

Énergie nucléaire

La décision de construire de nouveaux réacteurs nucléaires pour produire de l'électricité en France est **un choix lourd de conséquences pour les 3 ou 4 générations à venir** :

- la construction (15 ans), le fonctionnement prévu (60 ans) et le démantèlement (15 ans)
- les sommes engagées sont considérables (8 à 10 milliards par réacteur) et ne permettent pas d'autres choix
- l'accumulation de déchets radioactifs sans solution pérenne de traitement ou de stockage

Cela nécessite d'avoir le maximum d'informations afin d'engager un débat sérieux.

Les atouts de l'électricité nucléaire

La faible émission de CO₂

Selon EDF 12g/kWh en fonctionnement auxquels il faut ajouter les émissions de CO₂ :

- lors de la construction et du démantèlement des centrales
- tout au long du cycle du combustible (extraction, enrichissement, fabrication, entreposage, traitement, stockage et les nombreux transports)

Une production en continu

Le taux d'activité des réacteurs français est d'environ 80 % (en temps de fonctionnement)

La puissance est modulable

Pour suivre la demande et compléter les autres sources d'électricité.

Ce suivi de charge opère sur différents temps :

- la journée (moins de puissance la nuit)
- la semaine (moins de puissance le week-end)
- la saison (moins de puissance l'été)

Les sites sont existants pour les nouvelles constructions

Moins de contestation locale et de recours juridiques

Des emplois en France

La filière nucléaire, qui est pilotée par des entreprises contrôlées par l'État, maintient une activité industrielle et de recherche en France (3 600 entreprises). Elle représente 220 000 emplois. Sur le site de Chinon, 2 500 salariés permanents.

Les inconvénients de l'électricité nucléaire

L'impact environnemental

La fabrication du combustible

- Pour la production nucléaire annuelle en France, il faut extraire 8 000t d'uranium naturel. La concentration en uranium des gisements est de quelques kg par tonne de roche, ce qui représente **des montagnes de « stériles » faiblement radioactifs** (20 millions de m³ à Arlit au Niger). Des **millions de m³ d'eau** sont nécessaires (8 millions par an à Arlit, dans le désert).
- Un traitement chimique (acide sulfurique) transforme le minerai en « yellowcake » U₃O₈ transportable
- Les étapes suivantes sont la purification/conversion (usine Malvézi Narbonne – SEVESO-utilisation d'acide fluorhydrique - **boues toxiques, poussières radioactives, fuites de produits chimiques**), l'enrichissement (Tricastin – déchets sous forme d'uranium appauvri entreposé) et la fabrication du combustible (Romans sur Isère)

Le fonctionnement d'une centrale

- La centrale de Chinon consomme **45 millions de m³ d'eau** de la Loire par an pour le refroidissement des réacteurs.
- Elle rejette dans la Loire de l'**eau radioactive** (tritium, carbone14), des **composés chimiques** (acide borique, éthanolamine, nitrates et phosphates) et des **métaux** (cuivre et zinc)
- Elle rejette dans l'atmosphère des gaz radioactifs (tritium), de l'**ammoniac** et **des gaz à effet de serre** très puissants (réfrigérants SF6)

Les déchets radioactifs

- Le MOX usé est non traité et entreposé.
- Le combustible usé après 3 ans d'utilisation est entreposé en piscine puis transporté à La Hague pour traitement.
 - L'uranium de retraitement (URT) est entreposé, il n'est plus utilisé en France. Une partie est revendue à la Russie.
 - Les produits de fission hautement radioactifs sont vitrifiés et entreposés en attente d'un stockage définitif controversé (CIGEO). Idem pour les métaux des gaines de combustible.
 - Le plutonium récupéré sert à fabriquer du MOX avec de l'uranium appauvri

Le danger radioactif

Les accidents de Tchernobyl et de Fukushima montrent les effets d'une contamination à grande échelle. Les centrales par leur taille peuvent provoquer des catastrophes dans un périmètre très important.

L'accident matériel ou humain

- Malgré une surveillance et une maintenance permanente, le vieillissement des centrales est un facteur de risque d'accident
- Le recours très important à la sous-traitance, malgré la formation des personnels, augmente également le risque (rapport d'enquête 1122 du 28/06/2018 – Assemblée Nationale). Il y a une perte de savoir faire des agents EDF. A Fukushima, les sous-traitants sont partis lorsque la situation s'est dégradée.

Les catastrophes climatiques

- Les accidents climatiques (inondations, tempêtes, sécheresses, incendies) seront de plus en plus fréquents et imprévisibles. Les sécurités sont renforcées, mais seront-elles suffisantes ?

Les attaques

- Attaques contre des points vulnérables (piscines d'entreposage du combustible), convois de matériaux sensibles
- Cyber-attaques. La sous-traitance fragilise là aussi la sécurité.
Exemple des centrifugeuses iraniennes ont été piratées et détruites par un virus

Le coût de l'électricité produite

Le coût ne cesse d'augmenter. Contrairement aux sources renouvelables. Il est prévu aux environs de 100€ le MWh avec les EPR, le double du prix avec les générateurs actuels.

En comparaison éolien = 80€/kWh, solaire 150€/kWh

Le coût de la construction

- Le gigantisme des chantiers, la qualité des installations requise ainsi que les nombreuses sécurités et redondances - pour éviter qu'un accident ne se produise ou limiter ces conséquences – entraîne un coût de construction très élevé et mal maîtrisé.
Exemple de l'EPR de Flamanville

Le coût du retraitement et du stockage des déchets

Le coût du démantèlement

- EDF évalue à 400 millions € le démantèlement d'un réacteur REP mais ce coût théorique, deux fois inférieur à celui des USA par ex., risque d'être réévalué à la hausse.

Le coût du soutien de la filière

AREVA devenu ORANO a nécessité le renflouement de l'État à hauteur de près de 6 Milliards €. EDF a également reçu 3 Milliards € de l'État en 2016.

Un État fort est nécessaire pour supporter les investissements considérables du nucléaire.

Aux USA les entreprises privées ne veulent plus investir dans le nucléaire.

Les conséquences géopolitiques

L'approvisionnement français en uranium provient majoritairement du Kazakhstan (50%) et du Niger. Orano prospecte en Ouzbékistan et exporte du combustible retraité vers la Russie

L'exportation des centrales nucléaires est indispensable pour supporter le coût des investissements : ventes à la Chine, à l'Inde et la Grande-Bretagne.

Le lien nucléaire civil/militaire

A l'origine la technologie nucléaire est militaire et les premières centrales françaises également (Marcoule) pour fabriquer le plutonium des bombes.

Les entreprises comme le CEA, Technicatome, ont une activité à la fois civile et militaire.
Les SMR sont étudiés à partir des réacteurs militaires.

Les incertitudes

La difficulté de maîtriser les nouveaux réacteurs

- L'EPR de Flamanville commencé en 2007 n'est toujours pas en service et a fait l'objet de nombreuses malfaçons.
- Un réacteur EPR chinois a été arrêté pour des phénomènes de défautuosité de gaine de combustible inexplicués (mauvaise répartition de chaleur due à la forte puissance des EPR?)
- L'IRSN indique des vibrations anormales sur le circuit primaire des EPR (et EPR2) dues à la conception (*avis IRSN N° 2021-00049*)

Les tensions prévisibles sur l'uranium

- Les réserves d'uranium correspondent à une centaine d'années d'utilisation à puissance installée constante et sous conditions d'importantes innovations technologiques concernant l'extraction et la transformation en combustible (*rapport AIEA 2020*).
Il est à prévoir une tension sur les cours au milieu du XXIe siècle

La gestion des déchets

- Les sites d'entreposage et de stockage vont arriver à saturation et les travaux d'extension ou de création de nouveaux sites sont en retard (*livre blanc Ancli sur les piscines d'entreposage*)

Les nouveaux réacteurs

EPR

- Conception Areva (Framatome) et Siemens en 1990 à partir des réacteurs français (N4) et allemands (Konvoi)
- Technologie uranium enrichi/eau pressurisée de 3^{ème} génération - puissance 1600MW
- Performances accrues: rendement et emploi du MOX, 60 ans de durée de vie
- Sûreté accrue : double enceinte, redondance, récupération du corium
- Contraintes accrues : pression et températures, répartition de puissance dans le coeur
- Pb de conception : vibration du circuit primaire, gaines de combustible endommagées (Chine), retards de fabrication et explosion des coûts
- 2 EPR en service en Chine (2018-2019), 1 en construction en Finlande, 1 en France et 2 en Grande-Bretagne

EPR2

- Version simplifiée de l'EPR. Conception EDF (Framatome)
- Conception non terminée
- Mise en service prévue en 2035/2045 (3 paires)

SMR

- Réacteur de faible puissance (2x170MW) pour le « Nuward »
- Conception EDF, CEA, NavalGroup, TechnicAtome
- Technologie uranium enrichi/eau pressurisée
- Conception non terminée
- Fabrication des éléments en usine - modularité
- Destiné à l'origine aux zones isolées à l'exportation
- Coût au kWh produit très élevé

Les acteurs du nucléaire en France

ORANO

- Capital: État (80 %), JNFL-Japo(5 %), MHI-Japon(5 %), Caisse des Dépôts, Natixis
- 13500 employés en France

Activités

- Mines
 - Kazakhstan
<https://reporterre.net/Pour-exploiter-l-uranium-kazakh-Orano-va-raser-une-foret-protgee>
<https://new.sfen.org/rgn/kazakhstan-acteur-nucleaire-connaître/>
 - Niger
<https://www.criirad.org/actualites/dossiers-08/niger-areva/noteniger-300108.pdf>
 - Canada
- Conversion et enrichissement de l'uranium
 - Malvési
 - Tricastin
- Recyclage
 - La Hague
- Démantèlement

EDF

- Capital: État (84 %), Employés (1,3 %), actionnaires-Bourse (15 %)
- 63000 employés en France (Groupe EDF 165000)

Activités nucléaires

- Production
 - 56 réacteurs en France
- Conception
 - **Framatome** (7500 salariés en France)
- Construction
 - **Edvance** (pour les EPR)

CEA

- 20000 salariés en France

Activités nucléaires

- Recherche et innovation (nucléaire civil et militaire)

TECHNICATOME







- Capital : Etat (50%), CEA (20%), NavalGroup (20 %), EDF (10%)
- 1700 salariés en France

Activités

- Conception/réalisation de réacteurs nucléaires compacts militaires: porte-avions, sous-marins
- Réacteurs de recherche militaires ou civils (pour le CEA)

Les déchets radioactifs

CATÉGORIES DE DÉCHETS RADIOACTIFS ET FILIÈRES DE GESTION ASSOCIÉES

Période radioactive* / Activité**	Vie très courte (VTC) (période < 100 jours)	Principalement vie courte (VC) (période ≤ 31 ans)	Principalement vie longue (VL) (période > 31 ans)
Très faible activité (TFA) < 100 Bq/g	 Gestion par décroissance radioactive	 Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	
Faible activité (FA) entre quelques centaines de Bq/g et un million de Bq/g		 Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	 Stockage à faible profondeur à l'étude
Moyenne activité (MA) de l'ordre d'un million à un milliard de Bq/g			 Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)
Haute activité (HA) de l'ordre de plusieurs milliards de Bq/g	Non applicable		

*Période radioactive des éléments radioactifs (radionucléides) contenus dans les déchets

** Niveau d'activité des déchets radioactifs

ANDRA

HA et MA-VL

- Produits de fission vitrifiés et gaines métalliques. Démantèlement proche du cœur
 - entreposés à La Hague et au Bugey en attente d'un stockage définitif: projet CIGEO à Bure
 - 4 000 m³ et 42 700 m³

FA-VL

- Produits de démantèlement des anciens réacteurs (graphite), résidu de la purification des terres rares, anciens déchets
 - entreposage sur le lieu d'origine, pas de solution de stockage actuellement
 - 93 600 m³

FMA-VC

- Produits de fonctionnement des centrales
 - stockage en surface à Soullaines dans l'Aude. Le site de la Manche est fermé.
 - 961 000 m³

TFA

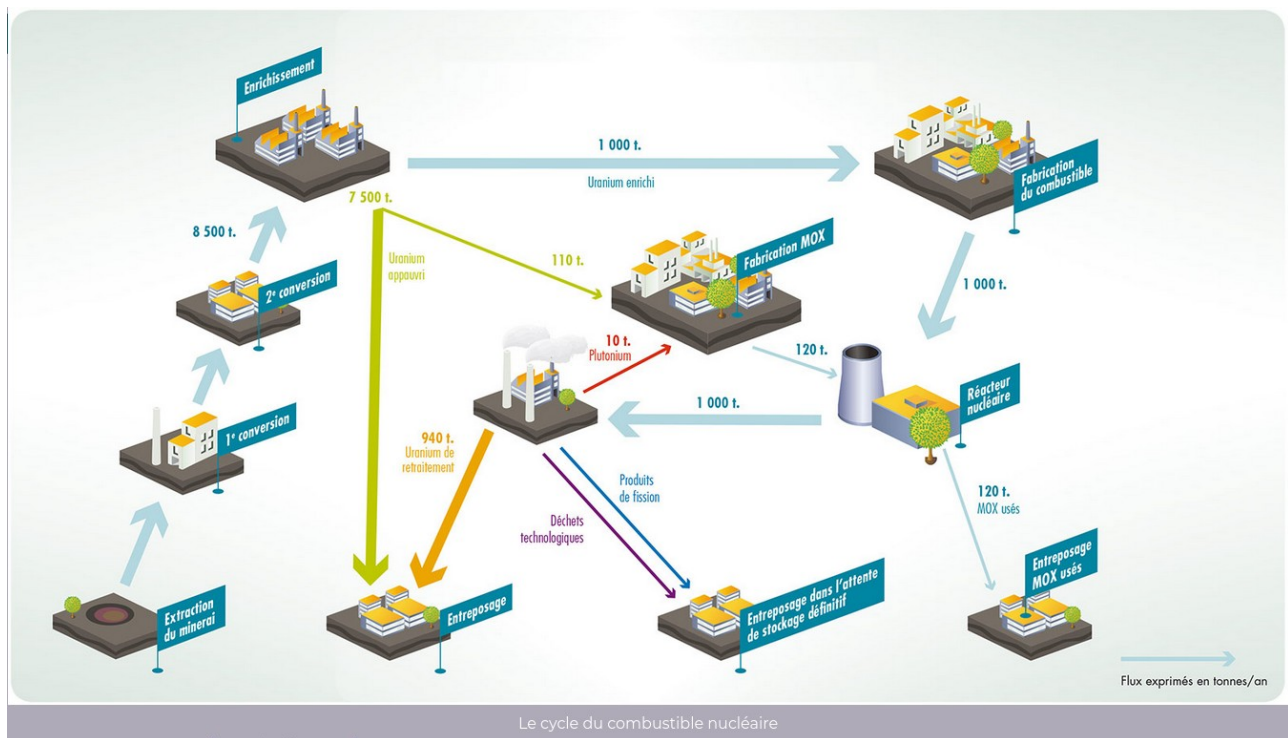
- Produits de fonctionnement des centrales (gravats)
 - stockage en surface à Morvilliers dans l'Aude. Le site de la Manche est fermé.
 - 570 000 m³

VTC

- Produits issus de la recherche ou du médical
 - décroissance en cuves

Sur le site de l'usine Orano de Malvézi, se trouvent des centaines de milliers de m³ de résidus radioactifs et d'effluents nitrates

Le cycle du combustible nucléaire



ASN

Les réacteurs en fonctionnement

32 réacteurs 900MW

- moyenne d'âge 38 ans

20 réacteurs 1300MW

- moyenne d'âge 32 ans

4 réacteurs 1450MW

- moyenne d'âge 20 ans

Les réacteurs à démanteler

1 réacteur à eau lourde

- Brennilis – arrêt 1985 – démantèlement: 2000-2039?

6 réacteurs au graphite

- Chinon, Saint-Laurent, Bugey – dernier arrêt 1990 – démantèlement: 2030-2056?

1 réacteurs à neutrons rapides

- Superphenix à Creys Malville – arrêt 1986 – démantèlement: 2006-2030?

2 réacteurs à eau pressurisée

- Fessenheim arrêt 2020 – démantèlement: 2020-2040?

Énergie en France

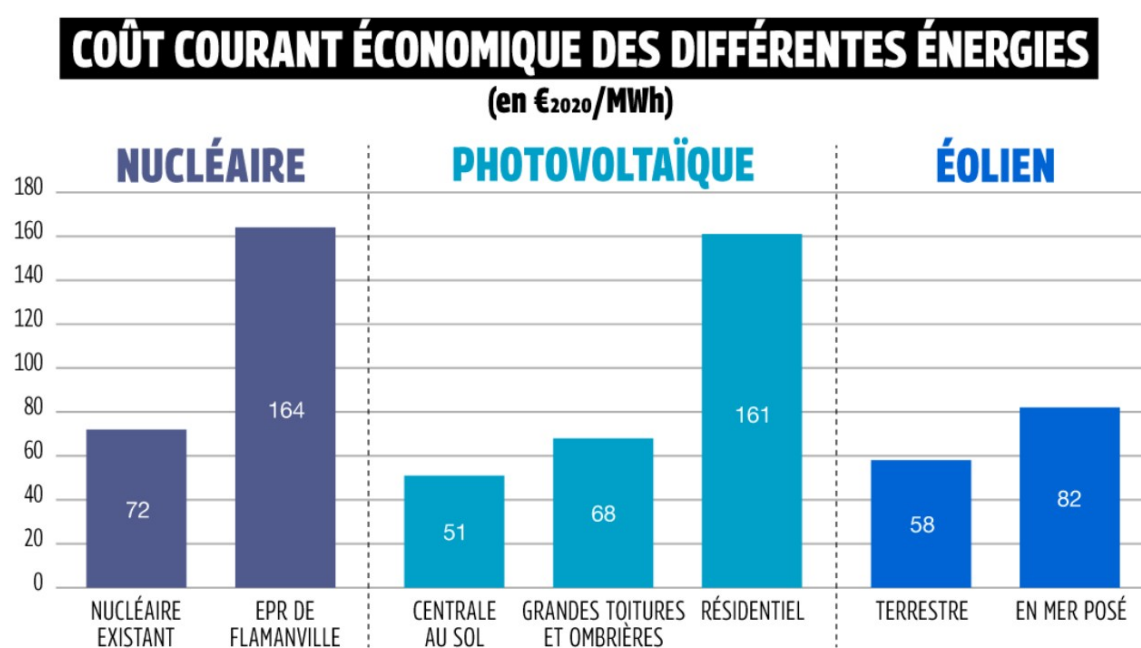
Production d'électricité (2019)

- **Nucléaire:** 71 %
- Hydraulique: 11 %
- Gaz: 7%
- Éolien: 6 %
- Solaire: 2 %
- Biomasse: 2 %

Consommation d'énergie (2019)

- Pétrole: 44 %
- Gaz: 21 %
- **Nucléaire:** 18 %
- Biomasse: 10 %
- Hydraulique: 3 % ...

Coût production électrique (Greenpeace)
















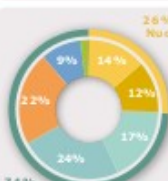




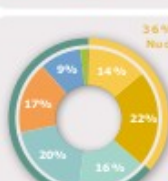




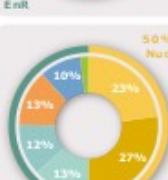










Source : Greenpeace et Institut Rousseau, Les coûts actuels des énergies électriques bas-carbone, 2021

Rapport RTE : Futurs énergétiques 2050

LES SCÉNARIOS DE MIX DE PRODUCTION À L'HORIZON 2050

Filières :  Flexibilités de la demande (hors V2G)  Nouveau thermique décarboné  Véhicule-to-grid  Batteries

	NARRATIF	RÉPARTITION DE LA PRODUCTION EN 2050	CAPACITÉS INSTALLÉES EN 2050 (EN GW)*					BOUQUET DE FLEXIBILITÉS EN 2050
			Solaire	Éolien terrestre	Éolien en mer	Nucléaire historique	Nouveau nucléaire	
M0 100% EnR en 2050	Sortie du nucléaire en 2050 : le déclasserement des réacteurs nucléaires existants est accéléré, tandis que les rythmes de développement du photovoltaïque, de l'éolien et des énergies marines sont poussés à leur maximum.		~ 208 GW (soit x21)	~ 74 GW (soit x4)	~ 62 GW	/	/	 15 GW  1,7 GW (1,1 MVE)  29 GW  26 GW
M1 Répartition diffuse	Développement très important des énergies renouvelables réparties de manière diffuse sur le territoire national et en grande partie porté par la filière photovoltaïque. Cet essor soutient une mobilisation forte des acteurs locaux participatifs et des collectivités locales.		~ 214 GW (soit x22)	~ 59 GW (soit x3,5)	~ 45 GW	16 GW	/	 17 GW  1,7 GW (1,1 MVE)  20 GW  21 GW
M23 EnR grands parcs	Développement très important de toutes les filières renouvelables, porté notamment par l'installation de grands parcs éoliens sur terre et en mer. Logique d'optimisation économique et ciblage sur les technologies et les zones bénéficiant des meilleurs rendements et permettant des économies d'échelle.		~ 125 GW (soit x12)	~ 72 GW (soit x4)	~ 60 GW	16 GW	/	 15 GW  1,7 GW (1,1 MVE)  20 GW  13 GW
N1 EnR + nouveau nucléaire 1	Lancement d'un programme de construction de nouveaux réacteurs, développés par paire sur des sites existants tous les 5 ans à partir de 2035. Développement des énergies renouvelables à un rythme soutenu afin de compenser le déclasserement des réacteurs de deuxième génération.		~ 118 GW (soit x11)	~ 58 GW (soit x3,3)	~ 45 GW	16 GW	13 GW (soit 8 EPR)	 15 GW  1,7 GW (1,1 MVE)  11 GW  9 GW
N2 EnR + nouveau nucléaire 2	Lancement d'un programme plus rapide de construction de nouveaux réacteurs (une paire tous les 3 ans) à partir de 2035 avec montée en charge progressive. Le développement des énergies renouvelables se poursuit mais moins rapidement que dans les scénarios N1 et M.		~ 90 GW (soit x8,5)	~ 52 GW (soit x2,9)	~ 36 GW	16 GW	23 GW (soit 14 EPR)	 15 GW  1,7 GW (1,1 MVE)  5 GW  2 GW
N03 EnR + nouveau nucléaire 3	Le mix de production repose à part égale entre les énergies renouvelables et le nucléaire à l'horizon 2050. Cela implique d'exploiter le plus longtemps possible le parc nucléaire existant, et de développer de manière volontariste et diversifié le nouveau nucléaire (EPR 2 + SMR)		~ 70 GW (soit x7)	~ 43 GW (soit x2,5)	~ 22 GW	24 GW	~27 GW (soit ~14 EPR + quelques SMR)	 13 GW  1,7 GW (1,1 MVE)  1 GW
Hypothèses communes			 Hydraulique ~22 GW	 Énergies marines Entre 0 et 3 GW	 Bioénergies ~2 GW	 Imports 39 GW	 STEP 8 GW	

LES TRAJECTOIRES DE CONSOMMATION À L'HORIZON 2050

Consommation finale d'électricité par secteur :

 Industrie
 Résidentiel

 Tertiaire
 Transport

 Hydrogène

SCÉNARIOS

	HYPOTHÈSES	NIVEAU 2050	PRINCIPALES ÉVOLUTIONS
Référence	Électrification progressive (en substitution aux énergies fossiles) et ambition forte sur l'efficacité énergétique (hypothèse SNBC). Hypothèse de poursuite de la croissance économique (+1,3% à partir de 2030) et démographique (scénario fécondité basse de l'INSEE). La trajectoire de référence suppose un bon degré d'efficacité des politiques publiques et des plans (relance, hydrogène, industrie). L'industrie manufacturière croît et sa part dans le PIB cesse de se contracter. Prise en compte de la rénovation des bâtiments mais aussi de l'effet rebond associé.	645 TWh	<ul style="list-style-type: none"> 180 TWh Industrie 134 TWh Résidentiel 113 TWh Tertiaire 99 TWh Transport 50 TWh Hydrogène
	HYPOTHÈSES	NIVEAU 2050 (par rapport à la référence)	PRINCIPALES ÉVOLUTIONS (+ écart par rapport à la référence)
Sobriété	Les habitudes de vie évoluent dans le sens d'une plus grande sobriété des usages et des consommations (moins de déplacements individuels au profit des mobilités douces et des transports en commun, moindre consommation de biens manufacturés, économie du partage, baisse de la température de consigne de chauffage, recours à davantage de télétravail, sobriété numérique, etc.), occasionnant une diminution générale des besoins énergétiques, et donc également électriques.	555 TWh (-90 TWh)	<ul style="list-style-type: none"> 160 TWh (-20 TWh) Industrie 111 TWh (-23 TWh) Résidentiel 95 TWh (-18 TWh) Tertiaire 77 TWh (-22 TWh) Transport 47 TWh (-3 TWh) Hydrogène
Réindustrialisation profonde	Sans revenir à son niveau du début des années 1990, la part de l'industrie manufacturière dans le PIB s'infléchit de manière forte pour atteindre 12-13% en 2050. Le scénario modélise un investissement dans les secteurs technologiques de pointe et stratégiques, ainsi que la prise en compte de relocalisations de productions fortement émettrices à l'étranger dans l'optique de réduire l'empreinte carbone de la consommation française.	752 TWh (+107 TWh)	<ul style="list-style-type: none"> 239 TWh (+59 TWh) Industrie 134 TWh (0 TWh) Résidentiel 115 TWh (+2 TWh) Tertiaire 99 TWh (0 TWh) Transport 87 TWh (+37 TWh) Hydrogène
VARIANTES			
Électrification rapide	La part de l'électricité dans la consommation finale s'accroît de manière plus forte que dans la SNBC. Certains usages basculent plus rapidement ou fortement vers l'électricité. C'est particulièrement le cas dans le secteur des transports, dans lequel l'adoption du véhicule électrique et l'électrification de certaines catégories de poids lourds est beaucoup plus rapide. Le transfert vers le chauffage électrique se fait également plus rapidement et de manière plus volontariste.	700 TWh (+55 TWh)	<ul style="list-style-type: none"> 192 TWh (+12 TWh) Industrie 139 TWh (+5 TWh) Résidentiel 120 TWh (+7 TWh) Tertiaire 125 TWh (+27 TWh) Transport 50 TWh (0 TWh) Hydrogène
Moindre électrification	La part de l'électricité dans la consommation finale augmente de manière moins forte et moins rapide que dans la SNBC. Dans l'industrie, par exemple l'électricité ne parvient pas à être compétitive et la bascule vers l'électrification se fait moins rapidement. Il en est de même pour le transfert vers la mobilité électrique (véhicules légers et lourds) et vers les dispositifs de chauffage électrique dans les secteurs résidentiel et tertiaire.	578 TWh (-67 TWh)	<ul style="list-style-type: none"> 150 TWh (-30 TWh) Industrie 126 TWh (-8 TWh) Résidentiel 107 TWh (-6 TWh) Tertiaire 81 TWh (-18 TWh) Transport 50 TWh (0 TWh) Hydrogène
Efficacité énergétique réduite	Les hypothèses de progrès de l'efficacité énergétique des équipements électriques généralement retenues ne se matérialisent pas, ou s'accompagnent de phénomènes de surconsommation au-delà de ce qui est prévu dans la trajectoire de référence. Dans le secteur du bâtiment, les objectifs de rénovation et la conversion aux pompes à chaleur ne sont pas atteints, et le taux d'atteinte des gisements d'efficacité énergétique ne dépasse pas 50% en 2050 (contre 70% dans la trajectoire de référence).	714 TWh (+69 TWh)	<ul style="list-style-type: none"> 191 TWh (+11 TWh) Industrie 156 TWh (+22 TWh) Résidentiel 135 TWh (+22 TWh) Tertiaire 105 TWh (+6 TWh) Transport 50 TWh (0 TWh) Hydrogène
Hydrogène +	Le développement de la production d'hydrogène décarboné connaît une forte accélération conduisant à une demande finale d'hydrogène nettement plus élevée que dans la trajectoire de référence. L'hydrogène se substitue à l'électrification directe dans certains secteurs difficiles à électrifier (sidérurgie...) ainsi qu'à l'utilisation de biomasse (transport lourd, chaleur industrielle).	754 TWh (+109 TWh)	<ul style="list-style-type: none"> 164 TWh (-16 TWh) Industrie 134 TWh (0 TWh) Résidentiel 113 TWh (0 TWh) Tertiaire 93 TWh (-6 TWh) Transport 171 TWh (+121 TWh) Hydrogène