

Comment évoluera la consommation électrique vers une France bas carbone ?

 Temps de lecture : 6 min

Voici ce que va couvrir ce décryptage

En quoi le système électrique sera-t-il au cœur de la décarbonation française ?	1
Quelle va-t-être l'évolution du volume d'électricité consommé en France ?	2
Quels seront les grands déterminants de cette évolution ? A quels choix politiques sera-t-elle liée ?	3
Quels sont les grands déterminants de l'évolution côté consommation ?	3
Quels ordres de grandeur pour différents choix politique ?	4
Comment le choix du mix électrique influe sur l'évolution de la consommation d'électricité	5
Comment le déploiement des puits de carbone technologiques influe sur la consommation électrique	5

Voici ce que vous saurez après avoir lu ce décryptage

En 2020, tous les secteurs d'activité restent majoritairement dépendants des énergies fossiles en France : à plus de 90 % pour les **transports**, et de 40 à 55 % dans le **résidentiel**, le **tertiaire** et l'**industrie**.

Les options de décarbonation explorées sont associées à une hausse de la consommation électrique dans presque tous les scénarios. La consommation électrique augmenterait entre **10 et 75%** d'ici 2050 par rapport à 2022 dans tous les scénarios.

L'électrification se produit dans tous les **secteurs économiques majeurs** (transport, bâtiment, industrie) et pour la **production d'hydrogène** par électrolyse dans des proportions plus ou moins importantes.

Bien que des gains d'efficacité énergétique soient faits dans tous les scénarios, ils ne **compensent que partiellement la croissance** de la consommation.

Côté demande, politiques de sobriété, politiques industrielles, électrification des équipements et niveau de production d'hydrogène bas carbone sont les facteurs déterminants du niveau de consommation d'électricité en 2050.

Côté offre, une forte proportion de renouvelables peut également contribuer à la hausse de la consommation, pour l'équilibrage technique du système électrique.

Les procédés de **captation et stockage de carbone peuvent contribuer à une hausse sensible de la consommation d'électricité.** Ils sont appelés pour compenser la consommation d'énergie fossile dans les scénarios à forte croissance des demandes énergétiques qui mène à un manque de ressource décarbonées pour y répondre.

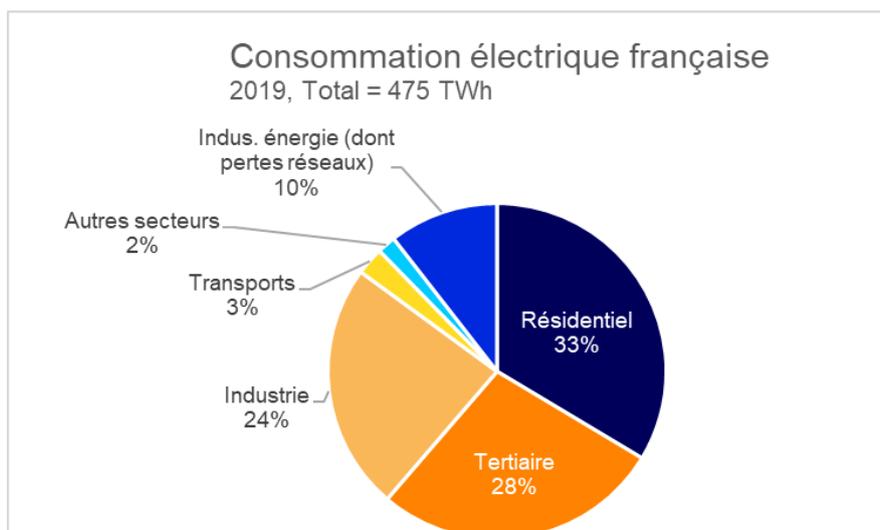
La consommation électrique dépendra de différents paramètres qui sont dépendants d'une cohérence d'ensemble. Les scénarios conduisent donc logiquement à des niveaux de consommation électrique globale assez différenciés, qui dépendent de choix politiques, économiques et sociaux explorés selon les différents secteurs dans les fiches associées : [bâtiments](#), [transports](#), [industrie](#), [hydrogène](#).

En quoi le système électrique sera-t-il au cœur de la décarbonation française ?

En 2020, les usages de l'électricité sont concentrés dans le logement, les locaux professionnels (bureaux, commerces, stades, bâtiments scolaires, *data centers*, etc.), et dans l'industrie.

Dans les bâtiments (résidentiel et tertiaire), l'électricité alimente notamment chauffage, électroménager, éclairage et numérique.

Dans l'industrie, l'électricité sert notamment à comprimer de l'air, générer du froid, pomper des gaz et des liquides, ventiler, déplacer des charges et transporter, le tout en grande partie grâce à des moteurs électriques.



Le graphique montre que la consommation électrique française en 2019 (475 TWh) est dominée par les secteurs résidentiel, tertiaire, et industriel qui représentent à eux trois 85% de la consommation électrique française. L'industrie de l'énergie (incluant les pertes de réseau) représente 10%, tandis que les transports sont minoritaires aujourd'hui.

L'ensemble des grands secteurs d'activité français sont encore majoritairement dépendants des énergies fossiles : à plus de 90 % dans les transports, et à 40 à 55 % dans le résidentiel, le tertiaire et l'industrie.

Pour se décarboner, l'électrification des équipements énergétiques qui consomment aujourd'hui de l'énergie fossile (voiture, chauffage, four industriel) est un levier clé envisagé pour tous les grands secteurs d'activités dans tous les scénarios.

D'autres leviers structurels jouant sur le niveau global de demande peuvent se combiner au levier technique direct de l'électrification : évolution de la consommation en services

énergétiques et en bien manufacturés ; **évolution de l'efficacité** des machines et équipements ; désindustrialisation ou réindustrialisation ; production d'hydrogène.

Chacune de ces évolutions vont avoir des répercussions sur le niveau global de consommation électrique des activités françaises d'ici 2050, et sont explorées différentes façons par les scénarios comme nous le verrons dans la suite.

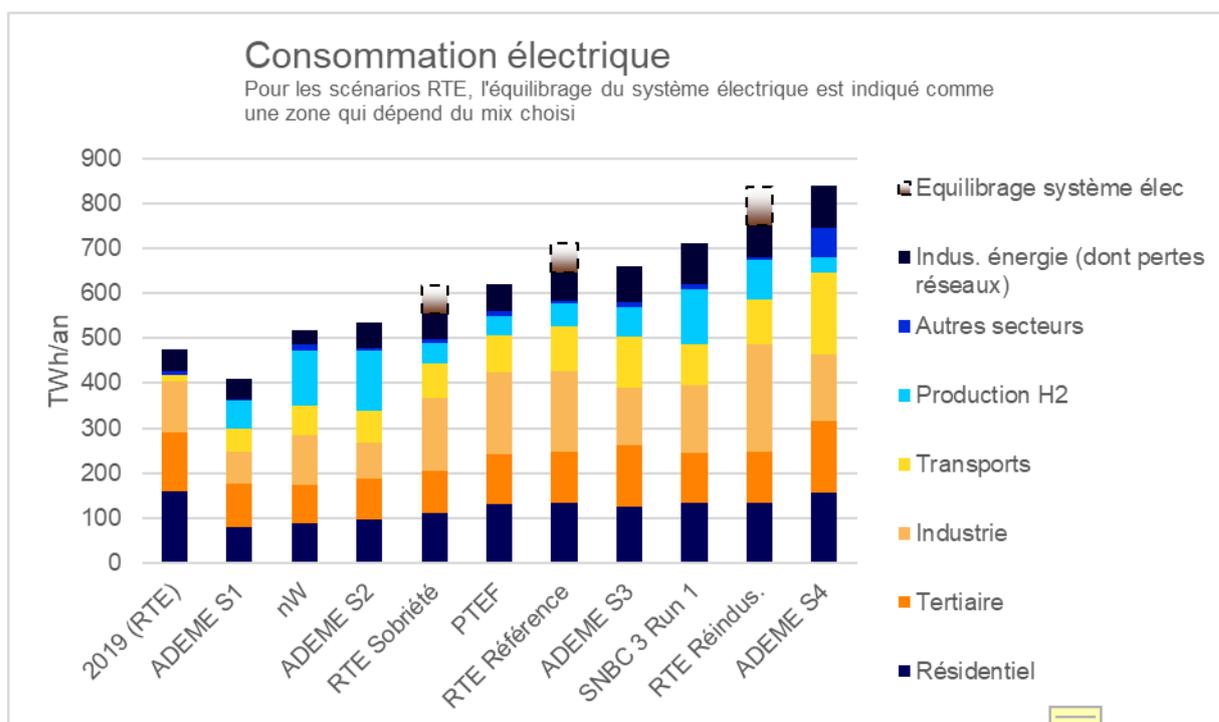
Quelle va-t-être l'évolution du volume d'électricité consommé en France ?

La consommation électrique augmente dans tous les scénarios (**sauf un**), et atteint entre 520 et 840 TWh en 2050 (contre 475 TWh aujourd'hui).

Certains facteurs explicatifs de cette croissance de la consommation électrique sont communs à tous les scénarios : **l'électrification** et la **production hydrogène**.

- **L'électrification** lorsque l'électricité est produite par des sources bas carbone est un levier potentiel de décarbonation, présent dans tous les secteurs majeurs (transports, résidentiel, tertiaire et industrie) ;
- La **production d'hydrogène**, essentiellement pour **alimenter certaines industries**, pour **équilibrer le système électrique** (dans les scénarios à forte pénétration de renouvelables), et dans certains scénarios pour alimenter les transports lourds, que ce soit sous forme d'hydrogène directement ou de combustibles de synthèse fabriqués à partir de cet hydrogène).

Ces effets haussiers ne sont que partiellement compensés par l'efficacité énergétique, poussée dans tous les scénarios. Essentiellement via la rénovation thermique des bâtiments, le déploiement des pompes à chaleur, des équipements domestiques et industriels plus efficaces.



Quels seront les grands déterminants de cette évolution ? A quels choix politiques sera-t-elle liée ?

Quels sont les grands déterminants de l'évolution côté consommation ?

La grande variabilité entre les consommations électrique des scénarios reflète des différences marquées dans les orientations socio-politico-économiques.

Tous les scénarios assurent cependant une **cohérence d'ensemble** : on y retrouve une adéquation entre consommation d'énergie et ressources mobilisées (électricité bas carbone, biomasse, importations).

Les principales orientations dimensionnant le système électrique sont la sobriété, les politiques industrielles, l'électrification et la demande d'hydrogène.

- La **sobriété** conduit à des réductions de consommation de services énergétiques et de biens (qui requièrent eux-mêmes de l'énergie pour leur production) par les individus.

Dans certains scénarios elle est plus ou moins facilitée et accompagnée et participe à une réduction de la consommation d'électricité.

Dans d'autres scénarios, les modes de vie évoluent peu par rapport à aujourd'hui.

Enfin, dans le scénario S4 de l'ADEME, la consommation de biens et de service est orientée à la hausse. Elle nécessite une croissance des besoins en énergie, et notamment en électricité.

- Les politiques industrielles en termes de désindustrialisation ou de réindustrialisation ont un effet direct sur la consommation électrique des scénarios.

Des scénarios s'inscrivent dans la tendance actuelle à la désindustrialisation : les scénarios ADEME S3 et S4 par exemple.

D'autres scénarios proposent au contraire une rupture vers la réindustrialisation, qui implique des besoins énergétiques différenciés.

- L'électrification passe par le déploiement de parcs d'équipements différents, qui consomment alors plus d'électricité, et par une logique de vase communicant, moins d'autres énergies (carburants liquides, carburants gazeux, combustibles solides ou chaleur).

Elle est plus ou moins poussée selon les scénarios : globalement forte dans le PTEF et ADEME S4, elle est plus mesurée pour ADEME S3, les scénarios RTE et négawatt.

- La demande d'hydrogène, dont tous les scénarios privilégient sa production à partir d'électricité (via le procédé d'électrolyse), bien qu'une partie puisse être importée (comme dans ADEME S3)

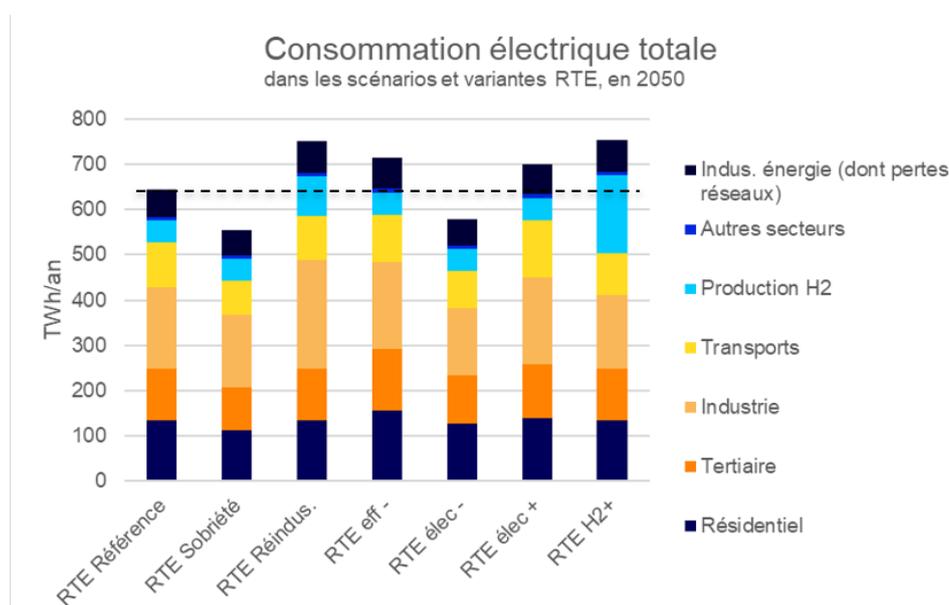
L'hydrogène est plus ou moins utilisé dans les scénarios, que ça soit dans les transports ainsi que pour accompagner l'évolution des systèmes électrique et gazier dans la transition (S1, S2, S3, nW).

Toutes ces évolutions différenciées soulèvent la question de l'adéquation avec les ressources décarbonées mobilisables d'ici 2050.

Quels ordres de grandeur pour différents choix politique ?

Les scénarios et variantes proposées par RTE illustrent des effets sur la consommation électrique d'orientations socio-politico-économiques différentes, par rapport à son scénario Référence. On peut retenir les ordres de grandeur suivants :

- **L'accompagnement et la facilitation d'une sobriété** (modérée par rapport à d'autres scénarios) mènent à une réduction de consommation d'électricité de **90 TWh**, illustré par le scénario Sobriété.
- **Une politique forte de réindustrialisation** mène à une consommation supplémentaire d'électricité de **100 TWh**, illustré par le scénario Réindustrialisation+.
- **Une politique forte de déploiement de l'hydrogène par électrolyse**, en particulier dans les transports lourds, mais aussi dans l'acier et la chaleur industrielle, mène à une consommation supplémentaire de **100 TWh**, illustré par le scénario H2+.
- **Une politique d'électrification poussée** induit **50 TWh** de consommation électrique supplémentaire, mais par vase communicant elle permet de moindres consommations d'autres énergies, illustré par le scénario élec+.
- **Une politique d'électrification moindre** induit **50 TWh** de consommation électrique en moins, mais par vase communicant elle induit des consommations supplémentaires d'autres énergies, illustré par le scénario élec-.
- **Des politiques d'efficacité énergétique défectueuses** (objectifs non atteints sur les rénovations thermiques des bâtiments, sur le déploiement des pompes à chaleur, ou sur l'efficacité des voitures électriques) mèneraient à **70 TWh** d'électricité consommée en plus, illustré par le scénario efficacité -.



Comment le choix du mix électrique influe sur l'évolution de la consommation d'électricité

Le choix du **mix électrique** induit une consommation potentielle d'énergie (notamment d'électricité) **plus ou moins grande**, notamment pour gérer les **différences de demande et d'offre d'énergie** en fonction des saisons (la **flexibilité inter-saisonnière**).

Si l'**équilage inter-saisonnier est réalisé à partir d'électricité** (idée d'infographie en bas), dû aux nombreuses pertes dans les procédés il y a des pertes de et requiert alors un supplément d'électricité.

Pour les scénarios avec un mix 100 % renouvelables cela représente environ **60 à 70 TWh** de consommation supplémentaire électrique par an.

En revanche pour les scénarios où les renouvelables représentent moins de 60 % du mix, ma consommation supplémentaire est nulle, car cette **équilage inter-saisonnier** est assuré différemment.

Comment le déploiement des puits de carbone technologiques influe sur la consommation électrique

Un déploiement massif des techniques de capture, stockage et séquestration de carbone (dites technologies CCS), induit une consommation supplémentaire d'électricité. Ces techniques qui servent à compenser la consommation d'énergies fossiles sur le territoire ont besoin d'électricité pour capturer du carbone.

Pour les scénarios qui les **envisagent massivement**, comme ADEME S4, les technologies de capture et stockage du carbone mènent à une **consommation supplémentaire sensible** de 60 TWh.

Vous souhaitez approfondir certains aspects de ce décryptage ?

C'est possible via plusieurs zooms :

[Quelle sera l'évolution de la consommation électrique dans les transports de personnes et de marchandises ?](#)

[Quelle sera l'évolution de la consommation électrique dans les logements et les bâtiments tertiaires ?](#)

[Quelle sera l'évolution de la consommation électrique dans l'industrie ?](#)

[Quelle seront les évolutions des pratiques de consommation d'électricité pour équilibrer la production et la consommation ?](#)

Vous souhaitez plus de contexte sur ce sujet ?

C'est possible en poursuivant votre navigation vers d'autres décryptages :

[Quelle sera l'évolution du système énergétique français ?](#)

[Comment évoluera la part de l'hydrogène dans le système énergétique français ?](#)

Combien d'électricité pourraient consommer les transports de demain ?

 Temps de lecture : XX min

Voici ce que va couvrir ce décryptage

L'électrification des transports est-elle un enjeu pour le système électrique français ?	7
Quelle évolution de la consommation électrique des transports au cours de la transition ?	7
La consommation électrique de la mobilité.....	8
La consommation électrique du transport de marchandises	9

Voici ce que vous saurez après avoir lu ce décryptage :

La part de l'électricité est marginale dans l'alimentation énergétique des transports aujourd'hui en France. Les carburants fossiles (diesel, essence) en représentent plus de 90%. Or ces derniers seront difficilement remplaçables à la bonne échelle par d'autres carburants liquides et décarbonés.

L'électrification des véhicules fait partie des options privilégiées de décarbonation. Cela pose deux enjeux pour le système électrique français :

- La hausse de la consommation électrique due à l'électrification massive des voitures,
- Une incertitude sur le niveau de hausse, qui repose sur l'éventualité de l'électrification du transport de marchandises et principalement de l'électrification des camions.

La consommation électrique des transports devrait très fortement augmenter, de 4 à 40 fois plus qu'aujourd'hui, selon les scénarios.

Cette hausse provient de deux catégories de besoin : les besoins pour le transport de personnes et les besoins en transports de marchandises.

Pour le transport de personnes, tous les scénarios proposent une électrification massive des voitures. Les différences de consommation entre les scénarios proviennent des volumes de transport, qui sont différents. Ces volumes de transport sont cohérents des modes de vie imaginés dans chaque scénario.

Pour le transport de marchandises, la différenciation entre les scénarios s'explique majoritairement par le niveau d'électrification des poids-lourds, mais aussi par l'évolution des besoins en transport de marchandises envisagés. Ces besoins sont cohérents des volumes

de marchandises à transporter et de la longueur des chaînes logistiques, eux-mêmes cohérents des transformations générales de l'économie.

Ces écarts reflètent des orientations socio-politico-économiques différentes. Ils induisent des exigences et des risques différenciés sur la capacité du système électrique à alimenter les transports de demain.

L'électrification des transports est-elle un enjeu pour le système électrique français ?

L'électricité est marginale dans l'énergie qui alimente les transports aujourd'hui en France : elle ne représente que 2 % de l'énergie des transports (ces 2 % étant essentiellement dans le ferroviaire), quand les carburants fossiles en représentent plus de 90 %.

Or ces derniers seront difficilement remplaçables à la bonne échelle par des substituts bas carbone qui seraient de même forme, des carburants liquides, tout en étant décarbonés.

La décarbonation des transports de personnes (également désigné sous le terme de mobilité) et des transports de marchandises passe par un ensemble de transformations possibles, qui peuvent mener à une évolution de la consommation électrique de ces secteurs.

Les transformations jouant le plus sur la consommation électrique future, sont l'évolution du volume global de transport et l'électrification des véhicules.

L'éventualité d'une électrification massive des voitures constitue un véritable enjeu pour le système électrique, de par l'augmentation sensible de consommation électrique qu'elle induirait.

La possible électrification des camions constitue une incertitude significative sur la consommation globale d'électricité.

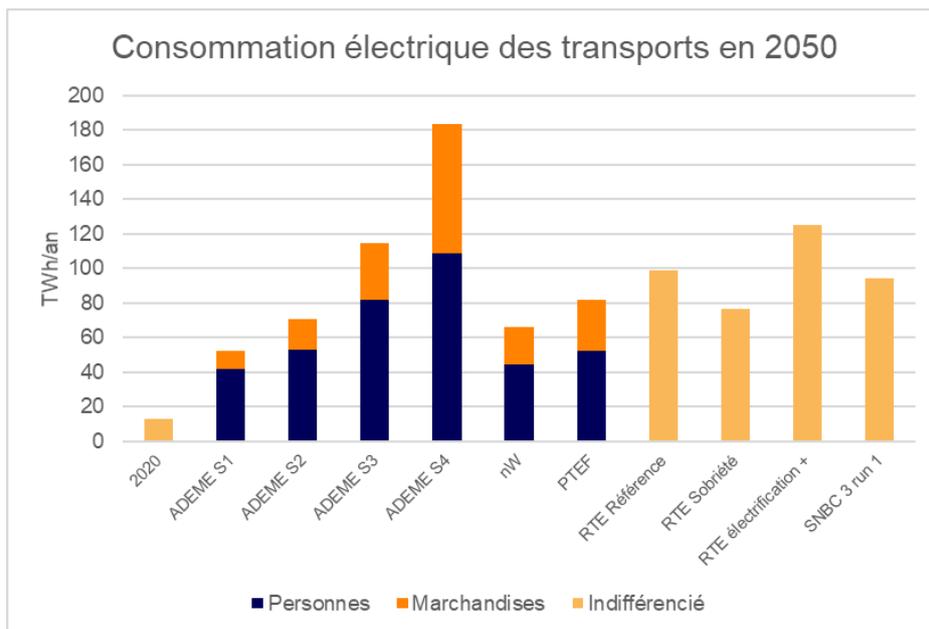
L'électrification directe de l'avion de ligne ne sera pas mature à l'horizon 2050. Elle n'est pas proposée par les scénarios.

L'électrification du train de marchandises, déjà large, ne pose pas d'enjeu particulier pour le système électrique.

Quelle évolution de la consommation électrique des transports au cours de la transition ?

La consommation électrique des transports devrait très fortement augmenter selon tous les scénarios. D'environ 13 TWh aujourd'hui, elle atteindrait entre 50 et 180 TWh en 2050.

L'augmentation envisagée dans les différents scénarios s'explique essentiellement par les volumes de transport et par le niveau d'électrification des véhicules.



La consommation électrique de la mobilité

La consommation électrique pour assurer la mobilité des personnes en 2050 se situe pour l'ensemble des scénarios entre 40 TWh et 110 TWh.

Son évolution s'explique principalement par :

- La place de l'électricité dans le mix énergétique de la mobilité. Les scénarios sont relativement homogènes, et la part de l'électricité représente ainsi 45 à 50% du mix énergétique en 2050 pour alimenter la grande majorité des voitures, des trains et une partie des bus urbains. Le reste (dont les avions), est couvert par les carburants liquides, les carburants gazeux (méthane), et l'hydrogène.

Ce relatif consensus émerge de la structure de notre mobilité, dominée par la voiture et son électrification massive consensuelle, de considérations sur les possibilités technologiques pour chaque type de véhicule et pour différents types d'usage, (par exemple, voiture sur courte ou longue distance, trains sur courte ou longue distance) et sur la disponibilité des ressources énergétiques, qui doivent également alimenter d'autres usages comme le logement, l'industrie, l'agriculture.

Seul le PTEF sort de cette fourchette : l'électricité y représente 60% du mix énergétique de la mobilité des personnes, par une électrification maximale de tous les modes routiers (voitures, utilitaires, bus, autocars) et une électrification totale des trains, faisant de ce scénario un seuil haut en termes d'électrification de la mobilité des personnes. Ce scénario proposant par ailleurs des évolutions importantes dans les pratiques de mobilité, il aboutit à une consommation électrique dans la fourchette basse.

- Des pratiques de mobilité différenciées qui expliquent principalement les écarts entre les scénarios, les hypothèses sur les technologies de véhicules restant relativement proches.

Les scénarios proposant des évolutions importantes dans les pratiques de mobilité vers la sobriété aboutissent à des consommations d'électricité dans une fourchette basse entre 40 et 55 TWh.

Les scénarios proposant une continuité des pratiques, voire une augmentation de la mobilité, des vitesses, et du confort mènent à des consommations environ deux fois plus élevées entre 80 et 110 TWh.

Tous les scénarios s'accordent sur une croissance de la consommation électrique due principalement à une électrification de la voiture.

Les différences de demande d'électricité se feront principalement selon les orientations politiques, économiques et sociales qui guideront une évolution des pratiques de mobilité soit vers une rupture des pratiques actuelles avec une réduction des distances parcourues et des choix de modes différents, soit vers des pratiques de continuité des déplacements.

La consommation électrique du transport de marchandises

La consommation électrique pour assurer le transport des marchandises en 2050 se situe entre 15 TWh et 75 TWh.

Il y a une grande disparité entre les scénarios qui témoigne d'un grand nombre de possibilités jugées physiquement réalistes.

Son évolution dépend principalement de deux facteurs :

- L'évolution du volume global de transport de marchandises qui découle des transformations par ailleurs dans l'économie, en particulier dans l'agriculture, l'agro-alimentaire, la grande distribution et l'industrie.

Plus le besoin est réduit, moins de tonnes sont transportées, sur des distances plus courtes, plus l'énergie nécessaire est faible, que ce soit de l'électricité ou d'autres formes d'énergie.

Les scénarios illustrent la diversité des futurs possibles sur l'évolution du volume de transport d'ici 2050.

Certains scénarios proposent une baisse des volumes transportés, qui passe par des circuits alimentaires de proximité, réduction du gaspillage, réduction de la construction de nouveaux bâtiments, baisse de la consommation de biens manufacturés. C'est le cas de l'ADEME S1 qui envisage ainsi une forte baisse de -45% de volume.

D'autres proposent une hausse des volumes transportés, qui passe par une croissance économique soutenue, France au cœur de la mondialisation, e-commerce généralisé. C'est le cas de l'ADEME S4 qui envisage ainsi une forte hausse de 35% de volume.

- La part de l'électricité dans l'énergie utilisée pour le transport de marchandises, pour faire avancer les véhicules routiers (utilitaires, poids-lourds), les trains et bateaux. Celle-ci est très variable d'un scénario à l'autre. Plus la part de l'électricité est grande, plus les besoins en électricité sont grands.

L'évolution de cette part dépend principalement des énergies privilégiées pour alimenter les véhicules routiers (utilitaires, camions), parmi les carburants liquides, méthane, hydrogène, et/ou électricité.

Cette évolution est mise cohérence dans les scénarios avec le déploiement des véhicules appropriés et des réseaux de distribution des différentes énergies, et en tenant compte de la disponibilité de chacune de ces énergies.

Les scénarios qui privilégient les carburants liquides et le méthane issus de la biomasse, complétés par des carburants fossiles représentent donc un seuil bas de consommation électrique pour le transport de marchandises. C'est le cas du scénario [ADEME S1](#).

A contrario, les scénarios qui privilégient l'électrification conséquente, avec un transport routier entièrement électrifié, et seul le fluvial et une part minoritaire du ferroviaire non électrifiés, représentent un seuil haut de consommation électrique pour le transport de marchandise. C'est le cas du scénario [ADEME S4](#) et du [PTEF](#).

Le système électrique devra s'adapter à ces différentes évolutions très contrastées quant au niveau de consommation d'électricité du secteur des transports, avec un rapport de 1 à 4 entre les différents scénarios.

Le niveau de consommation dépendra :

- **Des orientations politiques** : interdiction des véhicules thermiques, incitations fiscales,
- **De paramètres économiques** : l'évolution du prix des carburants et du prix des véhicules électriques
- **Du comportement des utilisateurs** : appétence ou rejet des véhicules électriques.

Vous souhaitez approfondir certains aspects de ce décryptage ?

C'est possible via plusieurs zooms :

Vous souhaitez plus de contexte sur ce sujet ?

C'est possible en poursuivant votre navigation vers d'autres décryptages :

[Quelle sera l'évolution du système énergétique français ?](#)

[Comment évoluera la part de l'hydrogène dans le système énergétique français ?](#)

Quelle consommation électrique des bâtiments ?

 Temps de lecture : **XX** min

Voici ce que va couvrir ce décryptage

Quels enjeux pour le système électrique au cours de la décarbonation du bâtiment ?	12
Quelles consommations électriques du bâtiment en 2050 ?	12
Quelles sont les usages de l'électricité dans le bâtiment ?	13
Quelles incertitudes sur les usages de l'électricité dans le bâtiment ?	14

Voici ce que vous saurez après avoir lu ce décryptage :

L'électricité représente aujourd'hui **40%** de l'énergie consommée par les bâtiments. La moitié de cette énergie est encore d'origine fossile (essentiellement pour le chauffage au gaz et au fioul).

La décarbonation des bâtiments et les possibles évolutions des modes de vie devraient impacter leur consommation d'électricité.

La consommation électrique du bâtiment en 2050 varie significativement entre les scénarios, qui estiment entre un **maintien du niveau actuel et une division par deux de la consommation actuelle**. Cette consommation se répartit équitablement entre les secteurs résidentiel et tertiaire.

Cette baisse globale est associée à la **rénovation thermique** des bâtiments et à l'amélioration de l'**efficacité des équipements**, et malgré une **électrification massive** des usages.

Au-delà de la baisse de consommation envisagée par les scénarios, **des incertitudes clés, se profilent pour le système électrique** : les éventuelles **évolutions des modes de vie**, le **niveau de rénovation thermique** et **d'électrification des chauffages**, l'éventuelle **montée en puissance de la consommation d'usages numériques** via la croissance des *data centers*.

Ces incertitudes reflètent un éventail de futurs possibles, chacun associé à différents avantages, inconvénients et risques, en particulier en lien avec la disponibilité des ressources nécessaires pour assurer un niveau de confort donné, tout en atteignant une forte décarbonation de la société française.

Les besoins de ventilation/ climatisation, certes en hausse avec le changement climatique, aboutissent à une consommation modérée d'électricité en 2050.

Quels enjeux pour le système électrique au cours de la décarbonation du bâtiment ?

L'électricité alimente aujourd'hui une part significative des services énergétiques que nous rendent les bâtiments et tous leurs équipements. Elle représente environ 35% de la consommation d'énergie des logements et 55% de la consommation d'énergie des bâtiments tertiaires. Ce sont 162 TWh de consommation électrique pour le résidentiel et 137 TWh pour le tertiaire.

Cette consommation électrique du bâtiment (c'est-à-dire, des secteurs résidentiel et tertiaire pris ensemble) devrait évoluer avec leur décarbonation et dépend de plusieurs facteurs.

Le principal enjeu pour la décarbonation du secteur résidentiel concerne le chauffage, qui génère à lui seul 82 % de ses émissions directes de gaz à effet de serre. Le chauffage résidentiel étant majoritairement alimenté par les combustibles fossiles.

Les deux leviers proposés par la puissance publique consistent à :

- Réduire le besoin de chauffage par un effort de rénovation thermique des logements,
- Décarboner, en particulier par l'utilisation de pompes à chaleur électriques.

Le chauffage est donc un important facteur de l'évolution de la consommation électrique à travers les pompes à chaleur. Cela génère une incertitude pour le système électrique : si la rénovation thermique n'atteignait pas les objectifs fixés, le système électrique devrait alors compenser par une production d'électricité plus grande.

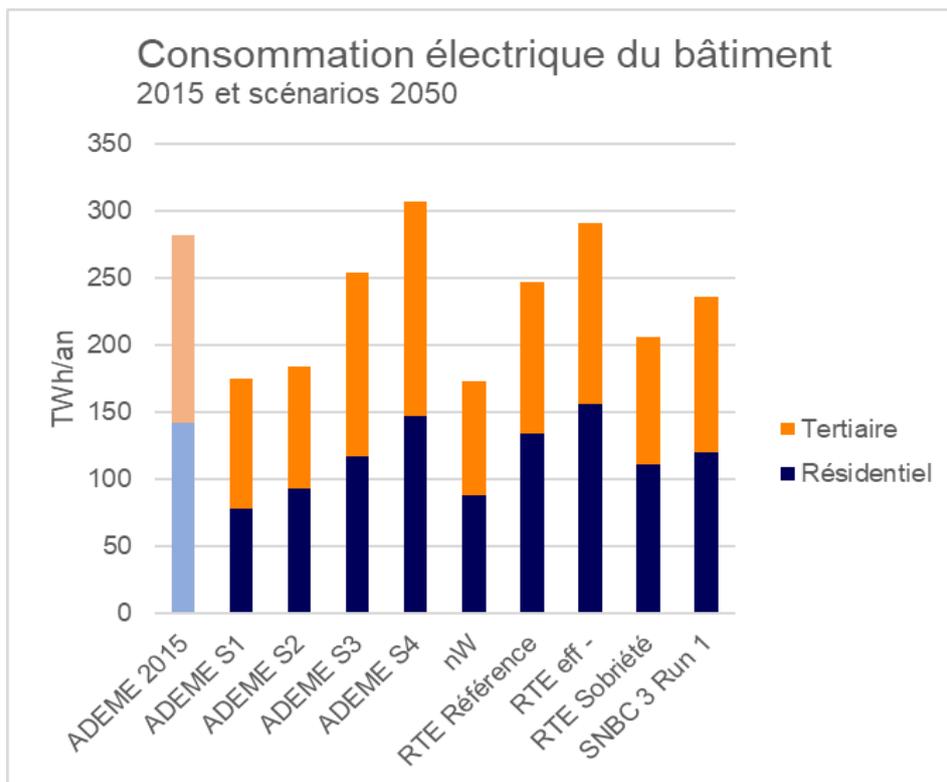
Deux autres enjeux à l'évolution de la consommation électrique dans le bâtiment sont relevés par RTE :

- L'augmentation potentielle des besoins en ventilation/ climatisation,
- Les progrès tendanciels de consommation électrique unitaire.

Les enjeux sont sensiblement les mêmes côté bâtiment tertiaire, avec environ 40 % de l'énergie provenant de sources fossiles. Il faut ajouter à ces enjeux l'incertitude sur la croissance de la consommation des centres de données (data centers).

Quelles consommations électriques du bâtiment en 2050 ?

La consommation électrique du bâtiment devrait se situer entre 160 et 300 TWh (pour 280 TWh aujourd'hui). Ce sont entre 80 et 140 TWh pour le logement, et entre 80 et 160 TWh pour le bâtiment tertiaire.



Quelles sont les usages de l'électricité dans le bâtiment ?

En 2050, un talon « incompressible » de consommation est observé, côté résidentiel comme côté tertiaire. Il se compose de la consommation électrique pour ces différents usages :

- **Chauffage**

Le chauffage est plus électrifié qu'aujourd'hui dans tous les scénarios, sauf dans le scénario de l'[ADEME S3](#), qui mobilise majoritairement de la biomasse – biogaz, bois et chaleur urbaine produite essentiellement à partir de biomasse.

Cette électrification conduit paradoxalement à des consommations électriques, pour le chauffage, **inférieures aux consommations actuelles** grâce à un système global bien plus efficient. Elle se fait essentiellement par l'installation de **pompes à chaleur bien plus efficaces** que les chauffages électriques classiques, dans un contexte de meilleure **isolation thermique** des bâtiments.

Il faudra toutefois prendre garde à un éventuel "effet rebond", qui consiste pour un consommateur ayant procédé à une rénovation thermique de son logement à en augmenter la température pour plus de confort.

- **Usages spécifiques**

Par l'amélioration progressive de l'efficacité des équipements (ampoule LED, électroménagers, ...), ce talon est inférieur à la consommation actuelle.

- **La climatisation**

La climatisation générera une consommation modérée, dans le tertiaire principalement ;

- **Et les data centers** (propre aux secteurs tertiaire)

Quelles incertitudes sur les usages de l'électricité dans le bâtiment ?

Une **forte variabilité existe entre les scénarios**. Elle reflète un **éventail de futurs possibles, chacun associé à différents avantages, inconvénients et risques**, en particulier en lien avec la disponibilité des ressources nécessaires pour assurer un niveau de confort donné, tout en atteignant une forte décarbonation de la société française.

Cette variabilité provient des propositions contrastées entre les différents scénarios :

- **Chauffage**

La première incertitude est celle d'une rénovation thermique moyenne qui pourrait être moins importante qu'espérée menant à une **plus forte consommation pour le chauffage**, note RTE.

La seconde porte sur la quantité de systèmes de chauffage qui seront électriques d'ici 2050, allant de 30 % à 60 % en fonction des scénarios. Cela joue par vase communicant sur la consommation de biomasse, les autres technologies utilisant du bois ou du biogaz.

- **Usage spécifique**

Une large plage de niveaux d'usage est balayée, allant de :

- **Efforts importants de sobriété** : moins d'équipements, utilisés de façons énergétiquement optimale, que cela soit à la maison ou au travail
- **Mode de vie « à l'américaine »** : plus d'équipements, pilotés numériquement ; **des surfaces qui s'agrandissent**, locaux de travail plus spacieux, intégrant plus de services et de confort.

Les gains de confort et de service se paient alors en électricité consommée supplémentaire : l'écart est de **25 à 50 TWh** entre **les scénarios les plus sobres** et **les scénarios qui régulent le moins la croissance** de ces usages.

- **Data centers**

Des hypothèses contrastées sur le développement de data centers sur le territoire, en lien direct avec les hypothèses d'usages numériques plus ou moins sobres, et alors que l'efficacité des data centers s'améliore dans tous les scénarios.

La consommation électrique croit donc avec les usages numériques, menant à des écarts de consommation de **20-30 TWh** entre les **scénarios sobres en numérique** et les **scénarios qui ne régulent pas ou peu sa croissance**.

Les variabilités quant au niveau de demande (modes de vie, niveau de rénovation thermique atteint, usages numériques) constitue un enjeu pour toutes les énergies concernées par cette demande, puisqu'elle pose la question de la capacité à produire ces énergies d'ici 2050.

La variabilité quant au niveau d'électrification (ici, l'électrification du chauffage) constitue un enjeu de vase communicant des consommations d'énergie entre plusieurs sources d'énergie (en l'occurrence, les sources électriques et la biomasse).

Vous souhaitez plus de contexte sur ce sujet ?

C'est possible en poursuivant votre navigation vers d'autres décryptages :

[Comment évoluera la consommation électrique vers une France bas carbone ?](#)

[Quelle sera l'évolution du système énergétique français ?](#)

[Comment évoluera la part de l'hydrogène dans le système énergétique français ?](#)

Quelle consommation électrique de l'industrie ?

 Temps de lecture : XX min

Voici ce que va couvrir ce décryptage

Quels enjeux pour le système électrique au cours de la décarbonation de l'industrie ?	17
Quelle consommation électrique d'une industrie décarbonée en 2050 et de quoi dépend-elle ?	17
Quelle consommation électrique de l'industrie en 2050 ?	17
De quoi dépend cette évolution ?	18
Quel seront les grands déterminant de la trajectoire ?	19

Voici ce que vous saurez après avoir lu ce décryptage

L'électricité représente aujourd'hui 30% de l'alimentation énergétique de l'industrie française contre 55 % pour les sources d'énergie fossiles (pétrole, gaz et charbon).

Les différentes options de décarbonation de l'industrie, vont impacter sa consommation d'électricité.

D'une part, des leviers vont jouer sur la consommation globale d'énergie de l'industrie : l'évolution des modes de vie et des habitudes de consommation, la possibilité d'une réindustrialisation, les différents gains en efficacité énergétique des procédés industriels et enfin le recyclage.

D'autre part, des leviers vont jouer sur la part de l'électricité dans l'énergie consommée, avec les possibilités d'électrification qui amène de l'efficacité et une source d'énergie bas carbone.

La consommation électrique pour l'industrie française en 2050 est très contrastée selon les scénarios et les leviers actionnés, allant de -40% à +200% par rapport à aujourd'hui.

Les écarts importants entre scénarios reflètent des décisions politiques-économique de rupture ou de continuité :

- **Orientations industrielles stratégiques** : continuité des mécanismes de désindustrialisation, ou rupture vers une réindustrialisation.
- **Évolutions contrastées des usages des Français** : continuité dans l'accompagnement des modes de vie vers plus de consommation ou rupture vers un accompagnement à la sobriété.
- **Niveaux d'électrification** : avec un rythme d'électrification tendanciel, ou accéléré.

Quels enjeux pour le système électrique au cours de la décarbonation de l'industrie ?

L'électricité représente aujourd'hui 30% de l'alimentation énergétique de l'industrie française contre 55 % pour les sources fossiles. Ce sont ainsi 115 TWh d'électricité qui sont consommés par l'industrie soit environ le quart de la consommation électrique totale française.

Un certain nombre d'enjeux pour l'évolution de l'industrie sont posés par les scénarios, liés plus ou moins directement à l'objectif de décarbonation :

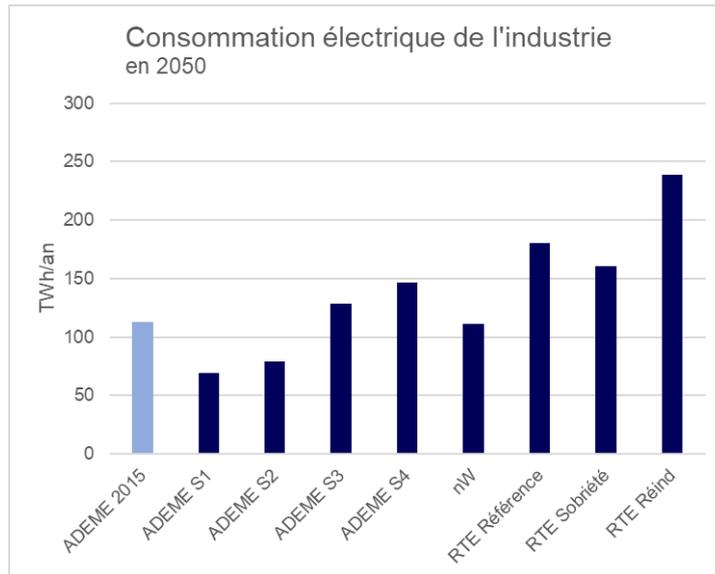
- L'évolution de la demande intérieure pour l'industrie (en quantité et en nature de biens), en cohérence physique avec les évolutions proposées dans les autres secteurs pour décarboner la société française. Par exemple, une proposition de réduction de la construction de bâtiments neufs doit être mise en cohérence avec une réduction de la production de ciment dans l'industrie ;
- La possibilité de réindustrialisation, parfois justifiée sous l'angle de la décarbonation - l'installation sur le territoire français pour bénéficier d'une potentielle énergie décarbonée, mais aussi sous l'angle stratégique (indépendance), économique, social (emploi), culturel (made in France, rayonnement des produits décarbonés français) ;
- Les possibilités de recyclage, permettant une baisse de la consommation d'énergie et donc une décarbonation facilitée de la production de matières premières ;
- Les possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés industriels (amélioration des moteurs électriques, meilleure récupération de la chaleur) ;
- Les possibilités de décarbonation des procédés industriels et de la chaleur industrielle.

Chacun de ces enjeux, qu'il joue sur la consommation d'énergie de l'industrie ou sur la part de l'électricité dans cette énergie, peut impacter le système électrique.

Quelle consommation électrique d'une industrie décarbonée en 2050 et de quoi dépend-elle ?

Quelle consommation électrique de l'industrie en 2050 ?

Des scénarios très contrastés : les différents scénarios imaginent des consommations électriques pour l'industrie française de demain allant de 70 à 240 TWh (pour 115 TWh aujourd'hui). Les scénarios RTE, y compris le scénario Sobriété, aboutissent à des consommations électriques de l'industrie plus élevées (supérieures à 160 TWh) que celles de tous les autres scénarios (ADEME et négaWatt, dont les consommations sont comprises entre 70 et 150 TWh).



De quoi dépend cette évolution ?

Les facteurs clés qui peuvent expliquer cette variabilité et dont les orientations définissent un niveau de demande sont :

- **Le niveau de production industrielle en France**, qui requiert une certaine quantité d'énergie.
- **Le niveau d'électrification** des procédés industriels et de la chaleur industrielle.
- **Le recyclage des matériaux et l'efficacité énergétique** des machines. Ils sont globalement proposés à des niveaux similaires entre les différents scénarios et restent assez peu différenciants.

⇒ **Le niveau de production industrielle** résulte d'hypothèses sur les modes de consommation des français et d'hypothèses sur le degré d'industrialisation de la France.

Certains imaginent une baisse drastique de la consommation intérieure mais une **relative relocalisation** de la production (préférence pour le « made in France », stratégie d'exportation), c'est le cas des scénarios ADEME S1 et ADEME S2.

Dans la même dynamique, le scénario négaWatt propose une **baisse drastique** de la consommation et une **politique forte de production sur le sol français**.

D'autres imaginent une consommation intérieure en légère baisse ou stabilisée, mais une tendance à la **désindustrialisation** qui se prolonge, c'est le cas des scénarios ADEME S3 et ADEME S4.

Enfin certains proposent une augmentation sensible du niveau d'industrialisation dans toutes les branches industrielles, plus marquée pour les industries stratégiques et celles contribuant à la transition énergétique (produits électriques et électroniques, pharmacie, industrie agroalimentaire...), c'est le cas des scénarios de RTE.

Un scénario pousse cette dynamique au maximum, le scénario « Réindustrialisation profonde » de RTE vise à « explorer les implications d'une reconquête industrielle assise sur une électricité compétitive et bas-carbone ». Il implique une progression importante de l'activité industrielle fondée « sur un investissement spécifique sur les secteurs

stratégiques, ainsi que sur la relocalisation de certaines productions fortement exposées à la concurrence internationale et dont la fabrication à l'étranger est particulièrement intensive en carbone ». Cette configuration requiert environ 60 TWh d'électricité en plus que dans le scénario Référence (et 50 TWh de combustibles en plus, qui pourraient venir de la biomasse ou de l'hydrogène par électrolyse).

⇒ **L'électrification des procédés et de la chaleur industriels** se fait à minima de manière tendancielle, mais s'accélère dans la plupart des scénarios.

Soit les scénarios font le choix de l'électricité comme vecteur énergétique et proposent une accélération de l'électrification des procédés et de la chaleur industriels : c'est le cas pour les scénarios ADEME S3 et ADEME S4, négaWatt, et RTE.

Soit ils proposent un usage important de la biomasse dans la décarbonation de l'industrie (accompagné par une électrification qui reste tendancielle) : c'est la proposition notamment des scénarios ADEME S1 et ADEME S2.

Quel seront les grands déterminant de la trajectoire ?

Les écarts importants entre les scénarios reflètent leurs orientations socio-politico-économiques très contrastées, de rupture ou de continuité. Ces orientations résulteront de choix des industriels et de comportement des consommateurs qui dépendront en partie de décisions politiques.

⇒ **Pour le niveau de production industrielle**, les scénarios proposent une option tendancielle où la désindustrialisation se poursuivrait, ou une option de rupture dans laquelle les décisions politiques (normes environnementales, politiques fiscale et douanière ...), industrielles (réduction du risque de dépendance à d'autres sources d'approvisionnement) et économiques (prix de l'énergie compétitif) conduiraient à une réindustrialisation plus ou moins profonde.

Concernant les comportements des consommateurs, les scénarios proposent une palette des possibles, entre la continuité des modes de vie "consommateurs" et une appétence forte à la sobriété et aux circuits courts. Ces comportements pourront jouer sur le niveau d'industrialisation du pays.

⇒ **Pour le niveau d'électrification**, le prix des énergies sera un facteur déterminant : des énergies fossiles durablement chères mèneraient à favoriser l'électrification. Un autre facteur sera la capacité du système électrique à se développer et à s'adapter. Par exemple, le développement de nouvelles lignes du réseau électrique pourrait être nécessaire pour distribuer la puissance aux sites industriels.

Il y a nécessité de cohérence entre les orientations en matière de **politique industrielle** et de **développement du système électrique**, en raison des quantités mise en jeu.

Vous souhaitez approfondir certains aspects de ce décryptage ?

C'est possible via plusieurs zooms :

Vous souhaitez plus de contexte sur ce sujet ?

C'est possible en poursuivant votre navigation vers d'autres décryptages :

[Quelle sera l'évolution du système énergétique français ?](#)

Comment évoluera la part de l'hydrogène dans le système énergétique français ?

Quelles évolutions de la flexibilité de la demande dans la transition énergétique Française ?

 Temps de lecture : XX min

Voici ce que va couvrir ce décryptage

A quel point la demande électrique est-elle flexible en France ?	2
Quelle évolution de la flexibilité de la demande dans la transition ?	2
La décarbonation favorise-t-elle la flexibilité de la demande ?	2
Quelles contraintes de développement pour la flexibilité de la demande ?	3
Comment les scénarios intègrent-ils la flexibilité de la demande ?	3
Comment accompagner le développement de la flexibilité de la demande ?	4

Voici ce que vous saurez après avoir lu ce décryptage

La flexibilité de la demande électrique renvoie à la capacité des consommateurs, qu'ils soient industriels, tertiaires ou ménages, **à ajuster leur consommation en fonction de la disponibilité de l'électricité**. Marquant ainsi un changement dans notre rapport à l'énergie et remettant en question certaines de nos habitudes énergétiques.

L'émergence de nouveaux usages électriques (véhicules électriques, pompes à chaleurs, électrolyseurs) et l'évolution du mix électrique français vers **davantage d'énergies renouvelables** variables posent de **nouveaux enjeux pour l'adaptation de la consommation à la production électrique** pour équilibrer le réseau. **Les nouveaux usages** constituent des moyens potentiels d'équilibrage, tandis que l'intégration croissante des énergies renouvelables variables génère de nouveaux besoins d'équilibrage pour le réseau.

Le développement de la flexibilité de la demande est conditionné par son appropriation par les consommateurs, par la **capacité de développement de nouvelles technologies** permettant cette flexibilité, et par le déploiement d'autres leviers de flexibilité tels que les interconnexions, les moyens de stockage d'électricité et les centrales électriques pilotables.

Tous les scénarios proposent son développement, multipliant par deux à six les niveaux de puissance effaçable selon les cas.

Cette disparité s'explique par **différents niveaux de consommation électrique** avec **différents mix de production électrique**. Les scénarios explorent différemment les implications en termes de technologies et de pratiques de consommation.

Les leviers les plus favorisés sont le pilotage de la recharge des véhicules électriques ainsi que le **pilotage des électrolyseurs** pour la production d'hydrogène. D'autres leviers sont proposés comme le pilotage du chauffage dans les bâtiments, et l'**effacement** de procédés industriels.

L'ensemble de ces leviers, y compris les technologies de flexibilité de la demande, est moins coûteux que les autres technologies de flexibilité comme le stockage ou les interconnexions.

Pour accompagner le développement des différents leviers, il sera nécessaire de mener des actions de sensibilisation et de mettre en place des incitations économiques.

A quel point la demande électrique est-elle déjà flexible en France ?

La flexibilité de la demande électrique renvoie à la capacité des consommateurs, qu'ils soient industriels, tertiaires ou ménages, à ajuster leur consommation en fonction de la disponibilité de l'électricité.

Elle se traduit concrètement par des actions telles que le décalage de la charge d'un véhicule électrique ou le report de l'utilisation d'appareils énergivores vers des moments où l'électricité est plus abondante (et donc moins coûteuse), ou encore par la réduction temporaire de la consommation (« effacement ») lors des pics de demande.

Ces actions peuvent être motivées par des incitations tarifaires, pilotées par un acteur tiers, voire automatisées par des technologies dites intelligentes.

En France, la flexibilité de la demande est pratiquée depuis les années 1980, du côté des ménages d'abord, pour absorber la production nucléaire nocturne et lisser la pointe de consommation de 19h. Elle passe par des mécanismes tarifaires, comme le pilotage des chauffe-eau électriques via les tarifs "heures pleines/heures creuses".

Puis en 2017, un autre mécanisme de flexibilité de la demande est mis en place du côté industriel : le marché de capacité, piloté par RTE, qui incite les industriels à un effacement de leur consommation.

Ces mécanismes permettent encore aujourd'hui de déplacer une partie significative de la consommation électrique vers des périodes moins chargées, contribuant à une meilleure stabilité du réseau.

Quels enjeux pour la flexibilité de la demande ?

La décarbonation favorisera-t-elle la flexibilité de la demande ?

Dans le système électrique, l'équilibre instantané nécessaire entre la production et la consommation a été historiquement assuré par les moyens de production qui étaient majoritairement pilotables, adaptant leur production pour couvrir la demande d'électricité.

L'essor rapide de moyens de production renouvelables entraîne une variabilité accrue et nécessite un équilibrage de l'offre et de la demande qu'on appelle « flexibilité » du système électrique.

Ainsi, la flexibilité de la demande est l'un des quatre leviers clés de flexibilité du système électrique, avec les interconnexions, les moyens de stockage et les moyens de production flexibles tels que les centrales thermiques et les centrales hydraulique. Son développement dans les scénarios est donc pensé en lien, voire en complément, des autres leviers.

Le développement de **nouveaux usages de l'électricité** entraîne une croissance de la **consommation d'électricité**. Ces usages, dont la consommation est relativement flexible, pourraient se prêter à des arbitrages en fonction des tensions sur le système électrique et des besoins d'équilibrage qui y sont associés.

Ces interventions sur la consommation peuvent se traduire de différentes manières :

- **Le report de charge** : la recharge des batteries des nouveaux véhicules électriques, le chauffage de l'eau chaude sanitaire ou la **production d'hydrogène** par **électrolyse** sont des usages qui ne conduisent pas forcément à une utilisation instantanée de l'énergie, mais plutôt à son stockage pour une utilisation future. Ces usages sont facilement décalables dans le temps. Le report de charge des voitures électriques et de l'eau chaude sanitaire répond aux besoins **d'équilibrage dits « horaires »**, alors que la production d'hydrogène peut répondre jusqu'aux besoins d'équilibrage plus reparté dans le temps allant de **« l'intra-saisonniers »** à de **« l'inter-annuel »**.
- **Le potentiel d'effacement de la demande** : la notion d'effacement des industriels ou même des entreprises du tertiaire ou **des ménages** consiste à diminuer sa consommation sur des temps assez courts sans forcément la rattraper plus tard. Ce potentiel d'effacement est déjà exploité par RTE à travers le mécanisme de capacité et tend à se développer avec l'électrification des procédés.

Quels enjeux pour le déploiement des solutions de flexibilité de la demande ?

Le développement de la flexibilité de la demande dépend de plusieurs aspects : l'adoption par le consommateur, le développement **des technologies de pilotabilité** et les incitations mises en place.

- **Pour la production d'hydrogène ou les procédés industriels**, le développement de leviers de modulation de la demande dépendra essentiellement de **considérations économiques**.
- Pour la flexibilisation de certains **usages dans le résidentiel** (véhicule électrique, chauffage, eau chaude sanitaire, usages blancs...) le développement sera largement tributaire de son **adoption par les consommateurs**.

Comment les scénarios intègrent-ils la flexibilité de la demande ?

A quelle point la demande électrique sera-t-elle flexible en 2050 ?

Tous les scénarios aboutissent à une croissance de la **pilotabilité de la demande**. Passant ainsi de **5 GW** en 2020 à entre **12 et 28 GW** en 2050 de puissances moyennes effaçables.

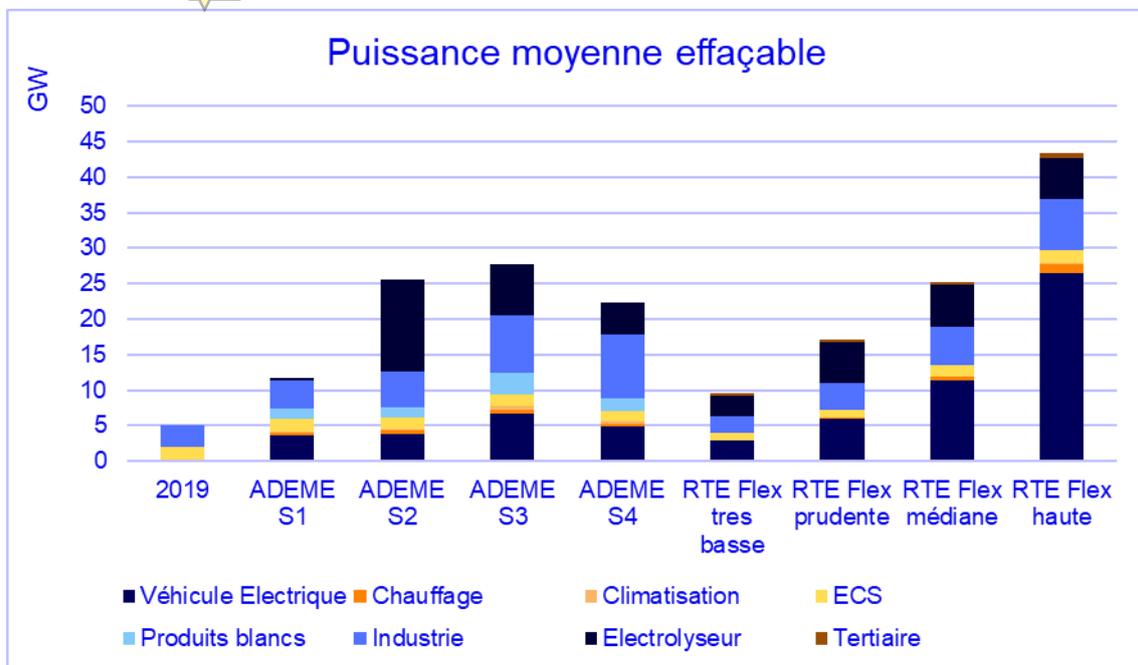
Les prospectivistes explorent la flexibilité de la demande de manières différentes. RTE explore les impacts sur le système électrique et prend une approche prudente. La puissance effaçable est fixée par RTE à **17 GW**. Cela correspond à un développement faible des

flexibilités qui pourraient toucher au confort des consommateurs, comme le report de charge des systèmes de chauffage, afin de réduire l'incertitude sur l'acceptation des consommateurs. **L'ADEME vise à éclairer les implications contrastées pour les différents consommateurs de différents niveaux de flexibilité.** Elle explore l'ensemble de la palette de la flexibilité, en fonction de la consommation totale des différents scénarios, et avec des développements contrastés entre les différents leviers suivant les narratifs de chaque scénario.

En tendance globale, les leviers priorisés dans les scénarios s'étendent plus particulièrement à la recharge des véhicules électriques, la production d'hydrogène par électrolyse, la production de chaleur.

Une partie des nouveaux besoins de flexibilité sera couverte par des flexibilités structurelles déjà exercées, matures et donc pérennisées, tels que l'eau chaude sanitaire, et l'effacement de la demande industrielle. Mais dont l'évolution dépendra des hypothèses de développement de ces solutions.

La flexibilité peut être poussée plus loin, à l'aide de technologies à développer et industrialiser qui permettront des flexibilités plus fines : le pilotage dynamique, la modulation à la hausse et la réinjection.



**RTE explore différentes configurations, mais celle retenue pour tous leurs scénarios est la configuration "flex prudente".*

L'ADEME souligne l'importance de l'adhésion des consommateurs à la flexibilité de leur consommation, et **explore les différents niveaux d'appropriation par le consommateur** en cohérence avec les récits de ses scénarios et les niveaux de consommation électrique associée :

- La flexibilité est ainsi adoptée dans les scénarios S1 et S2 avec un niveau d'adoption qualifié de moyen,
- Dans S3 avec un niveau d'adoption qualifié de haut (grâce à des offres tarifaires innovantes, des équipements de pilotage à distance, des mesures incitatives et de la sensibilisation),
- Dans S4, le niveau d'adoption est qualifié de faible.

RTE, de son côté, adopte une **vision uniforme de la flexibilité à travers tous ses scénarios**, soulignant une **complexité des choix face aux incertitudes de développement** et coûts associés des technologies. Pour RTE, la flexibilité de la demande est ainsi fixée une bonne fois pour toutes, à un niveau qualifié de prudent après avoir exploré différents niveaux de développement.

Comment déployer les solutions de flexibilité de la demande et les nouvelles pratiques de consommation associées ?

L'intégration de la flexibilité de la demande électrique nécessite des équipements **spécifiques**, comme des boîtiers pour le pilotage du chauffage ou des bornes de recharge adaptées à la charge intelligente des véhicules et le **vehicle-to-grid**.

Toutefois, **les coûts associés à cette flexibilité sont généralement minimes par rapport aux coûts totaux du système électrique** des scénarios étudiés. Intégrer la flexibilité directement dans la conception des bâtiments, des appareils électroniques et des recharges de véhicules engendre des coûts négligeables.

Le coût est directement corrélé au nombre de consommateurs interfacés avec le système électrique, et donc au déploiement des systèmes dédiés, comme des boîtiers d'effacement diffus ou des bornes de recharge adaptées.

Le développement de la flexibilité doit être accompagné. Pour cela, certaines études prospectives proposent quelques **mesures pour favoriser le développement des gestes** des consommateurs en faveur de la flexibilité.

La sensibilisation aux enjeux du réseau électrique favorisera l'appropriation des solutions de flexibilité et l'adoption des nouvelles pratiques associées.

Des normes et incitations financières auprès des consommateurs faciliteront le déploiement des technologies pilotables et encourageront les changements de pratiques.

Vous souhaitez approfondir certains aspects de ce décryptage ?

C'est possible via plusieurs zooms :

[Comment le citoyen va participer à l'équilibre du réseau ?](#)

[Comment les industriels participent et participeront à l'équilibre du réseau ?](#)

[Comment accompagner l'émergence de la flexibilité de la demande dans la transition ?](#)

Vous souhaitez plus de contexte sur ce sujet ?

C'est possible en poursuivant votre navigation vers d'autres décryptages :

[Quelle évolution des interconnexions électriques françaises : Vers une intégration européenne renforcée ?](#)

[Quel rôle joue du côté du pilotage et du stockage de la production électrique dans la transition ?](#)

[Comment assurer la transition des énergies de stock vers les énergies intermittente ?](#)

