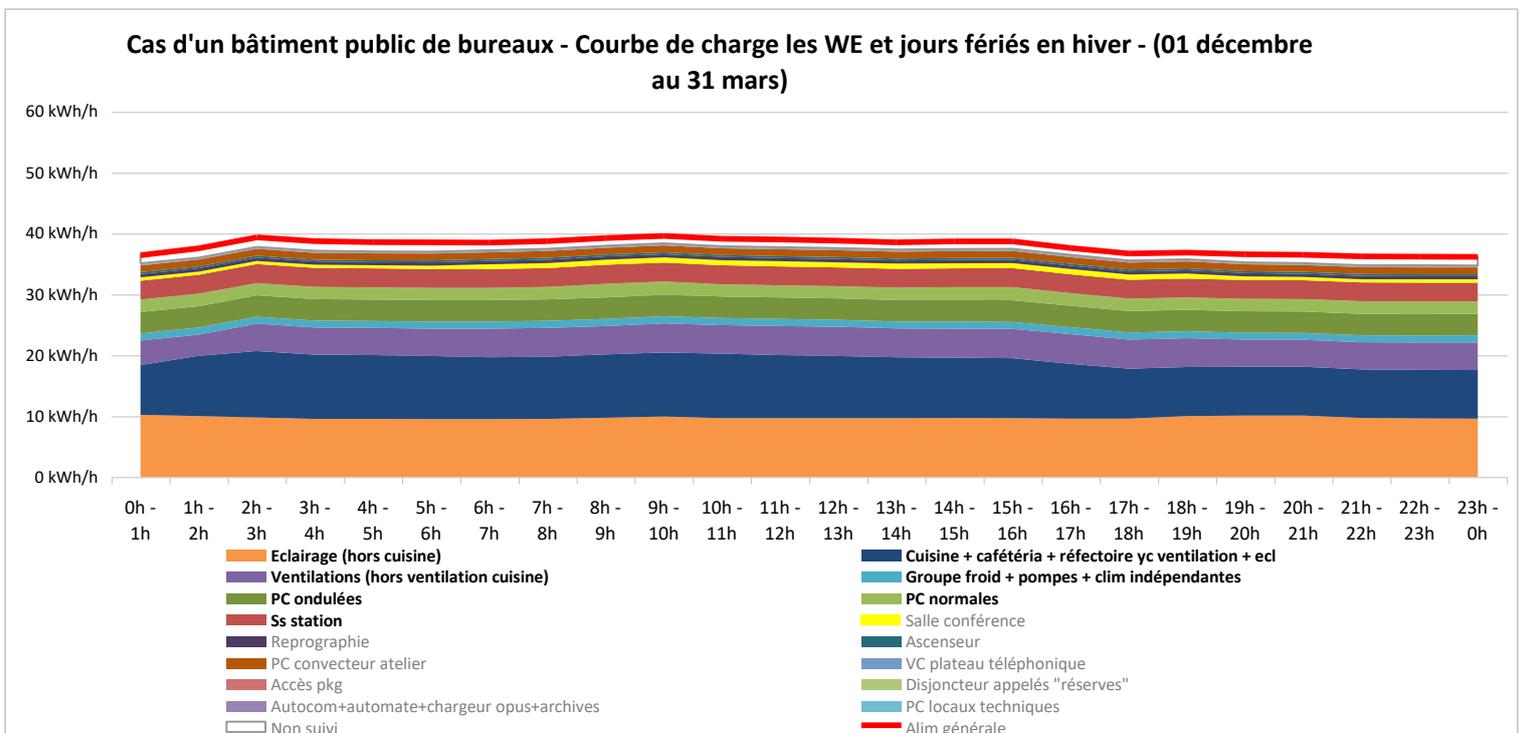
Toutes ces consommations n'ont absolument aucune raison d'être, mise à part une faible consommation de l'installation de chauffage qui, en hiver, doit maintenir un réduit de température.

L'examen de la courbe de charge moyenne d'un autre bâtiment de bureaux fait très bien apparaître l'ensemble de ces dysfonctionnements :



Sur ce graphique apparaît l'importance du « talon » de consommation en période d'inoccupation, alors qu'il s'agit d'un jour ouvré. Les causes de ces consommations injustifiées sont l'éclairage, les équipements de cuisine (dont certains, comme les groupes froids, sont légitimes), la ventilation mécanique, l'informatique, les équipements de sous station, etc.

Mais il est peut-être encore plus surprenant d'observer le fonctionnement de ce même bâtiment en période de WE ou de vacances d'hiver :



On pourrait imaginer que lors de l'inoccupation des jours ouvrés le fonctionnement de certains usages soit légitimé par l'impossibilité de les arrêter la nuit pour des raisons de services. Mais le WE et surtout en période de congés ? L'expérience montre qu'il n'y a la plupart du temps aucune raison objective pour que ces équipements fonctionnent. C'est essentiellement par négligence, par habitude ou par ignorance qu'ils sont maintenus en marche.

Ce faisant cette situation offre une occasion unique d'économie d'énergie et de réduction de puissance appelée qui est bénéfique à tous : la plupart des dispositions ne coûte rien à mettre en œuvre et celles-ci réduisent singulièrement les dépenses énergétiques. Dans le cas précédent, la puissance continue appelée en période d'inoccupation dans ce bâtiment de 7 000 m² est de 40 kW. Il consomme chaque année 239 MWh, ce qui représente 46% de la consommation annuelle du bâtiment (il n'y a pas d'usages thermiques de l'électricité).

Arrêter les gaspillages, c'est commencer à être sobre

Dans ce qui suit nous allons passer en revue un certain nombre de dispositions à mettre en œuvre impérativement dans la plupart des bâtiments tertiaires à occupation non continue. Toutes ces mesures permettent des économies de plusieurs dizaines de % sur la consommation, comme en attestent les campagnes de mesures qui ont été faites avant et après la mise en place de ces dispositions. Toutefois, il est très difficile d'estimer le gisement de réduction de puissance induite à l'échelle nationale car il existe de grandes disparités d'un bâtiment à l'autre.

1. **Arrêt des éclairages intérieurs et extérieurs** : chaque personne quittant le soir son poste de travail doit éteindre l'éclairage, la dernière personne dans le bâtiment le faisant aussi dans toutes les circulations. De même, le dernier occupant quittant une salle de réunion, ou toute autre salle à usage spécifique (reprographie, etc.) doit éteindre éclairage en quittant la pièce.
2. **Arrêt des éclairages extérieurs** : pour la plupart des bâtiments, il est possible d'arrêter l'éclairage extérieur lorsque le dernier occupant aura quitté les lieux ou lorsque le personnel de nettoyage aura terminé.
3. **Asservissement des éclairages de parking** : l'existence d'un parking sous le bâtiment conduit la plupart du temps à des consommations d'éclairage considérables dues pour l'essentiel à un fonctionnement permanent, que ce soit en cours de journée ou même parfois la nuit. On peut réduire de 90 % la consommation de ce poste, qui est souvent le plus important de tout le bâtiment, en asservissant l'éclairage à une détection de présence. Il faut préciser que ceci nécessite un petit budget rentabilisé en quelques mois.
4. **Arrêt de tous les ordinateurs de bureaux et de leurs périphériques** : tous les matériels informatiques doivent être arrêtés par leur utilisateur lorsque celui-ci a terminé sa journée, ou même lorsqu'il s'absente pour une réunion d'au moins une heure, ou pour aller déjeuner à midi. Chacun doit savoir que les ordinateurs peuvent être arrêtés aussi souvent qu'on le souhaite (ce que fait Energy Star lorsque ce gestionnaire est paramétré). Mais, pour supprimer également la veille dont sont souvent le siège ces matériels, il sera pratique de disposer sur chaque bureau d'un bloc multi-prises commandé par un interrupteur.
5. **Arrêt des serveurs** : il est souvent possible d'arrêter également les serveurs. Ce ne sont jamais que des ordinateurs comme les autres... Leur arrêt est possible tous les soirs et bien sûr durant les week-ends et les vacances lorsqu'ils ne sont pas assujettis à des missions de nuit comme par exemple les sauvegardes (qui pourraient de toutes façons être réalisées pendant la journée).
6. **Asservissement du fonctionnement de la ventilation à l'occupation** : la VMC est un gros poste de consommation d'électricité. Dans la plupart des cas, la ventilation fonctionne 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 alors qu'elle pourrait ne fonctionner qu'une cinquantaine d'heures par semaine. Il suffit pour cela de la piloter par une horloge.

7. **Asservir le fonctionnement de la climatisation à l'occupation** : de même faut-il évidemment asservir le fonctionnement de la climatisation aux heures d'occupation.
8. **Asservir le fonctionnement des distributeurs de boissons fraîches à l'occupation** : ces appareils consomment chacun 3000 kWh/an. Mais il n'est pas utile de maintenir l'appareil à basse température durant la nuit, les week-ends et les vacances. Ces machines peuvent être arrêtées le soir à partir de 17 heures, et remises en marche les jours ouvrés à partir de 6 ou 7 heures.
9. **Asservir l'éclairage des cabines d'ascenseur** : Il existe encore de nombreux ascenseurs dont l'éclairage fonctionne en permanence, même lorsque la cabine est vide. Il existe pourtant depuis l'an 2000 une Directive Européenne autorisant l'arrêt de l'éclairage lorsque la cabine stationne vide au palier d'étage. Moyennant un budget très réduit, il est conseillé d'asservir le fonctionnement de l'éclairage à une présence dans la cabine.
10. **« Faire le ménage dans les cuisines collectives »** : lorsque le bâtiment dispose d'une cuisine collective, il est nécessaire que tous les appareils, autres que producteurs de froid, soient arrêtés dès la fin du service, en général en début d'après-midi. Il n'est par exemple pas utile que la machine à café expresso maintienne en permanence une température proche de 90° dans son réservoir.

Presque tout ce qui précède repose uniquement sur des modifications comportementales qui peuvent être mises en œuvre de façon très rapide et dont les effets seront produits immédiatement. L'ensemble de ces dispositions doit donc être relayé auprès des chefs d'établissement, des chefs d'entreprises, des chefs de service, et de toute autre personne susceptible de diffuser l'information et d'en vérifier la bonne mise en œuvre. Afin de fixer les idées, la puissance que représente l'ensemble des usages fonctionnant la nuit dans un bâtiment de bureaux (hors usages thermiques de l'électricité), se situe entre 7 et 13 W/m². En supprimant la moitié de ces consommations inutiles dans un bâtiment de 5000 m², on pourrait économiser en moyenne de l'ordre de 150 MWh/an, et effacer 25 kW de puissance électrique dans ce bâtiment en période d'inoccupation.

On peut tenter une évaluation du gisement, sur ces bases, en considérant le parc de bureaux (221,5 M m²) et le parc des locaux d'enseignement (194,4 M m²), soit au total 415,9 M m². Le gisement brut, sur la totalité de ce parc, sur la base de 10 W/m², s'élève à **4,2 GW**.

Si on suppose que seule la moitié des économies est mise en œuvre et que seule la moitié des bâtiments se lance dans cette campagne de sobriété, le gisement est encore de **1,0 GW**.

Cette économie a lieu pendant les heures d'inoccupation des locaux, donc pendant l'heure de pointe de 19 à 20h. Son avantage majeur est de pouvoir être mise en place immédiatement par des envois de courrier aux chefs d'entreprises et d'établissements, et par des spots dans les médias sensibilisant les usagers qui, par effet induit, mettront aussi en œuvre ces principes chez eux.