



PARC EOLIEN EN MER DE SAINT NAZAIRE
Bilan Carbone®
pour l'ensemble de son cycle de vie

Note de synthèse

Décembre 2023



Nathalie TERTRE ; Charlotte SUGLIANI ;
Etienne BERILLE : EDF RENOUVELABLES



Anne GRAU : EDF R&D

 **OUVERT**

Kévin FRANCO
Edouard SELLIER

OUVERT
13 rue des Roloirs
59510 FOREST SUR MARQUE
03 20 61 90 89
bureau@ouvert.eu

SYNTHESE DU BILAN CARBONE® DU PARC EOLIEN EN MER DE SAINT NAZAIRE POUR L'ENSEMBLE DE SON CYCLE DE VIE - MISE A JOUR DECEMBRE 2023

Un Bilan Carbone® est une étude qui permet de quantifier les gaz à effet de serre émis par une activité, ou nécessaires à la conduite de cette activité sur l'ensemble de son cycle de vie. Par exemple, si la production d'électricité par une éolienne n'émet pas de gaz à effet de serre, la fabrication des composants de cette même éolienne a émis une certaine quantité de gaz à effet de serre. Il en est de même pour leur transport, leur maintenance, etc. Ces émissions sont alors comptabilisées dans le Bilan Carbone®. L'ensemble des gaz à effet de serre émis est ensuite converti en « équivalent CO₂ » (noté CO₂e).

1. Contexte de l'étude

La société Parc du Banc de Guérande (PBG) a été désignée lauréate de l'appel d'offres relatif à l'installation du parc éolien en mer de Saint-Nazaire en 2012. Dès 2014, alors même que le choix des fournisseurs et constructeurs n'était pas acté, PBG a produit une estimation préliminaire des émissions de gaz à effet de serre – aussi nommée « Bilan carbone® » – du futur parc suivant la méthodologie et l'outil portés par l'Association pour la transition Bas Carbone (ABC¹).

Le chantier de construction du parc éolien en mer de Saint Nazaire a débuté mi-2019 et s'est achevé en septembre 2022. Le parc est entré en service en décembre 2022 pour une durée de 25 ans. A l'issue de la phase de construction, PBG a souhaité mettre à jour le Bilan Carbone® du parc éolien en mer de Saint Nazaire, sur la base de données réelles : poids des matériaux, lieux de fabrication, consommation des navires d'installation, etc. Autant d'informations pouvant être converties en « équivalent dioxyde de carbone » pour établir un bilan carbone actualisé.

Pour produire cette mise à jour du Bilan Carbone®, EDF Renouvelables s'est appuyée en 2023 sur le bureau d'études Ouvert, conseil en transition écologique, ayant une expertise dans les domaines de l'écoconception, du bâtiment durable, des énergies renouvelables, de la mobilité, de la biodiversité et de la gestion de l'eau.

La méthode Bilan Carbone®, née en 2004 de l'initiative de l'ADEME puis portée par l'Association pour la transition Bas Carbone (ABC), fait référence en France². Elle s'appuie sur les données de la Base Empreinte®. *« La Base Empreinte® est la base de données publique et générique de facteurs d'émission et de jeux de données d'inventaire nécessaires à la réalisation d'exercices de comptabilité carbone et de calculs d'empreinte environnementale. Elle est administrée par l'ADEME (Agence de la transition écologique). »*³



2. Périmètre de l'étude

Pour calculer le Bilan Carbone® d'un projet, il convient d'en définir le périmètre. Concernant les composants du parc, le périmètre « matériel » de l'étude prend en compte les éoliennes et leurs fondations, les câbles inter-éoliens ainsi que la sous-station électrique en mer. Le schéma ci-dessous (Figure 1) présente ces éléments.

A noter : comme lors de l'estimation 2014, le raccordement électrique entre la sous-station et le réseau national n'est pas considéré dans le périmètre de cette étude car il s'agit d'une infrastructure du réseau national de transport d'électricité, sous la responsabilité et la gestion de RTE.

¹ Association pour la transition Bas Carbone : créée en 2011 par l'ADEME et l'APCC pour porter et diffuser la méthodologie du Bilan Carbone®. Elle met à disposition des organisations et des citoyens, des outils et méthodes leur permettant de réussir dans la définition et la mise en œuvre de leur stratégie de décarbonation. (abc-transitionbascarbone.fr)

² Elle est aussi compatible avec l'ISO 14064-1, la réglementation française sur les bilans GES et le GHG Protocol depuis 2018.

³ Site internet www.base-empreinte.ademe.fr

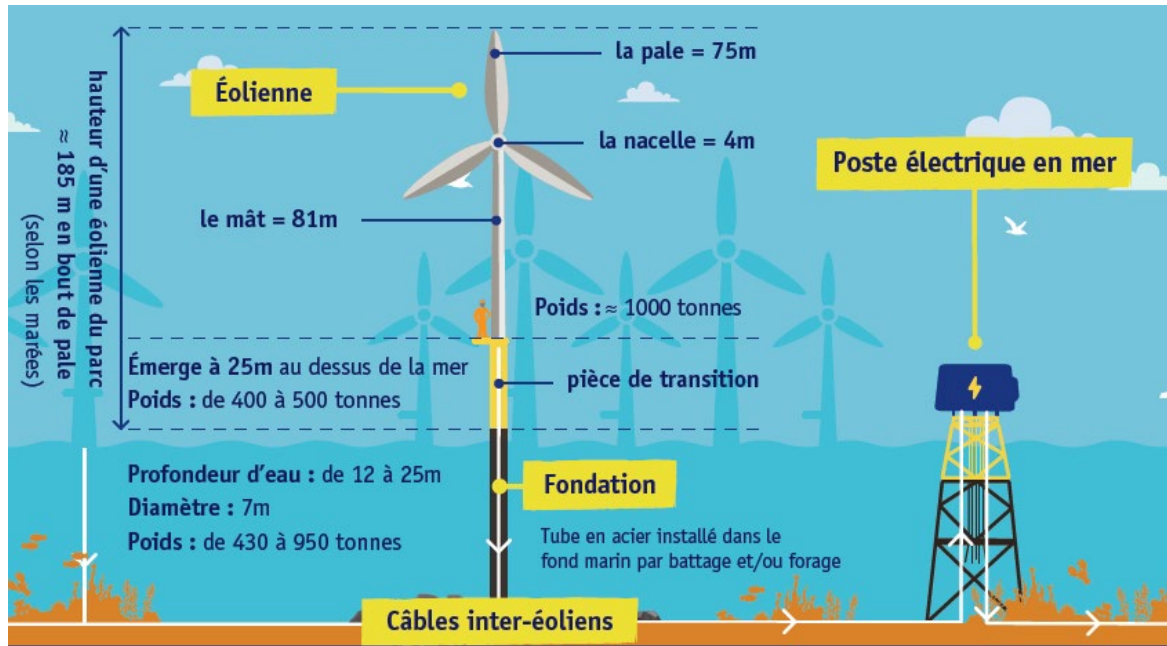


Figure 1 - Schéma représentatif des différents composants inclus dans le périmètre étudié, © EDF Renewables

Concernant le périmètre géographique, l'étude retient la localisation des sites de production des composants du parc ainsi que le site d'exploitation (Figure 2).

LOCALISATION DES SITES DE PRODUCTION DES DIFFÉRENTS COMPOSANTS DU PARC ÉOLIEN

- FONDATIONS
- ÉOLIENNES
- BASE D'OPÉRATION ET DE MAINTENANCE
- Câbles
- SOUS-STATION ÉLECTRIQUE
- BASE DE CONSTRUCTION

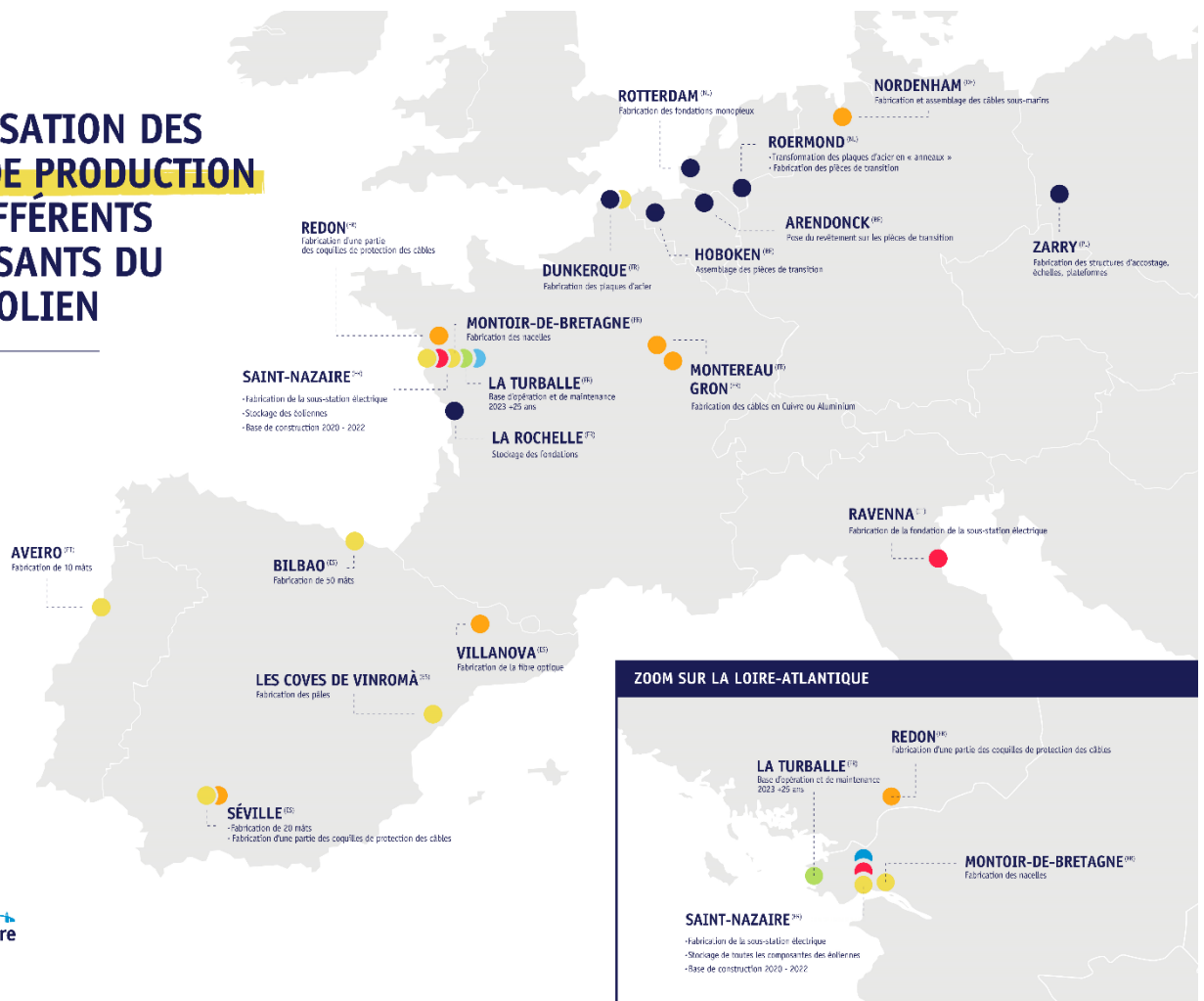
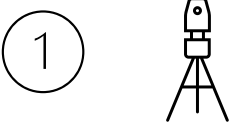


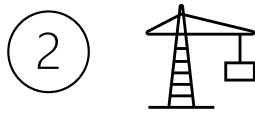
Figure 2 – Localisation des sites de production et d'exploitation, © EDF Renewables

Concernant le périmètre propre aux différentes phases du projet, les étapes considérées sont les suivantes :



Développement du projet

La phase de développement correspond aux étapes préalables à la construction : études d'ingénierie, constitution des dossiers de demande d'autorisation, plans de financement, rencontres avec les services de l'Etat et concertation, investigations de terrain (géologie, géotechnique et biodiversité marine).

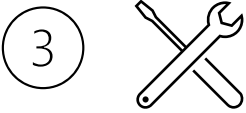


Fabrication des composants et construction du parc

La phase de construction prend en compte :

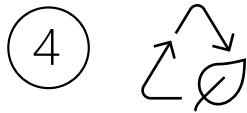
- l'extraction des matières premières et leur transformation en composants du parc (fondations, éoliennes, câbles, etc.) ;
- le transport de ces composants entre sites de production et vers les sites de stockage portuaire ;
- et l'installation de tous ces composants sur le site.

Cette phase inclut également des suivis environnementaux et géotechniques.



Exploitation et maintenance

La phase d'exploitation et maintenance consiste à assurer l'entretien du parc pour garantir son bon fonctionnement pendant les 25 années d'exploitation. Le Bilan Carbone® est lié principalement aux déplacements des équipes pour entretenir les infrastructures et en assurer les suivis environnementaux et géotechniques.



Fin de vie du parc

La fin de vie du parc correspond à son démantèlement, au transport des composants démontés ainsi qu'à leur tri dans un centre de valorisation ou recyclage. La majorité des composants du parc éolien seront recyclés. Concernant les pales, EDF Renewables s'est également engagé sur leur fin de vie⁴.

3. Résultats de l'étude

Le Bilan Carbone® du parc éolien en mer de Saint Nazaire, sur l'ensemble du périmètre étudié, est de 794 628 tonnes de CO₂ équivalent.

L'étape de fabrication des composants est la plus contributive au Bilan Carbone® du parc (Figure 3). Cela s'explique par le fait que les quantités de matériaux mobilisés pour un tel projet sont importantes. Avec un peu plus de 152 000 tonnes utilisées pour environ de 400 000 tonnes de CO₂ équivalent, l'acier est de loin la matière la plus émissive en Gaz à Effet de Serre.

⁴ En 2023, EDF Renewables s'est engagé à valoriser toutes les pales de ses éoliennes en fin de vie, et à bannir l'enfouissement dans l'ensemble des parcs sous son contrôle, dans toutes ses géographies d'implantation.

Bilan Carbone® du parc éolien en mer de Saint Nazaire
Répartition des émissions de CO2 pour l'ensemble du cycle de vie

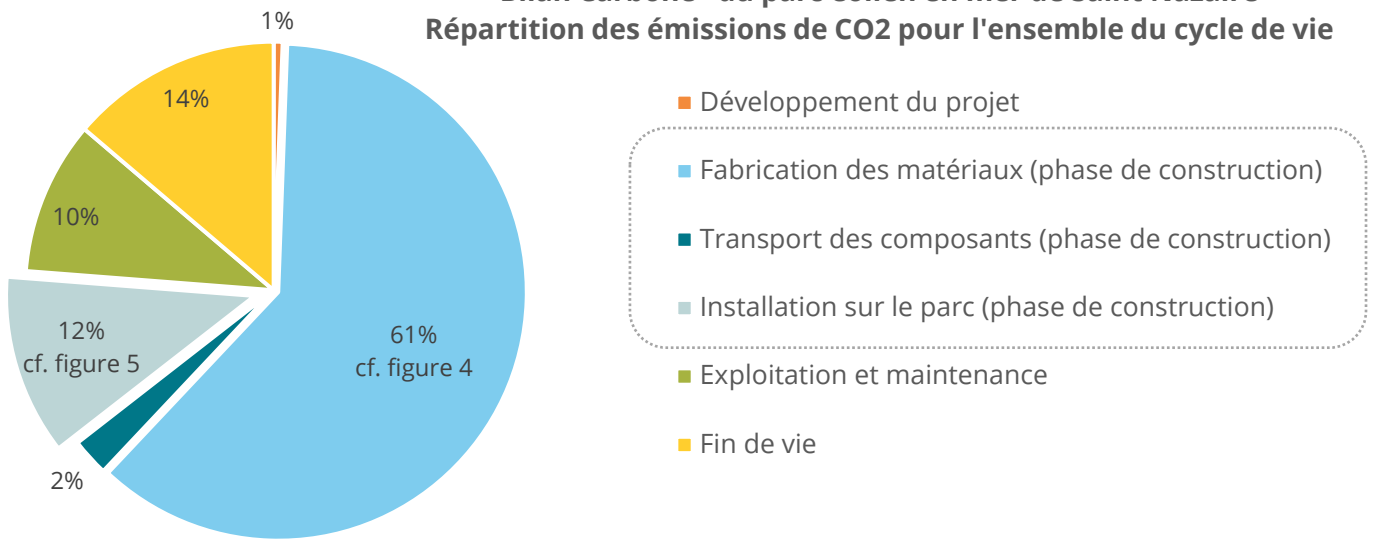


Figure 3 - Bilan Carbone® du parc éolien en mer de Saint Nazaire, répartition des émissions pour l'ensemble du cycle de vie

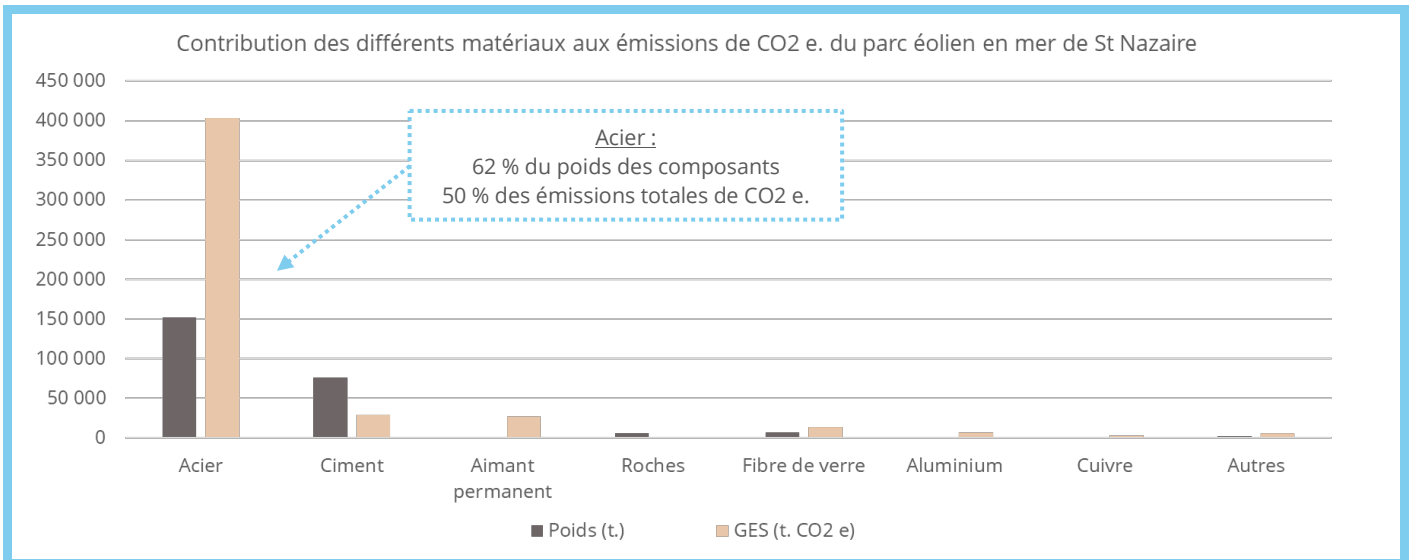


Figure 4 - Bilan Carbone® des matériaux utilisés pour fabriquer les composants du parc éolien en mer de Saint Nazaire



Figure 5 - Bilan Carbone® de l'installation des composants sur le site du parc éolien en mer de Saint Nazaire (phase de construction)

Les deuxième et troisième étapes les plus émissives en Gaz à Effet de Serre sont les étapes d'installation sur le parc (Figure 5) et de fin de vie. Ces étapes du projet sont notamment impactées par les émissions de Gaz à Effet de Serre propres à la consommation de carburant des navires procédant à l'installation ou au démontage du parc.

Au regard du Bilan Carbone® mis à jour en 2023, et compte tenu du volume d'électricité produit par le parc éolien en mer de Saint-Nazaire pour toute sa durée d'exploitation (25 ans), le facteur d'émission de la production électrique du parc éolien en mer de Saint Nazaire, c'est-à-dire la quantité de gaz à effet de serre⁵ émise par un kWh d'énergie produite, est de **18,3 g CO₂ e / kWh**.

A titre de comparaison, en 2022 en France continentale, la production d'un kWh d'électricité émet en moyenne 72 g CO₂ e⁶ (Figure 6). Ce niveau d'émission est fonction du mix énergétique⁷ actuel de la France continentale.

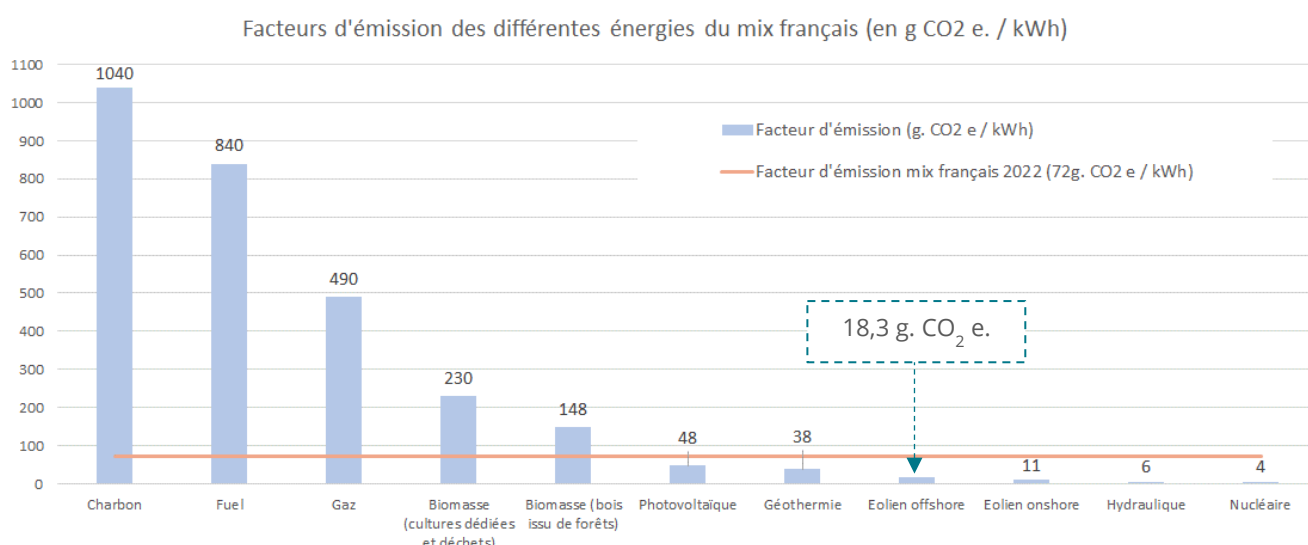


Figure 6 - Facteurs d'émission de différents modes de production d'énergie du mix énergétique de la France continentale (source : EDF-RE, Direction Impact, « Principes de calcul des émissions de CO₂ évitées au sein du groupe EDF », 11/01/2023)

Ce facteur d'émission de 18,3 g CO₂ e / kWh est dans le même ordre de grandeur que le facteur d'émission de la Base Empreinte® de l'ADEME, qui est de 15,6 g CO₂ e / kWh pour l'éolien en mer, sachant que le périmètre d'étude de l'ADEME n'intègre pas la fin de vie du parc dans le calcul.

Facteur d'émission du parc éolien en mer de St Nazaire		Facteur d'émission de l'ADEME	
18,3 g. CO₂ e / kWh		15,6 g. CO₂ e / kWh	
dont :		dont :	
- développement	0,11 g CO ₂ e	- développement	} 15,6 g. CO₂ e
- fabrication des composants	11,26 g CO ₂ e	- fabrication des composants	
- transport des composants	0,45 g CO ₂ e	- transport des composants	
- installation sur le parc	2,15 g CO ₂ e	- installation sur le parc	
- exploitation et maintenance	1,83 g CO ₂ e	- exploitation et maintenance	
- fin de vie	2,52 g CO ₂ e	(fin de vie non-étudiée)	
} 15,8 g. CO₂ e			

Figure 7 – Comparaison du facteur d'émission de l'ADEME à celui calculé pour le parc éolien en mer de Saint Nazaire

⁵ Dans un Bilan Carbone, les gaz à effets de serre s'expriment en équivalent dioxyde de carbone, noté CO₂ e.

⁶ Source : EDF-RE Direction Impact, « Principes de calcul des émissions de CO₂ évitées au sein du groupe EDF », version du 11/01/2023.

⁷ Le mix énergétique correspond à la répartition des différentes énergies primaires (hydrocarbures, nucléaire, gaz, charbon, solaire, éolien, hydraulique, biomasse...) dans la production d'énergies directement utilisables telles que l'électricité ou la chaleur.

La production d'électricité par le parc éolien en mer de Saint Nazaire permet d'éviter chaque année l'émission de 93 135 tonnes de CO₂ équivalent, en comparaison avec les émissions engendrées par le mix énergétique de France continentale pour la même quantité d'énergie produite. Sur 25 années d'exploitation, le parc éolien permet d'éviter l'émission de 2 328 370 tonnes de CO₂ équivalent.

À ce jour, la majorité des composants (fondations, éoliennes, câbles) du parc sont recyclables :

- à l'issue du démontage en fin de vie du parc, le recyclage des différents matériaux utilisés (acier en particulier) permettra d'éviter l'émission de plus de 103 000 tonnes d'équivalent CO₂ (dont plus de 90 000 pour l'acier).
- le recyclage des pales nécessite encore des avancées technologiques mais EDF Renouvelables s'est engagé en 2023, pour tous les parcs sous son contrôle, à réutiliser, recycler ou valoriser les pales d'éoliennes lors de leur fin d'exploitation, en interdisant la mise en décharge. Une solution technique est donc attendue d'ici à 2047.

Pour finir, il convient de noter que le présent Bilan Carbone du parc éolien en mer de Saint Nazaire a été établi en considérant une durée d'exploitation de 25 ans. Cette durée correspond à l'hypothèse considérée lors du dimensionnement des ouvrages (et en particulier des éoliennes et fondations) selon le standard de l'industrie à ce moment-là, et donc aux hypothèses du plan d'affaires. A l'issue des 25 années d'exploitation (en 2047 dans le cas du parc éolien en mer de St Nazaire), la possibilité de poursuivre l'exploitation du parc sera étudiée au regard de l'état des éoliennes et des fondations (fatigue, corrosion...), et de l'équilibre technico-économique de la phase d'exploitation-maintenance. Si la production d'électricité peut être prolongée au-delà de ces 25 ans d'exploitation, le Bilan Carbone du parc éolien en mer de Saint Nazaire s'en trouvera nécessairement amélioré grâce à l'augmentation de la production totale.

CE QU'IL FAUT RETENIR :

Le parc éolien en mer de Saint Nazaire est entré en service en décembre 2022 pour une durée de 25 ans. Il est composé de 80 éoliennes de 6 MW chacune. Sa production équivaut à la consommation d'électricité de 700 000 habitants.

Le développement, la construction, l'exploitation et, à terme, le démantèlement du parc éolien en mer de Saint Nazaire contribuent à l'émission de gaz à effet de serre pour un volume estimé à 794 628 tonnes équivalent CO₂ pour l'ensemble de son cycle de vie. Cela équivaut aux émissions de gaz à effet de serre d'environ 100 000 français pendant 1 an.

Rapportée à sa production électrique, l'émission de gaz à effet de serre générée par le parc éolien en mer de Saint Nazaire est de 18,3 g de CO₂ e. / kWh. Le facteur d'émission du mix énergétique français est quant à lui situé à 72 g de CO₂ e. / kWh en 2022.