

Quel est le bilan carbone d'un parc éolien flottant ?

Les principaux points abordés

Cette fiche présente les données aujourd'hui disponibles pour estimer le bilan carbone d'un parc d'éoliennes flottantes en mer.

Elle aborde :

- les grands principes de calcul du bilan carbone : les phases du cycle de vie du projet prises en compte, l'unité de mesure utilisée et les deux indicateurs principaux, à savoir le « facteur d'émission » et « le temps de retour » qui correspond au nombre d'années après lequel le parc aura compensé ses émissions ;
- les bilans carbone des parcs français d'éoliennes en mer posés tels que présentés dans les études d'impacts des différents projets en cours de réalisation ;
- les bilans carbone estimatifs des parcs pilotes d'éoliennes flottantes ;
- l'effet marginal du parc éolien sur les émissions de gaz à effet de serre du réseau électrique français.

Le bilan carbone mesure les émissions de gaz à effet de serre d'une activité humaine. Pour un parc éolien en mer, le bilan carbone permet notamment de déterminer le temps nécessaire pour que le parc compense, par sa production d'électricité, les émissions de gaz à effet de serre engendrées tout au long de son cycle de vie.

1. Les principes du bilan carbone d'un parc éolien en mer

Le bilan carbone d'un parc éolien en mer mesure la quantité de gaz à effet de serre émis pendant toute la durée de vie du parc, depuis sa conception jusqu'à son démantèlement à l'issue de son exploitation : cela comprend notamment les émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication des composants du parc éolien, au transport de ces composants et à leur installation, à l'exploitation et à la maintenance du parc, puis à son démantèlement, y compris à la remise en état du site et au traitement des éléments en fin de vie.

Le bilan carbone est exprimé en tonnes équivalent CO₂.

L'expression « équivalent en dioxyde de carbone » (en abrégé : équivalent CO₂ ou éqCO₂) est définie par la Commission d'enrichissement de la langue française en 2019 comme la « masse de dioxyde de carbone qui aurait le même potentiel de

réchauffement climatique qu'une quantité donnée d'un autre gaz à effet de serre ».

Il vise à calculer un indicateur, le facteur d'émission, qui indique la quantité de CO₂ émise par un kWh d'électricité produite par le parc (exprimé en gramme d'équivalent CO₂ par kWh produit, g éqCO₂ / kWh). Cet indicateur permet des comparaisons entre différents dispositifs de production d'électricité.

L'objectif du bilan carbone est également de calculer le temps de retour du parc, c'est-à-dire le nombre d'années au-delà duquel le parc aura totalement compensé les émissions de gaz à effet de serre dont il est ou sera l'origine.

2. Le bilan carbone d'un parc éolien en mer posé

La filière de l'éolien en mer étant émergente en France, les données sur les bilans carbone des projets ne sont pas très nombreuses. Toutefois, les émissions de gaz à effet de serre des premiers parcs éoliens en mer posés (Yeu-Noirmoutier, Saint-Brieuc, Dieppe-Le-Tréport, Courseulles-sur-mer, Fécamp et Saint-Nazaire) ont été calculées dans les études d'impacts de ces projets.

Quel est le bilan carbone d'un parc éolien en mer ?

Comparaison du bilan carbone de la production d'électricité en France, en Europe et par un projet de parc éolien en mer (exemple du parc éolien au large de Fécamp)

Émission de gaz à effet de serre, exprimée en g éqCO ₂ /kWh produit	
Production moyenne en France	72
Production moyenne UE27	306
Production du parc éolien	14

Comparaison du bilan carbone de la production d'électricité en France par un projet de parc éolien en mer

Nom du parc	Dieppe et Le Tréport	Îles d'Yeu et de Noirmoutier	Courseulles-sur-Mer	Fécamp	Baie de Saint-Brieuc	Saint-Nazaire
Nombre d'éoliennes	62	62	75	83	62	80
Puissance unitaire (MW)	8	8	6	6	8	6
Puissance totale (MW)	496	496	450	498	500	480
Temps d'exploitation (ans)	25	25	25	25	25	25
Bilan carbone du projet (t éqCO ₂)	686449	689954	723 000 (659 000 si valorisation des matériaux en fin de vie)	637 000 (579 000 si valorisation des matériaux en fin de vie)	554500	637 000 (579 000 si valorisation des matériaux en fin de vie)
Facteur d'émission (g éqCO ₂ /kWh)	13,7	14,5	17,6 (avec valorisation des matériaux en fin de vie)	14 (avec valorisation des matériaux en fin de vie)	15,8	17,3 (avec valorisation des matériaux en fin de vie)
Temps de retour (ans) calculé par rapport au bouquet électrique français ¹	5	5	5 à 6 ans	5 à 6 ans	4 ans et 5 mois	5 à 6 ans

Selon le nombre d'éoliennes, leur puissance unitaire et le temps d'exploitation, le bilan carbone des parcs éoliens en mer posés français varie comme suit :

- de 554 000 à 754 000 tonnes éqCO₂ émises ;
- un facteur d'émission entre 14 et 18 g éqCO₂/kWh produit ;
- un temps de retour de 4,5 à 6 ans en France par rapport au mix électrique moyen.

À titre de comparaison, le facteur d'émission des productions électriques renouvelables en France est estimé par l'ADEME² à :

- 14,1 g éqCO₂/kWh pour l'éolien terrestre ;
- 56 g éqCO₂/kWh pour le photovoltaïque.

Pour les énergies fossiles, le facteur d'émission en France est estimé³ à :

- 406 gCO₂/kWh pour une centrale à gaz ;
- 1 038 gCO₂/kWh pour une centrale à charbon ;
- 12 g éqCO₂/kWh⁴ pour une centrale nucléaire (à noter : les phases de démantèlement et de fin de vie des ouvrages ne sont pas intégrées dans les facteurs d'émission retenus).

Ainsi, le bilan carbone de l'éolien en mer posé s'avère donc relativement faible par rapport à l'ensemble de production d'électricité.

3. Le bilan carbone des fermes pilotes d'éoliennes flottantes

Nous ne disposons pas encore de bilan carbone établi pour les parcs éoliens flottants de taille commerciale puisqu'aucun projet équivalent n'a encore été développé en France. Toutefois, le bilan carbone des fermes pilotes est fourni dans leur étude d'impact :

- Éoliennes flottantes de Groix et Belle-Île : le bilan des émissions de gaz à effet de serre présenté dans l'étude d'impact donne une valeur de 36,4 g éqCO₂/kWh ;
- EolMed - Gruissan : l'analyse du cycle de vie du projet EolMed - Gruissan dans son ensemble (fabrication, construction, exploitation et démantèlement) a révélé que les émissions de gaz à effet de serre seront de l'ordre de 47,3 g éqCO₂/kWh d'électricité en entrée de réseau RTE⁵ ;
- Eoliennes flottantes dans le golfe du Lion : sur les vingt années d'exploitation de la ferme pilote, le facteur d'émission du projet atteint de 24,1 g éqCO₂/kWh. Le temps de retour climatique atteint 5,95 années⁶.

1 Estimé par le ministère de la Transition écologique sur la base des informations disponibles dans le bilan carbone du parc réalisé par le porteur de projet.

2 http://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?renouvelable.htm

3 Rapport Base Carbone de l'ADEME de 2014 :

[https://www.bilans-ges.ademe.fr/static/documents/\[Base%20Carbone\]%20Documentation%20q%C3%A9n%C3%A9rale%20v11.0.pdf](https://www.bilans-ges.ademe.fr/static/documents/[Base%20Carbone]%20Documentation%20q%C3%A9n%C3%A9rale%20v11.0.pdf)

4 Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023.

5 Étude d'impact de la ferme pilote EolMed - Gruissan : ferme pilote d'éoliennes flottantes et son raccordement au réseau public d'électricité.

6 Étude d'impact de la ferme pilote « Éoliennes flottantes du golfe du Lion ».

2



3



Ainsi, pour les fermes pilotes, d'après les chiffres connus, le facteur d'émission est de l'ordre de 36 g CO₂ éq/kWh. Toutefois, on observe une forte variabilité (plage de variation de 11 g CO₂ éq/kWh) qui s'explique par les différentes technologies utilisées pour les flotteurs et les ancrages.

Ces données sont néanmoins à manier avec précaution en raison du caractère expérimental des fermes pilotes. En effet, du fait de leur petite taille et de leur faible puissance, les fermes pilotes d'éoliennes flottantes auront un impact carbone plus important que les futurs parcs commerciaux.

4. L'effet sur les émissions du système électrique d'un parc éolien en mer

Lorsqu'elles fonctionnent, les éoliennes françaises se substituent à des installations de production d'électricité utilisant des combustibles fossiles en France ou en Europe (dont la part demeure extrêmement importante)⁷. L'électricité produite dispose en effet d'un coût de production marginal nul et est donc plus compétitive que l'électricité issue des centrales de production utilisant des combustibles d'origine fossile.

Enfin, les analyses réalisées par le gestionnaire de réseau public de transport RTE ont montré que le système électrique français est en mesure d'intégrer de nombreuses installations de production d'électricité non pilotables (éoliennes, panneaux solaires, etc.) sans nécessiter de nouvelle installation de production utilisant des combustibles d'origine fossile compte tenu des outils de flexibilité existant⁸. Ainsi, l'installation d'éoliennes en mer ne nécessitera pas de construction de nouvelles centrales thermiques.

⁷ À titre d'information, des analyses sur les émissions de gaz à effet de serre évitées avaient été réalisées par l'ADEME sur les éoliennes terrestres. Ces dernières indiquaient que lorsqu'une éolienne fonctionnait, son électricité se substituait pour 77 % à de l'électricité produite par des centrales thermiques utilisant des combustibles fossiles situées en France et à l'étranger. Ainsi chaque kWh d'éolien terrestre permettait d'éviter 430 g de CO₂ en France et en Europe.

⁸ https://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2017_complet_vf.pdf
Voir en particulier le scénario AMPERE intégrant une proportion importante d'énergie renouvelable.

8



