



# FICHE 27 Pourquoi développer l'éolien en mer ?

## Messages clés :

- L'éolien en mer possède de nombreux atouts: une faible intensité carbone, des coûts compétitifs, une grande productivité et un potentiel conséquent en France.
- Dans le but d'atteindre ses objectifs de décarbonation et ainsi de respecter l'Accord de Paris, la France a engagé une électrification massive des usages. À cet effet, la France doit rapidement développer les énergies renouvelables dont l'éolien en mer.

## 1. Les atouts de l'éolien en mer

L'éolien en mer est l'une des principales filières à développer pour atteindre les objectifs de transition énergétique. Cette filière présente de nombreux avantages :

- **Une faible intensité carbone :** les émissions de gaz à effet de serre d'un parc éolien en mer sur son cycle de vie sont très faibles. D'après les premières études d'impact, elles varient de 14 à 18 g équivalent CO<sub>2</sub> par kWh produit pour les parcs posés, et se situeraient autour de 19,5 g équivalent CO<sub>2</sub> par kWh produit pour les parcs flottants<sup>1</sup>, soit plus de dix fois moins qu'une centrale thermique et jusqu'à deux fois moins que le photovoltaïque.
- **Un coût compétitif :** les tarifs de référence des deux derniers appels d'offres au large de Dunkerque (AO3) et en zone Centre Manche (AO4) sont très compétitifs (respectivement 44 et 45 €/MWh).
- **Une durée de vie significative :** il est envisagé des durées d'exploitation des projets dépassant 30 ans.
- **Une filière créatrice d'emplois :** l'éolien en mer représentait déjà près de 7 500 emplois en France en 2022, soit une croissance de plus de 900 emplois sur l'année<sup>2</sup>.
- **Une plus grande productivité :** le vent étant plus fort et plus régulier en mer, les éoliennes en mer produisent davantage que sur terre :
  - > Des facteurs de charge<sup>3</sup> entre 40 et 42% sont prévus pour les premiers parcs français.
  - > En comparaison, le facteur de charge moyen de l'éolien terrestre s'est établi à 21 % en 2022, et à 15 % pour le solaire (source : Bilan électrique 2022, RTE).
- **Un gisement important :** la France métropolitaine dispose de façades maritimes de taille significative avec des régimes de vent décorrélés permettant d'assurer une base de production par l'éolien en mer plus importante.

1 Étude commandée par la CPDP Méditerranée dans le cadre du débat public portant sur l'AO6 (BL Évolution, Analyse bibliographique des bilans carbone de l'éolien flottant, décembre 2021)

2 Observatoire des énergies de la mer, Synthèse 2023, juin 2023

3 Le facteur de charge est le rapport entre la puissance moyenne effective sur une année et la puissance nominale. Par exemple, avec un facteur de charge moyen de 40 %, 40 GW d'éoliennes en mer produisent 140 TWh d'électricité par an.

## 2. Une solution pour lutter contre le réchauffement climatique

En signant l'Accord de Paris en 2015, l'Union européenne (UE) et la France se sont engagées avec les autres pays à limiter le réchauffement climatique à 2 °C d'ici 2100 par rapport à l'ère préindustrielle, et si possible 1,5 °C. Dans ce cadre et en complément des leviers de sobriété et d'efficacité énergétique, des objectifs de production d'électricité renouvelable et de capacité installée d'éolien en mer ont été fixés au niveau de l'UE :

Tableau: Objectifs fixés par l'Union européenne pour lutter contre le réchauffement climatique

Année	Baisse des émissions de gaz à effet de serre	Part des énergies renouvelables dans la consommation d'électricité en Europe	Capacité installée d'éolien en mer <sup>4</sup>
2030 (objectif)	- 55 % par rapport à 1990 <sup>5</sup>	32 % (directive RED II) Objectif en cours de révision: 42,5 % <sup>6</sup> (projet de directive RED III)	60 GW
2050 (objectif)	Neutralité carbone		300 GW

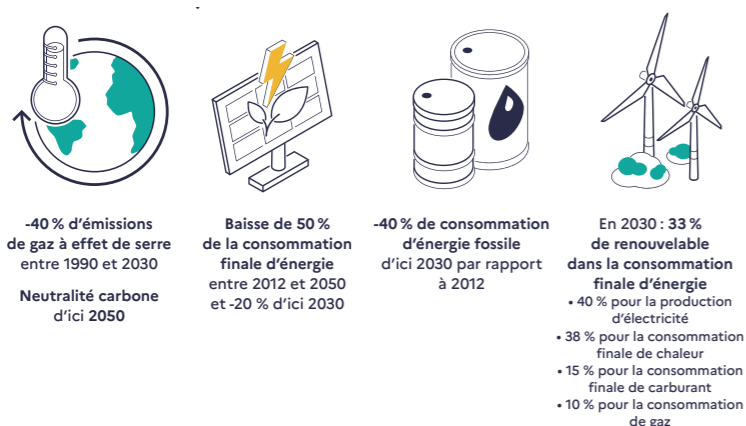
Source: Commission Européenne

En France, la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) de 2015 et la loi énergie-climat (LEC) de 2019 ont fixé des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de diversification des sources d'énergie en cohérence avec les objectifs européens. L'objectif de neutralité carbone en 2050 et l'objectif de 33 % d'énergies renouvelables dans la consommation d'électricité en France ont ainsi été inscrits dans la loi. Pour atteindre ses objectifs, l'État a défini deux feuilles de routes :

- La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) définit une trajectoire de réduction des émissions de GES pour atteindre la neutralité carbone en 2050 et fixe des objectifs à court et moyen termes par l'intermédiaire des budgets carbone.
- La Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) 2019-2028 fixe les priorités d'actions dans le domaine de l'énergie pour la décennie à venir. Elle s'assure de la sécurité d'approvisionnement, de l'amélioration de l'efficacité énergétique, du développement des énergies renouvelables et de la préservation du pouvoir d'achat des consommateurs par la compétitivité des prix de l'énergie.

Ces deux feuilles de route ont fait l'objet de procédures de participation du public en 2018 sous l'égide de la Commission nationale du débat public (CNDP). Elles feront l'objet de révisions en 2024.

Figure: Les objectifs de la France pour la transition énergétique fixés par la loi (en cours de révision)

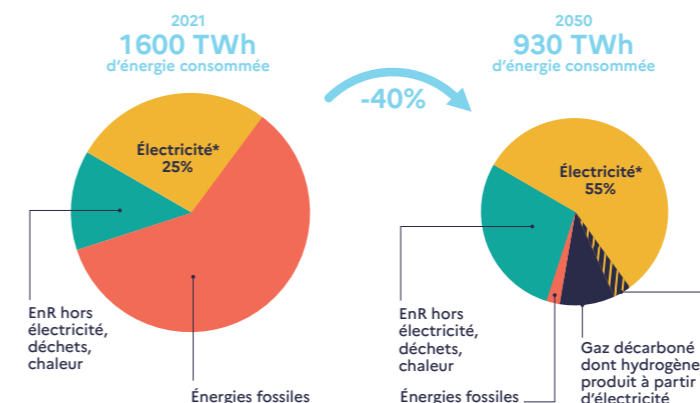


Sources : Programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE), Loi transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), Loi énergie-climat (LEC).

4 Union européenne, COM/2020/741.  
 5 Paquet législatif « Fit for 55 » présenté par la Commission Européenne.  
 6 Accord prévisionnel entre le Parlement Européen et le Conseil Européen ; en cours d'adoption.

L'atteinte de ces objectifs nécessite une électrification croissante des activités économiques pour remplacer les usages actuels des hydrocarbures (pétrole, gaz, charbon). RTE a publié en février 2022 l'étude "Futurs énergétiques 2050"<sup>7</sup> qui analyse les évolutions de la consommation et compare les six scénarios de systèmes électriques qui garantissent la sécurité d'approvisionnement, pour que la France dispose d'une électricité bas-carbone en 2050. Le scénario de référence anticipe une augmentation importante de la consommation électrique pour atteindre 645 TWh en 2050. Comme indiqué ci-dessus ces trajectoires seront mises à jour dans la programmation pluriannuelle de l'énergie en cours de révision. Les travaux en cours montrent que ces valeurs seront réévaluées à la hausse.

Consommation finale d'énergie en France et dans la SNBC



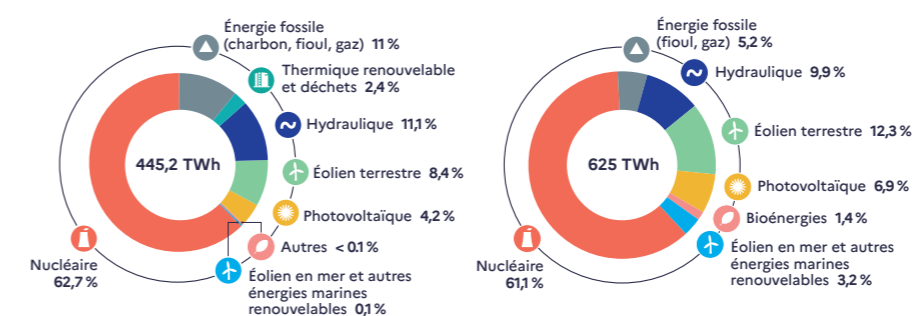
\* Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production d'hydrogène).  
 Consommation inférieure d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE = 645 TWh

## 3. Une solution pour diversifier le mix électrique français

En 2022, 24 % de la production totale d'électricité en France était d'origine hydroélectrique, éolienne (notamment grâce à la mise en service du parc de Saint Nazaire) ou solaire (106 TWh sur 445 TWh), tandis que l'énergie nucléaire représentait 63 % de cette production et les moyens de à combustible fossile représentaient 10 %<sup>8</sup>.

Focus sur les perspectives du bouquet électrique

Production d'électricité en France en 2022 et 2028



Source : Bilan électrique 2022 (RTE)

Source : Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)

7 <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques#:~:text=L%C3%A9tude%20%22Futurs%20%C3%A9nerg%C3%A9tiques%202050%22%20analyse%20les%20%C3%A9volutions%20de,%C3%A9lectricit%C3%A9%20bas%20Dcarbone%20en%202050.>

8 RTE, Bilan électrique 2022 – Synthèse, 16 février 2023

L'année 2022 a accentué la nécessité de développer de nouveaux moyens de production. Comme le souligne le Réseau de Transport d'Électricité (RTE) dans son « Bilan Électrique 2022 », trois crises indépendantes ont touché simultanément la production électrique française :

- L'envolée des prix du gaz, soutenue par les menaces sur l'approvisionnement de l'Europe résultant de la guerre menée par la Russie en Ukraine, qui a provoqué une montée importante des prix de l'électricité en Europe ;
- La découverte du phénomène de corrosion sous contrainte dans les réacteurs nucléaires français, qui a conduit depuis fin 2021 à de nombreux arrêts de réacteurs pour contrôles et réparation ;
- Une sécheresse longue qui a réduit la production hydraulique en France à son plus bas niveau depuis 1976, touchant aussi une large partie de l'Europe.

Ainsi, en 2022, le volume total d'électricité produite en France a atteint 445 TWh, soit son plus bas niveau depuis 1992, pour une consommation totale de 459 TWh. La France a été, pour la première fois depuis 1980, importatrice nette d'électricité sur l'année, avec un solde net de 16,5 TWh<sup>9</sup>.

Ces crises reflètent pour partie des contraintes de long terme sur la production électrique :

- Le réchauffement climatique réduit les précipitations en eau sur une large partie du territoire, générant des contraintes sur la production hydraulique et sur certaines centrales nucléaires lors des sécheresses et des canicules ;
- Le vieillissement du parc nucléaire français conduit à une diminution de sa production moyenne et devrait conduire, à terme, à des arrêts définitifs rapprochés de réacteurs (« effet falaise ») qu'il faut anticiper ;
- La dépendance au gaz, et plus largement aux combustibles fossiles, est sujette à des tensions géopolitiques et nuit à la souveraineté énergétique de la France.

Les principales filières permettant d'atteindre l'objectif de 40 % d'électricité d'origine renouvelable d'ici à 2030 sont l'hydroélectricité, le solaire photovoltaïque et l'éolien, terrestre et en mer. En particulier, l'éolien en mer est une composante capitale de ce futur bouquet électrique : le vent est plus fort et plus régulier qu'à terre ; les espaces en mer permettent d'installer un plus grand nombre d'éoliennes et de plus grande taille (donc plus puissantes) ; il s'agit d'une filière compétitive.

### Encadré sur la complémentarité des moyens de production

Un bouquet énergétique diversifié présente de nombreux avantages pour le système électrique :

- Il permet le foisonnement<sup>10</sup> de la production d'énergie renouvelable : par exemple, les courbes de production du solaire et de l'éolien ne suivant pas la même structure temporelle, les productions électriques de ces technologies se complètent.
- Il permet de s'appuyer sur des technologies diverses et donc de minimiser les risques liés à des aléas de nature générique.
- Il améliore ainsi l'équilibre production/consommation tout en limitant les coûts pour le système électrique (réseaux, stockage, etc.).
- Ce faisant, le foisonnement de plusieurs formes de production augmente la robustesse du système électrique et permet de contribuer à la sécurité d'approvisionnement française.

De plus, de nombreux leviers sont disponibles pour assurer le bon fonctionnement du système électrique à l'horizon 2050 : stockage, effacements, maîtrise de la demande, nouvelles interconnexions...

Enfin, RTE a montré que les capacités de production éolienne et photovoltaïque ont permis d'éviter l'émission de 22MtCO<sub>2</sub> en 2019<sup>11</sup>, en se substituant à des moyens de production fossiles en France et dans d'autres pays d'Europe.

Pour toutes ces raisons, la création de nouvelles capacités renouvelables ne nécessite pas l'ouverture concomitante de moyens de production fossiles.

Dans ce contexte, le développement des énergies renouvelables, et plus particulièrement de l'éolien en mer, présente l'opportunité de développer une énergie bas-carbone, fiable, compétitive pouvant faire face à la demande croissante d'électricité.

<sup>9</sup> RTE, Bilan électrique 2022 – Synthèse, 16 février 2023

<sup>10</sup> Le foisonnement correspond à la réduction des fluctuations temporelles de l'intermittence et de la variabilité de la production d'énergie par la multiplication de sources. Plus les sources d'énergie sont nombreuses et différentes, plus la puissance moyenne dégagée est lissée.

<sup>11</sup> RTE, Note : précisions sur les bilans CO<sub>2</sub> établis dans le bilan prévisionnel et les études associées, 2020

## 4. Une solution pour une production d'électricité à coût compétitif

Le tarif de l'électricité demandé par le développeur éolien dépend des caractéristiques du site et des modalités de partage des risques entre l'industriel, l'État et RTE.

Depuis la fin des années 2000, le développement des parcs éoliens en mer se fait à un rythme de plus en plus soutenu en Europe. Grâce aux progrès technologiques, à la structuration des filières industrielles et aux effets d'échelle, cela a mené à une forte décroissance du coût des parcs posés.

Cette baisse de coût est déjà perceptible en France : les deux derniers appels d'offres de parcs, à Dunkerque (AO3) et au large de la Normandie (AO4), ont été remportés par des offres proposant un tarif de référence de respectivement 44 €/MWh et 44,90 €/MWh, très en deçà des prix de gros actuels de l'électricité (111 €/MWh en moyenne au premier semestre 2023).

Les coûts de l'éolien flottant, aujourd'hui plus élevés en l'absence de projets de taille importante (la PPE fixe des valeurs cibles à 110-120 €/MWh pour 2023), devraient converger avec ceux de l'éolien posé pour des projets attribués à la fin de la décennie.

Le recours à l'éolien en mer permet de diminuer les coûts globaux du système électrique, et notamment celui du soutien public de l'État à ces projets (fiche 40a). Ils permettent de diminuer le recours à des technologies plus coûteuses, y compris utilisant des sources d'énergie fossiles (gaz notamment).



