

FICHES THEMATIQUES ENERGIE N°20 A 24

FICHES THEMATIQUE N°20 : LES SCENARIOS DU BILAN PREVISIONNEL DE RTE 2023-2035

FICHE THEMATIQUE N°21 : LES SIX SCENARIOS DE MIX DE PRODUCTION DE L'ETUDE « FUTURS ENERGETIQUES 2050 »

FICHE THEMATIQUE N°22 : LES TROIS SCENARIOS DE CONSOMMATION DE L'ETUDE « FUTURS ENERGETIQUES 2050 »

FICHE THEMATIQUE N°23 : L'ANALYSE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DE L'ETUDE « FUTURS ENERGETIQUES 2050 »

FICHE THEMATIQUE N°24 : LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DE L'ETUDE « FUTURS ENERGETIQUES 2050 »

FICHE THEMATIQUE N°20 : LES SCENARIOS DU BILAN PREVISIONNEL DE RTE 2023-2035

LES TRAJECTOIRES DE CONSOMMATION À L'HORIZON 2035

Leviers

-  **Électrification**
-  **Efficacité énergétique**
-  **Sobriété**

Exercice de nature prospective :
atteinte des objectifs de décarbonation
et identifier les conditions de réussite

Exercices d'analyse de risque :
différents types de configurations de non-
atteinte afin d'en évaluer les conséquences

Scénarios A
« Accélération réussie »
Des options différentes
d'atteinte des objectifs
autour de 3 mix conso/prod en
fonction des mesures d'efficacité
énergétique et de sobriété

Scénarios B
« Atteinte partielle »
Un retard plus ou moins
marqué dans l'électrification,
l'efficacité et la sobriété combiné
à un faible développement des
EnR qui soulève des questions de
sécurité d'approvisionnement et
d'atteinte des objectifs climatiques

Scénarios C
« Mondialisation
contrariée »
Deux réponses contrastées
à un contexte macroéco
dégradé pour maintenir
l'atteinte des objectifs
de décarbonation

A - bas
++ ++ ++
A - ref
++ ++ +
A - haut
++ + +

B - haut
+ + +
B - bas
- + +

C1 - Défaut de réaction
Spécifique
C2 - Résilience industrielle
Spécifique

		2019	Cadre favorable			Cadre dégradé			
Cadre macroéconomique		-							
Total	Consommation intérieure d'électricité	475 TWh	580 TWh	615 TWh	640 TWh	600 TWh	550 TWh	525 TWh	535 TWh
	Dont sobriété		Sociétale -60 TWh	Gestes simples : -25 TWh			Subie : -50 TWh		
	Dont efficacité énergétique		-100 TWh		-75 TWh		-75 TWh		
Résidentiel	Total	157 TWh	143 TWh	150 TWh	157 TWh	153 TWh	148 TWh	142 TWh	
	% logements chauffés à l'électricité	37%	60%			51%	48%	49%	
	Nb de logements chauffés par PAC	1,6 M	11,5 M			7,2 M		6,2 M	
	Rénovations du bâti en « équivalent rénos performantes » (équivalent -75 kWh _m /m ² /an Moy. sur 2023-2035)	230000	380 000/an		280 000/an	280 000/an		310 000/an	
Tertiaire	Total	132 TWh	125 TWh	139 TWh	149 TWh	148 TWh	136 TWh	131 TWh	
	% surfaces tertiaires chauffées à l'électricité	29%	54%			46%	40%	46%	
	Rénovations du bâti en « équivalent rénos performantes » (équivalent -75 kWh _m /m ² /an Moy. sur 2023-2035)		8 M m ² /an		5,3 M m ² /an	5,3 M m ² /an		5,3 M m ² /an	
Transports	Total	13 TWh	80 TWh	86 TWh	88 TWh	64 TWh	58 TWh	53 TWh	
	Dont H ₂ et carburants de synthèse	-	31 TWh			20 TWh	13 TWh	6 TWh	
	% véhicules légers électrifiés (dont VHR)	1%	38%	42%		32%	24%	40%	
	% camions électrifiés	-	23%			17%	13%	22%	
Industrie	Total	114 TWh	155 TWh	160 TWh	165 TWh	152 TWh	143 TWh	133 TWh	139 TWh
	Dont H ₂	-	25 TWh			25 TWh	16 TWh	16 TWh	
	% électrification directe et indirecte	29%	49%	48%		44%	41%	43%	
	Gains efficacité des procédés	-	-13 TWh		-9 TWh	-9 TWh		-10 TWh	

LES SCÉNARIOS DE MIX DE PRODUCTION À L'HORIZON 2035

Exercice de nature prospective :
atteinte des objectifs de décarbonation
et identifier les conditions de réussite

Exercices d'analyse de risque :
différents types de configurations de non-
atteinte afin d'en évaluer les conséquences

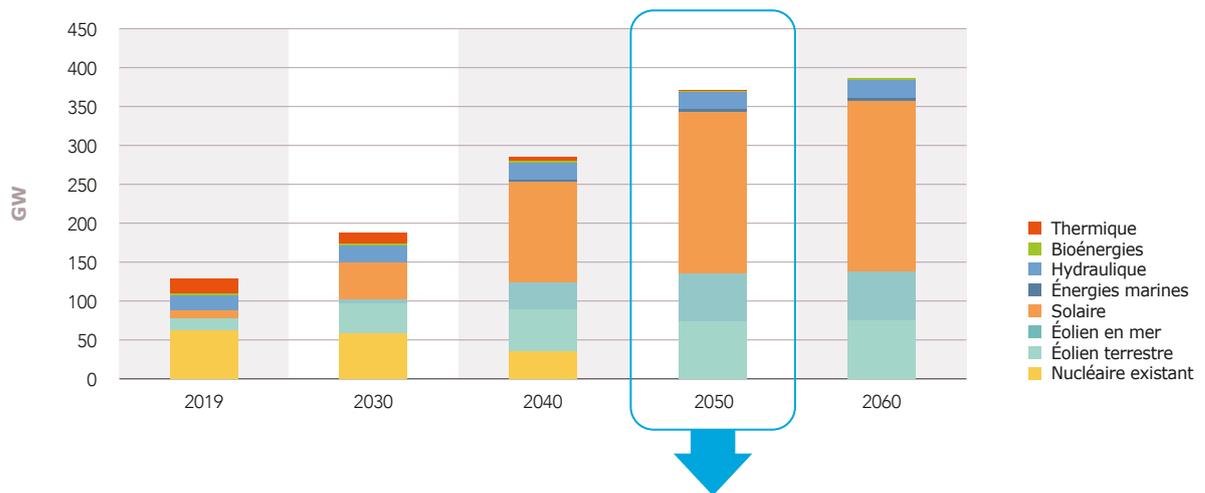
		2022 (2019)	Scénarios A « Accélération réussie » <i>Des options différentes d'atteinte des objectifs autour de 3 mix conso/prod en fonction des mesures d'efficacité énergétique et de sobriété</i>			Scénarios B « Atteinte partielle » <i>Un retard plus ou moins marqué dans l'électrification, l'efficacité et la sobriété combiné à un faible développement des EnR qui soulève des questions de sécurité d'approvisionnement et d'atteinte des objectifs climatiques</i>		Scénarios C Mondialisation contrariée <i>Deux réponses contrastées à un contexte macroéco dégradé pour maintenir l'atteinte des objectifs de décarbonation</i>	
			A - bas	A - réf	A - haut	B - haut	B - bas	C1 - Défaut de réaction	C2 - Résilience industrielle
Total	Production bas-carbone totale (nucléaire + renouvelables)	395 TWh (495 TWh)	640 TWh	660 TWh	700 TWh	600 TWh	600 TWh	580 TWh	640 TWh
Hydraulique	Capacités installées	~25,8 GW	Gisement de développement limité 27 à 28 GW = 25,8 GW (capacité existante) + 0,7 GW (nouveau ou suréquipement) + 0,5 à 1,5 GW (nouvelles STEP)						
	Production	~ 50 TWh (60 TWh)	Stabilité du productible (prudences liées aux conflits d'usage et changement climatique) ~60 TWh en moyenne						
Solaire	Production	18,6 TWh	80 TWh	110 TWh	65 TWh	65 TWh	90 TWh		
	Capacités installées	15,7 GW	65 GW	90 GW	55 GW	55 GW	75 GW		
	Rythme	2,6 GW/an (moyenne 2021-2022)	Rythme minimal 4 GW/an	Rythme souhaitable 7 GW/an (à partir de 2027)	Rythme très bas 3 GW/an	Rythme très bas 3 GW/an	Rythme très bas (3 GW/an d'ici 2027) puis accélération progressive (7 GW/an)		
Éolien terrestre	Production	38,1 TWh	85 TWh	65 TWh	65 TWh	75 TWh			
	Capacités installées	20,6 GW ~9 500 mâts	39 GW [13 000 - 19 000 mâts]	30 GW [10 000 - 14 000 mâts]	30 GW [10 000 - 14 000 mâts]	35 GW [11 500 - 16 500 mâts]			
	Rythme (capacités additionnelles, hors repowering)	1,5 GW/an (moyenne 2021-2022)	Prolongation de la tendance 1,5 GW/an	Rythme bas (division par deux) 0,7 GW/an	Rythme bas 0,7 GW/an	Rythme bas (0,7 GW/an jusqu'à 2027) puis retour à 1,5 GW/an			
Éolien en mer	Production	0,7 TWh	50 TWh	65 TWh	35 TWh	25 TWh	45 TWh		
	Capacités installées	0,5 GW	Retard pacte éolien en mer 15 GW	Trajectoire haute : atteinte des objectifs pacte éolien en mer 18 GW (8 GW au-delà de A08, 5 à 7 parcs)	Trajectoire basse : délais importants nouveaux AO 10 GW (parcs jusqu'à A08)	Traj. très basse : 7 GW (tensions chaînes d'appro)	Traj. résilience 13 GW		
Nucléaire	Capacités installées	61 GW	60 à 63 GW Cas de base : pas de fermeture de réacteur et mise en service de l'EPR de Flamanville Variante : jusqu'à trois fermetures de réacteurs pour raisons industrielles de sûreté						
	Production	279 TWh (380 TWh)	360 TWh (hyp. prudente atteignable)	370 TWh	360 TWh (hyp. prudente atteignable)	360 TWh (hyp. prudente atteignable)			
	Variantes		Variante haute : ~400 TWh (pas de fermeture, haut niveau de disponibilité, éventuelles augmentations de puissance/SMR) Variante basse : 330 TWh (0 à 6 fermetures de réacteurs, faible niveau de disponibilité) Stress-tests jusqu'à 280 TWh (productible observé en 2022)						

**FICHE THEMATIQUE N°21 : LES SIX SCENARIOS DE MIX DE
PRODUCTION DE L'ETUDE « FUTURS ENERGETIQUES 2050 »**

Scénario de sortie complète du nucléaire en 2050. La trajectoire de fermeture des réacteurs nucléaires est accélérée par rapport au rythme de référence. Les rythmes d'installation des énergies renouvelables (photovoltaïque, éolien, énergies marines) sont poussés à leur maximum, dépassant les meilleures performances européennes en la matière.

Un bouquet de flexibilités très important est nécessaire (stockage, etc.) permettant d'ajuster rapidement la consommation et la production pour couvrir les besoins à chaque instant. Ces volumes de flexibilités sont plus importants que dans les autres scénarios.

Évolution des sources de production d'électricité en France (capacités en GW)



Nouveau nucléaire

0 GW



Aucune nouvelle centrale nucléaire n'est construite en France.



Nucléaire existant

0 GW

0/57 réacteurs existants encore en activité

La fermeture des réacteurs existants est accélérée par rapport au rythme de la PPE avec 6 fermetures d'ici à 2030 et 3 fermetures de réacteurs par an ensuite. Les réacteurs sont fermés en moyenne entre 40 et 50 ans de durée d'exploitation.



Solaire

208 GW

125 à 250 milliers d'hectares

Le parc solaire est multiplié par 21* ce qui implique de multiplier par près de 7 le rythme historique de développement. Les installations sont réparties sur l'ensemble du territoire.



Éolien terrestre

74 GW

25 à 37 milliers de mâts

Le parc éolien est multiplié par 4* doublant le rythme historique de développement. Les installations sont réparties sur l'ensemble du territoire.



Éolien en mer

62 GW

4 à 6,2 milliers de mâts

Le parc éolien en mer est très développé sur l'ensemble des côtes françaises. Il est nécessaire de mettre en service de près de 3 parcs par an, au-delà du rythme projeté de la PPE actuelle et bien supérieur au rythme historique.



Hydraulique (hors stations de pompage)

22 GW

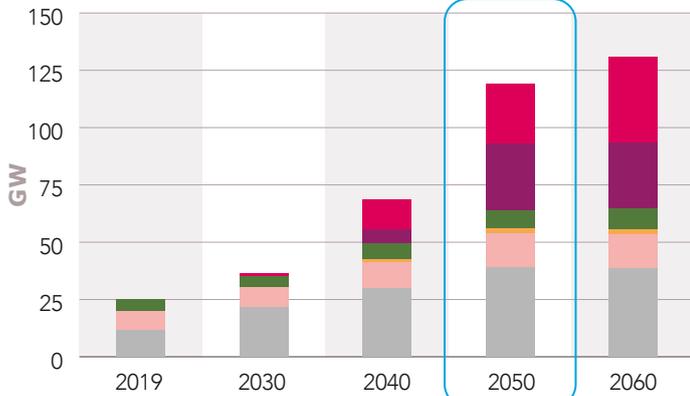
Proche du parc hydraulique actuel

Le potentiel de la filière hydraulique est déjà largement exploité, son développement repose sur l'installation de nouveaux projets de production hydraulique à hauteur de 1 GW à l'horizon 2050.

Les moyens de flexibilité pilotables nécessaires sur le territoire

Pour chaque scénario, RTE a déterminé le bouquet optimal de flexibilités nécessaires pour compenser la variation des énergies renouvelables dépendantes des conditions météo et assurer en permanence la couverture des besoins en électricité.

Scénario M0



29 GW Nouvelles unités thermiques décarbonées

Il est nécessaire de développer l'équivalent de **58 centrales thermiques (contre environ une vingtaine présentes aujourd'hui) qui fonctionnent avec du gaz décarboné** (type biométhane ou hydrogène) de manière à permettre un stockage d'énergie sur de longues périodes.

26 GW Batteries

L'installation de batteries en site fixe permet de stocker l'électricité sur une courte durée, à l'échelle de la journée, pour absorber l'excédent de production solaire à midi et la consommer le soir par exemple. 0,3 MW de batteries sont actuellement installés en France.

15 GW Flexibilités de consommation

Les nouveaux usages électriques sont pour la plupart déplaçables (recharge des batteries des véhicules électriques, production d'hydrogène, etc.). Ils pourront donc être différés en dehors des périodes de pointe en fonction des besoins du système électrique. Ce potentiel s'élève aujourd'hui à environ 4 GW.

1,7 GW soit 1,1 MVE **Vehicle-to-grid (V2G)**

Au delà du décalage de la recharge, la mobilisation de la batterie des véhicules électriques comme des moyens de stockage constitue une option supplémentaire pour répondre aux besoins du système.

8 GW Stations de pompage (STEP)

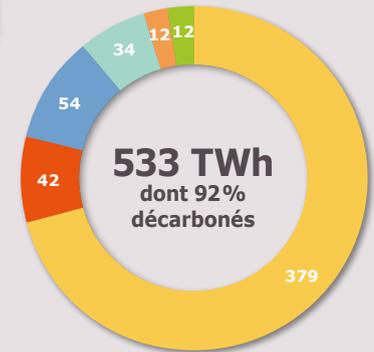
Les STEP constituent un moyen de stockage de l'électricité grâce au pompage-turbinage de l'eau. La capacité actuelle s'élève à environ 4 GW et le potentiel de développement de nouveaux sites reste limité.

39 GW Interconnexions

Augmenter les échanges avec les pays voisins en renforçant les interconnexions permet de réduire le besoin des autres flexibilités en les mutualisant avec d'autres pays. Aujourd'hui, les interconnexions françaises représentent une capacité d'échange de l'ordre de 15 GW.

La production d'électricité 2050

2019

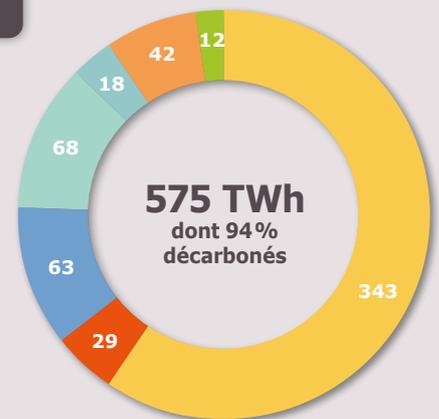


21%



71%

2030

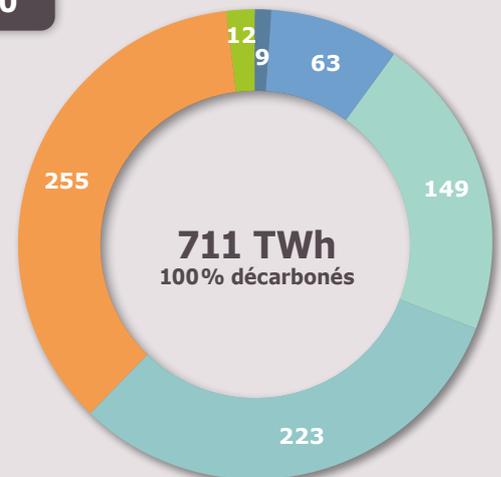


35%



60%

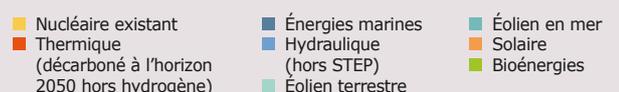
2050



100%



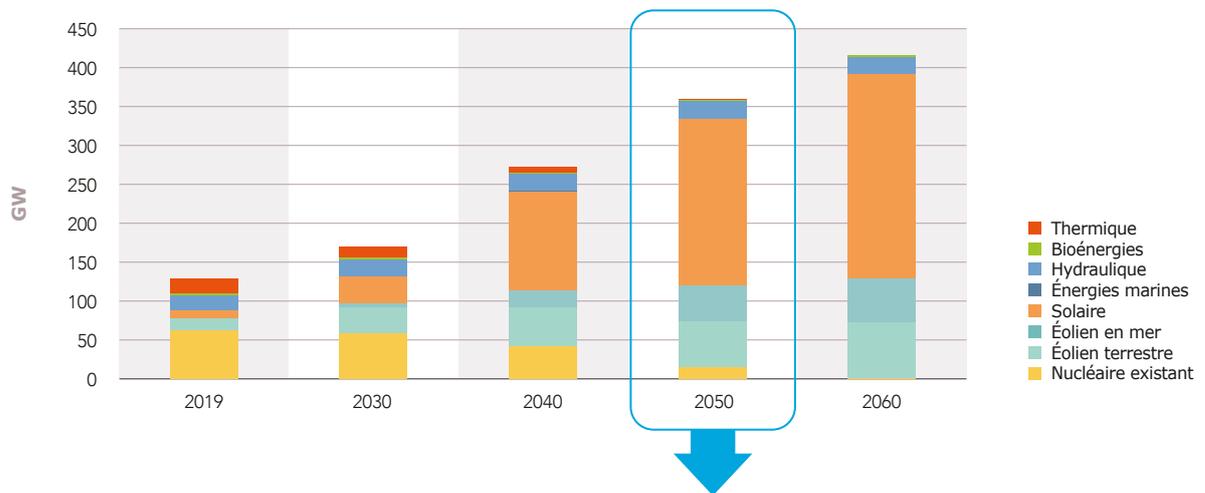
0%



Scénario de développement très important des énergies renouvelables, réparti de manière diffuse sur le territoire et porté par des projets participatifs ou des collectivités locales. Il repose en particulier sur la filière photovoltaïque avec une large diffusion de panneaux solaires sur tout le territoire (via un

fort développement sur toitures, mais également de grands parcs au sol), y compris dans les régions les moins ensoleillées. Il n'y a pas d'investissement dans la filière du nouveau nucléaire, conduisant à un mix 100% renouvelable à l'issue de la fermeture de l'ensemble du parc nucléaire existant.

Évolution des sources de production d'électricité en France (capacités en GW)



Nouveau nucléaire

0 GW



Aucune nouvelle centrale nucléaire n'est construite en France.



Nucléaire existant

16 GW

11/57 réacteurs existants encore en activité

La fermeture de 12 réacteurs existants d'ici à 2035 (trajectoire publique) puis de deux à trois par an à partir de 2045. L'âge moyen des réacteurs encore en service est de 52 ans.



Solaire

214 GW

107 à 214 milliers d'hectares

Le parc solaire est multiplié par 22* ce qui implique de multiplier par 7 le rythme actuel de développement. Les installations sont réparties sur l'ensemble du territoire, avec un très fort développement sur les toitures (1 maison individuelle sur 2) et de grands parcs au sol.



Éolien terrestre

59 GW

20 à 29 milliers de mâts

Le parc éolien est multiplié par 3,5* accélérant modérément le rythme historique de développement. Les installations sont réparties de manière homogène sur le territoire, portées par des projets citoyens réunissant les acteurs locaux.



Éolien en mer

45 GW

3 à 4,5 milliers de mâts

Le parc éolien en mer français est très développé sur l'ensemble des côtes françaises. Il est nécessaire de mettre en service environ 2 parcs par an, supérieur au rythme projeté de la PPE actuelle.



Hydraulique (hors stations de pompage)

22 GW

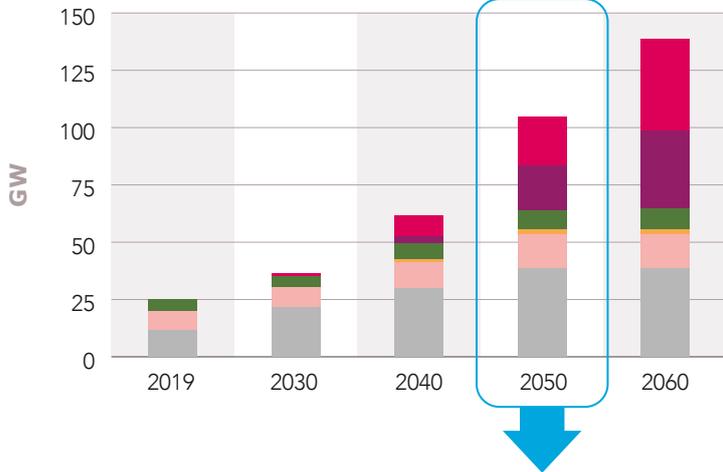
Proche du parc hydraulique actuel

Le potentiel de la filière hydraulique est déjà largement exploité, son développement reposera sur l'installation de nouveaux projets de production hydraulique à hauteur de 1 GW à l'horizon 2050.

Les moyens de flexibilité pilotables nécessaires sur le territoire

Pour chaque scénario, RTE a déterminé le bouquet optimal de flexibilités nécessaires pour compenser la variation des énergies renouvelables dépendantes des conditions météo et assurer en permanence la couverture des besoins en électricité.

Scénario M1



20 GW



Nouvelles unités thermiques décarbonées

Il est nécessaire de développer l'équivalent de **40 centrales thermiques (contre environ une vingtaine présentes aujourd'hui) qui fonctionnent avec du gaz décarboné** (type biométhane ou hydrogène) de manière à permettre un stockage d'énergie sur de longues périodes.

21 GW



Batteries

L'installation de batteries en site fixe permet de stocker l'électricité sur une courte durée, à l'échelle de la journée, pour absorber l'excédent de production solaire à midi et la consommer le soir par exemple. 0,3 MW de batteries sont actuellement installés en France.

17 GW



Flexibilités de consommation

Les nouveaux usages électriques sont pour la plupart déplaçables (recharge des batteries des véhicules électriques, production d'hydrogène, etc.). Ils pourront donc être différés en dehors des périodes de pointe en fonction des besoins du système électrique. Ce potentiel s'élève aujourd'hui à environ 4 GW.

1,7 GW
soit 1,1 MVE



Vehicle-to-grid (V2G)

Au delà du décalage de la recharge, **la mobilisation de la batterie des véhicules électriques comme des moyens de stockage** constitue une option supplémentaire pour répondre aux besoins du système.

8 GW



Stations de pompage (STEP)

Les STEP constituent un moyen de stockage de l'électricité grâce au pompage-turbinage de l'eau. La capacité actuelle s'élève à environ 4 GW et le potentiel de développement de nouveaux sites reste limité.

39 GW

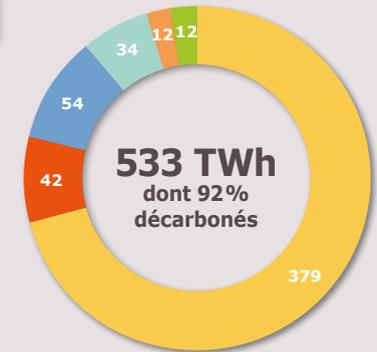


Interconnexions

Augmenter les échanges avec les pays voisins en renforçant les interconnexions permet de réduire le besoin des autres flexibilités en les mutualisant avec d'autres pays. Aujourd'hui, les interconnexions françaises représentent une capacité d'échange de l'ordre de 15 GW.

La production d'électricité en 2050

2019

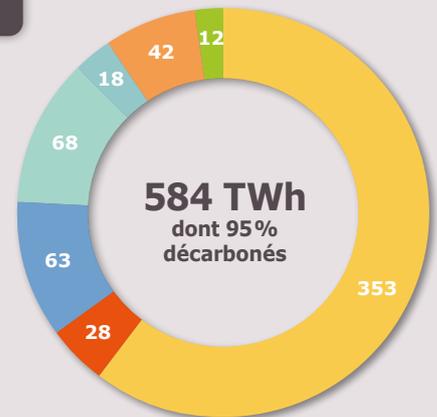


21%



71%

2030

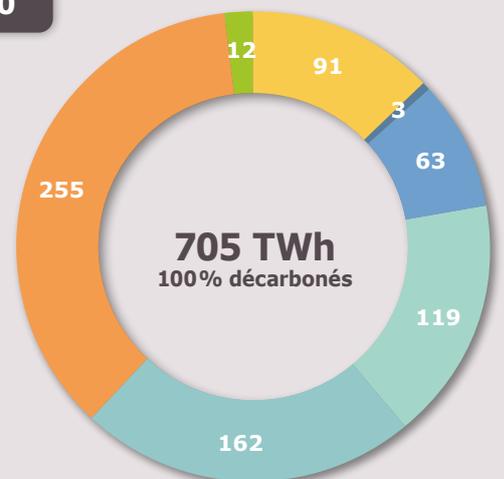


35%



60%

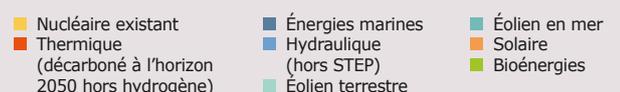
2050



87%



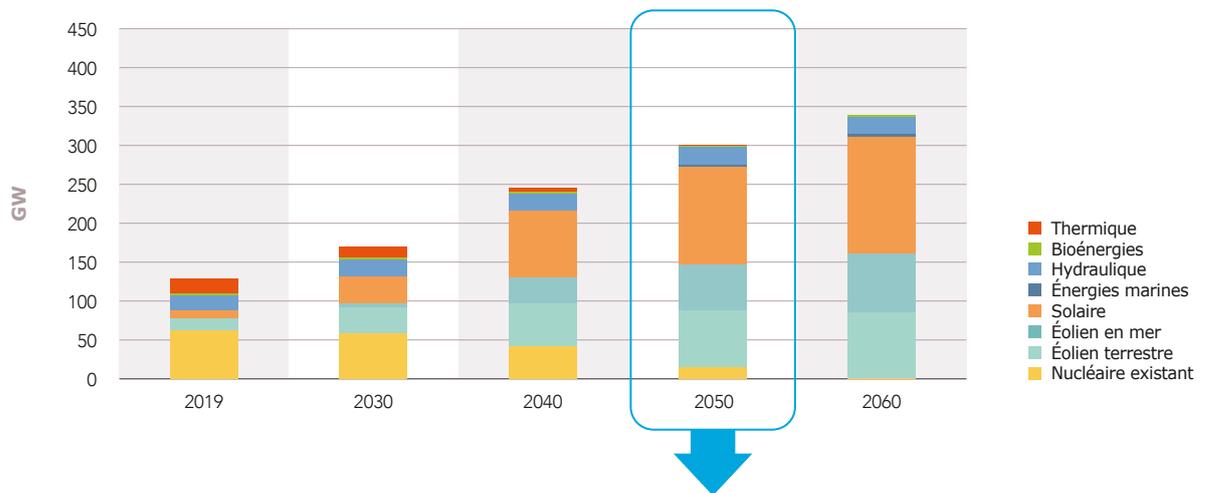
13%



Scénario de développement très important de toutes les filières renouvelables, porté notamment par l'installation de grands parcs éoliens sur terre et en mer. Pour diminuer les coûts d'installation et permettre des économies d'échelle, les zones bénéficiant des meilleurs rendements ainsi que les

technologies les plus rentables sont mobilisées. Il n'y a pas d'investissement dans la filière du nouveau nucléaire, conduisant à l'issue de la fermeture de l'ensemble du parc nucléaire existant, à un mix 100% renouvelable.

Évolution des sources de production d'électricité en France (capacités en GW)



0
GW



Aucune nouvelle centrale nucléaire n'est construite en France.



16
GW

11/57
réacteurs existants
encore en activité

La fermeture de 12 réacteurs existants d'ici à 2035 (trajectoire publique) puis de deux à trois par an à partir de 2045. L'âge moyen des réacteurs encore en service est de 52 ans.



125
GW

83 à 166
milliers d'hectares

Le parc solaire est multiplié par plus de 13* quadruplant le rythme historique de développement. 2/3 des installations sont des grands parcs au sol situés dans les régions ensoleillées.



72
GW

24 à 36
milliers de mâts

Le parc éolien est multiplié par 4* doublant le rythme historique de développement. Les installations sont des grands parcs situés dans les régions les plus venteuses.



60
GW

4 à 6
milliers de mâts

Le parc éolien en mer est très développé sur l'ensemble des côtes françaises. Il est nécessaire de mettre en service environ 4 parcs par an.



22
GW

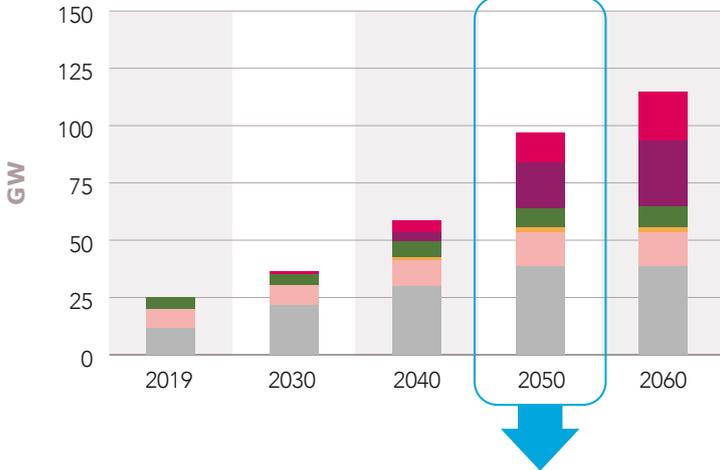
Proche du parc
hydraulique actuel

Le potentiel de la filière hydraulique est déjà largement exploité, son développement reposera sur l'installation de nouveaux projets de production hydraulique à hauteur de 1 GW à l'horizon 2050.

Les moyens de flexibilité pilotables nécessaires sur le territoire

Pour chaque scénario, RTE a déterminé le bouquet optimal de flexibilités nécessaires pour compenser la variation des énergies renouvelables dépendantes des conditions météo et assurer en permanence la couverture des besoins en électricité.

Scénario M23



20 GW Nouvelles unités thermiques décarbonées

Il est nécessaire de développer l'équivalent de **40 centrales thermiques (contre environ une vingtaine présentes aujourd'hui) qui fonctionnent avec du gaz décarboné** (type biométhane ou hydrogène) de manière à permettre un stockage d'énergie sur de longues périodes.

13 GW Batteries

L'installation de batteries en site fixe permet de stocker l'électricité sur une courte durée, à l'échelle de la journée, pour absorber l'excédent de production solaire à midi et la consommer le soir par exemple. 0,3 MW de batteries sont actuellement installés en France.

15 GW Flexibilités de consommation

Les nouveaux usages électriques sont pour la plupart déplaçables (recharge des batteries des véhicules électriques, production d'hydrogène, etc.). Ils pourront donc être différés en dehors des périodes de pointe en fonction des besoins du système électrique. Ce potentiel s'élève aujourd'hui à environ 4 GW.

1,7 GW soit 1,1 MVE **Vehicle-to-grid (V2G)**

Au delà du décalage de la recharge, la mobilisation de la batterie des véhicules électriques comme des moyens de stockage constitue une option supplémentaire pour répondre aux besoins du système.

8 GW Stations de pompage (STEP)

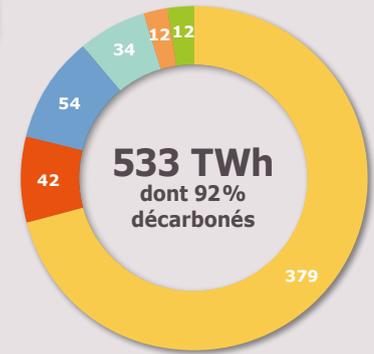
Les STEP constituent un moyen de stockage de l'électricité grâce au pompage-turbinage de l'eau. La capacité actuelle s'élève à environ 4 GW et le potentiel de développement de nouveaux sites reste limité.

39 GW Interconnexions

Augmenter les échanges avec les pays voisins en renforçant les interconnexions permet de réduire le besoin des autres flexibilités en les mutualisant avec d'autres pays. Aujourd'hui, les interconnexions françaises représentent une capacité d'échange de l'ordre de 15 GW.

La production d'électricité en 2050

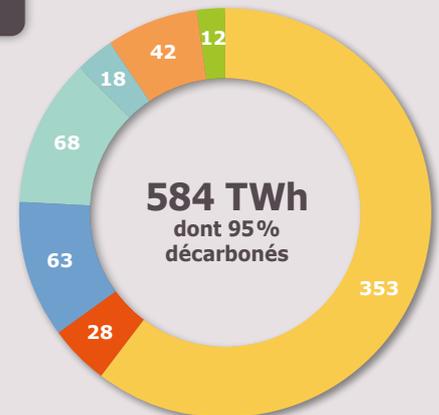
2019



 21%

 71%

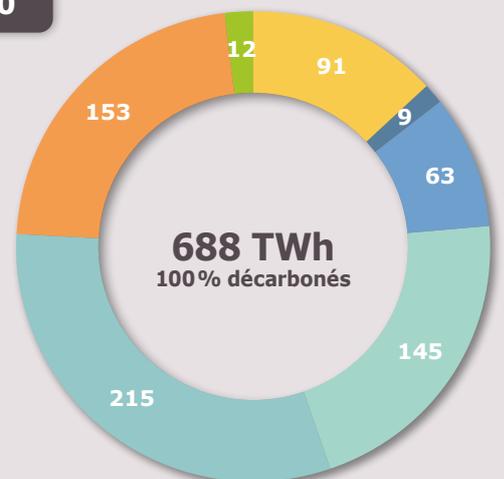
2030



 35%

 60%

2050



 87%

 13%

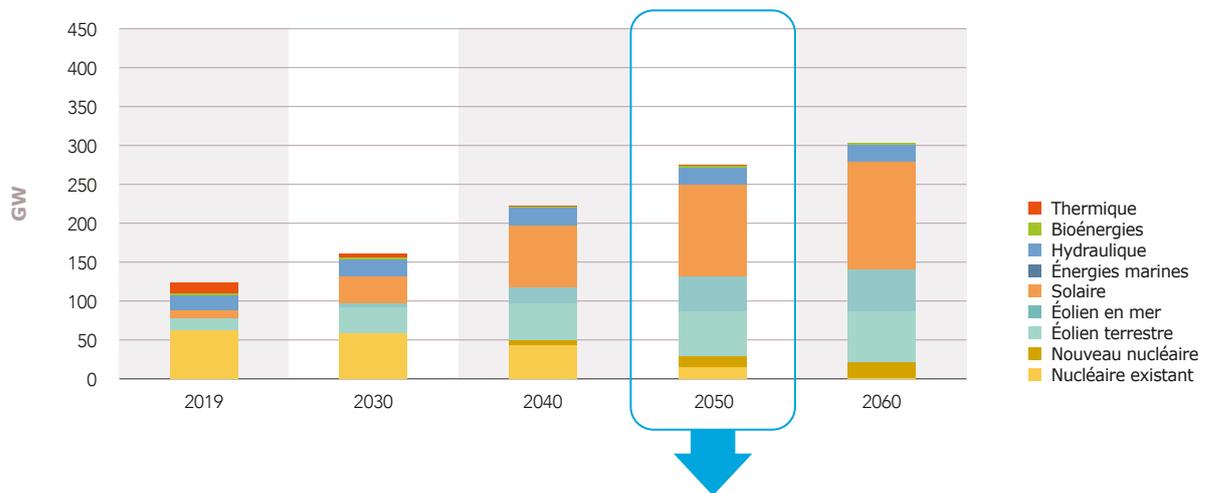
■ Nucléaire existant
■ Thermique (décarboné à l'horizon 2050 hors hydrogène)
■ Énergies marines
■ Hydraulique (hors STEP)
■ Éolien terrestre
■ Éolien en mer
■ Solaire
■ Bioénergies

Énergies renouvelables et nouveau nucléaire 1 (référence)

Scénario caractérisé par le lancement d'un programme de construction de nouveaux réacteurs nucléaires de type EPR2. Articulé autour d'un rythme de mises en service d'une paire tous les cinq ans environ, dans la continuité du programme Nouveau Nucléaire France (NNF), il vise la mise en service de huit réacteurs d'ici 2050. Pour compenser

la fermeture des réacteurs nucléaires existants, il repose également sur un développement très soutenu des énergies renouvelables, dans la continuité des orientations de la PPE avec une accélération sur l'éolien en mer. En conséquence, le niveau de flexibilité nécessaire pour maintenir l'équilibre offre-demande est important.

Évolution des sources de production d'électricité en France (capacités en GW)



13
GW

Nouveau nucléaire

8
nouveaux réacteurs

L'installation par paire de nouveaux réacteurs se fait sur des sites existants à partir de l'horizon 2035, au rythme d'une paire tous les 5 ans.



16
GW

Nucléaire existant

11/57
réacteurs existants encore en activité

La fermeture de 12 réacteurs existants d'ici à 2035 (trajectoire de la dernière PPE) puis de deux à trois par an à partir de 2045. L'âge moyen des réacteurs encore en service est de 52 ans.



118
GW

Solaire

79 à 158
milliers d'hectares

Le parc solaire est multiplié par 11* triplant le rythme historique de développement. La logique d'installation repose notamment sur des grands parcs au sol situés dans les régions ensoleillées.



58
GW

Éolien terrestre

19 à 29
milliers de mâts

Le parc éolien est multiplié par plus de 3* accélérant le rythme historique de développement. Les installations sont des grands parcs situés dans les régions les plus venteuses.



45
GW

Éolien en mer

3 à 4,5
milliers de mâts

Le parc éolien en mer est développé sur l'ensemble des côtes françaises. Il est nécessaire de mettre en service d'environ 2 parcs par an.



22
GW

Hydraulique (hors stations de pompage)

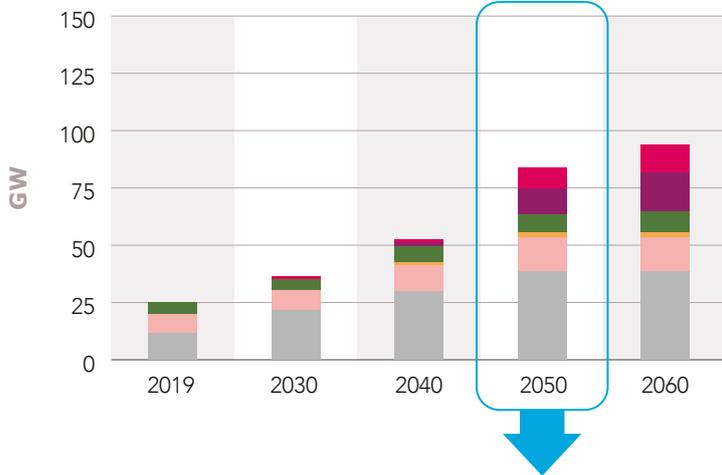
Proche du parc hydraulique actuel

Le potentiel de la filière hydraulique est déjà largement exploité, son développement reposera sur l'installation de nouveaux projets de production hydraulique à hauteur de 1 GW à l'horizon 2050.

Les moyens de flexibilité pilotables nécessaires sur le territoire (en GW)

Pour chaque scénario, RTE a déterminé le bouquet optimal de flexibilités nécessaires pour compenser la variation des énergies renouvelables dépendantes des conditions météo et assurer en permanence la couverture des besoins en électricité.

Scénario N1



11 GW Nouvelles unités thermiques décarbonées

Il est nécessaire de développer l'équivalent de **22 centrales thermiques (contre environ une vingtaine présentes aujourd'hui) qui fonctionnent avec du gaz décarboné** (type biométhane ou hydrogène) de manière à permettre un stockage d'énergie sur de longues périodes.

9 GW Batteries

L'installation de batteries en site fixe permet de stocker l'électricité sur une courte durée, à l'échelle de la journée, pour absorber l'excédent de production solaire à midi et la consommer le soir par exemple. 0,3 MW de batteries sont actuellement installés en France.

15 GW Flexibilités de consommation

Les nouveaux usages électriques sont pour la plupart **déplaçables** (recharge des batteries des véhicules électriques, production d'hydrogène, etc.). Ils pourront donc être différés en dehors des périodes de pointe en fonction des besoins du système électrique. Ce potentiel s'élève aujourd'hui à environ 4 GW.

1,7 GW soit 1,1 MVE **Vehicule-to-grid (V2G)**

Au delà du décalage de la recharge, **la mobilisation de la batterie des véhicules électriques comme des moyens de stockage** constitue une option supplémentaire pour répondre aux besoins du système.

8 GW Stations de pompage (STEP)

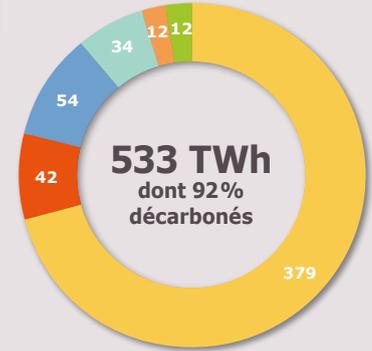
Les STEP constituent un moyen de stockage de l'électricité grâce au pompage-turbinage de l'eau. La capacité actuelle s'élève à environ 4 GW et le potentiel de développement de nouveaux sites reste limité.

39 GW Interconnexions

Augmenter les échanges avec les pays voisins en renforçant les interconnexions permet de réduire le besoin des autres flexibilités en les mutualisant avec d'autres pays. Aujourd'hui, les interconnexions françaises représentent une capacité d'échange de l'ordre de 15 GW.

La production d'électricité en 2050

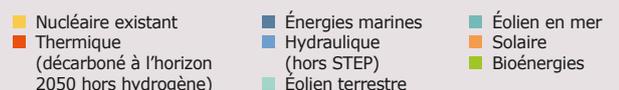
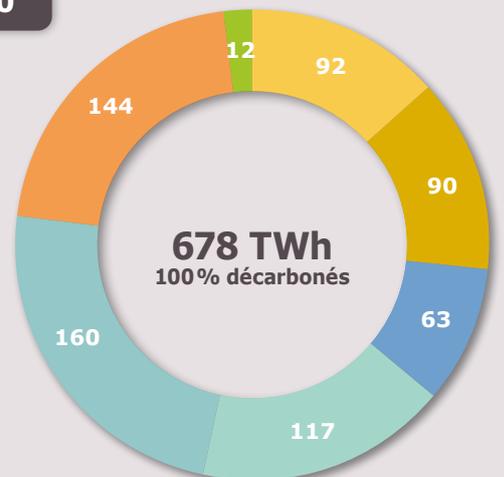
2019



2030



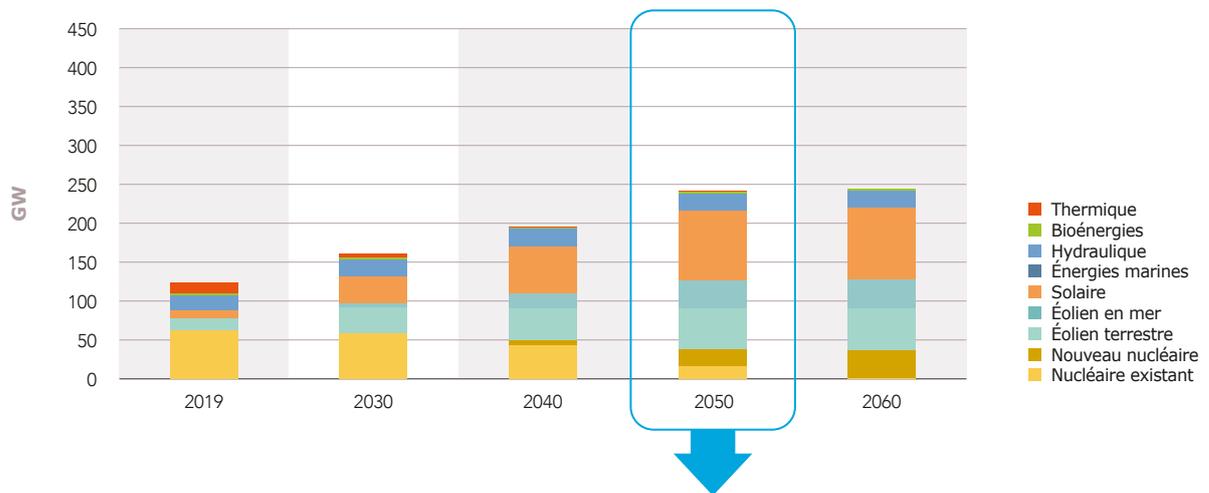
2050



Scénario élaboré autour du lancement d'un programme rapide de construction de nouveaux réacteurs nucléaires de type EPR2, selon un rythme correspondant à la capacité maximale communiquée, à date, par la filière nucléaire (une paire tous les quatre ans à partir de l'horizon 2035 et une

accélération progressive). Ce développement de nouveaux EPR s'accompagne d'un développement des énergies renouvelables à un rythme toujours soutenu mais moindre que dans N1 et dans les scénarios M.

Évolution des sources de production d'électricité en France (capacités en GW)



23
GW



16
GW



90
GW



52
GW



36
GW



22
GW

14
nouveaux réacteurs

11/57
réacteurs existants
encore en activité

54 à 108
milliers d'hectares

17 à 26
milliers de mâts

2,4 à 4,6
milliers de mâts

Proche du parc
hydraulique actuel

L'installation par paire de nouveaux réacteurs se fait sur des sites comportant déjà des centrales nucléaires à partir de l'horizon 2035, au rythme d'une paire tous les quatre ans et une accélération à partir de la troisième paire.

La fermeture de 12 réacteurs existants d'ici à 2035 (trajectoire publique) puis de deux à trois par an à partir de 2045. L'âge moyen des réacteurs encore en service est de 52 ans.

Le parc solaire est multiplié par plus de huit* triplant le rythme historique de développement. La logique d'installation repose notamment sur des grands parcs au sol situés dans les régions ensoleillées.

Le parc éolien est multiplié par près de 3* ce qui implique de maintenir le rythme historique de développement. Les installations sont des grands parcs situés dans les régions les plus venteuses.

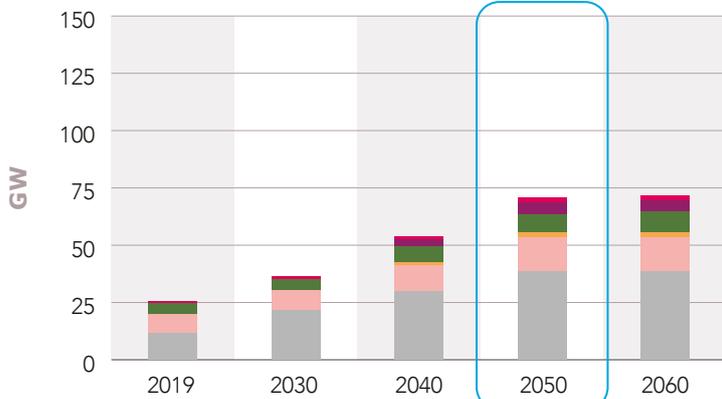
Le parc éolien en mer est développé sur l'ensemble des côtes françaises. Il est nécessaire de mettre en service d'environ 2 parcs par an.

Le potentiel de la filière hydraulique est déjà largement exploité, son développement reposera sur l'installation de nouveaux projets de production hydraulique à hauteur de 1 GW à l'horizon 2050.

Les moyens de flexibilité pilotables nécessaires sur le territoire (en GW)

Pour chaque scénario, RTE a déterminé le bouquet optimal de flexibilités nécessaires pour compenser la variation des énergies renouvelables dépendantes des conditions météo et assurer en permanence la couverture des besoins en électricité.

Scénario N2



5 GW



Nouvelles unités thermiques décarbonées

Il est nécessaire de développer l'équivalent de **10 centrales thermiques (contre environ une vingtaine présentes aujourd'hui) qui fonctionnent avec du gaz décarboné** (type biométhane ou hydrogène) de manière à permettre un stockage d'énergie sur de longues périodes.

2 GW



Batteries

L'installation de batteries en site fixe permet de stocker l'électricité sur une courte durée, à l'échelle de la journée, pour absorber l'excédent de production solaire à midi et la consommer le soir par exemple. 0,3 MW de batteries sont actuellement installés en France.

15 GW



Flexibilités de consommation

Les nouveaux usages électriques sont pour la plupart déplaçables (recharge des batteries des véhicules électriques, production d'hydrogène, etc.). Ils pourront donc être différés en dehors des périodes de pointe en fonction des besoins du système électrique. Ce potentiel s'élève aujourd'hui à environ 4 GW.

1,7 GW
soit 1,1 MVE



Vehicle-to-grid (V2G)

Au delà du décalage de la recharge, **la mobilisation de la batterie des véhicules électriques comme des moyens de stockage** constitue une option supplémentaire pour répondre aux besoins du système.

8 GW



Stations de pompage (STEP)

Les STEP constituent un moyen de stockage de l'électricité grâce au pompage-turbinage de l'eau. La capacité actuelle s'élève à environ 4 GW et le potentiel de développement de nouveaux sites reste limité.

39 GW

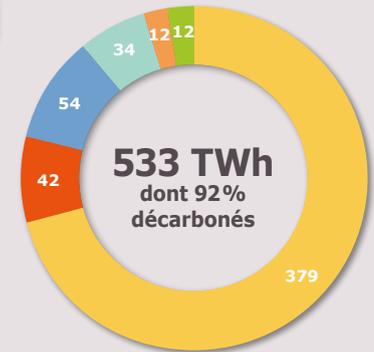


Interconnexions

Augmenter les échanges avec les pays voisins en renforçant les interconnexions permet de réduire le besoin des autres flexibilités en les mutualisant avec d'autres pays. Aujourd'hui, les interconnexions françaises représentent une capacité d'échange de l'ordre de 15 GW.

La production d'électricité en 2050

2019

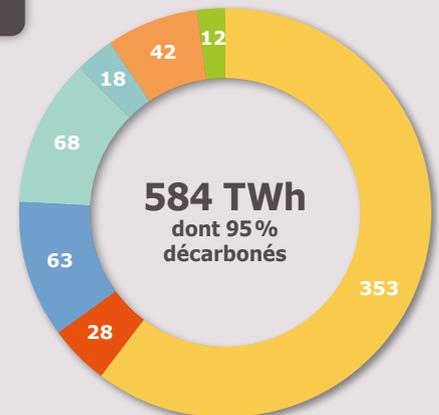


21%



71%

2030



35%



60%

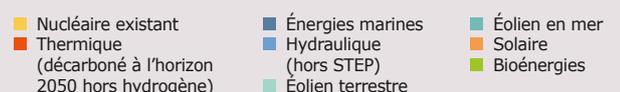
2050



62%



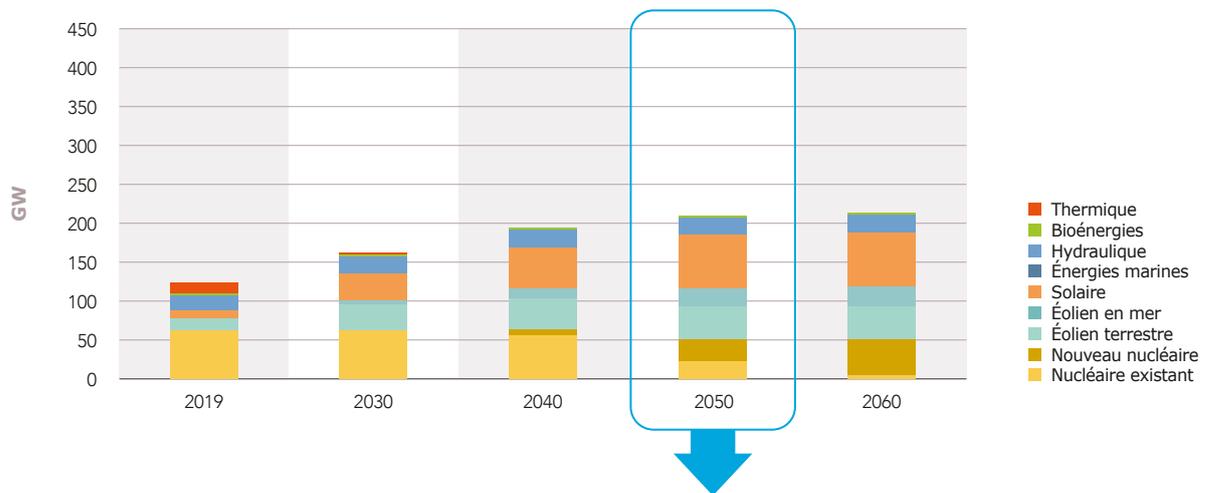
36%



Scénario structuré autour du maintien d'une part du nucléaire durablement importante, en utilisant l'ensemble des leviers possibles pour maximiser la capacité de production nucléaire à l'horizon 2050. Cela implique d'exploiter le parc nucléaire existant plus longtemps en prolongeant la vie de toutes les

centrales actuelles jusqu'à 60 ans voire au-delà dès lors qu'elles respectent les normes de sûreté, et de développer de manière volontariste et diversifié le nouveau nucléaire, notamment via les SMR. Le développement des énergies renouvelables y est moins poussé que dans les autres scénarios.

Évolution des sources de production d'électricité en France (capacités en GW)



Nouveau nucléaire

27
GW

14
nouveaux réacteurs
+ quelques SMR

L'installation par paire de nouveaux réacteurs se fait sur des sites comportant déjà des centrales nucléaires à partir de l'horizon 2035, au rythme d'une paire tous les 4 ans et une accélération à partir de la 3^e paire. Les SMR se développent à partir de 2035 (démonstrateur).



Nucléaire existant

24
GW

19/57
réacteurs existants
encore en activité

Les réacteurs actuels sont majoritairement maintenus : seules 2 fermetures de réacteurs sont envisagées d'ici à 2035 contre 12 prévues. L'âge moyen des réacteurs encore en service est de 57 ans.



Solaire

70
GW

43 à 84
milliers d'hectares

Le parc solaire est multiplié par sept* doublant le rythme historique de développement.



Éolien terrestre

43
GW

14 à 21
milliers de mâts

Le parc éolien est multiplié par 2,5* ce qui implique de maintenir environ le rythme historique de développement. Les installations sont des grands parcs situés dans les régions les plus venteuses.



Éolien en mer

22
GW

1,4 à 2,2
milliers de mâts

Le parc éolien en mer est développé sur l'ensemble des côtes françaises. Il est nécessaire de mettre en service environ un parc par an.



Hydraulique (hors stations de pompage)

22
GW

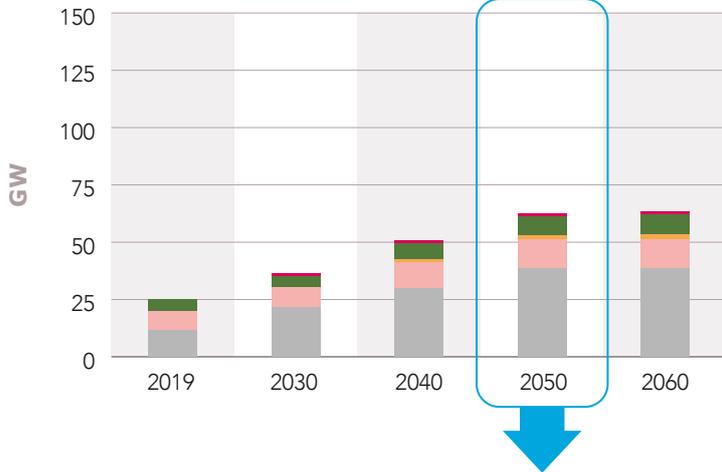
Proche du parc hydraulique actuel

Le potentiel de la filière hydraulique est déjà largement exploité, son développement reposera sur l'installation de nouveaux projets de production hydraulique à hauteur de 1 GW à l'horizon 2050.

Les moyens de flexibilité pilotables nécessaires sur le territoire (en GW)

Pour chaque scénario, RTE a déterminé le bouquet optimal de flexibilités nécessaires pour compenser la variation des énergies renouvelables dépendantes des conditions météo et assurer en permanence la couverture des besoins en électricité.

Scénario N03



1 GW Batteries

L'installation de batteries en site fixe permet de stocker l'électricité sur une courte durée, à l'échelle de la journée, pour absorber l'excédent de production solaire à midi et la consommer le soir par exemple. 0,3 MW de batteries sont actuellement installés en France.

13 GW Flexibilités de consommation

Les nouveaux usages électriques sont pour la plupart déplaçables (recharge des batteries des véhicules électriques, production d'hydrogène, etc.). Ils pourront donc être différés en dehors des périodes de pointe en fonction des besoins du système électrique. Ce potentiel s'élève aujourd'hui à environ 4 GW.

1,7 GW soit 1,1 MVE Vehicle-to-grid (V2G)

Au delà du décalage de la recharge, la mobilisation de la batterie des véhicules électriques comme des moyens de stockage constitue une option supplémentaire pour répondre aux besoins du système.

8 GW Stations de pompage (STEP)

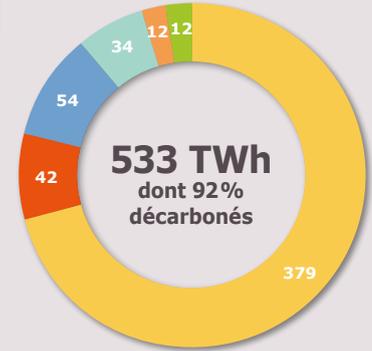
Les STEP constituent un moyen de stockage de l'électricité grâce au pompage-turbinage de l'eau. La capacité actuelle s'élève à environ 4 GW et le potentiel de développement de nouveaux sites reste limité.

39 GW Interconnexions

Augmenter les échanges avec les pays voisins en renforçant les interconnexions permet de réduire le besoin des autres flexibilités en les mutualisant avec d'autres pays. Aujourd'hui, les interconnexions françaises représentent une capacité d'échange de l'ordre de 15 GW.

La production d'électricité en 2050

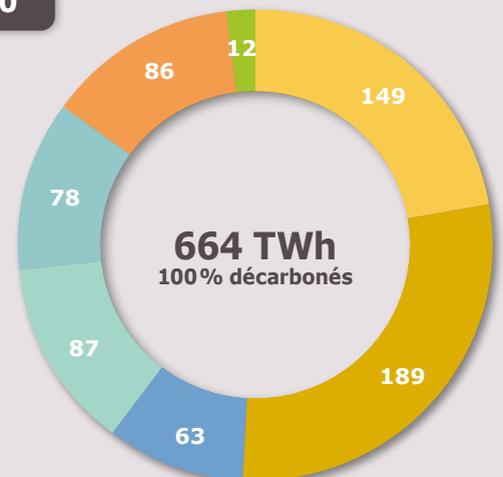
2019



2030



2050



- Nucléaire existant
- Thermique (décarboné à l'horizon 2050 hors hydrogène)
- Énergies marines
- Hydraulique (hors STEP)
- Éolien terrestre
- Éolien en mer
- Solaire
- Bioénergies

**FICHE THEMATIQUE N°22 : LES TROIS SCENARIOS DE
CONSOMMATION DE L'ETUDE « FUTURS ENERGETIQUES 2050 »**



Consommation

Scénario de référence

645 TWh en 2050
Soit +35 % par rapport à 2019

Scénario combinant électrification progressive et forte ambition sur l'efficacité énergétique (hypothèse SNBC), sans modification des modes de vie. L'électricité devient à terme l'énergie majoritaire utilisée en France, avec une forte transformation notamment dans la mobilité légère. Les plans annoncés

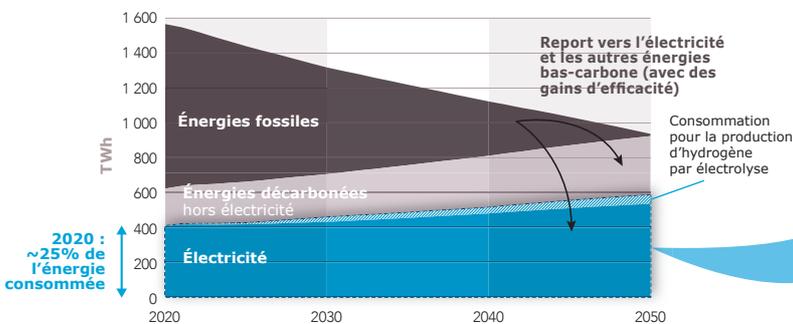
(relance, réindustrialisation, hydrogène) sont menés à bien et induisent des besoins spécifiques. L'industrie manufacturière croît et sa part dans le PIB cesse de diminuer. Les objectifs de rénovation des bâtiments sont atteints et modèrent la consommation, mais s'accompagnent d'un effet rebond.

PIB +1,3 %/an à partir de 2030

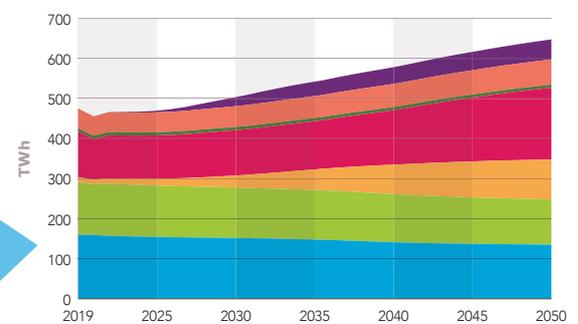
Pop 4 millions d'habitants en plus d'ici 2050

Modes de vie inchangés

Projection de la consommation finale en France dans la SNBC



Projection de la consommation totale* d'électricité



Par secteur

Hydrogène bas carbone
0 → 50 TWh

Produit par électrolyse pour alimenter les besoins industriels et les transports lourds, conforme à la SNBC et au plan de relance

Industrie
115 → 180 TWh

Croissance de l'activité industrielle avec une part de l'industrie dans le PIB stable à 10% (contre-tendanciel, électrification des procédés)

Transports
15 → 100 TWh

Fin de la vente des véhicules thermiques en 2040** ; 95% des véhicules légers et 20% des camions sont électriques en 2050

Tertiaire
130 → 110 TWh

Triplement de la consommation des data centers, amélioration de l'efficacité énergétique dans les autres usages

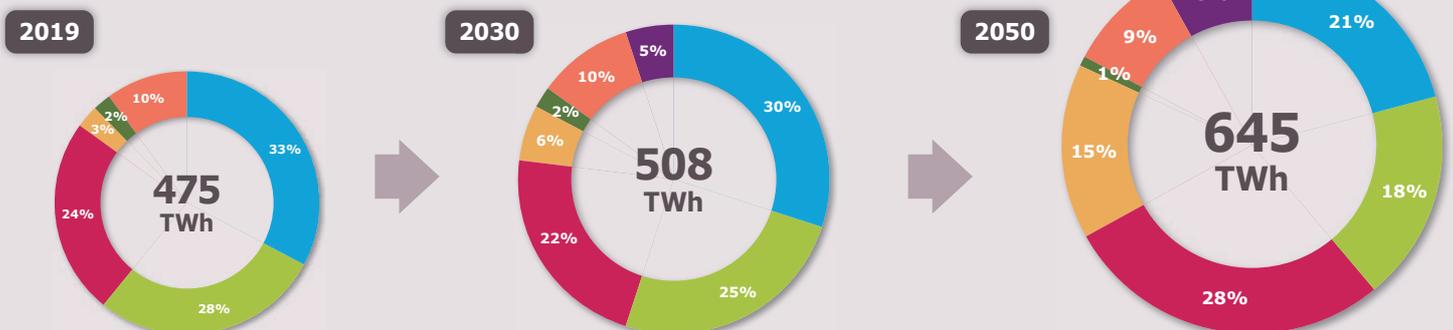
Résidentiel
160 → 135 TWh

Développement du chauffage électrique par pompe à chaleur, compensée par un programme de rénovation énergétique, des bâtiments et des équipements électriques plus efficaces

* consommation finale + pertes réseau + consommation du secteur énergétique + consommation pour la production d'hydrogène décarboné

** La législation en vigueur prévoit désormais une interdiction à partir de 2035

Évolution structurelle de la consommation intérieure d'électricité





Consommation

Scénario Réindustrialisation profonde

752 TWh en 2050
Soit +60% par rapport à 2019

Logique fondée sur un investissement spécifique dans les secteurs stratégiques, ainsi que sur la relocalisation de certaines productions dont la fabrication à l'étranger émet beaucoup de gaz à effet de serre, dans l'optique de réduire l'empreinte carbone de la France. Sans revenir à son niveau du début des années 1990,

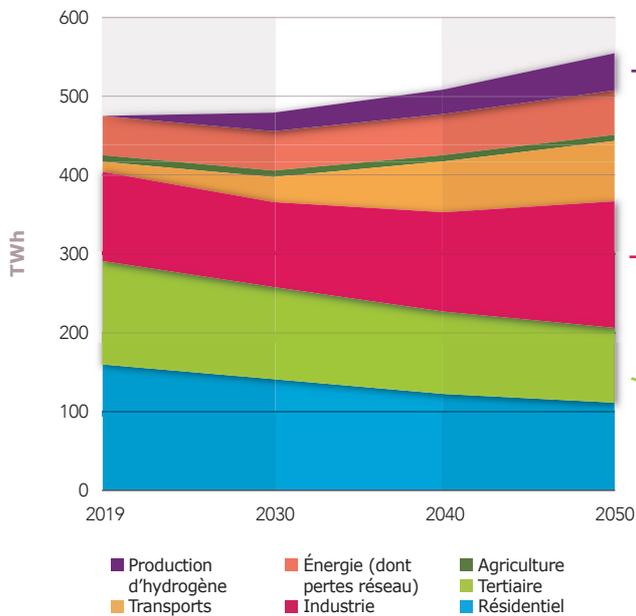
la part de l'industrie manufacturière dans le PIB s'infléchit de manière forte pour atteindre 12-13% en 2050. La valeur ajoutée de l'industrie est supérieure de 80% à celle d'aujourd'hui et le solde commercial devient très largement positif à l'horizon 2050.

PIB +1,5%/an à partir de 2030

Pop 4 millions d'habitants en plus d'ici 2050

Changements des modes de vie : relocalisations industrielles fortes

Projection de la consommation totale* d'électricité



Le scénario réindustrialisation profonde permet d'explorer les implications d'une reconquête industrielle (2050 et écart avec la trajectoire de référence)

- Hydrogène bas carbone**
0 → 87 TWh (+37 TWh)
Hausse des volumes d'hydrogène produits en France par électrolyse du fait de l'augmentation des besoins industriels (et du transport lourd associé). Une partie des besoins sont couverts par des importations.
- Industrie**
115 → 239 TWh (+59 TWh)
Investissements supplémentaires importants orientés dans les secteurs stratégiques (électronique, informatique), ainsi que dans les secteurs exposés aux fuites de carbone (industrie lourde), relocalisation de production (secteur pharmaceutique).
- Tertiaire**
130 → 115 TWh (+5 TWh)
Légère hausse par rapport à la trajectoire de référence du fait de l'augmentation de l'activité industrielle.

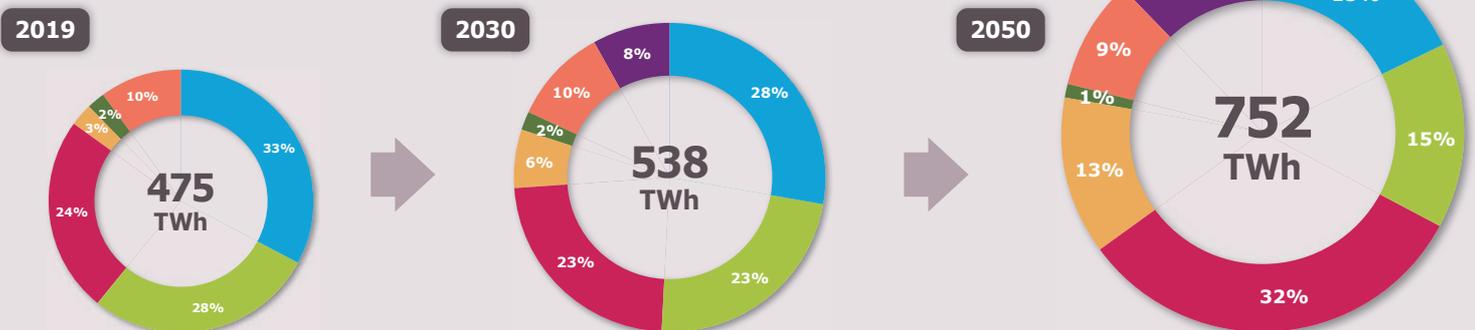
* consommation finale + pertes réseau + consommation du secteur énergétique + consommation pour la production d'hydrogène décarboné

Evolutions de consommation communes à la trajectoire de référence par secteur

- Transports**
15 → 99 TWh
Fin de la vente des véhicules thermiques en 2040** (95% des véhicules légers et 20% des camions sont électriques en 2050).
- Résidentiel**
160 → 135 TWh
Développement du chauffage électrique par pompe à chaleur, compensée par la rénovation énergétique réussie des bâtiments et des équipements électriques plus efficaces.

** La législation en vigueur prévoit désormais une interdiction à partir de 2035

Évolution structurelle de la consommation intérieure d'électricité





Consommation

Scénario Sobriété

555 TWh en 2050
Soit +15% par rapport à 2019

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

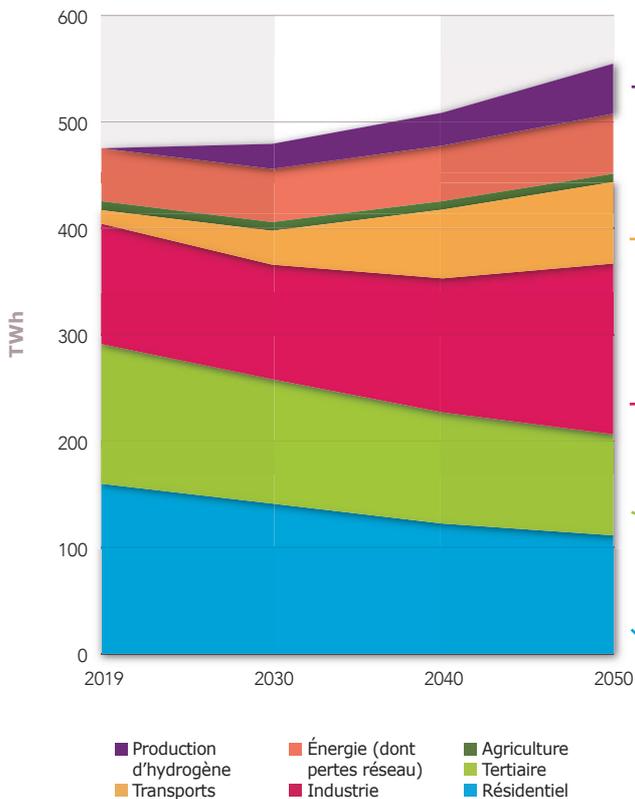
chauffage, recours à davantage de télétravail, sobriété numérique, etc. Ces évolutions, qui reposent sur des changements importants des modes de vie, à contre courant des tendances actuelles, induisent une diminution générale des besoins énergétiques, et par extension de la consommation d'électricité.

PIB +1,3%/an
à partir de 2030

Pop 4 millions d'habitants
en plus d'ici 2050

Changement de modes de vie

Projection de la consommation totale* d'électricité

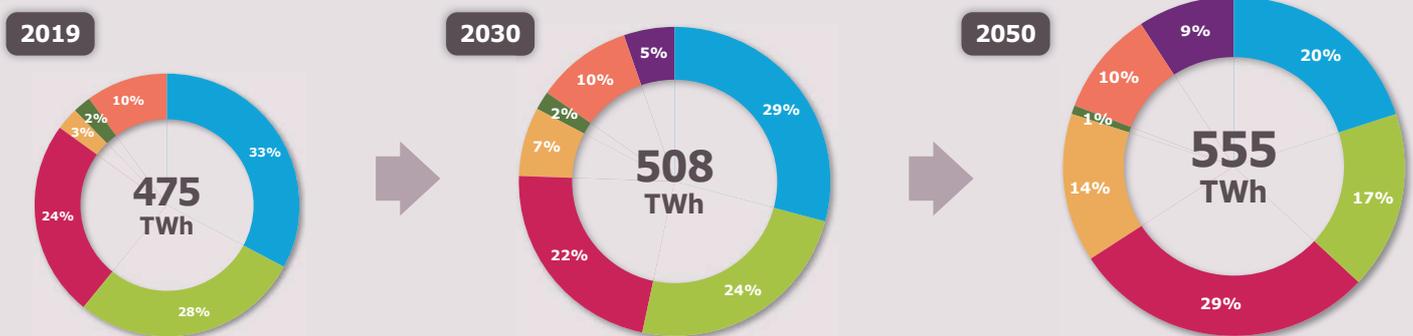


* consommation finale + pertes réseau + consommation du secteur énergétique + consommation pour la production d'hydrogène décarboné

Le scénario de *sobriété* permet de représenter les effets associés à des changements des modes de vie (2050 et écart à la trajectoire de référence)

<p>Hydrogène bas carbone 0 → 47 TWh (-23 TWh)</p>	Moindres besoins en hydrogène par l'industrie et le transport lourd
<p>Transports 15 → 77 TWh (-22 TWh)</p>	La mobilité est moindre et la part du véhicule individuel se réduit au profit des modes doux, des transports en commun et du covoiturage. Les véhicules sont plus légers, la vitesse moyenne est réduite et le nombre de véhicules légers en circulation est réduit.
<p>Industrie 115 → 160 TWh (-20 TWh)</p>	Essor des circuits courts et de l'alimentation non transformée, réduction de la construction, développement de l'économie circulaire, allongement des durées de vie des équipements
<p>Tertiaire 130 → 95 TWh (-18 TWh)</p>	La surface de bureaux est moindre du fait d'une organisation différente du travail, sobriété numérique (taux d'équipement et usages), transformation des modes de consommation (circuits courts, moins de gaspillage), réduction des surfaces commerciales
<p>Résidentiel 160 → 111 TWh (-23 TWh)</p>	Légère hausse du nombre de personnes par ménage, développement de l'habitat à espaces partagés, baisse volontaire de la température de consigne de chauffage de 1°C d'ici à 2050, baisse volontaire de l'usage d'eau chaude sanitaire

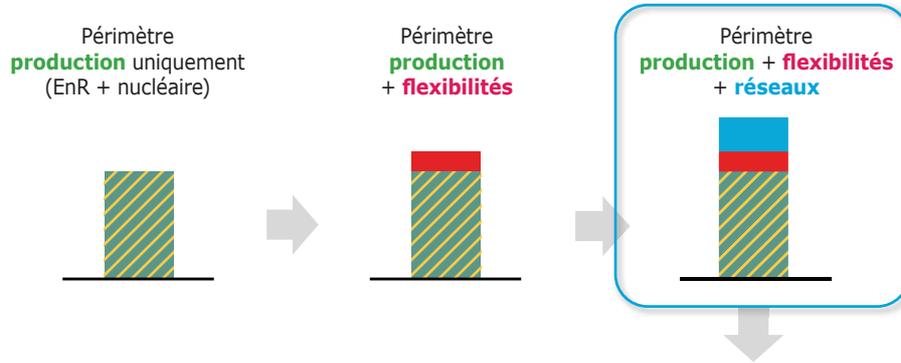
Évolution structurelle de la consommation intérieure d'électricité



**FICHE THEMATIQUE N°23 : L'ANALYSE ECONOMIQUE ET
ENVIRONNEMENTALE DE L'ETUDE « FUTURS ENERGETIQUES 2050 »**

Analyse économique des différents scénarios

1 La méthodologie retenue permet de comparer le coût complet des scénarios de transition à l'échelle du système électrique, au-delà du seul coût des installations de production

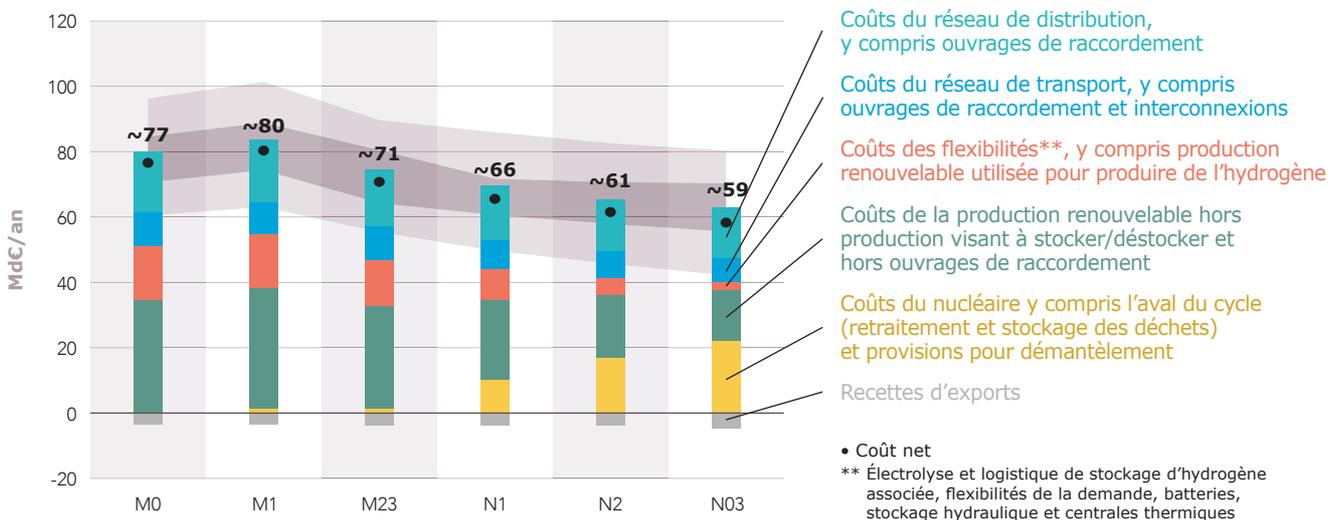


- Pour chaque composante du chiffrage, différents types de coûts sont pris en compte
- ✓ **Les coûts des infrastructures**
Avec des variantes de coûts : faible - médian - haut
 - ✓ **Les coûts d'exploitation et de maintenance**
 - ✓ **Le coût de financement**
Valeur centrale et homogène du CPMC à 4% avec des combinaisons de variantes à 1 et 7 %

2 L'analyse comparée des coûts complets des différents scénarios à 2060* montre l'intérêt économique de développer de nouveaux réacteurs nucléaires ainsi que des grands parcs solaires et éoliens

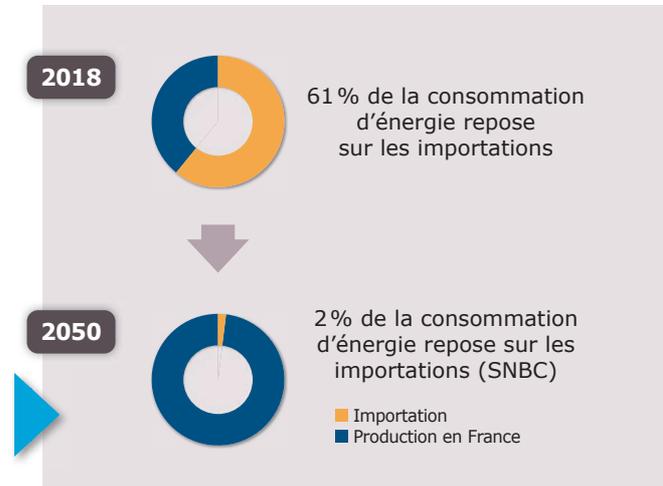
Référence

L'analyse est réalisée à l'horizon **2060** pour prendre en compte l'ensemble des coûts associés à la fermeture complète du parc nucléaire existant dans l'ensemble des scénarios



3 Les grands enseignements économiques

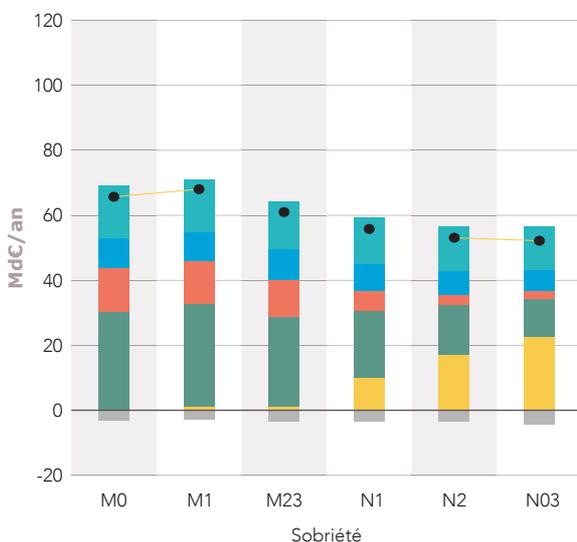
- ▶ **Pour atteindre la neutralité carbone, il sera nécessaire de doubler le rythme des investissements dans le système électrique** afin d'augmenter sa taille, en conséquence des nouveaux besoins en électricité.
- ▶ **Rapportés à l'énergie produite, les coûts associés pourraient légèrement augmenter** en lien avec la fermeture des centrales nucléaires existantes dont le coût a été amorti et qui restent compétitives même en intégrant les programmes de maintenance (Grand carénage).
- ▶ **Les dépenses énergétiques des Français dépendront de moins en moins des énergies fossiles importées** dont les cours peuvent varier fortement mais d'un système électrique aux coûts de fonctionnement faibles et plus stables.
- ▶ **Le coût global du système électrique sera plus élevé mais il couvrira une part plus importante des besoins énergétiques** du fait de l'augmentation de la consommation d'électricité au profit de la diminution des consommations d'énergies fossiles (de l'ordre de 55% dans le scénario de référence contre environ 25% actuellement).



4 L'interclassement économique des scénarios est confirmé dans les différentes trajectoires de consommation

Sobriété

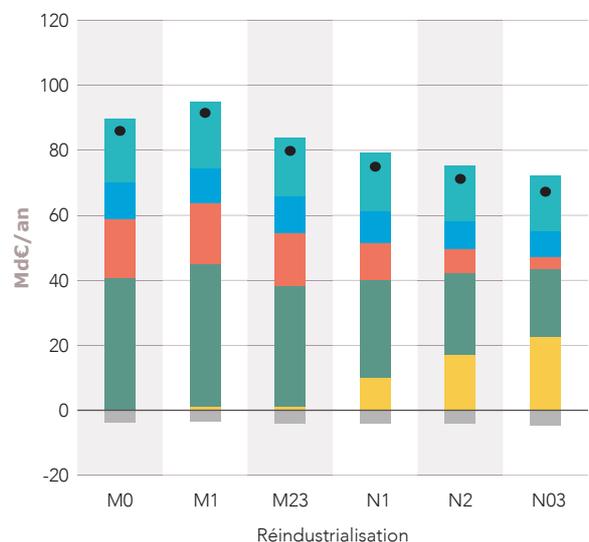
Une société plus sobre en 2050 consommera moins d'électricité (environ -100 TWh que dans la trajectoire de référence). **Cela nécessitera donc d'installer moins de moyens de production, de réseau et de flexibilité.**



Coûts complets entre -10 et -15%

Réindustrialisation profonde

Amorcer une réindustrialisation profonde de l'économie française nécessite de **produire plus d'électricité en France** (environ +100 TWh que dans la trajectoire de référence) **ce qui implique plus de réseau et de flexibilités.**



Coûts complets entre +10 et +15%



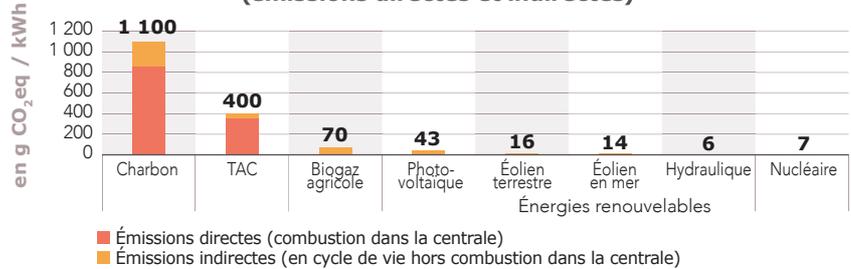
Analyse environnementale des scénarios



BILAN CARBONE

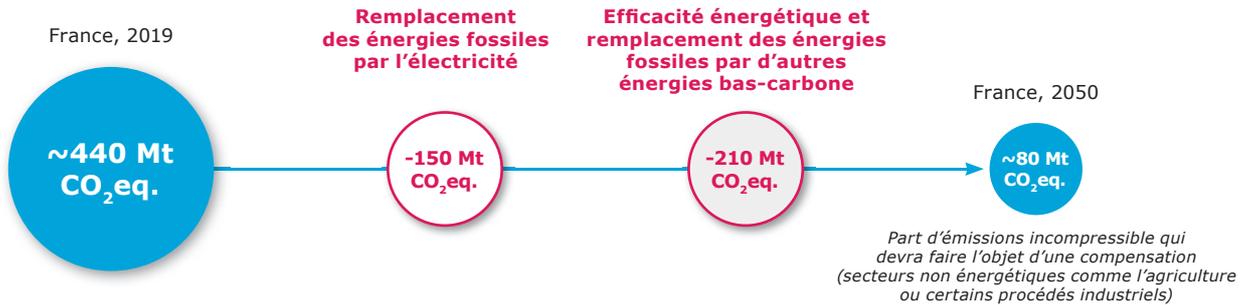
Même en intégrant le bilan carbone complet des infrastructures sur l'ensemble de leur cycle de vie, **l'électricité en France restera très largement bas carbone et contribuera fortement à l'atteinte de la neutralité carbone** en se substituant aux énergies fossiles.

Émissions en cycle de vie pour différentes filières aujourd'hui (émissions directes et indirectes)



L'électrification des usages dans le chauffage, les transports et l'industrie permet à elle seule de réduire les émissions de la France de 35% d'ici 2050. **La sobriété** peut également soulager les besoins de consommation d'énergie, et donc contribuer à la réduction des émissions. D'autres leviers, comme **le développement des bioénergies ou la réduction des émissions de l'agriculture**, doivent également être activés pour atteindre la neutralité carbone.

Évolution des émissions de gaz à effet de serre territoriales de la France et contribution du système électrique à la décarbonation de l'économie à l'horizon 2050



BESOINS & RESSOURCES

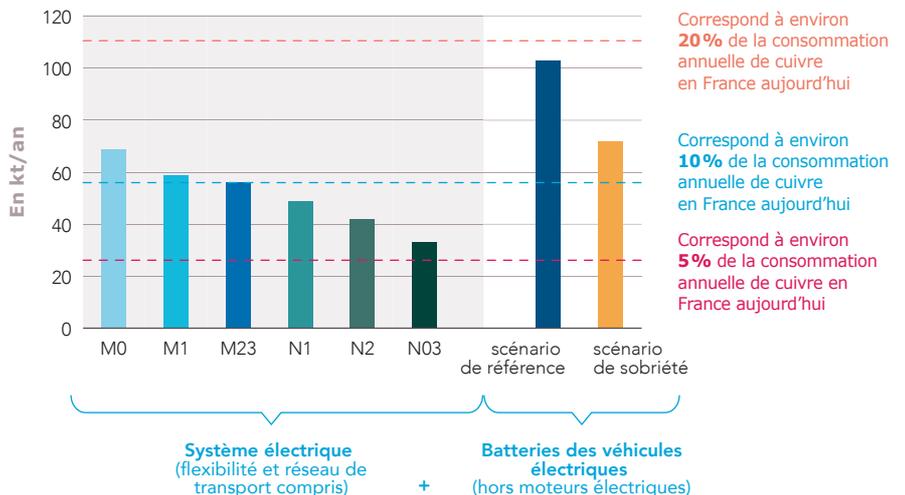
La transition énergétique réduit la dépendance liée aux énergies fossiles mais induit des **besoins et circuits d'approvisionnement nouveaux en ressources minérales** qui suscitent leurs propres enjeux d'approvisionnement.

De nombreuses ressources présentent des enjeux de criticité réels qui sont de nature diverses, portant notamment sur le volume des réserves connus, les impacts environnementaux associés à leur extraction, des situations de monopoles, etc.

La croissance des besoins en métaux spécifiques pour les batteries, notamment des véhicules électriques, constitue un point de vigilance réel.

Des matières comme le cuivre sont également sous surveillance, et d'autant plus dans les scénarios à forte part en énergies renouvelables.

Consommation annuelle moyenne de cuivre entre 2020 et 2050 dans les scénarios d'évolution (1) du système électrique et (2) des batteries de véhicules électriques



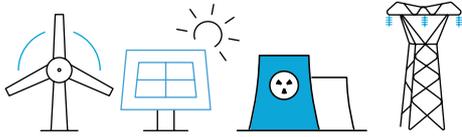


OCCUPATION DES SOLS

Le développement des énergies renouvelables soulève un enjeu d'occupation de l'espace et de limitation des usages.

Plus le scénario comporte d'énergies renouvelables, plus la surface du territoire utilisée par des infrastructures énergétiques augmente. Néanmoins, **les surfaces imperméabilisées et artificialisées, qui cristallisent les inquiétudes pour la biodiversité et la bonne santé des sols, restent très faibles à l'échelle du territoire.**

Surface artificialisée par :



Le système électrique (en 2050)

~20 000 à 50 000 hectares
(dont 4 à 5 kha imperméabilisés)



Le réseau routier français (en 2020)

~1,2 million d'hectares



DÉCHETS RADIOACTIFS

La gestion des combustibles usés nécessite dans tous les scénarios des mesures ou des infrastructures additionnelles pour l'entreposage des combustibles usés (densification des piscines d'entreposage de La Hague, nouvelle piscine d'entreposage centralisée) qui doivent être anticipés afin de ne pas affecter la disponibilité des centrales nucléaires. **La décision de poursuite ou non de la stratégie de traitement-recyclage constitue un enjeu clé à long terme et très long terme.**

Le dimensionnement des infrastructures de stockage des déchets radioactifs à long terme dépend largement des choix sur l'évolution du parc nucléaire :

Scénarios N (construction de nouveaux EPR) :

intégrer les déchets issus du fonctionnement des nouveaux réacteurs

Scénarios M (sortie du nucléaire) et/ou arrêt de recyclage du combustible usé :

requalifier certains combustibles usés en déchets et anticiper leur stockage définitif



POLLUANTS ATMOSPHERIQUES

Le système électrique français représente dès aujourd'hui une très faible part des émissions de polluants atmosphériques (part importante de nucléaire et d'énergies renouvelables, quasiment plus de fioul et de charbon).

L'électrification de certains usages et/ou le remplacement de certains appareils peuvent contribuer à baisser les émissions de certains polluants :



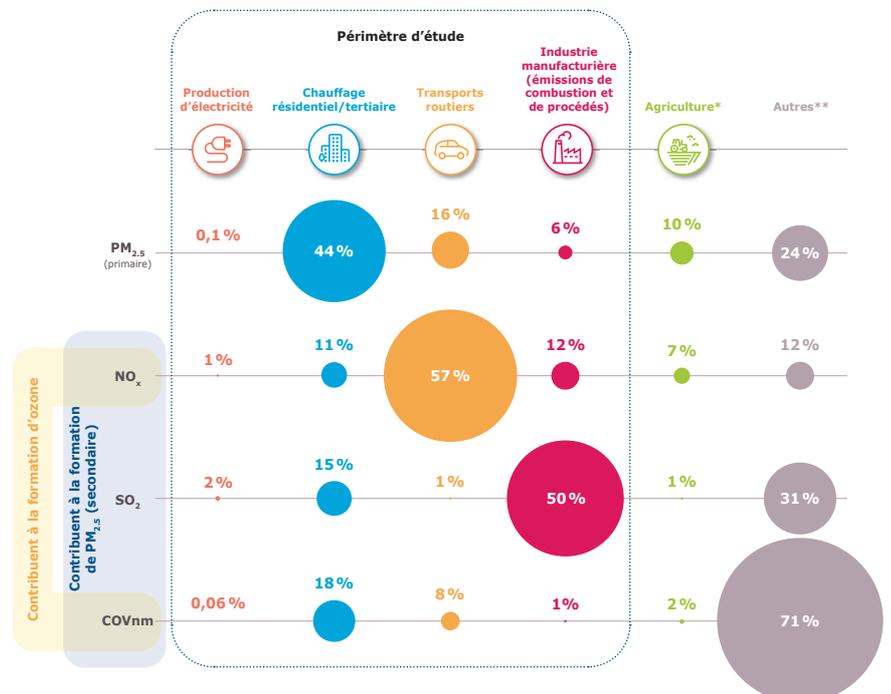
le chauffage, qui représente une source majeure d'émissions de particules fines (PM_{2,5})



le transport routier, qui contribue fortement à la production d'oxyde d'azote (NO_x)



l'industrie, dont les processus de combustion représentent la moitié des émissions de dioxyde de soufre (SO₂)



**FICHE THEMATIQUE N°24 : LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DE
L'ETUDE « FUTURS ENERGETIQUES 2050 »**

LES ENSEIGNEMENTS DES FUTURS ÉNERGÉTIQUES 2050



Problématique générale : sortir des énergies fossiles

CONSOMMATION

- 1 Agir sur la consommation grâce à l'efficacité énergétique, voire la sobriété est indispensable pour atteindre les objectifs climatiques
- 2 La consommation d'énergie va baisser mais celle d'électricité va augmenter pour se substituer aux énergies fossiles
- 3 Accélérer la réindustrialisation du pays, en électrifiant les procédés, augmente la consommation d'électricité mais réduit l'empreinte carbone de la France

TRANSFORMATION DU MIX

- 4 Atteindre la neutralité carbone en 2050 est impossible sans un développement significatif des énergies renouvelables
- 5 Se passer de nouveaux réacteurs nucléaires implique des rythmes de développement des énergies renouvelables plus rapides que ceux des pays européens les plus dynamiques

ÉCONOMIE

- 6 Construire de nouveaux réacteurs nucléaires est pertinent du point de vue économique, *a fortiori* quand cela permet de conserver un parc d'une quarantaine de GW en 2050 (nucléaire existant et nouveau nucléaire)
- 7 Les énergies renouvelables électriques sont devenues des solutions compétitives. Cela est d'autant plus marqué dans le cas de grands parcs solaires et éoliens à terre et en mer
- 8 Les moyens de pilotage dont le système a besoin pour garantir la sécurité d'approvisionnement sont très différents selon les scénarios. Il existe un intérêt économique à accroître le pilotage de la consommation, à développer des interconnexions et le stockage hydraulique, ainsi qu'à installer des batteries pour accompagner le solaire. Au-delà, le besoin de construire de nouvelles centrales thermiques assises sur des stocks de gaz décarbonés (dont l'hydrogène) est important si la relance du nucléaire est minimale et il devient massif – donc coûteux – si l'on tend vers 100% renouvelable
- 9 Dans tous les scénarios, les réseaux électriques doivent être rapidement redimensionnés pour rendre possible la transition énergétique

SYSTÈME ET TECHNOLOGIES

- 10** Créer un « système hydrogène bas-carbone » performant est un atout pour décarboner certains secteurs difficiles à électrifier, et une nécessité dans les scénarios à très fort développement en renouvelables pour stocker l'énergie
- 11** Les scénarios à très hautes parts d'énergies renouvelables, ou celui nécessitant la prolongation des réacteurs nucléaires existants au-delà de 60 ans, impliquent des paris technologiques lourds pour être au rendez-vous de la neutralité carbone en 2050
- 12** La transformation du système électrique doit intégrer dès à présent les conséquences probables du changement climatique, notamment sur les ressources en eau, les vagues de chaleur ou les régimes de vent

ESPACE ET ENVIRONNEMENT

- 13** Le développement des énergies renouvelables soulève un enjeu d'occupation de l'espace et de limitation des usages. Il peut s'intensifier sans exercer de pression excessive sur l'artificialisation des sols, mais doit se poursuivre dans chaque territoire en s'attachant à la préservation du cadre de vie
- 14** Même en intégrant le bilan carbone complet des infrastructures sur l'ensemble de leur cycle de vie, l'électricité en France restera très largement décarbonée et contribuera fortement à l'atteinte de la neutralité carbone en se substituant aux énergies fossiles
- 15** L'économie de la transition énergétique peut générer des tensions sur l'approvisionnement en ressources minérales, particulièrement pour certains métaux, qu'il sera nécessaire d'anticiper

GÉNÉRAL

- 16** Pour 2050 : le système électrique de la neutralité carbone peut être atteint à un coût maîtrisable pour la France
- 17** Pour 2030 : développer les énergies renouvelables le plus rapidement possible et prolonger les réacteurs nucléaires existants dans une logique de maximisation de la production bas-carbone augmente les chances d'atteindre la cible du nouveau paquet européen « -55 % net »
- 18** Quel que soit le scénario choisi, il y a urgence à se mobiliser