

BILAN CARBONE DU PARC ÉOLIEN DES ÎLES D'YEU ET DE NOIRMOUTIER



1105 Av Pierre Mendès-France
30001 NIMES CEDEX 5

LA MÉTHODE D'ANALYSE

PRÉSENTATION

Le Bilan des Émissions de Gaz à Effet de Serre (BEGES) est un indicateur qui, selon le protocole de Kyoto, contribue à la maîtrise des enjeux climatiques de notre planète. C'est un mono-indicateur qui peut s'inscrire dans une analyse plus globale : Bilan Énergétique, Analyse du Cycle de Vie (ACV), étude d'impact environnemental, etc.

La méthode du Bilan Carbone®, développée par l'Agence Nationale de l'Environnement et la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) est la méthode reconnue et utilisée en France. Elle utilise des Facteurs d'Émission (FE) pour la majorité des produits et des traitements utilisés. Le FE d'un produit intègre notamment le Bilan Carbone de tous ses constituants, ainsi que l'énergie nécessaire à sa fabrication, son transport, son utilisation, etc.

Les émissions sont souvent exprimées en **tonne équivalent CO₂** (t éq CO₂). La conversion des émissions de GES en CO₂ est possible grâce aux propriétés physiques et chimiques de chaque gaz (pouvoirs réchauffement global relatif = impacts comme gaz à effet de serre).

DÉFINITION DU CHAMP D'ÉTUDE

L'exercice, appliqué au parc éolien des îles d'Yeu et de Noirmoutier, consiste à **évaluer l'ensemble des**

émissions de gaz à effet de serre liées, de manière directe et indirecte, à l'existence du parc. Cela concerne donc l'ensemble du cycle de vie du projet, depuis son élaboration et sa préparation, jusqu'à la remise du milieu dans son état initial à l'issue de son exploitation.

La vie du parc est découpée suivant les étapes suivantes : les études pré-alables, la fabrication des composants, le fret des différents composants, l'acheminement des moyens nécessaires à l'installation du parc, l'installation des composants, la mise en exploitation, l'exploitation et la maintenance, et enfin, le démantèlement pour une remise en état du site et le traitement des éléments en fin de vie.

MÉTHODE DE CALCUL ET EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Les unités utilisées pour exprimer les émissions de gaz à effet de serre sont généralement¹ :

- Tonne équivalent Carbone (t éq C), kilogramme équivalent Carbone (kg éq C),
- Tonne équivalent CO₂ (t éq CO₂),

Dans le cas d'un bilan d'une installation de production d'électricité, il est convenu de corréliser ces émissions à la quantité d'énergie produite. En effet pour comparer les moyens de production entre eux, les émissions sont exprimées en gramme équivalent Carbone par kWh produit (g éq C / kWh).

1. La conversion des valeurs de « X éq C » en « X éq CO₂ » se fait en multipliant les valeurs par 3,67 (rapport des masses moléculaires du carbone et du dioxyde de carbone (12 et 44) : $3,67 = 44/12$)

BILAN CARBONE DU PARC ÉOLIEN DES ÎLES D'YEU ET DE NOIRMOUTIER

LIMITE DU BILAN CARBONE®

Il convient de rappeler qu'il est délicat de vouloir comparer les BEGES (ou Bilan Carbone®) entre eux, car l'une des étapes primordiales est de définir le périmètre de l'étude, c'est-à-dire de déterminer ce qui est pris en compte et ce qui ne l'est pas (ex : remonter l'analyse jusqu'à l'extraction du minerai de fer).

L'incertitude liée à la capacité à collecter des données de qualité peut également impliquer certaines approximations et explique la non exhaustivité du Bilan Carbone®. **En réalité, les valeurs (quantités, facteurs d'émission, ...) sont d'une imprécision variant entre 10 et 100 %.** Les chiffres publiés sont donc des « ordres de grandeur ».

Concernant l'éolien terrestre, les chiffres publiés, ont une grande variabilité : entre 2,8 g et 36,7 g éq CO₂ / kWh.

Pour les fermes d'éoliennes offshore, L'ADEME propose de retenir la valeur de 7,3 g éq CO₂ / kWh, pour tenir compte d'un facteur de charge² moyen français (FE basée sur l'évaluation

d'EDF). Les Bilans Carbone® présentés lors des débats publics sur les projets de Courseulles-sur-mer, Fécamp, Saint-Brieuc, Le Tréport et Saint-Nazaire, conduisent à retenir une valeur moyenne de **17 g éq CO₂ / kWh**³.

Ces écarts s'expliquent par les caractéristiques des éoliennes, les types de fondations, l'envergure et l'éloignement du parc, la distance de fret des éléments, etc., mais également par la précision et la discrimination des éléments considérés, le périmètre d'étude et bien sûr, par la durée projetée d'exploitation.

Le Bilan Carbone® est une évaluation qui porte sur un critère environnemental unique : l'impact sur l'effet de serre. D'autres critères, qualitatifs, seraient à prendre en compte (impact sur la faune et la flore par exemple) dans une approche de développement durable. Ces éléments seront développés dans l'étude d'impact qui sera réalisée en phase de levée des risques par le maître d'ouvrage.

LE BILAN DU PARC EOLIEN DES ÎLES D'YEU ET DE NOIRMOUTIER

Dans un souci de transparence, nous précisons dans les paragraphes ci-dessous, les principaux paramètres considérés. Nous définissons ainsi le périmètre de l'analyse.

PARAMÈTRES GLOBAUX

Le projet compte 62 éoliennes offshore de 8 MW chacune (puissance totale installée de 496 MW), pour une durée d'exploitation entre 20 et 25 ans.

L'énergie produite sera d'environ 1 900 GWh/an⁴, soit 47 500 GWh pour une durée d'exploitation de 25 ans (38 000 GWh pour une durée de 20 ans).

LES ETUDES AMONTS

Sont pris en compte :

- les émissions liées aux moyens techniques utilisés (navires ; avions, hélicoptères) lors des études et des analyses en phase de développement, ainsi que les moyens de transport du personnel affecté.

- le matériel et les consommables (bureautique) utilisés.

Total des émissions de GES pour cette phase : 803 t éq CO₂

2. Rapport entre l'électricité effectivement produite sur une période donnée et l'énergie qu'elle aurait produit si elle avait fonctionné à sa puissance durant la même période - wikipédia

3. Courseulles-sur-mer : 19,3 g éq CO₂ / kWh, Fécamp : 15,4 g éq CO₂ / kWh, Saint-Brieuc : 15,8 g éq CO₂ / kWh, Le Tréport : 15,5 g éq CO₂ / kWh et Saint-Nazaire : 18,9 g éq CO₂ / kWh

4. Hors pertes en ligne, estimé à - 10 % au niveau des clients finaux- Source : ADEME - Bilan Carbone

LA FABRICATION

Matériaux et énergie pour la fabrication des éoliennes

Chaque éolienne devrait peser 1 125 t.

► Les éoliennes (hors fondations) sont décomposées en 10 éléments de nature, de masses, et de quantités différentes. Certains éléments sont composites (exemple : les pales). Pour chacun de ces constituants, un facteur d'émission approprié est utilisé.

► L'énergie nécessaire à la fabrication des éléments est estimée.

Total des émissions de GES pour la fabrication des 62 éoliennes : 243 253 t éq CO₂ (soit 3 923 t éq CO₂ /éolienne).

Matériaux et énergie pour la fabrication des fondations dans le cas de fondations jackets

Dans le cas où le parc serait équipé de fondation en structures métalliques (ou « jackets »), celles-ci devraient peser 1216 t décomposées comme suit :

► Lestrellis (acier, protection cathodique) : 721 t,

► Les 4 pieux pour une fondation : 220 t, du mortier de scellement est utilisé,

► Les pièces de transition : 275 t,

► L'énergie nécessaire à la fabrication des éléments est estimée.

Total des émissions de GES pour la fabrication des fondations : 246 669 t éq CO₂.

Fabrication du poste en mer

Le poste HT, d'un poids total de 5 700 t sera composé de :

► Un transformateur (600 t)

► Une plateforme (2 200 t)

► Une fondation de type « jacket » (2 900 t)

Total des émissions de GES pour la fabrication du poste : 18 113 t éq CO₂

Fabrication des câbles électriques

Plusieurs types de câbles devraient être

utilisés : câbles triphasés de section 240 et 800 mm², pour milieux marins. Au total 83 km de câbles seront nécessaires.

► Câbles inter-éoliennes de section 800 mm² (1859 t).

► Câbles inter-éoliennes de section 240 mm² (2 557 t).

Total des émissions de GES pour la fabrication des câbles : 12 387 t éq CO₂.

LE FRET DES ÉLÉMENTS ET L'ACHEMINEMENT DES MOYENS

On considère ici les acheminements vers le(s) dernier(s) port(s) d'assemblage, c'est-à-dire le fret avant l'ultime transport sur le site en mer où les éoliennes sont installées. Cette dernière phase est traitée dans la phase d'installation (paragraphe suivant).

Une exception concerne le fret des câbles, qui sera livré directement sur le site en mer. Les départs du fret sont les sites de fabrication.

Trois moyens de transports sont analysés : le fret maritime, fret routier et le fret ferroviaire.

Fret terrestre routier et ferroviaire

Il comprend le transport terrestre de nombreux éléments : carters, arbres de transmission, couronnes d'orientation de la nacelle, moyeux, couronnes d'orientation des pales, transformateurs, etc. Le transport terrestre concernera 28 000 tonnes de matériel.

Total des émissions de GES pour le fret terrestre : 4 338 t éq CO₂

Fret Maritime

Il comprend notamment l'acheminement des éléments du parc depuis le site de fabrication directement vers le site en mer.

Total des émissions de GES pour le fret maritime : 86 t éq CO₂

BILAN CARBONE DU PARC ÉOLIEN DES ÎLES D'YEU ET DE NOIRMOUTIER

LA PHASE D'INSTALLATION

Cette phase, qui devrait durer un an, intègre les émissions liées aux moyens techniques mobilisés pour l'installation du parc, en mer et au port.

Partie maritime

L'installation et l'assemblage des éoliennes et des fondations nécessitent de lourds moyens techniques (navettes, jack-up et barges). Les consommations en carburant (et en lubrifiant) des différents navires sont estimées.

- ▶ Nivellement et préparation de la zone ;
- ▶ Pose des câbles ;
- ▶ Acheminement des composants du port au site ;
- ▶ Installation des fondations ;
- ▶ Installation du poste électrique en mer ;
- ▶ Installation des éoliennes ;
- ▶ Navette pour le personnel.

Total des émissions de GES pour l'installation en mer : 20 971 t éq CO₂.

Partie terrestre

- ▶ Véhicules légers pour le transport du personnel ;
- ▶ Bâtiments de 1000 m².

Total des émissions de GES pour l'installation (partie terrestre) : 652 t éq CO₂.

PHASE EXPLOITATION & MAINTENANCE

La durée d'exploitation maximum sera comprise entre 20 et 25 ans. La maintenance du parc nécessite le renouvellement de matériel, **estimé à 2% par an pour les équipements des aérogénérateurs**, ainsi que les utilisations périodiques de navires pour :

- ▶ La maintenance préventive ;
- ▶ La maintenance corrective des éoliennes ;
- ▶ L'entretien du poste électrique en mer ;
- ▶ L'inspection des fondations ;
- ▶ L'inspection des câbles.

À terre, on considère que le centre de pilotage et de maintenance sera constitué d'un bâtiment de 1 000 m² sur un terrain de 3 000 m². L'estimation des émissions intègre l'utilisation du site et le chauffage du bâtiment, dont les équipements informatiques seront renouvelés, ainsi que le transport de l'ensemble du personnel intervenant sur le parc (au port et en mer).

Émissions de GES pour 25 ans d'exploitation: 126 509 t éq CO₂ (soit 5 060 t éq CO₂ / an).

Émissions de GES pour 20 ans d'exploitation: 101 500 t éq CO₂ (soit 4 060 t éq CO₂ / an).

LE DÉMANTÈLEMENT

Le démantèlement complet du parc, dont les opérations en mer dureront un an, complété par un an supplémentaire à terre, consistent à :

- ▶ Démontar les éoliennes, le poste en mer, découper les pieux après un désensouillage, extraire les fondations, désensouiller les câbles ;
- ▶ Amenés à terre, ces éléments, pour leur gestion de fin de vie (recyclage et valorisation, gestion des déchets).

Outre les moyens mobilisés, comme pour l'installation du parc, du personnel sera mobilisé (carburant) et de l'énergie consommé (démontage et découpe des éléments).

Total des émissions de GES de démantèlement : 14 323 t éq CO₂.

FIN DE VIE DES MATÉRIAUX

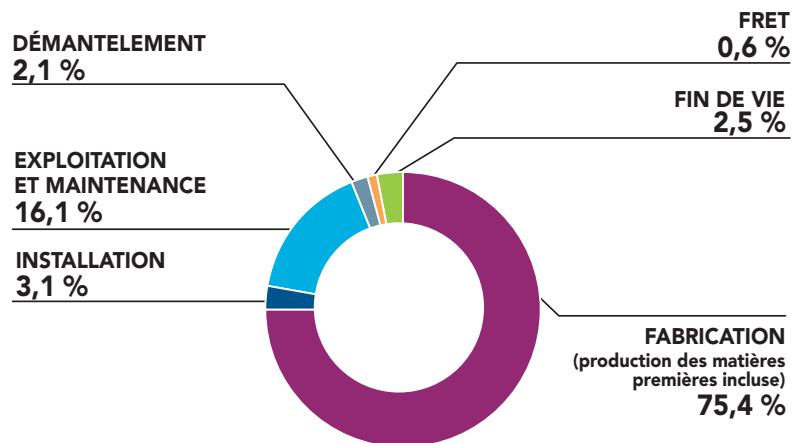
Les GES induits par le traitement des déchets qui sont ici des matières inertes (mise en décharge, incinération ou recyclage) mais également par le transport de ces déchets vers des lieux de prise en charge.

Total des émissions de GES : 17 488 t éq CO₂.

RÉSULTAT ET CONCLUSION

LE BILAN CARBONE DU PARC ÉOLIEN DES ÎLES D'YEU ET DE NOIRMOUTIER EST DE : **689 954 t éq CO₂** (EN 25 ANS D'EXPLOITATION)
FACTEUR D'ÉMISSION DU KWH PRODUIT PAR LE PARC :
14,5 g éq CO₂ / kWh

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFETS DE SERRE DU PROJET (CONTRIBUTION EN % DES ÉMISSIONS)



Pour une exploitation de 20 ans (durée d'exploitation minimum envisagée), les émissions de GES sont de **711 806 t éq CO₂**, le Facteur d'émission est de **18,7 g éq CO₂/kWh**

ESTIMATION DE L'INCERTITUDE

Avant la réalisation d'un aménagement, les quantités de matériaux et d'énergie qui seront nécessaires ne sont que des estimations, en effet ces quantités ne pourront être précisées qu'après la réalisation, l'exploitation et le démantèlement des ouvrages. Dans la présente analyse, le parti a été pris de quantifier la précision de ces quantités, en utilisant pour chaque valeur un coefficient d'incertitude sur la donnée. Ils peuvent varier de 5 à 100 % suivant les cas.

De la même manière, à chaque facteur d'émission utilisé est associé une incertitude, sous forme de coefficient. Ils sont proposés dans l'outil Bilan Carbone®. Comptabiliser les GES est un exercice intrinsèquement approximatif à cause d'incertitudes de nature physique. Dans le parc éolien étudié, la somme des incertitudes liées aux seuls Facteurs d'Émission représente 14 % des émissions globales de GES ($\pm 14\%$). L'estimation de l'incertitude du Bilan Carbone consiste à additionner chaque incertitude ($\pm X$ t éq CO₂ liée aux quantités et $\pm Y$ t éq CO₂ liée aux FE), puis à calculer ce que cela représente par rapport à la somme des émissions. L'incertitude du calcul des émissions de GES du projet est de 29 %⁵.

5. L'imprécision de l'ADEME (et EDF) concernant le facteur d'émission de l'éolien français est actuellement de 50%

BILAN CARBONE DU PARC ÉOLIEN DES ÎLES D'YEU ET DE NOIRMOUTIER

ÉMISSIONS ÉVITÉES ET TEMPS DE RETOUR CARBONE

Le contenu carbone de l'électricité française est de 85 g éq CO₂ / kWh (source ADEME). Le parc éolien des Îles d'Yeu et de Noirmoutier produira une électricité **5,5 fois moins émettrice** que cette valeur moyenne.

Annuellement il permettra d'éviter l'émission de **132 000 t éq CO₂ par an**⁶, pendant les 25 années de son exploitation, en comparaison à une électricité qui aurait

6. En remplacement d'une production en électricité « classique » en France.

7. source base carbone ADEME.

été produite grâce au mix électrique français.

Le temps nécessaire pour que le parc compense par sa production d'électricité les émissions de GES qui ont été nécessaires à sa fabrication, à son installation, à sa maintenance et à sa fin de vie est appelé **le temps de retour carbone**.

Le temps de retour carbone est estimé par rapport à un mix électrique de référence. Il correspond au rapport entre la quantité de GES émise au cours du cycle de vie du parc (soit le Bilan Carbone du parc) et les émissions évitées par la production du parc (soit celles qui auraient été libérées lors de la production d'une même quantité électrique par le mix électrique de référence).

Formule de calcul :

$$\text{Temps de retour carbone} = \frac{\text{bilan carbone}}{\text{émissions évitées}}$$

Détail du calcul :

689 954 t éq CO₂ / 132 000 t éq CO₂ par an = 5 ans environ.

Le temps de retour carbone estimé du projet est de près de **5 ans** par rapport au mix électrique français.

Il serait d' **1 an** s'il était calculé par rapport au mix électrique européen, le contenu carbone de l'électricité européenne étant de 420 g éq CO₂ / kWh⁷.

ÉMISSIONS ÉVITÉES ET COMPARAISON

Les électriciens publient eux-mêmes leur propre facteur d'émission, d'autres publications avancent des facteurs d'émission souvent différents. Les valeurs basses et hautes des facteurs d'émission de l'électricité française les plus utilisées sont rappelées ci-contre.

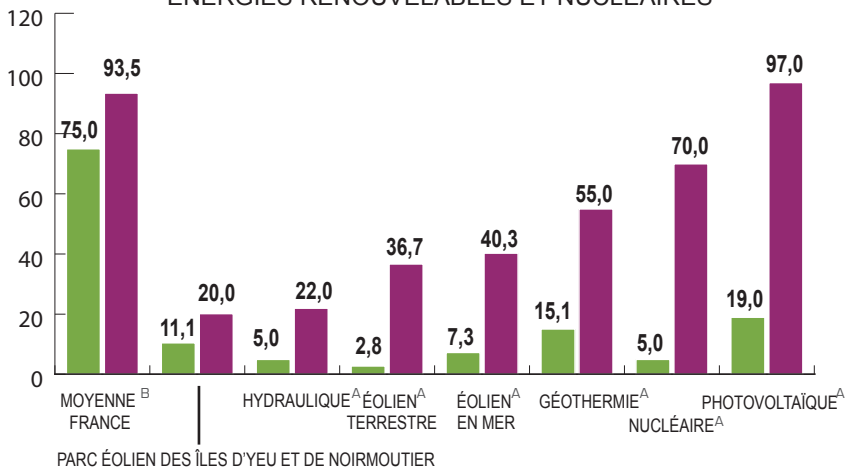
À (Source : Bilan Carbone® guide méthodologie version 6.1 ADEME)

B (Source : AIE 2008)

C (Source : RTE/ADEME Octobre 2007)

PRODUCTION ÉLECTRIQUE

COMPARAISON DES FACTEURS D'ÉMISSION : ÉNERGIES RENOUVELABLES ET NUCLÉAIRES



COMPARAISON DES FACTEURS D'ÉMISSION : SOURCES D'ÉNERGIE FOSSILE ET PARC DES ÎLES D'YEU ET DE NOIRMOUTIER

