

RAPPORT CHAIRE MARITIME – STAGE EMR 2021

L'APPROCHE FILIERE (EOLIEN EN MER POSE)

AVERTISSEMENT

La Chaire maritime met à disposition à l'ensemble du public ce document, réalisé lors d'un stage de Master 2, sous sa forme finale.

La Chaire maritime n'a pas vocation à modifier ce document qui représente un travail de réflexion dans le cadre d'études supérieures. Ce document peut donc encore présenter des fautes d'orthographe, de syntaxes ou des imprécisions.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de la Chaire maritime. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

La Chaire maritime n'entend donner ni approbation ni improbations aux opinions émises dans ce mémoire. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur autrice/auteur.

TABLE DES MATIERES

I) PARTIE INTRODUCTIVE : ÉTAT DES LIEUX DE LA FILIERE	5
I.1) Le cas français : présentation des 3 premiers AO français	5
I.2) État des lieux au niveau mondial et positionnement de la France	11
I.3) Les objectifs de la Programmation-Pluriannuelle de l'Énergie (PPE)	14
II) L'APPROCHE FILIERE : CARTOGRAPHIE DE BASE	19
II.1) L'approche filière en théorie	19
II.1.1) Cadre conceptuel	19
II.1.2) Définition	20
II.1.3) Méthodologie	20
II.2) L'analyse fonctionnelle	24
II.2.1) Description des fonctions et acteurs	24
<i>II.2.1.1) Fonctions et acteurs principaux</i>	25
<i>II.2.1.2) Fonctions et acteurs de soutien</i>	48
<i>II.2.1.3) Les fonctions et acteurs en communs avec la filière d'extraction de granulats marins et du transport maritime</i>	53
II.2.2) Tableau récapitulatif de l'analyse fonctionnelle	53
II.2.3) Cartographie de base de la filière	55
III) L'APPROCHE FILIERE : ANALYSE ECONOMIQUE DE LA FILIERE	58
III.1) Provenance et description des données mobilisées	58
III.1.1) Provenance des données et études des codes NAF	58
III.1.2) Définition des indicateurs économiques et sociaux mobilisés	67
III.2) Quantification et description économique	70
III.2.1) Panorama des entreprises présentes sur le territoire	70
III.2.2) Les coûts d'un parc et leurs décompositions	72
III.2.3) La vente de l'électricité produite	85
III.2.4) L'évolution du chiffre d'affaires et des investissements	89
III.3) Quantification et description sociale	94
III.3.1) Nombre d'entreprises positionnées et répartition sur le territoire	94
III.3.2) Les emplois de la filière	97
III.3.3) Prévisions des emplois de la filière à plus long terme	101
III.3.4) Une réflexion sur les emplois dits « nouveaux »	107
CONCLUSION	109
BIBLIOGRAPHIE/ WEBOGRAPHIE PARTIE PAR PARTIE	112
TABLE DES FIGURES	122
PISTES POUR APPROFONDIR L'APPROCHE FILIERE	125

I) PARTIE INTRODUCTIVE : ÉTAT DES LIEUX DE LA FILIERE

I.1) Le cas français : présentation des 3 premiers AO français

La France compte à ce jour trois appels d'offres d'éolien en mer posé qui ont été attribués, pour un total de sept parcs. La première mise en service prévue est celle du parc de Saint-Nazaire en 2022. En mai 2021, après 1 an et demi de chantier sur terre, Saint-Nazaire a commencé son installation en mer avec la sous-station électrique et la première fondation. Fécamp et Saint-Brieuc devraient suivre, puisqu'ils ont débuté leur construction et leur raccordement en 2020, puis pour Courseulles-sur-Mer ce sera courant 2021 (cf : tableau 1).

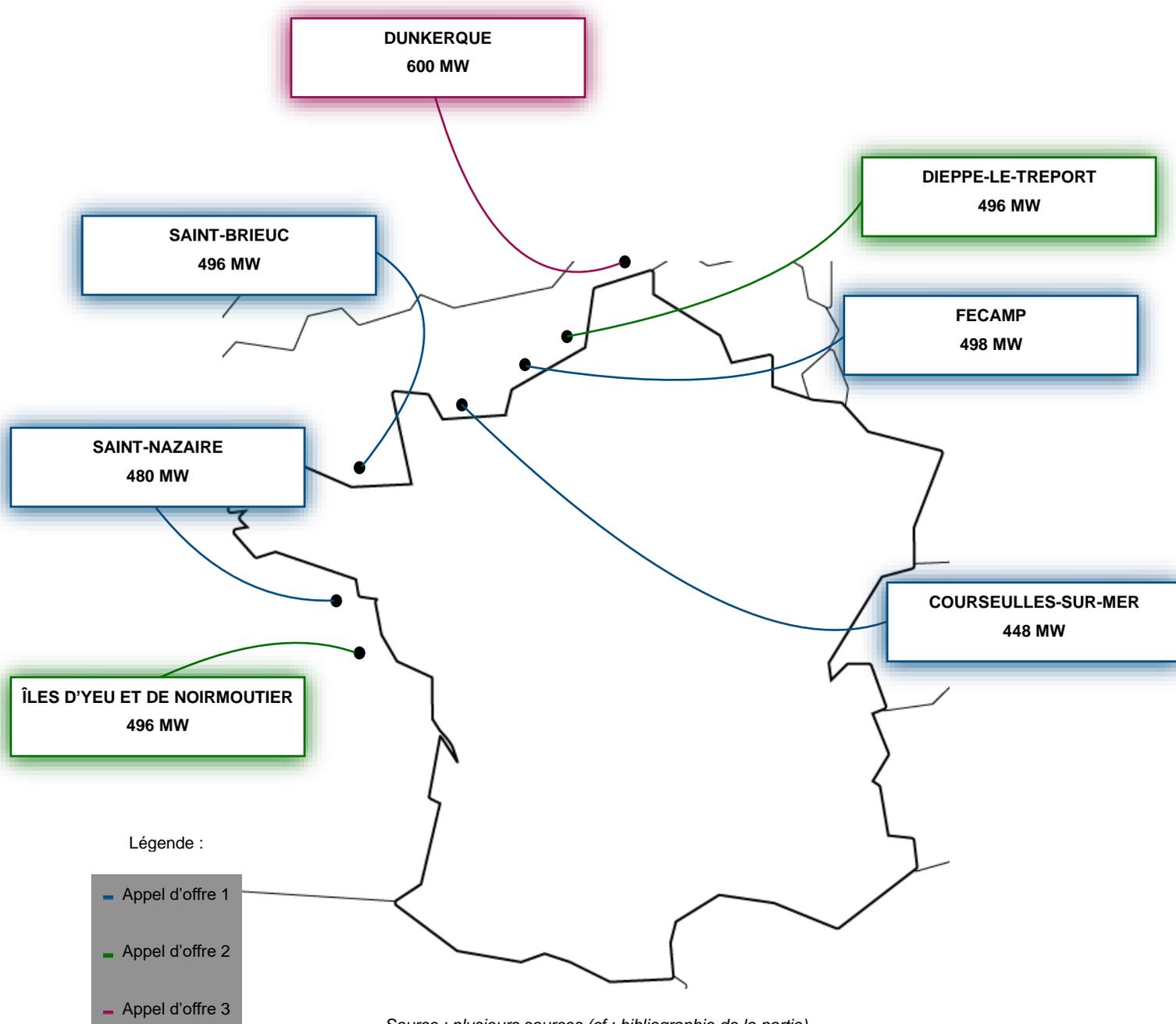
Tableau 1 : présentation générale des 3 premiers AO

	Période	Parcs	Date de début des travaux	Date prévisionnelle de mise en service	Consortium
Appel d'offre 1	2011-2012	Saint-Nazaire	2020	2022	Eolien Maritime France (EDF renouvelables [50%] et Enbridge Inc. [50%])
		Courseulles-sur-Mer	2021	2024	Eolien Maritime France [85%] et WPD Offshore [15%]
		Fécamp	2020	2023	
		Saint-Brieuc	2021	2023	Ailes Marines (Iberdrola)
Appel d'offre 2	2013-2014	Îles d'Yeu et de Noirmoutier	2021	2024	OW (Engie, EDP Renewables), Sumitomo corporations et Caisse des dépôts et Consignations (CDC)
		Dieppe-le Tréport			
Appel d'offre 3	2016-2019	Dunkerque	2024	2027	Eoliennes en mer de Dunkerque (EDF renouvelables [40%], Enbridge [30%], Innogy SE [30%])

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

La superficie totale recouverte par les parcs sera de 479 km^2 sur la façade Nord Atlantique - Manche Ouest et la façade Manche Est - Mer du nord. Les sept parcs seront installés au sein de quatre régions en tout (les Pays de la Loire, la Bretagne, la Normandie et le Hauts-de-France). La distance la plus courte entre un parc et la côte sera de 10 km (cf : tableau 2 et carte 1).

Carte 1 : localisation des parcs



Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

Tableau 2 : situation géographique des parcs

Parcs	Distance de la côte (km)	Superficie (km ²)	Base d'exploitation et de maintenance	Départements	Régions	Façade
Îles d'Yeu et de Noirmoutier	11,7 de l'île d'Yeu et 16,5 de Noirmoutier	83	Port-Joinville et Port de l'Herbaudière	Vendée	Pays de la Loire	Façade Nord Atlantique - Manche Ouest (NAMO)
Saint- Nazaire	Entre 12 et 20	78	Port de la Turballe	Loire- Atlantique		
Saint-Brieuc	16,3	75	Port de Saint-Quay- Portieux	Côtes-d'Armor	Bretagne	
Courseulles- sur-Mer	10	50	Port de Caen-Ouistreham	Calvados	Normandie	Façade Manche Est - Mer du Nord (MEMN)
Fécamp	Entre 12 et 20	60	Port de Fécamp	Seine Maritime		
Dieppe- le Tréport	15,5 de Tréport et 17 de Dieppe	83	Dieppe et le Tréport			
Dunkerque	10	50	Port de Dunkerque	Nord	Hauts de France	

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

Siemens-Gamesa est le turbinier de tous les parcs français, à l'exception de celui de Saint-Nazaire. L'ensemble des parcs comptabiliseront 447 turbines et 3 513 MW de puissance (tableau 3).

Les installations d'éoliennes en mer ont un facteur de charge plus élevé que les terrestres, c'est-à-dire qu'elles sont utilisées à pleine capacité sur une durée de l'année plus longue. Ce qui s'explique par leur exposition à des vents plus réguliers, stables et forts, ainsi que des diamètres de rotor plus large, puis l'absence d'obstacles. Les parcs auront un facteur de charge de 42% en moyenne (variant de 38% à 46%). Les 3,5 GW de puissance mobilisée produiront 13 TW par heure à l'année. C'est l'équivalent de la consommation d'électricité de 5 612 000 millions d'habitants des six départements accueillant les parcs (tableau 4).

Tableau 3 : description technique des parcs

	Parcs	Turbinié	Nombre de turbine	Puissance par turbine (MW)	Puissance nominale (MW)	Type de fondation
Appel d'offre 1	Saint-Nazaire	Général Electric	80	6 (Modèle Haliade 150 de Général-Electric)	480	Monopieux
	Courseulles-sur-Mer	Siemens-Gamesa	64	7	448	Monopieux
	Fécamp		71		497	Gravitaires
	Saint-Brieuc		62	8 (Modèle D8 de Siemens-Gamesa)	496	Jackets
Appel d'offre 2	Îles d'Yeu et de Noirmoutier	Siemens-Gamesa	62	8 (Modèle D8 de Siemens-Gamesa)	496	Monopieux (initialement Jackets)
	Dieppe-le Tréport					Jackets
Appel d'offre 3	Dunkerque	X	46	Au moins 12*	600	Monopieux

*Le parc peut-être sera équipé de la plus grande et puissante éolienne construite à ce jour, le modèle Haliade-X 12 MW de Général Electric (la société chinoise Mingyang a annoncé le 20 août 2021 le développement d'une turbine de 16 MW).

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

Point technique : explication de comment est calculé le facteur de charge

Utilisons les notations suivantes :

P = puissance nominale (MW)

Q = énergie produite (TWh/an)

• Étape 1 : calculer l'énergie produite du parc en additionnant la puissance produite à toute heure h de l'année.

$$Q = \int_0^{8760} P(h)dh(\text{TWh/an}).$$

Exemple : l'énergie produite par le parc des Îles d'Yeu et de Noirmoutier est de 1,9 TWh/an.

• Étape 2 : calculer la production annuelle d'1 MW par heure en divisant l'énergie produite par la puissance nominale du parc. Une autre interprétation est possible, q est la durée moyenne d'utilisation du parc à pleine capacité dans l'année (h/an).

$$q = \frac{Q}{P}(\text{MWh/MWan})$$

Exemple : la puissance nominale du parc des Îles d'Yeu et de Noirmoutier est de 496 MW.

$q = \frac{1,9 \cdot 10^6}{496} = 3830.65$, 1 MW de puissance du parc produit 3 831 MW par heure à l'année (ou le parc est à pleine capacité 3 831 h dans l'année).

Étape 3 : calculer le facteur de charge en divisant la production annuelle d'1 MW par heure, par le nombre d'heures dans l'année.

$$\lambda = \frac{q}{8760} \times 100 (\%)$$

Exemple : la production annuelle d'1 MW du parc des Îles d'Yeu et de Noirmoutier est de 3 831 MW par heure à l'année.

$\lambda = \frac{3831}{8760} \times 100$, le parc est utilisé à pleine capacité 44% du temps dans l'année.

Tableau 4 : description productible des parcs

Parcs	Nombre de personne	Energie produite (TWh/an)	Puissance nominale (MW)	Production par MW (MWh/MWan)	Facteur de charge
Îles d'Yeu et de Noirmoutier	800 000 (plus que la population vendéenne)	1,9	496	3 831	44 %
Saint-Nazaire	720 000 (20% de la consommation électrique de Loire-Atlantique)	1,7	480	3 542	40 %
Saint-Brieuc	835 000 (9% de la consommation de la Bretagne)	1,9	496	3 831	44 %
Courseulles-sur-Mer	630 000 (90% de la consommation des habitants du Calvados)	1,5	448	3 348	38 %
Fécamp	777 000 (60% de la consommation des habitants de Seine Maritime)	1,8	497	3 622	41 %
Dieppe-le-Tréport	850 000	2	496	4 032	46 %
Dunkerque	1 000 000 (30% de la consommation de la population du département du Nord)	2,3	600	3 833	44 %

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

I.2) État des lieux au niveau mondial et positionnement de la France

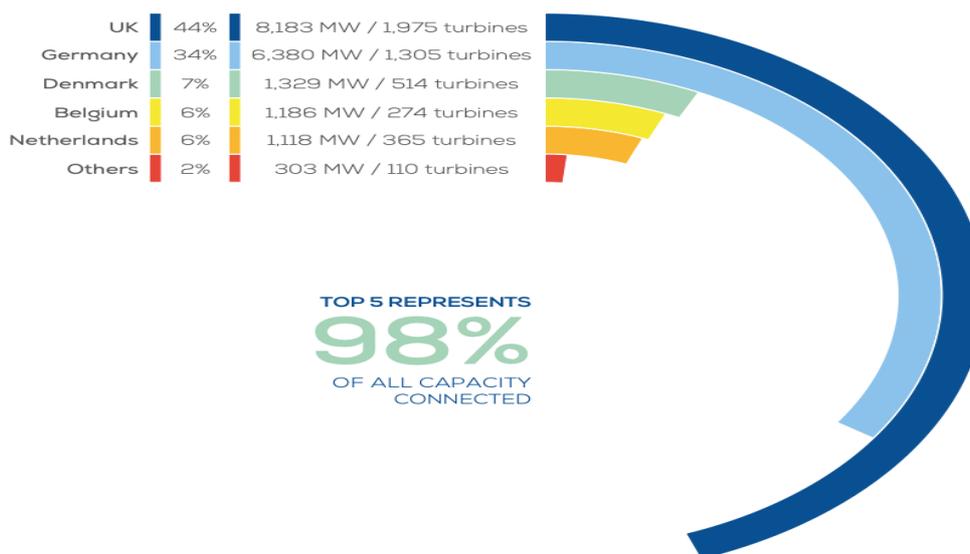
Le premier parc éolien en mer posé a vu le jour il y a 30 ans, en 1991, au Danemark (Vindeby). Il y a en tout dans le monde environ 5 500 turbines installées dans 17 pays à la mi-2019. Avec un déploiement annuel qui a augmenté de près de 30% par an, la technologie de l'éolien en mer est devenue la plus dynamique du système énergétique, après celle du solaire photovoltaïque (PV). Ce qui lui a permis d'atteindre les 23 GW de capacité installée en 2018, contre seulement 3 GW en 2010. Autrement dit, c'est 20 GW supplémentaires en un peu moins de 10 ans dont plus de 18,4 GW rien qu'en Europe. Elle est donc le premier installateur au monde avec plus de 80% des turbines installées dans ses eaux, c'est-à-dire 4 543 dans 11 pays, 98 % de cette capacité est concentrée dans seulement cinq pays (image 1). Le Royaume-Uni possède la plus grande capacité d'éoliennes en mer en Europe avec 44% de toutes les installations. L'Allemagne arrive en deuxième position avec 34 % suivie du Danemark (7 %), de la Belgique (6,4 %) et des Pays-Bas (6 %). Les autres pays dont l'Espagne, la Finlande, la France, la Suède, la Norvège et l'Irlande ne représentent au total que 2 % de la capacité installée. Le top 5 ont ajouté ensemble 2,7 GW de capacité en 2018. La Commission Européenne prévoit 300 GW de capacité installée d'éolien en mer d'ici 2050. Le cas de la Chine est intéressant puisqu'elle connaît une forte croissance ces dernières années ce qui lui permet de compter parmi les leaders mondiaux du marché malgré sa récente apparition avec 3,6 GW. Elle a ajouté en 2018 la plus grande quantité d'éoliennes installées de tous les pays, soit 1,6 GW.

Dans les années à venir, le déploiement annuel des capacités installées va continuer d'augmenter d'années en années. Ce n'est pas moins de 150 nouveaux projets d'installation dans 19 pays, dont plus de 100 qui devraient se finaliser en 2021. 25 GW sont prévus aux États-Unis à plus long terme. Des projets de grande envergure sont envisagés dans d'autres pays, tels que : l'Australie, le Taipei chinois, l'Inde, le Japon, la Corée, la Nouvelle-Zélande, la Turquie et le Viet Nam

La part de l'éolien en mer dans la production électrique mondiale n'est que de 0,3% en 2018. Toutefois, dans celle des pays leaders cette part est bien plus importante.

Elle est de 15% au Danemark (avec l'éolien terrestre c'est 50%), 8% au Royaume-Uni (deux fois plus que le solaire) et entre 3 et 5% en Belgique, aux Pays-Bas et en Allemagne, puis 0,1% en Chine.

Image 1 : capacité installée cumulée (MW) et le nombre de turbines par pays en Europe en 2018



Source : « Offshore Wind in Europe » « Key trends and statistics 2018 ». Report. Wind Europe. 2019. Lien : <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Offshore-Statistics-2018.pdf>

Grâce à sa Zone Economique Exclusive (ZEE) la France a un espace maritime qui s'étend sur plus de 11 millions de km^2 . Elle détient donc un potentiel de valorisation énergétique parmi les plus important au monde (derrière les États-Unis) et une présence géostratégique sur l'ensemble des eaux de la planète. La France métropolitaine, quant à elle, comptabilise 3 500 km de côtes, ce qui représente le deuxième gisement de vent éolien d'Europe derrière le Royaume-Uni. Selon l'ADEME, le potentiel de l'éolien en mer en France est de 30 GW. Bien que la France ait lancé son premier appel d'offre pour l'éolien en mer posé en 2011, à ce jour encore aucune éolienne n'est connectée au réseau, sauf Floatgen (éolienne flottante) de 2 MW sur le site de test de Semrev (au large du Croisic). Les difficultés à mettre en place un cadre réglementaire et juridique, à résoudre les conflits d'usages entraînant de nombreux recours et à surpasser la question du raccordement au réseau expliqueraient ce fait.

Au niveau mondial l'expansion de l'éolien en mer s'est faite grâce à un fort soutien politique (appels d'offres, progrès sur l'inclusion de la technologie dans la planification maritime, soutien financier et efforts réglementaires). Les pays du nord de l'Europe ont certes des ressources éoliennes d'une haute qualité et des eaux peu profondes, mais leur position de leader est surtout le fait de politiques stables. La Chine ne déroge pas à la règle, puisque c'est suite au 13e plan quinquennal du gouvernement que le pays s'est mis en quête d'atteindre 5 GW d'éoliennes en mer connectées d'ici 2020 et de soutenir une chaîne d'approvisionnement. Malgré tout la France devrait mettre en place son premier parc éolien en mer posé à Saint-Nazaire en 2022.

Il est important de préciser que toutes les données ci-dessous concernent l'éolien en mer en générale, donc le posé et le flottant. Toutefois, la capacité installée de la filière de l'éolien flottant reste très marginale.

I.3) Les objectifs de la Programmation-Pluriannuelle de l'Énergie (PPE)

La PPE établit les priorités et les actions du Gouvernement en matière d'énergie, pour les 10 années à venir (deux périodes de 5 ans, elle est actualisée tous les 5 ans). En matière d'éolien en mer, elle fixe annuellement le nombre de parcs à attribuer, leur localisation, leur puissance installée maximale et leur prix cible (cf : tableau 5). Ce qui s'explique par le fait que dans toutes les feuilles de route établies à l'échelle européenne ou nationale pour 2030 ou 2050 nous retrouvons l'augmentation de la part des énergies renouvelables, dont fait partie l'éolien en mer. Pour comprendre l'origine de la PPE nous devons comprendre la stratégie européenne et française en matière de climat. Ces stratégies sont en phase avec l'Accord de Paris de 2015, lors de la COP21 les pays se sont engagés à limiter l'augmentation de la température moyenne à 2°C, et si possible 1,5°C.

Au niveau européen

La stratégie de long terme, à horizon 2050, de la Commission européenne est la neutralité carbone. Ce qui colle avec l'objectif fixé dans sa feuille de route pour l'énergie en 2011, lequel est de réduire les émissions de GES nettes de 80-95% (année de référence 1990). Pour atteindre cet objectif de long terme, à moyen terme la Commission a proposé de les réduire d'au moins 55% d'ici 2030. Un cadre d'action en matière de climat et d'énergie est réactualisé chaque année pour y arriver. Le cadre pour la période 2021-2030 prévoit de réduire les émissions de GES d'au moins 40%, de porter la part des énergies renouvelables à au moins 32% et d'améliorer l'efficacité énergétique d'au moins 32,5%. Cette dernière, littéralement, se définit comme le rapport entre l'énergie produite par une unité de production et l'énergie que celle-ci a consommé pour pouvoir la produire. Plus communément, le concept désigne un ensemble de solutions permettant de minimiser la consommation énergétique pour un service rendu au moins identique. Le cadre de la période 2022-2030 sera réactualisé courant 2021.

Au niveau national

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) fixe le cadre de la politique énergétique française. La LTECV propose des objectifs nationaux alignés à ceux européens. Nous retrouvons la stratégie nationale bas-carbone (SNBC), ses ambitions sont que d'ici 2050 la France soit neutre en carbone et qu'elle ait réduit l'empreinte carbone de sa consommation. À horizon 2030, la stratégie est d'atteindre deux objectifs : 32 % de la consommation énergétique d'origine renouvelable et 40 % de production électrique renouvelable. Élaborée par le ministère de la Transition écologique en concertation avec l'ensemble des parties prenantes, la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) est l'outil de pilotage de la politique énergétique créé par la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV).

La PPE publiée en avril 2020 prévoit un objectif de 2,4 GW d'éolien en mer en service en 2023 et de 5,2 à 6,2 GW en 2028.

Tableau 5 : calendrier prévisionnel d'attribution d'appel d'offres pour l'éolien en mer posé en France

2019	2020	2021	2022	2023	> 2024
600 MW Dunkerque 45€/MWh	1 000 MW Manche Est - Mer du Nord 60€/MWh	500 à 1 000 MW Sud-Atlantique 60€/MWh		1 000 MW 50€/MWh	1 000 MW par an, posé et/ou flottant, selon les prix et le gisement, avec des tarifs cibles convergent vers les prix de marché sur le posé

2,5 à 3 GW d'éoliennes en mer posées sont en projet d'ici 2024.

Source : « Décret n°2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie ». NOR : TRER2006667D. Décret. Ministère de la transition écologique et solidaire. 2020. Lien : <https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>

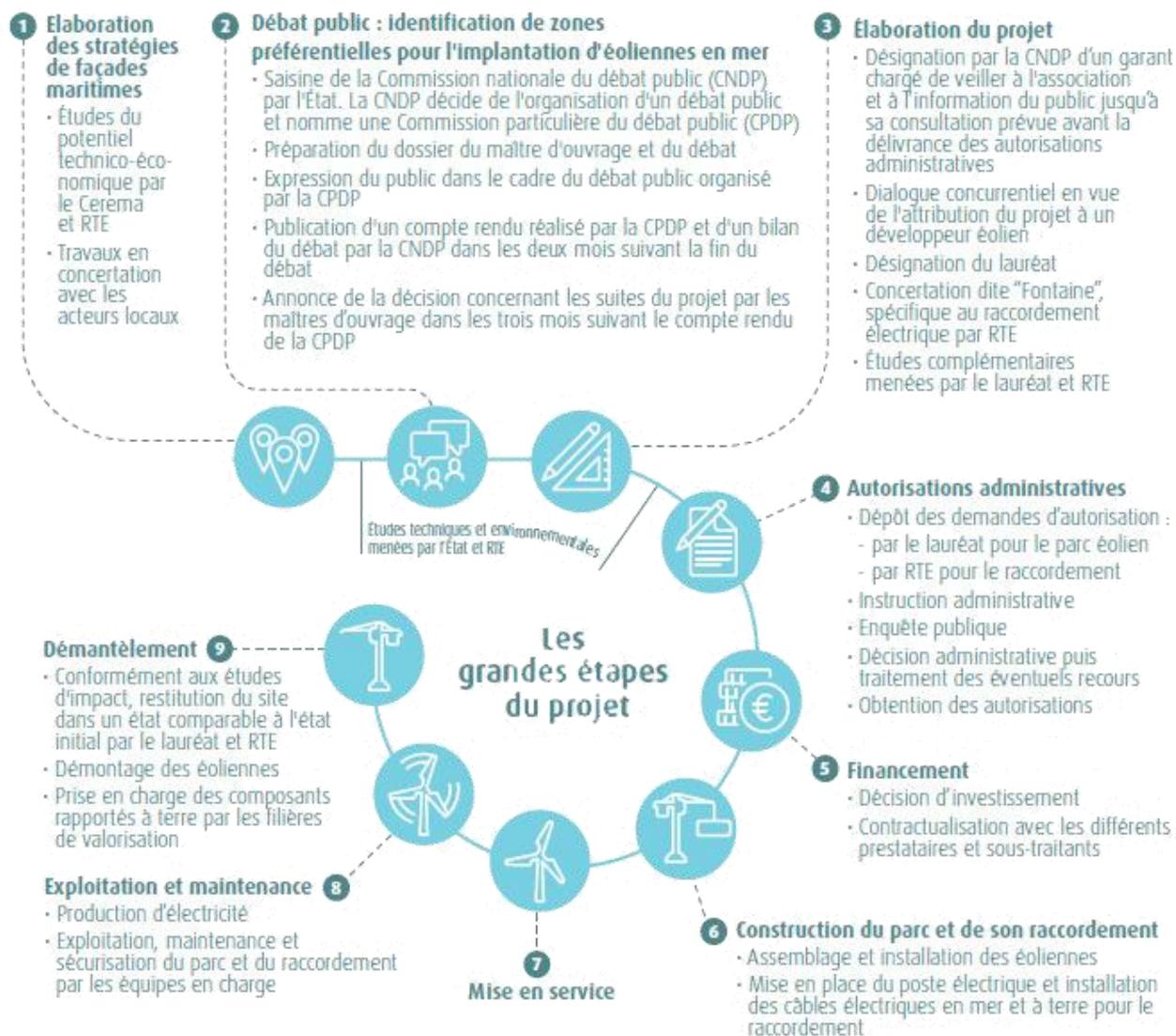
Le parc éolien prévu au large de la façade MEMN est le 4ième en Normandie, il s'agit du parc du Cotentin. 6 candidats ont déjà été pré-sélectionnés pour celui-ci, lesquels sont : la société Eoliennes en Mer Manche Normandie (EDF, Enbridge et CPPIB), Iberdrola, Ocean Winds (Engie et EDPR), Shell, le consortium Total-RWE et celui formé par Vattenfall, Wpd et la Banque des Territoires. Au premier trimestre 2022 le

dialogue concurrentiel devrait être terminé et le cahier des charges final publié, son état d'avancement est à l'étape 3 (cf : image 2). Celui de la façade Sud Atlantique, cette année est en cours de consultation du public par le biais de la Commission nationale du débat public (CNDP) (étape 2).

Du côté de l'éolien flottant, un parc de 250 MW en Bretagne Sud est en cours, au second semestre 2021 la pré-sélection des candidats devrait être faite et le dialogue concurrentiel ouvert. Son attribution à un lauréat se fera probablement à l'été 2022, il est donc à peine un peu moins avancé que le parc posé du Cotentin. Et, deux autres parcs sont prévus de 250 MW chacun en Méditerranée, ils sont au même stade d'avancement que le posé de la façade Sud Atlantique.

Les adhérents de France Energie Eolienne (FEE) fixent des objectifs de développement de la capacité installée de l'éolien en mer plus hauts que ceux de la PPE, il en est de même pour le Syndicat des Energies Renouvelables (SER). Les premiers suggèrent d'adopter un rythme annuel de développement d'éolien en mer (posé et flottant) de 2,1 à 2,9 GW pour atteindre 10 GW en service en 2028. Il s'agit presque du double de l'objectif bas proposé par la PPE et de 3,8 GW de moins pour la fourchette haute (ce qui représente le nombre de GW des 3 appels d'offres déjà effectués). Le SER, quant à lui, a visé les 1 GW par an dès 2020, donc 10 GW supplémentaires d'ici 2030. En titre de comparaison, l'objectif du Gouvernement britannique pour l'éolien en mer est d'atteindre 40 GW en 2030. L'Allemagne devrait dépasser son objectif 2020 fixé à 6,5 GW et table sur 20 GW à horizon 2030 et 40 GW en 2040.

Image 2 : les étapes d'un projet éolien en mer posé



La première étape avant l'élaboration des DSF est la mise en place de la PPE, puisque tout en découle.

Source : site du Ministère de la Transition Ecologique sur les éoliennes en mer en France. Lien : <https://www.eoliennesenmer.fr>

II) L'APPROCHE FILIERE : CARTOGRAPHIE DE BASE

II.1) L'approche filière en théorie

II.1.1) Cadre conceptuel

Il existe une abondante littérature (française et anglaise) traitant du concept de chaîne de valeur. Plusieurs approches assez proches y sont décrites, ce qui peut être source d'ambiguïté. Celles qui sont le plus abordées, sont :

-la chaîne de valeur de Michael Porter (1985) ;

-la chaîne de valeur globale de Gereffi (1994) ;

-l'approche filière (« value chain » en anglais) développée par des institutions françaises de recherche (INRA et le CIRAD) dans les années 1960.

Ces 3 approches de la chaîne de valeur ont des points communs. Elles sont des instruments d'analyses d'un système productif et peuvent aider à la prise de décision stratégique. Toutes ces approches segmentent le processus de production d'un produit ou d'un service par activités et/ou par acteurs de sa conception à son recyclage. Il est souvent mentionné le terme de « maillon » de la chaîne de production ou de la chaîne de valeur pour faire référence à cette segmentation. À chaque passage d'un maillon le produit gagne en valeur, puisqu'il se transforme davantage à mesure qu'il avance dans le processus productif. Ces méthodes ont comme point de départ, la construction d'une représentation visuelle simplifiée de la chaîne, il est question d'un schéma. Puis, elles peuvent permettre d'identifier des pistes d'amélioration de la performance de l'entité sur laquelle porte les analyses. Autrement dit, elles mettent en évidence les sources d'avantages concurrentiels potentiels (par les coûts ou par la différenciation) au sein des entités étudiées, lorsque la comparaison à des entités similaires est possible.

En revanche, elles ont pour principales différences l'entité étudiée et le type d'analyse auquel elles se réfèrent. La chaîne de valeur de Porter a pour sujet d'étude l'entreprise. La chaîne de valeur globale est une chaîne de valeur adaptée à un contexte de mondialisation, dont les multinationales sont au centre des analyses. Puis, l'approche filière comme son nom l'indique s'applique à des filières d'un secteur, initialement agricole. Les deux premières approches s'appuient sur des analyses séquentielles des différents maillons de la chaîne de production, alors que la dernière renvoie à des analyses systémiques.

II.1.2) Définition

La filière désigne couramment l'ensemble des activités complémentaires qui concourent, d'amont en aval, à la réalisation d'un produit fini. Elle intègre en général plusieurs branches. C'est ainsi que l'Insee définit la filière. L'approche filière est un outil neutre d'analyse permettant de dégager les maillons clés créateurs de valeur ajoutée au sein d'une filière. Il peut aider à la prise de décision et permettre de comparer plusieurs scénarios à une situation de référence.

Il y a 3 principaux types d'analyses dans l'approche filière, portant sur des dimensions différentes (technique, économique/financière, puis organisationnelle/institutionnelle), lesquels peuvent être combinés. Elle peut être faite d'analyses quantitatives au départ et être renforcée par des analyses qualitatives.

Il est important de noter que l'approche filière ne se suffit pas à elle-même. Elle est un outil partiel, qui s'appuie sur une simplification de la réalité et sur une capture de celle-ci à un moment donné. Elle doit pouvoir être complétée par d'autres approches de la chaîne de valeur et être renforcée par des analyses portant sur d'autres dimensions permettant de rendre mieux compte de toute la complexité d'une filière.

II.1.3) Méthodologie

Nous allons nous intéresser à une approche filière basée sur une analyse de type économique.

Il n'existe pas de méthodologie type, bien que dans la littérature il y a volonté à en standardiser une.

Les principaux points que nous retrouvons dans les méthodologies proposées, sont :

A) Repérage des contours de la filière

Cette étape est l'étape de préparation, préliminaire, à la cartographie de la filière.

i) Identifier la nature des flux physiques, les fonctions et les acteurs de la filière : ça nécessite de suivre le produit ou service au cours de ses transformations successives, donc procéder en allant de l'amont à l'aval de la filière du produit. Il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des techniques de production pour bien appréhender les différentes transformations du produit au sein de la chaîne.

ii) Faire une analyse fonctionnelle et la formaliser à l'aide d'un tableau, dans lequel il faut indiquer :

- Les différents stades de la filière ;
- Les principales fonctions au sein de ces stades ;
- Les acteurs (principaux et supports) faisant ces fonctions ;
- et les produits de la filière.

B) Cartographier la filière

Cette étape est incontournable, puisqu'elle constitue les fondations de l'approche filière. Toutes les autres étapes sont liées à celle-ci, soit elles permettent de construire la carte soit elles s'en appuient pour y apporter des points de précision. Il s'agit d'une carte de base donnant un aperçu de l'ensemble de la chaîne de valeur. En général, nous y représentons les éléments essentiels à la bonne compréhension du fonctionnement de la filière, donc les éléments de l'analyse fonctionnelle faite juste avant. Elle est d'abord faite à un niveau micro sur les opérateurs (cf : image 3), là où la valeur ajoutée est réellement générée. Les niveaux méso et macro, ils portent respectivement sur les supporteurs et facilitateurs de la chaîne, ils peuvent être ajoutés par la suite pour affiner l'analyse.

C) Quantifier et décrire la filière

La quantification et la description de la filière à pour but de présenter l'état actuel de la chaîne de valeur. Ce qui permet de mettre le doigt sur des contraintes et/ou opportunités au sein de cette dernière. Cette partie s'appuie sur les comptes des acteurs de la filière.

Note : des analyses et cartes complémentaires à la carte de base de la chaîne peuvent être faites, afin de creuser un point spécifique pouvant donner à l'analyse descriptive un plus grand niveau de détail.

D) Faire une analyse économique de la filière

L'analyse économique vise à faire une évaluation sur la l'efficacité économique de la filière. Pour ce faire, il faut déterminer la valeur ajoutée, les coûts et la décomposition de ces coûts le long des maillons de la chaîne de valeur.

Note : pour enrichir l'analyse il est possible de comparer les valeurs de paramètres importants à celles qu'à la filière dans d'autres pays ou avec celles d'industries similaires.

Le produit qui nous intéresse en vue d'une approche filière est la mise en service d'un parc éolien en mer posé sur le territoire français.

Nous allons suivre la méthodologie décrite ci-dessus, dans la mesure du possible. Un parc éolien en mer posé en France est un cas d'étude particulier, puisqu'il n'y en a encore aucun en activité à l'heure actuelle, toutefois il existe un important retour d'expérience étranger dessus. Alors, des adaptations de ces retours au contexte français sont effectuées permettant de dégager des informations « potentielles », notamment sur la phase d'exploitation et de maintenance.

Nous avons décidé d'apporter un petit plus à cette analyse économique en incluant l'aspect social en abordant la question de l'emploi.

II.2) L'analyse fonctionnelle

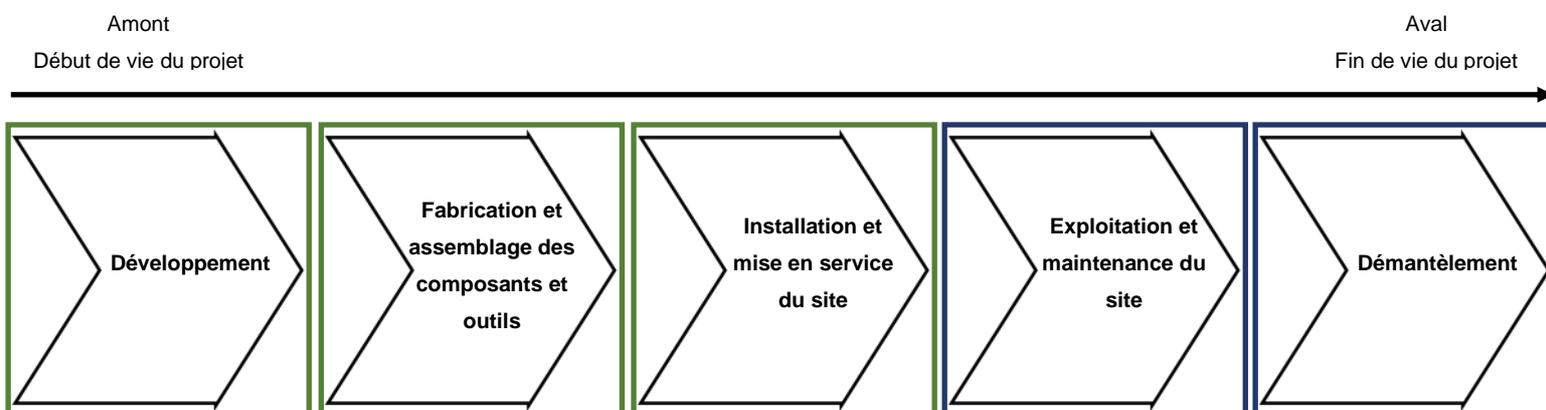
II.2.1) Description des fonctions et acteurs

Nous allons dans cette partie décrire les différentes fonctions et acteurs de la filière de l'éolien en mer posé.

Ces deux termes peuvent se définir très simplement. Il y a une fonction dès lors qu'il y a une transformation faite du produit. Et, chacune de ces fonctions, transformations, sont conduites par des acteurs.

Il est préférable, dans un premier temps, de détailler les grands stades de la filière se trouvant en amont et en aval de la mise en service d'un parc éolien en mer posé (cf : schéma 1). En effet, différents acteurs conduisent les fonctions et différentes fonctions se font au sein des stades de la filière. Il est intéressant de notifier que la mise en service d'un parc éolien en mer posé est une version hybride de celle de l'éolien terrestre et de celles des énergies marines renouvelables. De ce fait lors de l'identification des stades, fonctions et acteurs de la filière étudiées nous trouverons des similitudes avec ces deux autres filières.

Schéma 1 : les différents stades de la filière

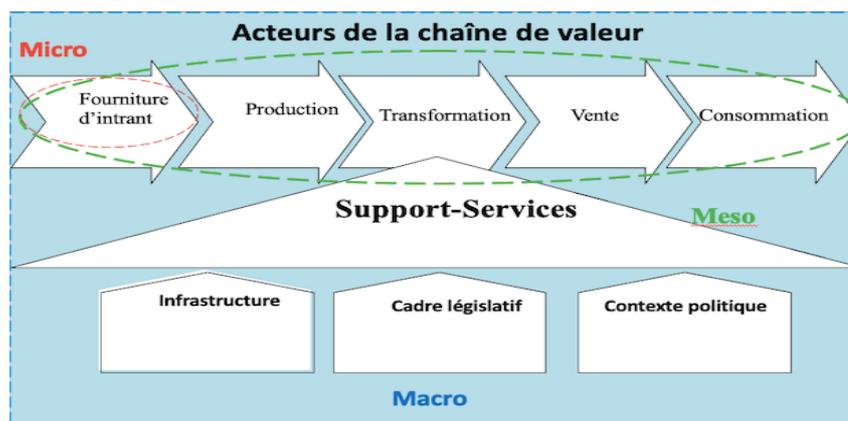


Les encadrés verts représentent les stades de la filière positionnés en amont de la filière, ceux en bleus sont en aval.

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

La description des fonctions et acteurs va se faire à plusieurs niveaux (cf : image 3). Le niveau micro porte sur les opérateurs (niveau de l'acteur), le méso sur les supporteurs (niveau de la chaîne) et le macro sur les facilitateurs de la chaîne (niveau des politique et institutionnel). Seules les descriptions au niveau micro et méso seront détaillées, le niveau macro sera juste abordé.

Image 3 : représentation des différents niveaux de description



Source : « Chaîne de Valeur ». Cours. ENSAE.

Une distinction va être apportée entre les fonctions et acteurs principaux et ceux de soutien.

-Fonctions et acteurs principaux : contribuent directement à la création de valeur ajoutée apportée au produit (fabrication, logistique, exploitation, etc.) ;

-Fonctions et acteurs de soutien : appui essentiel aux principaux sans quoi ils ne pourraient pas créer cette valeur ou fonctionner correctement (services supports, clusters, formations, etc.).

II.2.1.1) Fonctions et acteurs principaux

Phase de développement

- Le développement de projet :

Les développeurs de projet soumettent un projet de parc éolien en mer posé et sont désignés comme lauréats suite à un dialogue concurrentiel, dans le cadre d'un appel d'offre. En général, ils sont des grands fournisseurs d'énergie ou des entreprises spécialisées dans l'éolien en mer organisées en consortium. Acteurs clés de la filière ils interviennent à chacune des phases du projet.

Leur rôle premier, en tant que maître d'ouvrage, est d'assurer que le projet se déroule correctement du début à la fin. Véritable chef d'orchestre détenant un grand nombre de compétences, ils assurent : la conception, la mise en œuvre et l'évaluation globale du projet.

Plus précisément, ils prennent en charge le projet depuis l'identification du site jusqu'à l'obtention du permis, et dans un grand nombre de cas, jusqu'à la mise en service des éoliennes. Ils réalisent les activités suivantes : rechercher un site adéquat; procéder à l'analyse environnementale du projet (écosystème, bruits, etc.); rassembler les autorisations et documents légaux auprès des autorités compétentes (notamment le permis enveloppe qui englobe la concession d'utilisation du domaine public maritime, l'autorisation environnementale et celle d'exploiter, etc.); faire le lien entre les différentes parties prenantes lors de la concertation publique; rechercher les financements nécessaires; intégrer le projet dans le territoire; désigner les prestataires chargés de la réalisation du projet; choisir le modèle d'éolienne le plus adéquat et coordonner les travaux avec le turbinier et le gestionnaire de réseau.

Certains développeurs de projet seront également présents sur la phase d'exploitation et de maintenance, le terme de « développeurs-exploitants » est alors employé. Ils auront à surveiller le site, contrôler sa production et organiser sa maintenance.

Pour l'Observatoire des Energies de la Mer, RTE est désormais considéré comme un développeur-exploitant. Par conséquent, une compétence s'ajoute à cette catégorie d'acteurs, celle d'injecter l'électricité produite sur le réseau. Ce choix de l'Observatoire

est motivé par le fait que la loi « hydrocarbures » confie à RTE la réalisation de la sous-station électrique en mer et que la loi ESSOC associe RTE aux études de dé-risquage, aux consultations du public et à l'élaboration du cahier des charges des appels d'offres.

• L'ingénierie pré-projet :

La mise en place d'un parc éolien en mer posé nécessite une batterie d'études. Elles sont réalisées par des bureaux d'études tout au long de la durée de vie du parc : au lancement du projet pour faire des estimations, quelques mois avant son installation pour vérifier que la réalité correspond bien aux estimations et lorsqu'il est en fonctionnement afin de s'assurer qu'elles restent robustes. Ces bureaux sont spécialisés dans un domaine et souvent indépendants. Ils sont aussi équipés de technologies très pointues (par exemple, les mâts de mesures lors des études de vent ou les outils d'acquisition de données) et ils peuvent être homologués pour délivrer les certifications environnementale et technique des installations. Certains bureaux d'études réalisent plusieurs types d'études différents, ils se sont spécialisés dans plusieurs domaines, le terme « mixte » est utilisé. Les développeurs de projet peuvent être en mesure de réaliser une partie de ces études, le reste est sous-traité.

Quelques exemples d'études :

-Les mesures de vent permettent de savoir quel site et quel positionnement est optimal en termes de production pour l'implantation des éoliennes. Elle dépend aussi des particularités environnementales du site choisi, lesquelles sont évaluées avec les développeurs, les constructeurs ou d'autres bureaux d'études spécialisés. Les éoliennes sont également pourvues d'appareils de mesure du vent qui servent à définir l'orientation du rotor et des pales, afin d'optimiser la production d'énergie en permanence.

-Les études techniques pour accompagner les développeurs de projet, nous avons : l'évaluation de gisement, les calculs de structure, la modélisation des

installations électriques, les vérifications du respect des critères officiels de sécurité, le suivi du vieillissement afin de prévoir les occurrences de maintenance, etc.

-Les études de sol (géotechniques et géophysiques) qui permettent, en s'assurant de la composition du sous-sol, de parfaire le dimensionnement de l'installation, le design de fondations et de confirmer les modes d'installation des futurs parcs.

-Les études d'impact environnemental et les mesures de bruit pour s'assurer au mieux de l'intégration de l'installation à son environnement.

-Les études de génie électrique sont faites par des entreprises spécialisées dans les systèmes et les services de transmission et de distribution d'électricité. Elles intègrent les matériels électriques nécessaires au contrôle commande, à l'alimentation et au raccordement au réseau électrique des parcs.

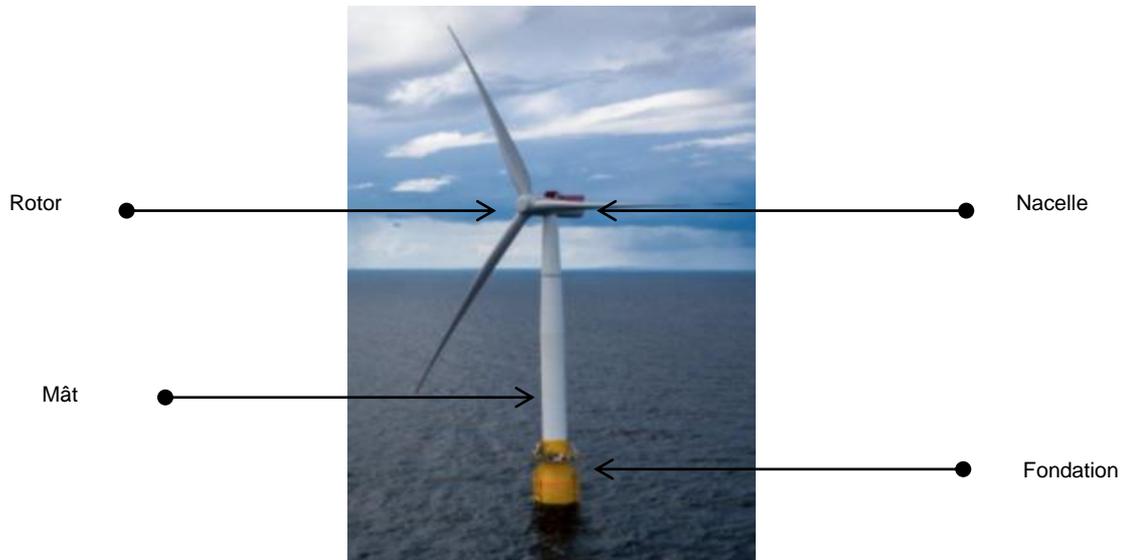
-Études météo-océaniques (états de mer, périodes de houle, courant, etc.), études paysagères, ...

Phase de fabrication et d'assemblage des composants et outils

Un point technique sur les composants d'une éolienne permettra de mieux appréhender cette partie.

Point technique : composants d'une éolienne

Une éolienne est composée de quatre éléments principaux : le rotor, la nacelle, le mât et les fondations (cf : schéma 2).



Source : « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>

Le rotor constitue le système de conversion d'énergie cinétique en énergie mécanique. Les pales du rotor sont plus lourdes que les terrestres, lesquelles pèsent déjà au moins plus de 6 tonnes. Le rotor peut atteindre un diamètre allant jusqu'à 216 mètres maximum. En effet, l'Haliade X aura des pales de 108 mètres soit un diamètre atteignant 216 mètres et il s'agit de la plus grosse éolienne jamais construite. Leur durée de vie est limitée par les vibrations et par l'érosion due aux poussières et aux conditions météorologiques du site. En éléments mécaniques il y a les brides et la couronne d'orientation, elles permettent d'orienter le rotor et les pales en fonction de la direction et de la force du vent (cf : tableau 6).

Tableau 6 : composants du rotor

Composants	Sous composants	Matières premières
Rotor	Pales	Fibres de verre ou de carbone (peu utilisées) et résine plastique (époxy ou polyester)
	Moyeu	Fonte
	Nez	Fibres de verre et résine plastique
	Contrôle d'inclinaison des pales	Fonte et acier peu allié et inoxydable

« Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>

La nacelle contient la majorité des éléments mécaniques et électriques (cf : tableau 7). La partie mécanique permet de faire le lien avec le rotor en passant de l'énergie mécanique à électrique. La partie électrique elle sert à gérer l'énergie et à l'envoyer sur le réseau. La nacelle a aussi toute une partie de support et de protection de ces éléments. En effet, elle est fabriquée en matériaux composites, qui entourent généralement une structure mécano-soudée en acier. Tous ces éléments sont composés de pièces de fonderie usinées et forgées de très grandes tailles. Les principaux composants électriques sont la génératrice (convertit l'énergie mécanique produite par la rotation des pales en énergie électrique), le convertisseur de puissance (rend le courant alternatif) et le transformateur (adapte la tension à celle du réseau auquel l'éolienne est connectée). En éléments mécaniques il y a les arbres et systèmes d'accouplement, les freins, les moteurs, les pièces mécaniques non structurantes en aciers secondaires, etc. Les freins à disque permettent en cas de nécessité, en particulier de vitesses de vent trop importantes, d'arrêter les machines en quelques rotations au maximum. Un tel système peut, par exemple, freiner l'éolienne en douceur sans trop de contraintes et fatigue sur les autres éléments de la machine.

Tableau 7 : composants de la nacelle

Composants	Sous composants	Matières premières
Nacelle	Le système mécanique : arbre, roulements, freins, générateur	Acier peu allié ou inoxydable et aimants permanents pour la génératrice (technologie synchrone donc pas de multiplicateur)
	Transformateur	Acier et cuivre
	Système d'orientation de la nacelle : moteurs avec roulement, arbre de transmission et frein	Acier peu allié ou inoxydable ou fonte
	Grue	Acier peu allié
	Système hydraulique	Acier peu allié ou inoxydable et d'huile de lubrification
	Armoire électrique et convertisseur (composée de composants électroniques)	Cuivre et acier
	Cadre, châssis, carénage	Acier inoxydable ou de fonte pour les parties de support métallique/ Résine plastique et fibre de verre pour les parties protectrices

Source : « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>

Le mât supporte la nacelle et le rotor et permet d'élever l'ensemble à une altitude élevée favorisant l'exposition au vent. Il est constitué de 3 ou 4 sections de tubes coniques en acier peu allié. À sa base, se trouve une protection cathodique en aluminium qui se consumera tout le long du cycle de vie de l'éolienne. Aussi, il est composé d'une plateforme en acier permettant l'amarrage des bateaux de maintenance. Il peut atteindre une hauteur maximale de 100 mètres.

Les éoliennes sont composées par de plus en plus de systèmes électroniques. Ce qui s'explique par le fait qu'ils permettent d'augmenter la production électrique, ainsi que de diminuer le taux de pannes et donc la fréquence de maintenance. Les systèmes électroniques sont majoritairement des systèmes rendant possible le contrôle à distance, le contrôle commande. Certains de ces composants sont très spécifiques aux turbines éoliennes, comme les systèmes d'orientation des pales (« pitch ») et de la nacelle (« yaw »). Les autres sont plus standardisés et liés au contrôle commande, aux moteurs, à la ventilation et aux circuits de refroidissement. En bref, les systèmes de contrôle incluent : l'orientation optimale de l'éolienne, le réglage du régime de rotation, les capteurs de température et de vibrations, etc. Ces systèmes doivent être extrêmement résistants aux conditions climatiques. Ils sont intégrés au cours du processus de fabrication, en terminant par les câbles et logiciels de commande.

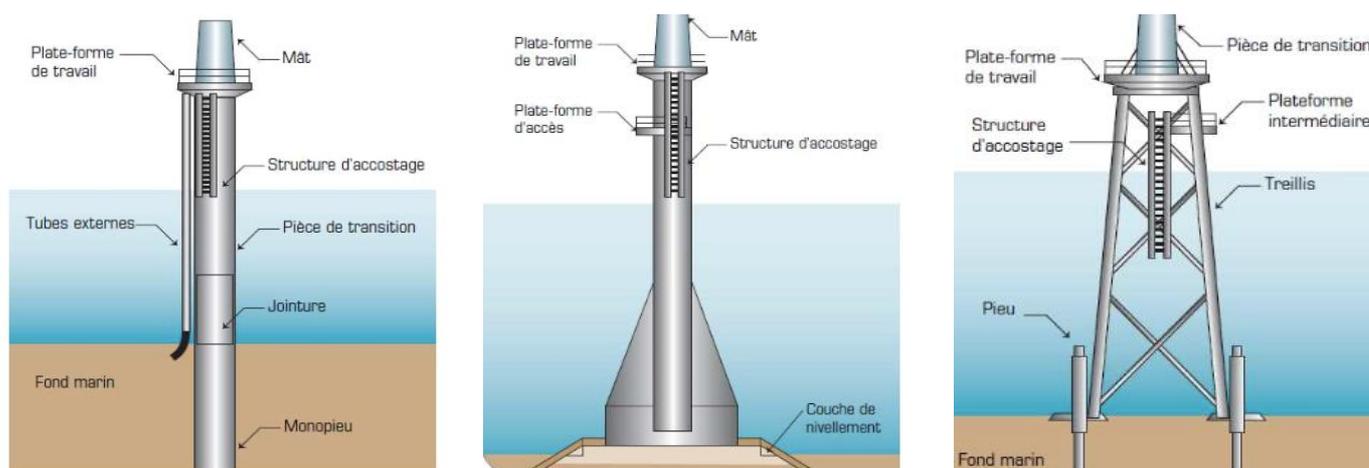
Les fondations permettent d'ancrer l'éolienne au sol et de supporter la force du vent. Il en existe plusieurs types avec des composants différents (cf : image 4) :

-Monopieux (ou monopile) : cette fondation est en acier renforcé et pèse entre 500 et plus de 1000 tonnes. Elle est adaptée à une profondeur des fonds compris entre 0 et 30 mètres environ, donc pour les eaux peu profondes. Ce type de fondation est envisagé pour les parcs de Saint-Nazaire, de Courseulles-sur-Mer, des Îles d'Yeu-Noirmoutier et de Dunkerque. Son installation passe par un battage, un forage du fonds marin ou un vibrofonçage.

-Gravitaires : cette fondation est en acier renforcé ou en béton et pèse entre 1 000 et 7 000 tonnes environ. Elle est adaptée à une profondeur des fonds inférieure à 20 mètres, des améliorations peuvent lui permettre d'être utilisée jusqu'à 40 mètres. Elle est prévue uniquement pour le parc de Fécamp en France. Une descente par grue ou flottaison et un lestage sur site sont nécessaires pour son installation.

-Jackets (ou tour en treillis) : cette fondation est en acier tubulaire et pèse entre 300 et 1 000 tonnes environ et est adaptée à une profondeur des fonds compris entre 20 et 60 mètres, elle est donc plus flexible et plus légère. Elle est choisie pour les parcs de Saint-Brieuc et de Dieppe-le-Tréport. Pour être installée il faut prévoir une descente par grue puis un ancrage des pieds par des pieux.

Image 4 : composants des fondations de type monopieux, gravitaires et jackets



Source : « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>

Toutes sont fixée à une pièce de transition les reliant au mât.

Tableau 8 : répartition des fondations dans la filière éolienne maritime française

Futurs parcs en mer posé	Type de fondation	Nombre de turbines	Part dans les futurs parcs en mer posé
Saint-Nazaire	Monopieux	80	18 %

Tableau 8 : répartition des fondations dans la filière éolienne maritime française

Iles d'Yeu et de Noirmoutier	Monopieux (initialement Jackets)	62	14 %
Saint-Brieuc	Jackets	62	14 %
Courseulles-sur-Mer	Monopieux	64	14 %
Fécamp	Gravitaires	71	16 %
Dieppe-le-Tréport	Jackets	62	14 %
Dunkerque	Monopieux	46	10 %

Source : « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>

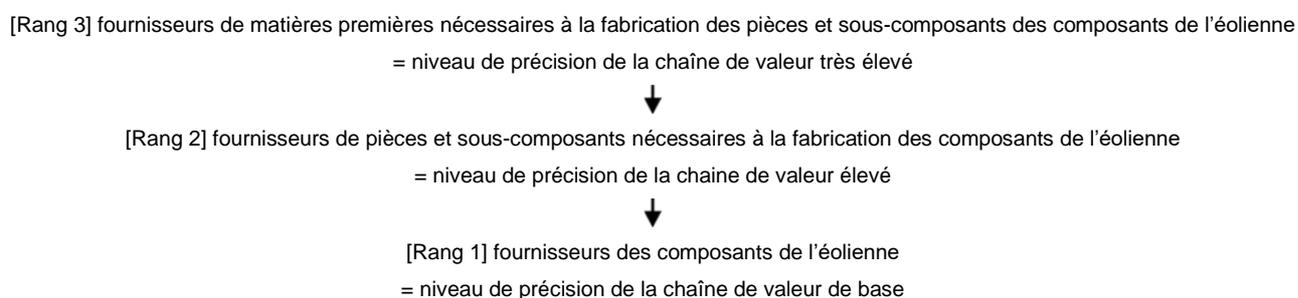
La filière éolienne maritime française posée, à moyen terme, serait composée à 56% de fondations monopieux, 28% de jackets, puis de 16% gravitaires (cf : tableau 8).

La fabrication des composants est sous-traitée ou internalisée par des grands turbiniers en fonction de leur degré de criticité et de la stratégie de production choisie. Un fabricant d'éolienne est nommé « turbinier », puisqu'une éolienne est une turbine qui transforme l'énergie cinétique du vent en électricité.

Nous constatons qu'en réalité, il y a des « sous chaînes de valeur » à presque chacun des maillons de la chaîne de valeur de l'éolien en mer posé, notamment dans celui de la fabrication des composants et outils. La fabrication du composant rotor de l'éolienne passe par celle de sous-composants tels que les pales, lesquelles sont fabriquées à partir de matériaux composites. Il existe plein d'autres sous-composants et matières premières pour arriver en fin de la sous-chaîne de valeur du composant rotor. La fabrication du rotor va donner lieu à l'exécution de plusieurs fonctions et l'intervention de différents acteurs pour passer du stade d'un ensemble de matières premières, à un ensemble de sous-éléments qui une fois assemblés deviendront un rotor. Plus il est possible de remonter ces sous chaînes de valeur jusqu'à leur dernier maillon plus la

chaîne de valeur est complète, c'est-à-dire que tous les acteurs ont été identifiés, jusqu'aux fournisseurs de matières premières et ceci pour tous les composants de l'éolienne (rotor, mât, nacelle, fondations). Nous allons construire des rangs d'acteurs (cf : schéma 3) pour tenter de donner un niveau de précision de là où nous nous trouvons au sein de la chaîne de valeur. Reprenons l'exemple, si les acteurs qui interviennent au moment où la pale est encore matière première sont identifiés (ceux de rang 3), alors le niveau de précision est très élevé. Par contre, si uniquement les acteurs de fin de chaîne sont connus (ceux de rang 1), c'est-à-dire ceux qui fournissent le rotor, alors le niveau de précision est suffisant pour constituer une base, mais ceci

Schéma 3 : rangs des fournisseurs



Source : élaboration personnelle

indique qu'il reste matière à creuser pour construire une chaîne de valeur plus complète.

La filière de l'éolien en mer posé en France n'est pas encore structurée. Un niveau de précision très élevé ou élevé sur l'ensemble de la chaîne de valeur de la filière sera plus atteignable dans les années à venir, notamment avec la mise en service du premier parc à Saint-Nazaire en 2022.

Dans la littérature nous trouvons plusieurs manières de découper la chaîne de valeur. Une manière combinant plusieurs approches et reprenant les principales fonctions et acteurs est utilisée pour cette analyse fonctionnelle, particulièrement pour ce maillon de la chaîne.

• Fabrication d'éoliennes (rang 1 à 3)

Les fournisseurs de turbine, ou turbiniers, maîtrisent l'ensemble de la fabrication d'une éolienne : la conception, la fabrication de quasiment tous les composants et l'assemblage.

• Fabrication des pales (rang 2)

Les pales sont un sous-composant du rotor, elles sont fabriquées par des entreprises spécialisées dans les matériaux composites faisant que des pales ou soit par les turbiniers.

• Fabrication des matériaux composites (rang 3)

Les matériaux composites se retrouvent dans plusieurs composants d'une éolienne. Les parties protectrices de la nacelle, notamment sa coque, ainsi que le nez du rotor. Les matériaux composites nécessaires à la fabrication des pales ne sont pas pris en compte. Il est question d'entreprises spécialisées dans la fabrication de matériaux composites.

• Fabrication des pièces de fonderies (rang 2)

De nombreuses pièces de très grandes tailles fondues et usinées sont utilisées pour la fabrication de presque tous les composants d'une éolienne, en plus grande proportion les éléments mécaniques et électriques de la nacelle. Les fonderies sont des acteurs essentiels à la fabrication d'une éolienne. Sans oublier les entreprises de métallurgie, de chaudronnerie et de forge. Les fournisseurs de matières premières tel que l'acier sont eux au rang 3.

• Fabricants de gros composants électriques (rang 1 et rang 2)

Les gros composants électriques sont la génératrice, le convertisseur de puissance et le transformateur. À eux trois la nacelle est presque composée. C'est pour cette raison que les fabricants de ces composants peuvent être considérés de rang 1. Toutefois, il ne s'agit pas des mêmes acteurs, la génératrice est fabriquée par les turbiniers, alors que les deux autres composants sont fabriqués plutôt par des industriels spécialistes du secteur électrique. Pour cette raison, il est possible d'envisager ces acteurs comme appartenant au rang 2, fabricants de sous-composants et pièces de composants.

• Fabrication de systèmes électriques et électroniques (rang 2)

Une multitude de petits composants électriques sont fabriqués, assemblés et intégrés dans des systèmes électriques. Ils sont pour un grand nombre dans les trois principaux composants électriques (génératrice, convertisseur et transformateur). L'armoire électrique de la nacelle en est elle aussi dotée. Puis, il y a les systèmes électroniques permettant le contrôle-commande et les pièces électroniques qui composent le convertisseur. Les mêmes fabricants que pour le transformateur et le convertisseur sont mobilisés, ainsi que des entreprises spécialisées dans l'électronique.

• Fabrication des systèmes mécaniques et hydrauliques (rang 2)

Les principaux systèmes mécaniques et hydrauliques se trouvent dans la nacelle pour relier le rotor et la génératrice, mais pas que nous trouvons aussi des pièces mécaniques dans le moyeu du rotor. Des fabricants spécialisés fournissent ces pièces.

• Fabrication des composants de structure (rang 1)

Les composants de structure sont le mât et les fondations, deux composants principaux d'une éolienne, fabriqués par des entreprises spécialisées.

• Assemblage des composants

Les sous-composants sont assemblés afin de finaliser les principaux composants : le rotor, la nacelle, le mât et les fondations. Ces éléments sont très imposants et lourds donc difficilement transportables. Par exemple, les sections du mât et les pales sont transportées séparément par voie maritime, fluviale et routière. Les différentes parties sont assemblées dans des sites d'assemblage qui sont souvent gérés par les turbiniers. Des entreprises de transport exceptionnel sont sollicitées, ainsi que des entreprises spécialisées et équipées pour la manutention et le levage.

• Fabrication des navires/ Construction navale

Les navires de type crewboats des plateformes pétrolières étaient utilisés pour transporter les pièces, installer les parcs et assurer la maintenance. En fonction du type et niveau de maintenance nécessaire de simples bateaux de services peuvent suffire. Le manque de crewboats a permis le développement d'une nouvelle génération de navires. Les vaisseaux jack-up, navires autoélévateurs, conçus de manière à répondre aux besoins inhérents aux parcs éolien en mer (transports de pièces, installation et maintenance corrective). La fabrication de tous ces types de bateaux nécessite une importante quantité de composants, sous-composants et matières premières. En principe, les entreprises de la construction navale les fabriquent. Les crewboats et bateaux de maintenance sont fabriqués pour d'autres usages en mer. Uniquement, les « jack-up » sont fabriqués spécifiquement pour la filière de l'éolien en mer. Ces vaisseaux sont équipés d'une très grande grue permettant d'installer les fondations et autres composants lourds, aussi ils se soulèvent au-dessus de l'eau assurant leur stabilité. En définitive, ils ont les capacités et technologies suffisantes à transporter, lever et monter les composants de la turbine. Tous ces navires, très longs et très larges, peuvent charger beaucoup de composants en une fois ce qui limite le nombre d'aller-retour et ils se déplacent le plus rapidement possible ce qui limite les délais d'approvisionnement. Par exemple, le jack-up « Vole au vent » de Jean de Nul fait 140 mètres de long pour 41 mètres de large et le « Sea installer » du groupe DEME fait 132 mètres de long pour 39 mètres de large. Sans parler, du crewboat à Saint-

Nazaire le « Pioneering Spirit » qui fait 382 mètres de long pout 125 mètres de large. Aussi, des navires câblés sont mobilisés pour réaliser le raccordement du parc.

• Fabrication des outils pour les bureaux d'études

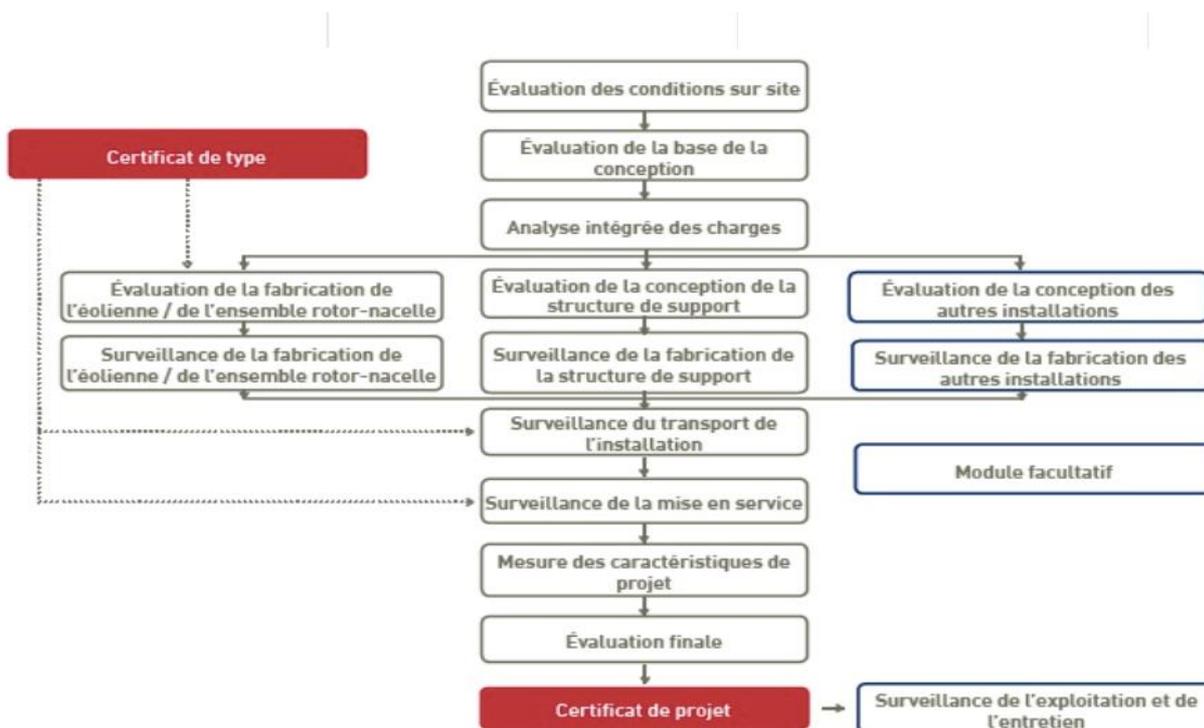
Cette fonction n'est pas mentionnée dans la littérature. Pourtant les bureaux d'études utilisent des outils d'une technologie de pointe, essentiels au bon déroulement du projet, puisqu'ils assurent l'exactitude et la fiabilité de leurs expertises. Les plus connus sont les mâts de mesures lors des études de vent ou encore les outils d'acquisition de données. Ces outils sont de plus en plus précis et performants. Les bureaux se fournissent auprès de producteurs de sondes et d'appareils de mesures météorologiques.

Phase d'installation et de mise en service du site

• Ingénierie de conception

Les bureaux d'études intervenus lors de la phase de développement pour réaliser des études prévisionnelles, interviennent de nouveau pour réaliser les études avec plus de précision avant de commencer le chantier (ingénierie initiale ou pré-ingénierie). Les développeurs de projet font la gestion de projet en assurant une bonne planification et communication avec les différentes parties prenantes, sans oublier la conformité du projet avec les études prévisionnelles. Ils sont assistés par des bureaux de contrôles habilités et des entreprises de maîtrise d'œuvre spécialisées dans les grands travaux de construction. Les bureaux de contrôle, ou organismes de certification, contrôlent la conformité des installations avec la réglementation en vigueur, dès la conception, ainsi que pendant la construction et l'exploitation, en vue de maîtriser les risques inhérents à la qualité et la sécurité (cf : image 5).

Image 5 : exemple d'une offre proposée par un bureaux de contrôle spécialisé dans l'éolien en mer



Source : site Bureau Veritas. Lien : <https://www.bureauveritas.fr/besoin/certification-de-projet-dans-le-domaine-eolien>

• La préparation du site et le montage de l'éolienne

Les entreprises de la construction, plus précisément du génie civil et maritime ainsi que du BTP, spécialisées dans les travaux de grandes envergures réalisent le terrassement, les travaux maritimes et sous-marins. La logistique, quant à elle, passe par des grands groupes de transport exceptionnel, de manutention et de lavage. Les mêmes que lors de la phase de fabrication des composants pour réaliser la fonction d'assemblage des composants.

• Le raccordement au réseau

Un point technique sur le fonctionnement d'un parc éolien en mer posé et les composants d'un poste électrique en mer permettra de mieux cerner cette partie.

Point technique : le fonctionnement d'un parc éolien en mer posé

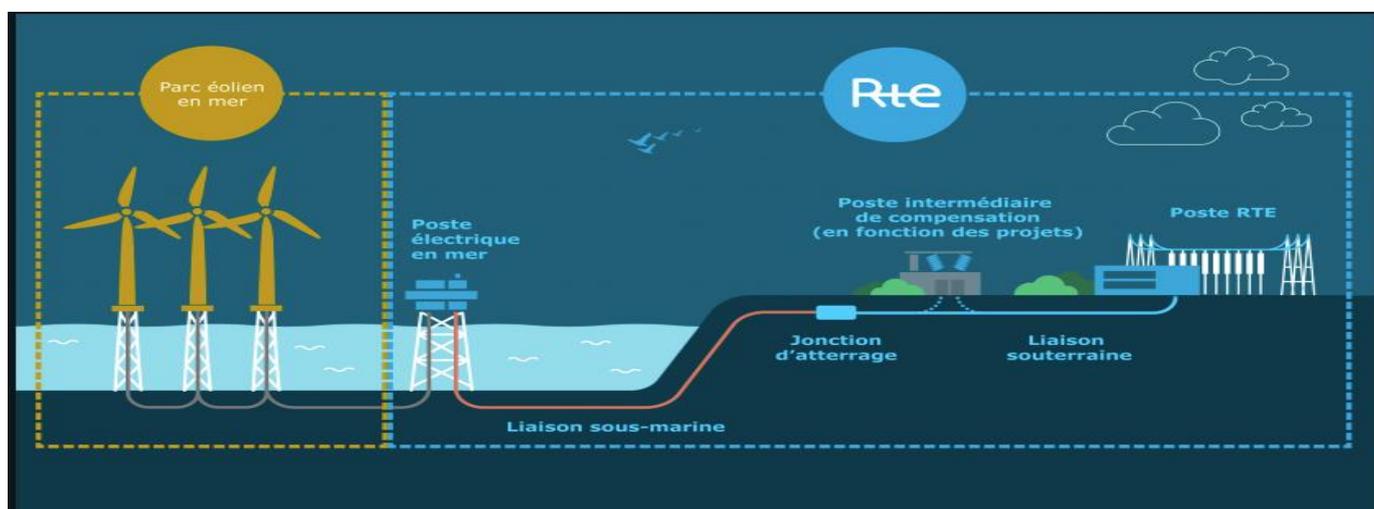
RTE (réseau de transport d'électricité) est chargé par l'État de tout le raccordement d'énergies marines renouvelables. Son rôle est d'exploiter, de maintenir et de développer le réseau à haute et très haute tension. Dans le cas d'un parc éolien en mer posé le rôle de RTE est de créer et d'exploiter les infrastructures de raccordement permettant d'injecter l'électricité au réseau. Les travaux de raccordement étaient financés par le consortium lauréat, depuis le parc de Dunkerque ils sont à la charge de RTE jusqu'à la sous-station électrique en mer.

Les turbines des éoliennes sont reliées par des câbles inter-éoliennes (réseau interne) et elles sont ensuite connectées à un poste électrique en mer, lequel transforme la tension de l'électricité sur place et la transporte par une liaison sous-marine jusqu'à la côte, une liaison souterraine prend ensuite le relais jusqu'à un poste électrique terrestre qui relie les câbles au réseau terrestre public d'électricité (cf : image 6).

La plate-forme électrique en mer collecte l'électricité produite par les éoliennes et avec un transformateur elle élève sa tension de 66 000 volts à 225 000 volts. Cette transformation permet de transporter l'électricité avec un nombre réduit de câbles à très haute tension jusqu'à la côte (environ 2 au lieu d'une dizaine). La plateforme culmine à une hauteur comprise entre 40 et 50 mètres au-dessus du niveau de la mer et elle est supportée par une structure métallique (jacket) fixée sur le fond marin. En raison de l'éloignement des côtes des parcs, ce poste de transformation en mer permet de limiter les pertes liées au transport de l'énergie sur une vingtaine de kilomètres (distance moyenne entre un parc et le continent) jusqu'au transformateur terrestre. Des câbles de 225 000 volts sous-marins sont enfouis dans le sol marin ou protégés par des enrochements ou par coquille. Au niveau de l'atterrage de la liaison sous-marine, les câbles y sont systématiquement enfouis à une profondeur tenant compte de l'évolution du trait de côte. À terre aussi les câbles sont aussi enfouis ou entourés d'une protection. La chambre de jonction est une grande boîte en béton qui permet de relier les câbles sous-marins et souterrains de transport d'électricité. Sous l'eau et sur

terre les conditions ne sont pas les mêmes, des câbles spécifiquement conçus pour le milieu marin sont utilisés en mer, alors qu'une fois sortie de l'eau ce sont des câbles terrestres classiques.

Image 6 : le raccordement d'un parc éolien en mer posé



Source : site RTE. Lien : <https://www.rte-france.com/projets/raccorder-les-energies-marines-renouvelables>

Pour le poste électrique en mer il faut compter un grand nombre de composants et de matières premières (cf : tableau 9).

Tableau 9 : composants d'un poste électrique en mer

Composants	Sous composants	Matières premières
Poste de transformation en mer	Structure	Acier
	2 transformateurs 66/225 kV et cellules 66 et 225 kV	Acier et cuivre
	Câbles pour tension de 66 et 225 kV	Cuivre, PEHD et aluminium
Fondation pour le poste en mer	Jacket (structure métallique)	Acier
	4 pieux	Acier
	Ciment	Pondéreux
	Peinture	Polyuréthane et composites

Source : « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>

L'ensemble des acteurs intervenants pour le raccordement, sont déjà intervenus dans les phases précédentes. RTE en tant que gestionnaire de réseau sous-traite ces acteurs, il est le maître d'ouvrage du raccordement. Nous retrouvons les entreprises de BTP (notamment les travaux et installations en mer), les fabricants et installateurs de systèmes électriques, etc. Le poste électrique en mer est une technologie pointue, alors des entreprises se sont spécialisées pour le fabriquer lui et ses fondations.

La réforme du raccordement issue de la loi du 30 décembre 2017 permet à RTE de développer des plateformes de grande taille mutualisables, c'est-à-dire que des parcs éoliens spatialement proches peuvent ainsi être raccordés à une même plateforme en mer.

Phase d'exploitation et de maintenance du site

• Ingénierie et expertise technique

Les bureaux d'études réalisant les expertises techniques intervenus lors de la phase de développement et d'installation et de mise en service du parc, interviennent de nouveau pour vérifier que les projections collent à la réalité et que les conditions de fonctionnement restent les mêmes. Ils réalisent des rapports officiels souvent demandés par les banquiers pour octroyer un prêt. Les bureaux de contrôle habilités, eux aussi, peuvent être de nouveau mobilisés pour surveiller l'exploitation et la maintenance.

• L'exploitation

L'exploitant est le producteur d'électricité qui injecte l'énergie sur le réseau électrique. Il doit garantir la production d'électricité et le bon fonctionnement des éoliennes. Le producteur à plusieurs métiers liés à l'exploitation :

-Superviser, contrôler et acquérir des données, faire un suivi technique et rédiger des rapports d'exploitation (à distance et touchant plusieurs domaines), sans oublier qu'il pilote les turbines (arrêts et redémarrages) ;

-Mener des analyses de performance et mettre en place des solutions pour améliorer la production électrique des turbines, il passe par des audits, travaille à se prémunir des risques inhérents, surveille les contrats et les fins de garantie ;

-Surveiller les besoins de maintenance (préventive et corrective), optimiser le temps de réaction avec l'équipe de maintenance, être capable de stocker des pièces de rechange, réaliser des tests ;

-Réaliser la gestion comptable, administrative et de la sécurité ;

-Être l'interface avec les riverains et les administrations locales ;

-Identifier toutes les sources d'optimisation des turbines pour renseigner les turbiniers de possibles améliorations et leur permettre de fabriquer des éoliennes de plus en plus optimisées.

Il est indispensable que l'exploitant maîtrise les outils de contrôle à distance et de prévision, puisque toute l'exploitation se déroule à distance dans des centres de contrôles.

Il peut devoir faire un travail de gestion et d'arbitrage de la production dans le cas où l'électricité éolienne est valorisée sur les marchés. En principe, le producteur fait appel à un agrégateur pour gérer la commercialisation de leur électricité sur les marchés.

• La maintenance

Le constructeur est responsable de la maintenance. Elle doit permettre un taux de disponibilité des éoliennes le plus élevé possible. Il existe plusieurs types et niveaux de maintenance. Il y a la maintenance planifiée ou préventive pour vérifier le bon fonctionnement de l'éolienne par le biais de plusieurs visites régulières sur site, afin d'éviter des maintenances plus lourdes qui entraîneraient des réparations. La

maintenance prédictive permet de suivre l'évolution d'un mauvais fonctionnement ou d'en anticiper un statistiquement et de planifier une intervention de sorte à éviter des réparations. Puis, il y a la maintenance dite corrective entraînant des réparations plus ou moins lourdes, il en existe plusieurs niveaux en fonction du niveau de sévérité :

-Niveau 1 : petites réparations prises en charge par un autre acteur que le turbinier ;

-Niveau 2 : réparations un peu plus importantes que le niveau 1 nécessitant davantage d'expertise, soit le turbinier se déplace sur site soit il intervient à distance en lien avec un autre acteur ;

-Niveau 3 : grosses réparations obligeant l'intervention du turbinier sur site, puisque l'intervention est protégée par la propriété intellectuelle.

Les interventions de niveau 1 ou 2 peuvent être prises en charge localement par l'exploitant lui-même, par un prestataire de services indépendant appelé gestionnaire ou responsable de maintenance souvent agréé par le constructeur. Des entreprises spécialisées peuvent être mobilisées pour réaliser la maintenance propre à leur champ de compétences, par exemple l'intervention sur les pales en hauteur ou concernant l'acoustique et les vibrations. La maintenance demande à ses techniciens des compétences en mécanique et en électrotechnique, ainsi que la maîtrise des outils informatiques et la capacité à travailler en hauteur et en mer si nécessaire.

La particularité des éoliennes en mer est que les interventions se font loin des côtes par bateaux, les câbles de réseau et les fondations entraînent une plus grande fréquence de maintenance et s'y ajoute le poste de transformation en mer. À titre informatif, 7500 litres de fioul par éolienne et par an seraient consommés par des navires de petite taille pour corriger les dysfonctionnements.

• Surveillance et balisage

Les turbines doivent être signalées et visibles depuis l'espace aérien et maritime par mesure de sécurité. Pour ce faire, à l'heure actuelle, une technologie utilisant des LED de puissance qui clignotent simultanément au sein d'un même parc est employée. Des

entreprises spécialisées dans le balisage fournissent ces composants. Il y a aussi celles, qui assurent la surveillance du parc.

Phase de démantèlement

À ce stade de la filière, peu d'informations sont disponibles, du fait qu'aucun parc n'est encore en service en France et donc qu'aucun démantèlement est d'actualité. Dans les années à venir, les 3 fonctions à ce stade de la filière (renouvellement, démontage et recyclage) constitueront des opportunités de développement de filières dédiées sur le territoire.

• Renouvellement

Quand de l'évolution des technologies éoliennes découle le développement de modèles bien plus puissants et avec une meilleure espérance de vie que ceux déjà mis en place, la question du renouvellement se pose.

Plusieurs catégories d'évolution technique d'un parc éolien peuvent être envisagées :

-La maintenance lourde (ou retrofit) correspond à des changements de composants principaux de l'éolienne (pales ou générateur par exemple) sans modification des caractéristiques principales de l'installation (type, dimensions, nombre et emplacements des éoliennes) ;

-Le réaménagement (ou revamping) correspond à des changements de composants avec modification des caractéristiques principales de l'installation (type, dimensions, diminution du nombre d'éoliennes) ;

-Le renouvellement (ou repowering) correspond à un remplacement intégral de l'installation entraînant des modifications substantielles (dimensions des éoliennes, extension, emplacements...).

Le renouvellement semble se faire par la mobilisation du même type d'acteurs qu'en phase d'installation et mise en service du parc.

• Démontage

Le démontage consiste à accompagner la mise hors réseau du champ, de démanteler les machines et de gérer la fin de vie des pièces (recyclage, stockage). Des capacités de levage sont nécessaires pour démanteler, transporter et recycler les composants. Le démontage semble se faire par la mobilisation du même type d'acteurs qu'en phase d'installation et mise en service du parc, accompagnés de nouveaux acteurs sur la phase de recyclage. L'exploitant à une obligation légale de prendre à sa charge le démantèlement du parc et RTE le raccordement, ils doivent pouvoir remettre le site dans un état comparable à si le parc n'avait jamais été installé.

• Recyclage

Un marché de « seconde main » s'est mis peu à peu en place pour l'éolien terrestre, et il est possible de revendre des turbines d'occasions aux pays en développement, ou de réutiliser les composants. À terme, il est possible que des composants d'éoliennes en mer posées soient vendus sur ce marché. En ce qui concerne les acteurs réalisant la fonction de recyclage, ils ne sont pas clairement identifiés. Le béton et l'acier des fondations sont amenés dans des centres de traitement excepté les ballastes composés de gravier et de sable (fondations gravitaires composée de 50% de ballaste).

Une étude présentée par l'ADEME porte sur la répartition de la fin de vie des matériaux de construction de l'éolien terrestre (cf : tableau 10), elle peut donner quelques éléments d'informations concernant l'étape de recyclage.

Tableau 10 : répartition de la fin de vie des matériaux de construction

Matériaux	Scénario envisagé	Référence
Acier	90% recyclé, 10% enfouis	Elsam Engineering (2004)
Fonte	90% recyclé, 10% enfouis	Martinez et al. (2009)
Cuivre	90% recyclé, 10% enfouis	Vestas (2006)
Aluminium	90% recyclé, 10% enfouis	Vestas (2006)
Plastiques	100% incinéré	Schleisner (2000)
Béton	100% recyclé	Martinez et al. (2009)
Fibre de verre et époxy	100% incinéré	Milanese (2009)
Aimant permanent	100% enfouis	Cycleco

Source : « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>

L'une des notes de l'Observatoire des Energies de la Mer (juillet 2021) informe sur le fait que sur l'ensemble du cycle de vie d'une éolienne en mer, seulement les pales sont difficilement recyclables, puisqu'elles sont fabriquées à partir de résines thermodurcissables. Effectivement, elles sont composées de matériaux composites qui sont imbriqués les uns dans les autres et constitués en chauffant un mélange de fibres de verre ou de carbone avec des résines thermodurcissables. Cette composition permet aux pales d'être solides tout en étant légères. Toutefois, recycler ces résines est compliqué et il en est de même pour les fibres, du fait qu'elles soient fusionnées avec l'époxy ou le polyester. Les autres composants, quant à eux, sont principalement constitués de matériaux facilement recyclables, tels que : les métaux, l'acier et le béton. Ce qui explique pourquoi le taux de recyclabilité est important, il est compris entre 85 et 90% (pouvant même aller jusqu'à 95% au regard des retours d'expérience de la filière de l'éolien terrestre). La principale technique de traitement des pales aujourd'hui est de les valoriser dans des cimenteries comme énergie (une fois broyées les déchets composites sont incinérés pour être transformés en combustible solide de récupération) et comme matière (les cendres de verre sont utilisées pour remplacer le sable dans la production de ciment). Cette technique ne permet pas la récupération et la réutilisation des matériaux composites. La recyclabilité de ces matériaux est un vrai enjeu, puisque la Commission Européenne prévoit 300 GW de capacité installée d'éolien en mer à horizon 2050 et 85 GW en déconstruction. Cet enjeu est au cœur de

nombreuses recherches, lesquelles devraient permettre l'émergence de solutions dans les années à venir. Elles favorisent une collaboration multisectorielle car le secteur des énergies renouvelables avec l'éolien est concerné par cet enjeu mais pas que, plusieurs autres secteurs le sont aussi (l'aviation, l'automobile, etc.). L'une des voies possibles est de fabriquer les pales avec des résines thermoplastiques pouvant être fondues et réutiliser à l'instar du projet ZEBRA piloté par l'Institut de Recherche Technologique (IRT) Jules Verne qui a pour objectif de commercialiser cette technologie à horizon 2024 avec 18,5 millions d'euros de budget. Aussi, il y a la technique CETEC développée en partie par le turbinier Vestas. Elle vise dans un premier temps à séparer les fibres et la résine, les fibres peuvent être recyclées avec les techniques de traitement existantes. Dans un second temps, la résine est de nouveau traitée par des processus chimiques qui vont la décomposer en composants de base proches des matériaux vierges, lesquels peuvent être réintroduits dans la fabrication de nouvelles pales. Vestas, aussi, a investi dans l'entreprise Modivon, qui développe des mâts en bois. Il reste quelques années avant que le recyclage des pales de parc éolien en mer soit effectif en France, c'est à partir de 2045 que les premiers parcs seront démantelés. Sans parler du fait que nos voisins européens et que la filière de l'éolien terrestre nous offriront des retours d'expérience. Dans l'attente de ces solutions, des initiatives sont prises, par exemple l'association WindEurope s'est engagée à réutiliser, recycler ou récupérer 100% des pales des parcs éoliens qui seront mis hors services.

II.2.1.2) Fonctions et acteurs de soutien

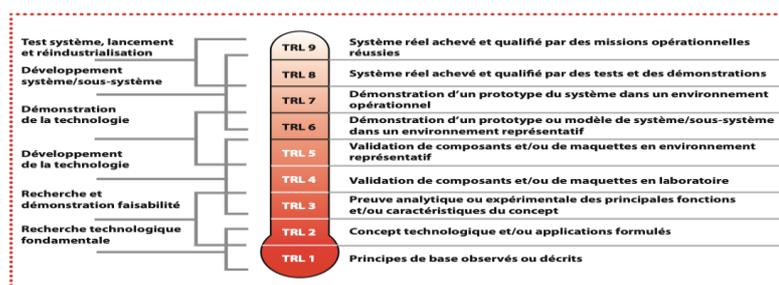
Les services supports ont un rôle clé au sein de la chaîne de valeur puisqu'ils sont essentiels au bon fonctionnement des maillons. Des cabinets d'avocats assurent une expertise juridique en cas de litige entre l'exploitant et des parties tierces, ainsi que pour apporter des conseils tout au long du projet en tant que spécialistes en droit de l'énergie, de l'environnement, des contrats industrielles et de construction, etc. L'exploitant doit obligatoirement s'assurer pour garantir le démantèlement des éoliennes en fin de vie. Les assurances, interviennent aussi, pour proposer des produits leur permettant de se couvrir contre les risques de dysfonctionnement et les principales causes de sinistre, lesquelles sont matérielles et climatiques (bris de pale,

foudre, ...). Les agrégateurs, commerciaux de l'électricité, peuvent être amenés à venir en soutien à l'exploitant pour gérer la commercialisation de son électricité sur les marchés. Des cabinets comptables interviennent pour réaliser les bilans aux acteurs de la filière. Les banques peuvent octroyer des prêts et les cabinets de finance trouver des investisseurs de projet de grande envergure pour l'apport de capitaux. Les agences de recrutement permettent de constituer une offre de main-d'œuvre face à une demande grandissante due au développement des parcs, elles peuvent être spécialisées autour des métiers de la filière. Les services portuaires, réalisés par les gestionnaires portuaires, sont incontournables ils mettent à disposition des infrastructures pour l'installation et la mise en service des parcs. Les ports disposent de plateformes logistiques opérationnels et les ports de maintenance, eux aussi, doivent adapter leurs infrastructures et les rendre opérationnelles. Ils offrent des espaces bord à quai propices à l'industrialisation de la filière, puisqu'ils sont des lieux d'implantation de choix pour les turbiniéristes (cf : carte 2). En d'autres termes, les ports sont indispensables pour la construction, le stockage, l'assemblage et le transport des différents composants qui constituent les parcs et leur raccordement.

La filière éolienne en mer posée a ouvert un nouveau champ d'innovation. Les activités de R&D réalisées par des laboratoires et instituts (publics, semi-publics ou privés) sont un rouage important pour chacun des maillons de la chaîne de valeur, du développement au recyclage des composants. En effet, les sujets de recherche portent sur des enjeux très variés, tels que : la structure et les conditions marines, le vieillissement des matériaux, les impacts des fondations, le déploiement par une meilleure identification des zones les plus propices etc. Elles rendent le progrès possible au sein de la filière. Effectivement, les organismes de recherche travaillent de sorte à rendre plus fiables, efficaces, et compétitives l'ensemble des technologies orbitant autour des parcs. L'indice de niveau de maturité technologique (TRL) est globalement utilisé pour connaître le degré d'avancement d'une technologie sur le plan technologique (la recherche, l'innovation, les tests en laboratoire puis en mer, etc.). Elle peut avoir un TRL allant du niveau 1 à 9, plus il est élevé plus son niveau de développement technologique l'est aussi (cf : image 7). Une fois que la technologie a dépassé le stade de la démonstration (TRL supérieur à 5), elle débute son développement commercial. Il existe des indices de niveau pour la phase de

commercialisation d'une technologie, reposant sur le même principe de fonctionnement que le TRL. Il y a le CRI qui a été développé par l'agence australienne des énergies renouvelables (cf : image 8) spécifiquement pour mesurer le degré de maturité commerciale d'une technologie dans les énergies renouvelables. Par exemple, la technologie d'optimisation de la commande de l'orientation des pales à un TRL à 6 et un CRI à 1 en 2017, elle était donc au stade de démonstration sur le plan technologique et de proposition hypothétique sur le plan commercial. La recherche traite aussi les enjeux environnementaux et sociétaux. Une grande diversité de compétences et métiers sont nécessaires pour mener à bien un projet éolien en mer posé. Pour ce faire des professionnelles sont formés au sein des organismes de formation (universités, centres de formation, etc.), lesquels leurs permettent d'acquérir les compétences théoriques et techniques.

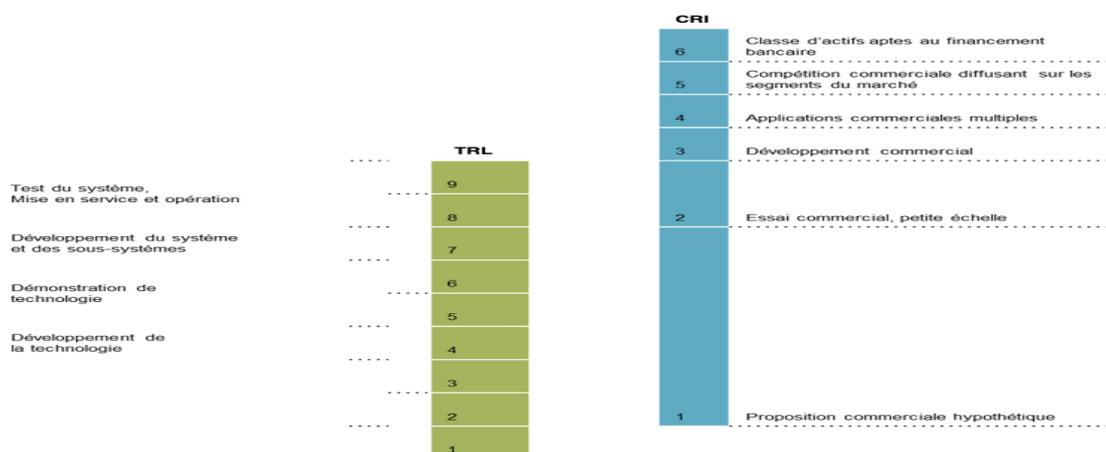
Image 7 : échelle et description des différents niveaux du TRL



Source : « Quelques explications sur l'échelle des TRL (Technology readiness level). Annexes. DGA. 2009. Lien :

https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/politique-et-enjeux/innovation/tc2015/technologies-cles-2015-annexes.pdf

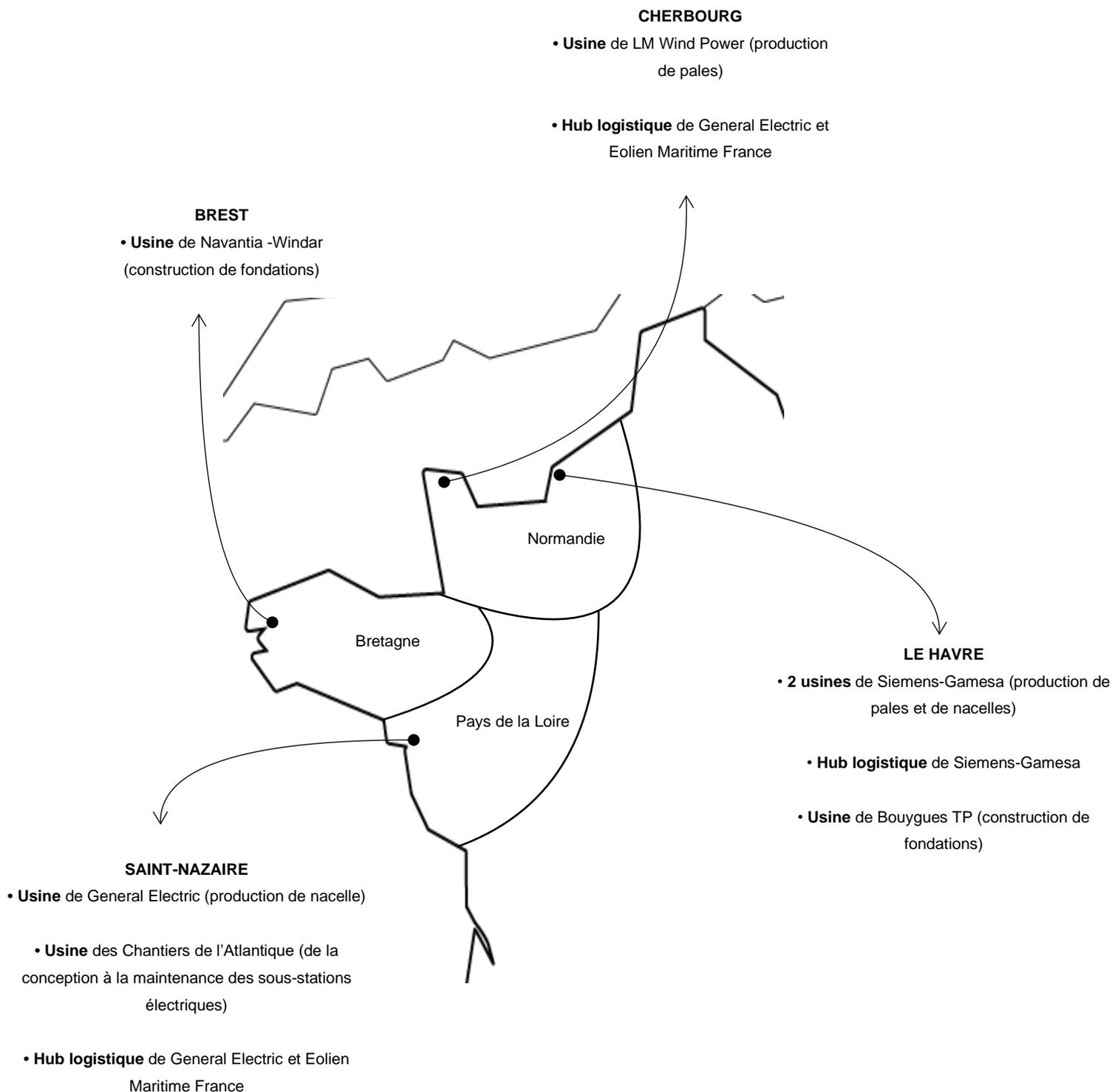
Image 8 : échelle et description des différents niveaux du CRI



Source : « Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières ». Rapport final. ADEME, BVG Associates, GS

Consulting et INNOSEA. 2017. Lien : <https://bibliothec.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1780-caracterisation-des-innovations-technologiques-du-secteur-de-l-eolien-et-maturites-des-filiere.html>

Carte 2 : implantation des turbiniers à proximité des ports



Source : • « La filière éolienne maritime en France ». « Focus sur les régions Bretagne, Normandie et Pays de la Loire ». Carte. SER. 2018. Lien : https://xrm3.eudonet.com/XRM/at?tok=A8F1EB23&cs=0Ye4iKYzgX56161qZfT1b05w_E8SUoWtM2_vFU96QrIJC6gdRrkWe2yZnPjndbEi&p=O34QDAZjKSCl vCd6KxO3svvUkCYyM7QFvxLir1j0aPQpuEpdScL7aN2ECw-AxE33-G9qDX3IGVs%3d

Le Syndicat des énergies renouvelables (SER) est un acteur important qui participe à répondre aux différents enjeux de la filière (structurer la filière sur le territoire, rendre les acteurs industriels français compétitifs sur le marché mondial, etc.). En effet, ses propositions sont d'engager le développement de l'éolien en mer à hauteur d'au moins 1 000 MW chaque année dès 2020, de planifier dans le temps et dans l'espace les futurs parcs, de réduire le temps de concrétisation des projets, de favoriser la connaissance des impacts des technologies sur les milieux marins et de clarifier le cadre réglementaire du travail en mer du personnel.

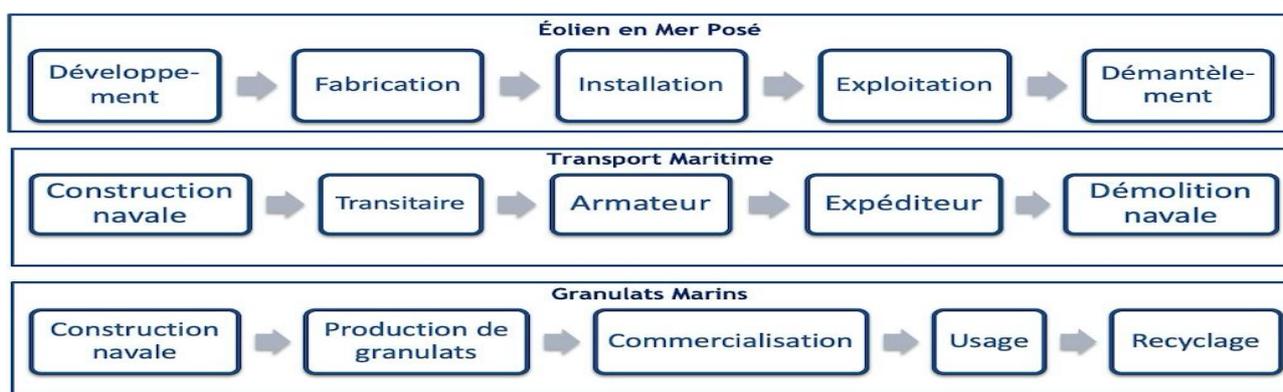
Les associations, elles aussi, jouent un rôle important. France Energie Eolienne (FEE) en tant que porte-parole de la filière représente, promeut et défend l'énergie éolienne en France, forte de ses 300 membres acteurs de la filière. Le Réseau d'Informations et de Conseil en Economie des Pêches (RICEP) en collaboration avec les COmité REgional des Pêches maritimes et des Élevages Marins (COREPEM) mènent des études d'impacts socio-économiques des projets de parcs éoliens offshore posés sur les activités de pêche (mesures de compensations individuelles, collectives et protocoles de suivi en phase d'exploitation et de maintenance). Les pôles de compétitivité, les agences de développement économique, les clusters et les Chambres de Commerce et d'Industrie (CCI) sont des acteurs de proximité favorisant le développement économique de la filière (structuration, visibilité et promotion). Les observatoires ont pour mission de produire des bases de données fiables sur la filière. Clusters et associations en sont à l'origine. Effectivement, l'observatoire de l'éolien est porté par FEE et celui sur les énergies de la mer par le Cluster Maritime Français.

Les acteurs de la filière ne peuvent pas être présentés sans mentionner les pouvoirs publics agissant à un niveau macro. L'État ou plus précisément les services déconcentrés, notamment les collectivités territoriales, organisent et contrôlent les procédures d'octroi, la réalisation, l'exploitation et le démantèlement des parcs éolien en mer. Autrement dit, ils participent au pilotage, développement et encadrement de la filière et dans certains cas apportent du financement et une expertise. Ils réglementent le tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité étant l'une des ressources de financement du raccordement des parcs pour RTE. La Commission de Régulation de l'Energie (CRE) et l'Union Européenne (UE) agissent comme autorités

de régulation, elles vérifient que les règles du marché de l'électricité et de l'UE soient bien respectées par les parcs.

II.2.1.3) Les fonctions et acteurs en communs avec la filière d'extraction de granulats marins et du transport maritime

Schéma 4 : représentation schématique des chaînes de valeur de la filière de l'éolien en mer posé, du transport maritime et des granulats marins



Source : élaboration des stagiaires économistes de la Chaire Maritime (2021)

La filière de l'éolien en mer posé a des fonctions et acteurs en communs avec celles du transport maritime et de l'extraction des granulats marins (cf : schéma 4). Nous y trouvons la construction navale, les fournisseurs de carburants et le recyclage des navires, puis les gestionnaires portuaires mettant à disposition les infrastructures dont les ports se sont équipés. À noter que ces deux autres filières ont plus de points en communs l'une avec l'autre, qu'avec respectivement celle de l'éolien en mer.

II.2.2) Tableau récapitulatif de l'analyse fonctionnelle

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des fonctions, acteurs et produits principaux qui se trouvent au sein de la filière (cf : tableau 11). Il met en évidence le fait que certains acteurs interviennent à plusieurs stades de la filière (développeurs, bureaux d'études, entreprises de la construction, etc.).

Tableau 11 : récapitulatif de l'analyse fonctionnelle faite sur la filière

Stades	Fonctions	Acteurs	Produits
Développement [amont]	(1) Développement de projet (2) Ingénierie pré-projet	(1) Développeurs (grands fournisseurs d'énergie, entreprises spécialisées dans l'éolien en mer), développeurs-exploitants, gestionnaire de réseau (2) Bureaux d'études et de contrôles	(1) Services liés à la maîtrise d'ouvrage (2) Etudes (mesures de vent et de bruit, études techniques, de sol, d'impact environnemental, météo-océaniques, génie électrique, etc.)
Fabrication et assemblage des composants et outils [amont]	(1) Fabrication d'éoliennes (2) Fabrication des pales (3) Fabrication des matériaux composites (4) Fabrication des pièces de fonderies (5) Fabrication de gros composants électriques (6) Fabrication de systèmes électriques et électroniques (7) Fabrication des systèmes mécaniques et hydrauliques (8) Fabrication des composants de structure (9) Assemblage des composants (10) Fabrication des navires/ Construction navale (11) Fabrication des outils pour les bureaux d'études	(1) Turbiniers (2) Fournisseurs des pales, turbiniers (3) Fournisseurs des matériaux composites (4) Entreprises de métallurgie, fonderies, chaudronneries, forges (5) Fournisseurs des gros composants électriques, turbiniers (6) Fournisseurs des systèmes électriques et électroniques (7) Fournisseurs des systèmes mécaniques et hydrauliques (8) Fournisseurs des composants de structure (9) Turbiniers, entreprises de transport exceptionnel, entreprises spécialisées/ équipées pour la manutention et le levage (10) Fournisseurs des navires (11) Fournisseurs d'outils pour les bureaux d'études	(1) Turbines (rotor, mât, nacelle et fondations) (2) Pales (3) Matériaux composites (4) Pièces métalliques fondues, forgées et usinées (5) Gros composants électriques (génératrice, convertisseur et transformateur) (6) Systèmes électriques et électroniques (7) Systèmes mécaniques et hydrauliques (8) Composants de structure (mâts et fondations) (9) Services de logistique (transport, manutention et levage) (10) Navires (crewboats, jack-up, bateaux de services, navires câbliers) (11) Outils pour les bureaux d'études (mâts de mesure, sondes, appareils de mesures météorologiques)

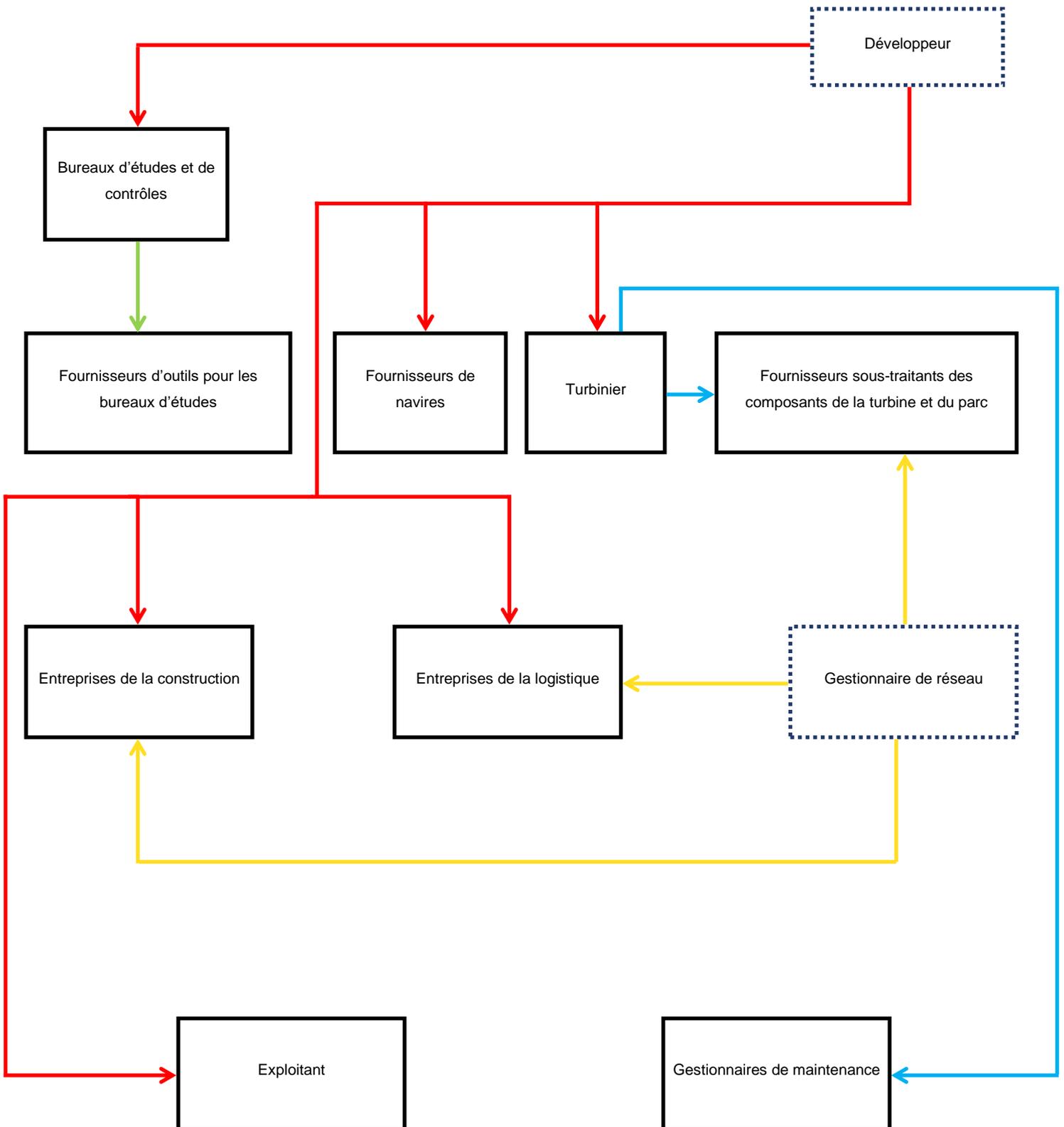
Installation et mise en service du site [amont]	(1) Ingénierie de conception (2) Préparation du site et le montage de l'éolienne (3) Raccordement au réseau	(1) Bureaux d'études et de contrôles (2) Entreprises de la construction (génie civil et maritime, BTP), de transport exceptionnel et entreprises spécialisées/ équipées pour la manutention et le levage (3) Gestionnaire de réseau, entreprises de la construction, fournisseurs et installateurs électriques, fournisseurs de sous-station électrique en mer	(1) Etudes (2) Services liés à la maîtrise d'œuvre (terrassment, travaux maritimes et sous-marins) et services de logistique (transport, manutention et levage) (3) Raccordement, composants et systèmes électriques, sous-station électrique en mer
Exploitation et maintenance du site [aval]	(1) Ingénierie et expertise technique (2) Exploitation (3) Maintenance (4) Surveillance et balisage	(1) Bureaux d'études et de contrôles (2) Développeurs-exploitants, exploitants (3) Turbiniers, exploitants, développeurs-exploitants, gestionnaires de maintenance, entreprises spécialisées (4) Entreprises spécialisées	(1) Etudes (2) Services assurant la production d'électricité (3) Services assurant le bon fonctionnement du parc (4) Feux de balisage et services de surveillance
Démantèlement [aval]	(1) Renouvellement (2) Démontage (3) Recyclage	X	(1) Composants et sous-composants de turbine neufs (2) Composants et sous-composants de turbine usés

Les croix indiquent que pour les fonctions en question les acteurs n'ont pas été clairement identifiés

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

II.2.3) Cartographie de base de la filière

Une cartographie qui s'appuie sur le tableau récapitulatif de l'analyse fonctionnelle permet d'avoir une vision d'ensemble sur les relations entre les acteurs (cf : schéma 5).



Légende :

- Sous-traitants du développeur
- Sous-traitants du turbinier
- Sous-traitants du gestionnaire de réseau
- Sous-traitants des bureaux d'études
- .. Acteurs sélectionnés par l'État

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

III) L'APPROCHE FILIERE : ANALYSE ECONOMIQUE DE LA FILIERE

III.1) Provenance et description des données mobilisées

III.1.1) Provenance des données et études des codes NAF

Les données récoltées dans ce rapport proviennent en grande partie de la littérature scientifique (rapports de l'ADEME, rapports de l'Observatoire des Energies de la Mer, thèses, etc.) et des ressources présentes sur Internet (par exemple : sites des parcs éoliens français).

Nous avons eu l'occasion d'avoir deux rendez-vous professionnels, le premier nous a fourni des données et le second des pistes pour accéder à des données (cf : schéma 6).

Schéma 6 : apports principaux des rendez-vous professionnels

MATHILDE FRANCON

RTE

- Meilleure compréhension du raccordement au réseau d'un parc éolien en mer
- Mise à disposition de données (notamment, sur la décomposition des coûts)
- Information sur le stockage

ETIENNE POURCHER

C2Stratégies et Observatoire des Energies de la Mer

- *Meilleure compréhension des fonctions et acteurs présents au sein de la Chaîne de Valeur*
- Pistes pour accéder à des données : contacter Solutions&Co (Charlotte Sugliani) et Bretagne Développement Innovation (Philippe Thieffry) pour pouvoir construire un annuaire d'entreprises individuelles plus précis
- *Suivi de la rédaction du compte rendu fait à la Chaire Maritime*

Source : élaboration personnelle

La Chaire Maritime a accès à trois bases de données (cf : image 9) de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) via le Centre d'Accès Sécurisé aux Données (CASD).

Image 9 : présentation des trois bases de données de l'INSEE

- **ESANE** : données individuelles contenant les réponses aux questions sectorielles de l'enquête (questions spécifiques à chaque secteur d'activité permettant d'en décrire les principales caractéristiques), pour les entreprises répondant à l'Enquête Sectorielle Annuelle en métropole.
- **FARE** : le fichier rapproché des résultats d'ESANE contient les informations comptables issues des liasses fiscales mises en cohérence avec les informations provenant de l'enquête Sectorielle Annuelle.
- **DADS Etablissements** : dans ce document commun aux administrations fiscales et sociales, les employeurs fournissent annuellement et pour chaque établissement, un certain nombre d'informations relatives à l'établissement et aux salariés. Fichier agrégé au niveau établissement.

ESANE : élaboration des statistiques annuelles d'entreprises

FARE : fichier rapproché des résultats d'ESANE

DADS Etablissements : déclaration annuelle de données sociales établissements

Source : diapositive d'une réunion de travail de la Chaire Maritime de Nantes

La filière de l'éolien en mer a la particularité d'être récente et maritime, de ne pas être encore complètement structurée sur le territoire national, puis d'y mobiliser des activités, pour la plupart déjà existantes, réalisées par plusieurs autres filières. C'est quelques faits peuvent expliquer, en partie, pourquoi la filière étudiée n'a pas de codes dans la nomenclature d'activités française qui lui sont attribués (code NAF) pour le moment (cf : image 10). Effectivement, ils expliquent pourquoi il est complexe de retracer tous les acteurs présents dans chaque maillon de la chaîne productive d'un parc éolien en mer. La nomenclature des activités économiques productives a été élaborée par l'INSEE en vue de faciliter l'organisation de l'information économique et sociale en France. En découle que pour qu'il y ait une organisation de ces informations possible il faut d'abord qu'il y ait une structuration de la filière, ce qui permettrait une meilleure identification de l'ensemble de ces acteurs.

Image 10 : les usages maritimes répertoriés par la NAF

Les usages	NAF avec déclinaison maritime	NAF non adapté
Pêche professionnelle et Aquaculture	X	
Extraction de matériaux		X
Production d'énergie renouvelable		X
Transport de marchandises	X	
Transport de passagers	X	
Défense du territoire		X
Gestion et connaissance du milieu		X
Pêche de loisir		X
Activités sportives		X

Source : diapositive d'une réunion de travail de la Chaire Maritime de Nantes

Nous avons décidé, pour contourner le problème, de rechercher le maximum d'entreprises individuelles appartenant à la filière, afin de connaître leur identifiant national (numéro de SIREN). L'extraction de données sur la base de données de l'INSEE peut se faire par code NAF, mais aussi par numéro de SIREN. Un numéro de SIREN est unique pour chaque entreprise ce qui a l'avantage d'éviter toute confusion de dénomination en cas de recherches complémentaires. Il est nécessaire d'avoir un grand nombre de numéro de SIREN pour éviter le problème du secret statistique. En effet, il n'est pas possible d'avoir les données économiques et sociales d'une seule entreprise, seulement d'une agrégation d'entreprises. Les principales règles sont les suivantes : au moins 3 entreprises par agrégat, une entreprise ne doit pas représenter une part de plus de 85% de l'indicateur sur l'ensemble d'un agrégat et il ne faut pas pouvoir en identifier une. Ce travail a été commencé et sera présenté au sein de ce compte rendu, mais l'extraction et l'exploitation des données ne seront pas faites avant la fin du stage. Toutefois, la recherche de ces identifiants nationaux, nous a quand même permis d'avoir une meilleure connaissance de l'ensemble des entreprises réalisant des fonctions au sein de la Chaîne de Valeur de l'éolien en mer posé. Aussi et surtout, cette recherche faite par le biais du site société.com nous a informé sur comment sont catégorisées ces entreprises dans la NAF pour le moment, puisque chaque fiche d'entreprise en plus de nous donner le numéro de SIREN, nous donne son code NAF.

À noter, que la recherche d'entreprises individuelles s'est faite pour 2015-2016 comme les bases de données de l'INSEE auxquelles la Chaire a accès sont de 2015-2016.

Depuis, des entreprises ont soit changé de nom, été achetée, fusionné, soit se sont nouvellement positionnées sur le marché de l'éolien en mer.

Un tableur Excel (cf : « SIREN_NAF_2015_2016_III.xlsx ») a été construit avec l'ensemble des entreprises individuelles identifiées, leur numéro de SIREN et code NAF. Une classification par stades de la filière et fonctions réalisées au sein de ces stades a été tentée, que ce soit pour les acteurs et fonctions principaux ou de soutien. Les variables jugées comme étant les plus pertinentes pour l'extraction y sont présentées. Pour en mentionner quelques-unes, dans le DADS, il y a les effectifs en équivalent temps plein de l'établissement (postes non annexes), la région du lieu de travail, les salaires et nombre de postes non annexes en fonction du sexe et de la catégorie socio-professionnel. Puis, dans le ESA le chiffre d'affaires et dans le FARE la valeur ajoutée au coût des facteurs et la production vendue de biens et services. L'extraction des données nous permettra de connaître les statistiques descriptives (somme, moyenne, écart-type, quartiles, etc.) pour une variable, à partir d'un agrégat d'entreprises (identifiées comme exerçant une activité dans la filière) ayant soit un même code NAF, soit positionnées dans un même stade ou pour une même fonction.

Plus tard, avec un temps plus long et avec l'accès à des bases de données plus récentes, il serait intéressant d'identifier plus précisément toutes les entreprises présentes soit de manière générale dans la filière, soit dans chaque stades de celle-ci, ou encore dans chaque fonctions de ces stades. Les pistes donner par Etienne Pourcher (cf : schéma 6) semblent être un bon point de départ.

Quelques difficultés ont été rencontrées. Lors de la recherche des noms d'entreprises dans différents annuaires, il est parfois difficile de savoir si une entreprise exerce bien une fonction dans la filière ou si c'est dans des filières proches. Effectivement, ces annuaires portent sur l'éolien terrestre et l'éolien en mer ou sur les énergies marines renouvelables en général. Pour les classier, en fonction de leur stade ou fonction dans la filière, puisque d'un annuaire à un autre elles peuvent avoir des fonctions différentes, puis certaines en réalisent plusieurs. Savoir où les ranger dans les différents stades, fonctions ou encore si c'est en tant qu'acteurs et fonctions principaux

ou de soutien, n'est pas chose facile. Enfin, lors de la recherche des numéros de SIREN, parfois l'identification d'entreprise est complexe (le nom peut ne pas suffire, mais la ville de référence présente dans les annuaires, le type d'activité, le nombre d'années ou tout autres éléments d'identification aussi) et dans d'autres cas des fiches d'entreprises ne sont pas trouvées (attribution ou modification en cours, etc.). Pour toutes ces raisons ce travail nécessite d'être complété, afin de gagner en précision pour pouvoir en tirer des résultats.

352 entreprises individuelles ont été retenues dans les différents annuaires pour les acteurs et fonctions principaux de la filière de l'éolien en mer posé pour 2015-2016, lesquelles sont réparties au sein de 28 branches (cf : tableau 12) et 88 sous-classes différentes (cf : tableau 13), ce qui est 3 fois plus que la classification par branches comme étant plus précis.

Cet échantillon d'entreprise, bien que peu représentatif, appuie le fait qu'un grand nombre de secteurs sont concernés par la filière étudiée (du génie civil à l'industrie chimique ou automobile) et qu'elle a des acteurs et fonctions en communs avec la filière du transport maritime et de l'extraction des granulats marins (construction de navires et de structures flottantes, réparation et maintenance navale, fabrication d'instrumentation scientifique et technique, ...).

Nous retrouvons les codes NAF renseignés par RTE pour la phase de raccordement. Le poste en mer s'apparente à la classe « construction d'ouvrages maritimes et fluviaux » (42 91 Z) et la pose des câbles sous-marins à « construction de réseaux électriques et de télécommunications » (42 22 Z).

Tableau 12 : liste des codes NAF (divisions/ branches) pour les fonctions et acteurs principaux

Code NAF	Intitulé du code NAF	Nombre d'entreprises	Part d'entreprises
71	Activités d'architecture et d'ingénierie, activités de contrôle et analyses techniques	81	23
46	Commerce de gros, à l'exception des automobiles et des motocycles	33	9
25	Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements	23	7
28	Fabrication de machines et d'équipements n.c.a	18	5
74	Autres activités spécialisées scientifiques et techniques	17	5
33	Réparation et installation de machines et d'équipements	17	5
35	Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné	16	5
70	Activités des sièges sociaux ; conseil de gestion	16	5
26	Fabrication de produits informatiques, électriques et optiques	16	5
27	Fabrication d'équipements électriques	16	5
43	Travaux de construction spécialisés	15	4
22	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique	15	4
64	Activités des services financiers, hors assurance et caisses de retraite	12	3
42	Génie civil	10	3
52	Entreposage et services auxiliaires des transports	8	2
82	Activités administratives et autres activités de soutien aux entreprises	7	2
24	Métallurgie	7	2
72	Recherche-développement scientifique	5	1
30	Fabrication d'autres matériels de transport	5	1
20	Industrie chimique	3	1
62	Programmation, conseil et autres activités informatiques	3	1
29	Industrie automobile	2	1
68	Activités immobilières	2	1

Encadrés en rouge : 10 entreprises de l'échantillon sont répertoriées dans la NAF au code 42 « génie civil ». Encadrés en orange : 3% des entreprises de l'échantillon ont un code NAF 42 qui indique qu'elles appartiennent à la division « génie civile ». En vert il s'agit des codes NAF regroupant au moins 25% des entreprises, en bleu 50%, en rose 75% et en orange 90%. Uniquement les codes NAF regroupant au moins 2 entreprises sont présentés dans ce tableau. Il y a 5 entreprises appartenant à 5 codes NAF différents qui ne sont pas présentés. Un tableur Excel (cf : « SIREN_NAF_2015_2016_III.xlsx ») comportant toutes les données est joint à ce rapport.

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

Lorsque l'extraction des données sera faite, classifier les codes NAF en fonction de la part qu'ils représentent en termes de chiffre d'affaires ou d'emploi dans la filière apporterait un supplément d'information.

Tableau 13 : liste des codes NAF (sous-classes) pour les fonctions et acteurs principaux

Code NAF	Intitulé du code NAF	Nombre d'entreprises	Part d'entreprises (%)
71 12 B	Ingénierie, études techniques	75	21
46 69 B	Commerce de gros (commerce interentreprises) de fournitures et équipements industriels divers	22	6
74 90 B	Activités spécialisées, scientifiques et techniques diverses	15	4
35 11 Z	Production d'électricité	12	3
64 20 Z	Activités des sociétés holding	11	3
70 22 Z	Conseil pour les affaires et autres conseils de gestion	10	3
22 29 A	Fabrication de pièces techniques à base de matières plastiques	10	3
26 51 B	Fabrication d'instrumentation scientifique et technique	8	2
25 62 B	Mécanique industrielle	8	2
27 12 Z	Fabrication de matériel de distribution et de commande électrique	7	2
28 15 Z	Fabrication d'engrenages et d'organes mécaniques de transmission	7	2
82 99 Z	Autres activités de soutien aux entreprises n.c.a.	6	2
25 11 Z	Fabrication de structures métalliques et de parties de structures	6	2
27 11 Z	Fabrication de moteurs, génératrices et transformateurs électriques	6	2
71 20 B	Analyses, essais et inspections techniques	5	1
43 21 A	Travaux d'installation électrique dans tous locaux	5	1
70 10 Z	Activités des sièges sociaux	5	1
46 69 A	Commerce de gros (commerce interentreprises) de matériel électrique	5	1
72 19 Z	Recherche-développement en autres sciences physiques et naturelles	5	1
42 91 Z	Construction d'ouvrages maritimes et fluviaux	5	1
52 29 B	Affrètement et organisation des transports	5	1
24 51 Z	Fonderie de fonte	4	1
28 22 Z	Fabrication de matériel de levage et de manutention	4	1
33 15 Z	Réparation et maintenance navale	4	1
30 11 Z	Construction de navires et de structures flottantes	4	1
33 14 Z	Réparation d'équipements électriques	4	1

43 99 D	Autres travaux spécialisés de construction	4	1
35 14 Z	Commerce d'électricité	3	1
22 19 Z	Fabrication d'autres articles en caoutchouc	3	1
25 50 A	Forge, estampage, matriçage, métallurgie des poudres	3	1
25 61 Z	Traitement et revêtement des métaux	3	1
28 12 Z	Fabrication d'équipements hydrauliques et pneumatiques	3	1
26 30 Z	Fabrication d'équipements de communication	3	1
33 20 D	Installation d'équipements électriques, de matériels électroniques et optiques ou d'autres matériels	3	1
26 51 A	Fabrication d'équipements d'aide à la navigation	3	1
43 22 B	Travaux d'installation d'équipements thermiques et de climatisation	2	1
28 11 Z	Fabrication de moteurs et turbines, à l'exception des moteurs d'avions et de véhicules	2	1
20 16 Z	Fabrication de matières plastiques de base	2	1
29 32 Z	Fabrication d'autres équipements automobiles	2	1
33 12 Z	Réparation de machines et équipements mécaniques	2	1
25 50 B	Découpage, emboutissage	2	1
43 32 B	Travaux de menuiserie métallique et serrurerie	2	1
62 02 A	Conseil en systèmes et logiciels informatiques	2	1
27 90 Z	Fabrication d'autres matériels électriques	2	1
33 20 C	Conception d'ensemble et assemblage sur site industriel d'équipements de contrôle des processus industriels	2	1
42 13 A	Construction d'ouvrages d'art	2	1
42 22 Z	Construction de réseaux électriques et de télécommunications	2	1
33 11 Z	Réparation d'ouvrages en métaux	2	1

Encadrés en rouge : 8 entreprises de l'échantillon sont répertoriées dans la NAF au code 25.62.B « mécanique industrielle ».

Encadrés en orange : 2% des entreprises de l'échantillon ont un code NAF 25.62.B qui indique qu'elles appartiennent à la sous-classe « mécanique industrielle ». En vert il s'agit des codes NAF regroupant au moins 25% des entreprises, en bleu 50%, en rose 75% et en orange 80%. Uniquement les codes NAF regroupant au moins 2 entreprises sont présentés dans ce tableau. Il y a 40 entreprises appartenant à 40 codes NAF différents qui ne sont pas présentés. Un tableur Excel (cf : « SIREN_NAF_2015_2016_III.xlsx ») comportant toutes les données est joint à ce rapport.

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

Au niveau des fonctions et acteurs de soutien, la recherche a été bien moins poussée, de nombreux acteurs sont manquants. Tout de même, une liste non-exhaustive de certains des codes NAF peut être dressée (cf : tableau 14).

Tableau 14 : liste non-exhaustive des codes NAF pour les fonctions et acteurs de soutien

Acteurs	Code NAF	Intitulé du code NAF
Assurances	66 22 Z	Activités des agents et courtiers d'assurances
Banque et finance	66 30 Z	Gestion de fonds
	64 19 Z	Autres intermédiations monétaires
Avocats	69 10 Z	Activités juridiques
Partenaires régionaux	94 99 Z	Autres organisations fonctionnant par adhésion volontaire
Autres codes NAF pour les fonctions et acteurs de soutien		
autres assurances (66 12 Z); autres activités auxiliaires de services financiers, hors assurances et caisses de retraite, n.c.a (66 19 B); activités des agences de travail temporaire (78 20 Z); activités comptables (69 20 Z); organisation de foires, salons professionnels et congrès (82 30 Z); administration publique (tutelle) des activités économiques (84 13 Z); Commerce de gros (commerce interentreprises) de combustibles et de produits annexes (46 71 Z)		
Codes NAF déjà rencontrés pour les fonctions et acteurs principaux		
conseil pour les affaires et autres conseils de gestion (70 22 Z); autres activités de soutien aux entreprises n.c.a (82 99 Z); activités des sièges sociaux (70 10 Z); recherche-développement en autres sciences physiques et naturelles (72 19 Z); activités spécialisées, scientifiques et techniques diverses (74 90 B); ingénierie, études techniques (71 12 B); analyses, essais et inspections techniques (71 20 B); Commerce de gros (commerce interentreprises) de fournitures et équipements industriels divers (46 69 B)		

Un tableur Excel (cf : « SIREN_NAF_2015_2016_III.xlsx ») comportant toutes les données est joint à ce rapport.

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

Nous pouvons remarquer qu'aucun de ces codes NAF sont propres à la filière de l'éolien en mer posé. La filière du transport maritime, qui est plus ancienne et structurée, a ses propres codes NAF. En effet, le code « 50.20 » fait référence au « Transport maritime et côtier de fret ». Nous pouvons demander l'extraction de données dans le DADS de 2015 pour ce code NAF et la variable « EFF_DECL_ET ». Nous en tirons l'information que l'effectif déclaré au 31/12 de l'année 2015 au sein de tous les établissements du transport maritime et côtier de fret était de 3 843. En

moyenne, il était de 37 par établissements et d'au plus 5 pour 50% d'entre eux. À noter qu'il y a de fortes disparités, quelques établissements compte un effectif élevé, comme le montre l'écart assez important entre la moyenne (37) et la médiane (5), ainsi que l'écart-type (200) élevé. À terme pour la filière étudiée, il sera possible d'avoir une information aussi précise et ciblée, soit parce que des codes NAF seront établis ou soit parce que des clés de répartitions seront construites par l'INSEE au sein de codes NAF propres à d'autres filières.

III.1.2) Définition des indicateurs économiques et sociaux mobilisés

Comme vu précédemment aucune données présentes dans ce rapport ne proviennent de l'INSEE. Par conséquent, pour pouvoir faire une quantification économique et sociale de la filière, nous allons utiliser les données collectées dans la littérature accessible sur Internet et de supports de travail fournis par RTE. Plusieurs indicateurs vont être mentionnés dans cette quantification que nous allons définir dans cette partie. Il y aura deux grandes familles d'indicateurs, économiques et sociaux.

• Les indicateurs économiques :

-Chiffre d'affaires (définition de l'INSEE) :

Le chiffre d'affaires représente le montant des affaires (hors taxes) réalisées par une unité statistique (entreprise, unité légale) avec les tiers dans l'exercice de son activité professionnelle normale et courante. Il correspond à la somme des ventes de marchandises, de produits fabriqués, des prestations de services et des produits des activités annexes.

-Investissement (définitions de l'INSEE) :

.Les investissements matériels sont la somme des dépenses consacrées par les entreprises à l'acquisition ou à la création de moyens de production : bâtiments,

terrains, ouvrages existants, matériels et outillage, matériel de transport, construction et génie civil.

.Les investissements immatériels se développent à côté des investissements matériels et soutiennent de plus en plus la croissance de l'activité économique. Il s'agit des dépenses de recherche et développement et transferts technologiques (achats de brevets et licences...), la formation professionnelle, les dépenses de publicité et les dépenses en logiciels.

-Valeur ajoutée (définitions de l'INSEE) :

La valeur ajoutée est le solde du compte de production. Elle est égale à la valeur de la production diminuée de la consommation intermédiaire.

.La production est l'activité exercée sous le contrôle et la responsabilité d'une unité institutionnelle qui combine des ressources en main-d'œuvre, capital et biens et services pour fabriquer des biens ou fournir des services, et résultat de cette activité.

.Les consommations intermédiaire est la valeur des biens et services transformés ou entièrement consommés au cours du processus de production.

-Coût actualisé de l'énergie ou coût de l'énergie ou coût complet moyen de production d'un MWh d'énergie (LCOE) (définitions de l'AIE et de l'ADEME) :

Le coût actualisé de l'énergie est la valeur présente de la somme des coûts de production actualisés divisés par la production totale d'électricité ajustée à sa valeur temps économique. La formule de calcul du LCOE intègre l'ensemble des dépenses d'investissement (CAPEX) réalisées, ainsi que les coûts d'exploitation et maintenance (OPEX) ayant lieu tout au long de la phase d'exploitation, avant de les actualiser puis de les ramener à un coût par MWh, sur la base d'un productible actualisé également. La méthode du LCOE a l'intérêt de permettre une évaluation des coûts complets de production d'une source d'énergie incluant les coûts d'investissement et d'exploitation sur toute sa durée de vie.

• Les indicateurs sociaux :

-Emplois en équivalent temps plein (ETP) (définition de l'INSEE) :

Les emplois en équivalent temps plein sont ceux qui résultent du calcul qui consiste à prendre le nombre total d'heures travaillées dans l'activité considérée et de le diviser par la moyenne annuelle des heures travaillées dans des emplois à plein temps sur le territoire économique.

-Emplois directs (définition de l'ADEME) :

Les emplois directs sont ceux liés aux effets directs du déploiement et de l'exploitation des parcs éoliens en France, sur les différents maillons de la chaîne de valeur considérée comme spécifiques à la filière éolienne.

-Emplois indirects (définition de l'ADEME) :

Les emplois indirects sont ceux liés aux consommations intermédiaires non-spécifiques, c'est-à-dire entrant comme biens et services consommés par les maillons compris dans les effets directs.

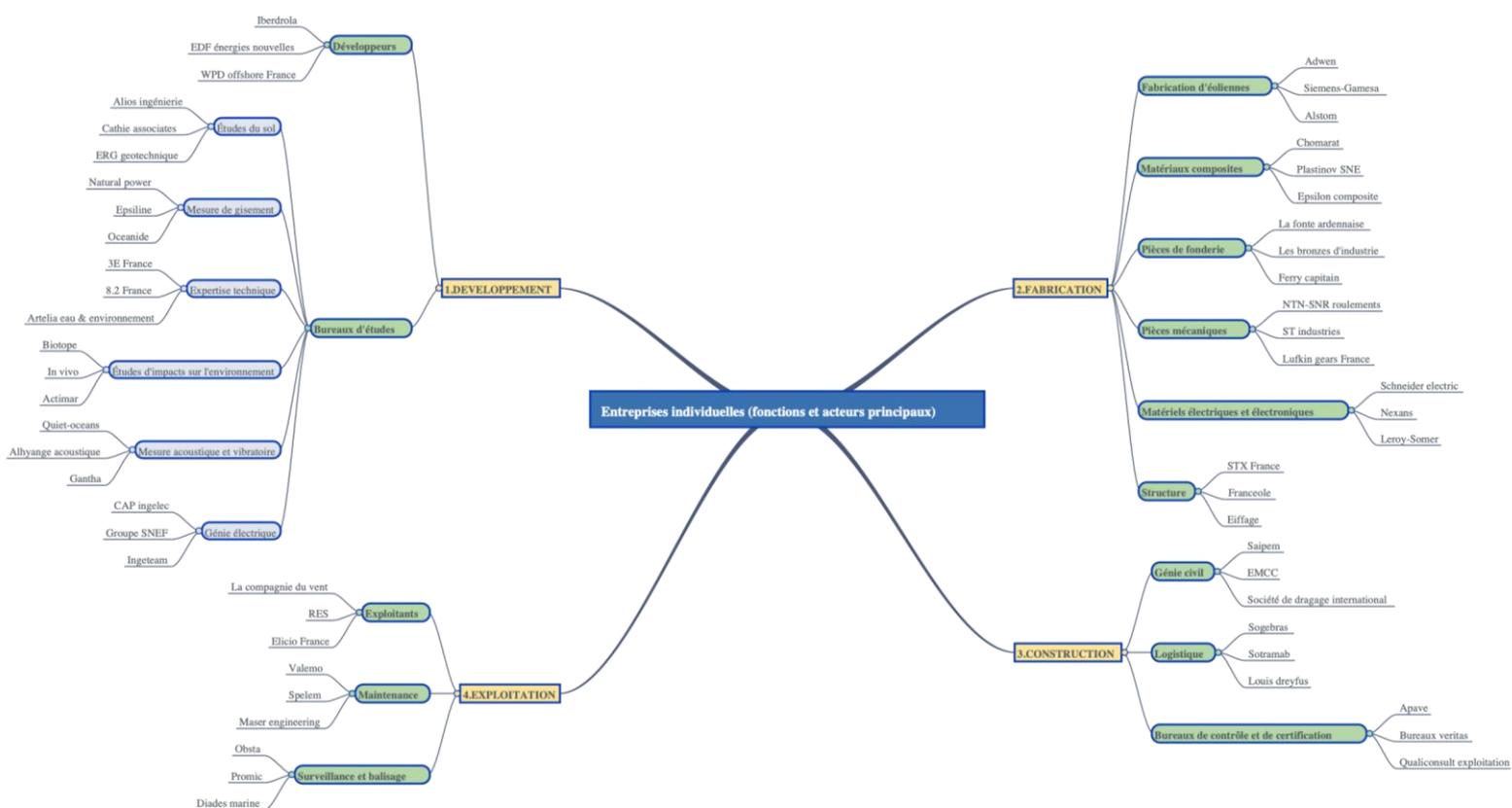
Pour l'instant, comme il a déjà été évoqué, les codes NAF ne permettent pas une analyse très détaillée de la filière. À terme, par le biais du DADS, il sera possible de donner des indications par genre et par catégories socioprofessionnelles.

III.2) Quantification et description économique

III.2.1) Panorama des entreprises présentes sur le territoire

Cette partie vise à mentionner le nom de quelques-unes des entreprises réalisant des fonctions à chacun des stades de la filière présentent sur le marché français qui ont été identifiées lors du stage (cf : schémas 7 et 8). Ces entreprises sont connues grâce au trois annuaires 2015-2016 sur lesquels repose le travail des codes NAF et par les différents sites Internet des parcs, notamment ceux de Saint-Nazaire et Fécamp, permettant une actualisation.

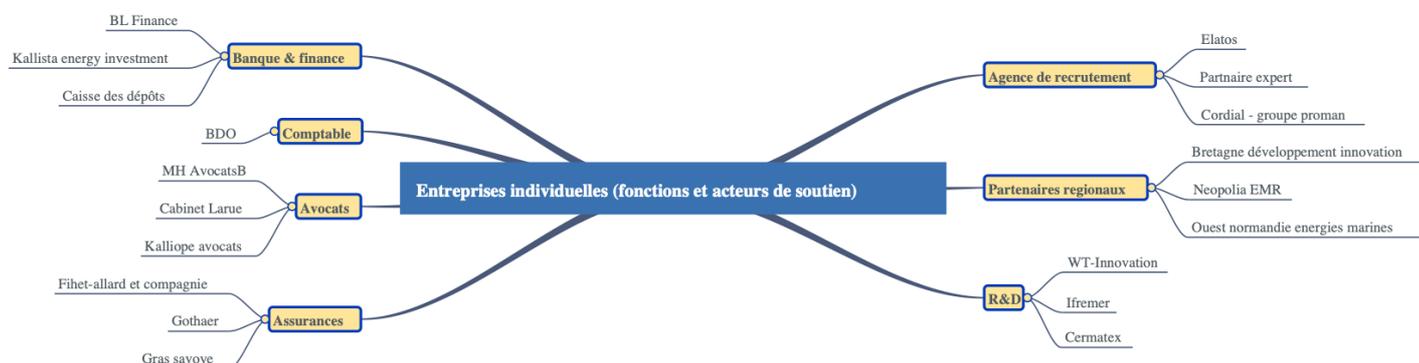
Schéma 7 : quelques exemples d'entreprises présentes sur le marché français (fonctions et acteurs principaux)



À l'aide d'un zoom les entreprises sont visibles. 3 exemples d'entreprises sur l'ensemble sont donnés pour chaque acteurs et fonctions. Un tableur Excel (cf : « SIREN_NAF_2015_2016_III.xlsx ») comportant toutes les données est joint à ce rapport.

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

Schéma 8 : quelques exemples d'entreprises présentes sur le marché français (fonctions et acteurs de soutien)



À l'aide d'un zoom les entreprises sont visibles. 3 exemples d'entreprises sur l'ensemble sont donnés pour chaque acteurs et fonctions. Un tableau Excel (cf : « SIREN_NAF_2015_2016_III.xlsx ») comportant toutes les données est joint à ce rapport.

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

• Pour le parc de Saint-Nazaire :

Eiffage (Hoboken) construit les fondations et le groupe DEME les transporte et les installe. Général Electric (Montoir-de-Bretagne) assemble les nacelles et les génératrices. Jan de Nul, plus précisément sa filiale française Sodrac, les transporte et les installe en mer. La sous-station électrique en mer est fournie par les Chantiers de l'Atlantique et GE Grid Solutions. Les câbles sont fabriqués par la société Prysmian (Monterea-Fault-Yonne et Gron) et les coquilles de protection par la fonderie ardennaise (Ille-et-Vilaine), puis ils seront installés en mer par Louis Dreyfus Travocean.

• Pour le parc de Fécamp :

Les fondations sont fabriquées par le consortium Bouygues TP, Saipem et Boskalis. Contrairement à Saint-Nazaire, le turbiniériste fournissant les éoliennes est Siemens-Gamesa Renewable Energy. La sous-station électrique est fournie aussi par les Chantiers de l'Atlantique en appui avec le groupe DEME et Siemens-Gamesa. Les

câbles et leurs protections sont fabriqués par les mêmes entreprises que pour Saint-Nazaire.

General Electric Renewable Energy a implanté un centre d'ingénierie, qui est son siège mondial de l'offshore, à Nantes en 2013. Ainsi qu'une usine de production de nacelles mise en service en 2014 et, en partenariat avec Eolien Maritime France (EMF), un hub logistique à Saint-Nazaire. Le conglomérat américain, s'est aussi installé à Cherbourg, toujours en partenariat avec EMF, avec un hub logistique en création et une usine de pales mise en service en 2018 par le biais de sa filiale LM Wind Power. La société les Chantiers de l'Atlantique à Saint-Nazaire conçoit, construit, installe et fait la maintenance des sous-stations électriques en mer, depuis 2011. L'espagnol Navantia-Windar a choisi Brest pour installer son usine de construction de fondations. Siemens-Gamesa a un centre d'ingénierie et de R&D à Rouen depuis 2013. Le géant espagnol, prévoit de s'installer pour 2022 au Havre avec une usine de pales, une autre de nacelles et un hub logistique. Bouygues TP est aussi au Havre, temporairement, pour la fabrication de fondations. Eiffage Métal produit dans son usine de Fos-sur-Mer des fondations de sous-stations électriques. Damen a des chantiers de réparation à Brest et à Dunkerque. Les composants électriques sont fournis à RTE, en France, par Spie, Cofely, Cegelec, Schneider Electric ou Actemium. Nexans est l'entreprise française la mieux positionnée dans la fourniture de câbles d'interconnexion. Des entreprises spécialisées dans les travaux maritimes sont positionnées sur le marché français, comme Louis Dreyfus Amateurs.

Les mises en service de parcs éoliens en mer posés attirent des entreprises étrangères à s'installer sur le territoire français, ce qui est source d'industrialisation et de création de richesse (valeur ajoutée et emplois).

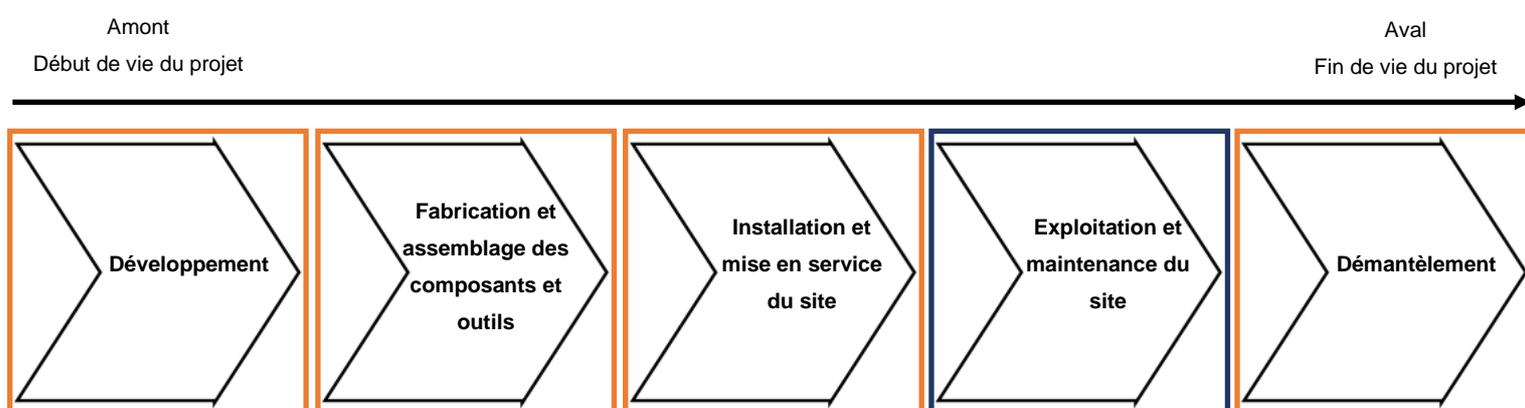
III.2.2) Les coûts d'un parc et leurs décompositions

Nous allons nous intéresser aux coûts de production d'un parc éolien en mer posé sur le territoire français. Il y a deux grandes familles de coûts (cf : schéma 9) les coûts d'investissement et ceux d'exploitation. Les coûts d'investissement (CAPEX) couvrent

le développement du parc (DEVEX), le raccordement électrique, la fabrication et l'installation des éoliennes et des fondations, ainsi que le démantèlement (DECEX). Les coûts d'exploitation (OPEX), quant à eux, englobent les frais d'exploitation du parc et la maintenance.

Tous les coûts présents dans cette partie sont des estimations et en aucun cas des valeurs réelles.

Schéma 9 : stades de la filière comptabilisés en coûts bruts d'investissements (CAPEX) ou d'exploitation (OPEX)



Les coûts engendrés par les stades de la filière encadrés en orange représentent le CAPEX, ceux de celui en bleu sont l'OPEX.

Source : plusieurs sources (cf : bibliographie de la partie)

Les coûts d'exploitation et de démantèlement sont les moins bien connus, puisqu'aucun parc n'est encore en service en France. Ils sont souvent estimés à partir des quelques retours d'expérience européens. Ils sont, donc, susceptibles de fortement évoluer dans les années à venir.

Les données collectées dans cette partie, proviennent des sources suivantes (cf : tableau 15) :

Tableau 15 : sources de données des coûts

Sources	
1.ADEME	« Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html

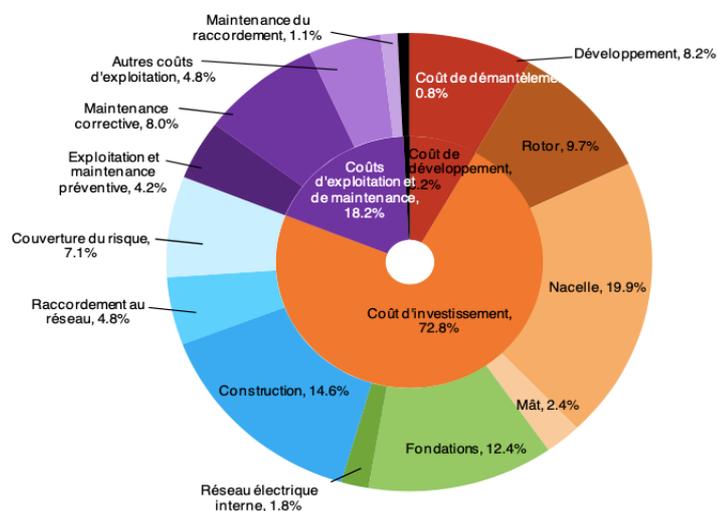
2.ADEME	« Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières ». Rapport final. ADEME, BVG Associates, GS Consulting et INNOSEA. 2017. Lien : https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1780-caracterisation-des-innovations-technologiques-du-secteur-de-l-eolien-et-maturites-des-filieres.html
3.ADEME	« Coûts des énergies renouvelables et de récupération en France ». ADEME, In Numeri et Enerdata. 2020. Lien : https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/765-couts-des-energies-renouvelables-et-de-recuperation-en-france-9791029713644.html
2.SER	« Evaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires ». Rapport. SER. 2020. Lien : https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/evaluationeconomiqueenr_rapport_12062020-vf.pdf
1.RTE (1)	« Groupe de travail n°9 « coûts » ». « Les hypothèses de coûts des énergies renouvelables et du nucléaire ». Document de cadrage n°2. RTE. 2020.
1.RTE (2)	
2.RTE	« Raccordement de l'éolien offshore ». « Retombées socio-économiques des projets de RTE ». Document de travail. RTE. 2021.

1.RTE (1) et (2) font référence à deux estimations différentes au sein du rapport.

Deux tableaux Excel accompagnent l'étude des coûts, un avec toutes les données collectées (économiques et sociales) dans les diverses sources et un autre avec les quelques calculs faits dans cette partie (cf : « Collecte_donnees_III.xlsx » et « Calculs_figures_III.xlsx »).

Une étude du BVG Associates (cf : image 11), permet de savoir comment sont répartis les coûts d'un parc éolien en mer posé entre CAPEX et OPEX, soit avant et après la mise en fonctionnement de la première turbine d'un parc. Le CAPEX englobe 82% de

Image 11 : décomposition des coûts de la filière de l'éolien en mer posé



Source : « Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières ». Rapport final. ADEME, BVG Associates, GS Consulting et INNOSEA. 2017. Lien : <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1780-caracterisation-des-innovations-technologiques-du-secteur-de-l-eolien-et-maturites-des-filieres.html>

ces coûts contre 18% pour l'OPEX. La nacelle (19,9%), la construction (14,6%) et les fondations (12,4%) sont les 3 principaux pôles de dépenses, suivis du rotor (9,7%), de la couverture du risque (7,1%) et de la maintenance corrective (8%). Cette dernière, est la plus grande part dans les coûts d'exploitation. À noter, l'importance des coûts de couverture du risque, occupant une part proche de celle des coûts du rotor et plus grande que celle des coûts du raccordement au réseau. La fabrication des composants (rotor, nacelle, mât, fondations et réseau électrique interne) représente plus de la moitié des coûts d'investissement (57%) et non loin de celle de l'ensemble des coûts (46%).

Dans toutes cette partie, la moyenne fera référence à la valeur résultant de la moyenne des estimations centrales. Ces dernières sont données directement par les sources, auquel cas elles sont calculées en faisant la moyenne entre l'estimation basse et l'estimation haute fournies.

Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement seraient au total, en moyenne, d'après les différentes sources, de 3 631 000 €/MW (cf : tableau 16).

Tableau 16 : CAPEX moyen d'après les sources (€/MW)

Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
1.ADEME			4750000
2.ADEME	3 400 000	4 000 000	3700000
2.SER			2935000
1.RTE (1)	2 600 000 + 1 000 000*	2 600 000 + 1 000 000	3600000
1.RTE (2)	1 980 000 + 1 000 000	2 180 000 + 1 000 000	3080000
2.RTE			3720000
Moyenne	3326667	3593333	3630833

*RTE estime à 1 000 000 €/MW le coût du raccordement

RTE estime les coûts de raccordement à 1 000 000 €/MW, ils ont été ajoutés à ses estimations, comme ils sont compris dans les estimations des autres sources et qu'il ne les a pas comptabilisé.

Le fait de multiplier ce CAPEX moyen au nombre de MW des parcs nous permet d'avoir une approximation du montant moyen investi pour un parc, il est de 1,8 milliards d'euros (valeur haute : 2,2 et valeur basse : 1,6) (cf : tableau 17). Bien que ne prenant pas en compte les spécificités propres à chacun des parcs pouvant entraîner des variations des montants individuels, il se rapproche du montant moyen annoncé par les développeurs. Effectivement, d'après un rapport de l'Observatoire des Energies Renouvelables, en moyenne, ce coût est de 1,9 milliards d'euros par parc (valeur haute : 2,4 et basse : 1,4) (cf : tableau 18). Il en est de même pour le CAPEX, l'estimation se rapproche de l'annonce des développeurs, nous pouvons convenir qu'il est supérieur à 3 500 000 €/MW.

Tableau 17 : investissement moyen avec un CAPEX de 3 631 k€/MW

Parcs	Puissance nominale (MW)	Investissement (€)
Saint-Nazaire	480	1 742 800 000
Courseulles-sur-Mer	448	1 626 613 333
Fécamp	497	1 804 524 167
Saint-Brieuc	496	1 800 893 333
Îles d'Yeu et de Noirmoutier	496	1 800 893 333
Dieppe-le-Tréport	496	1 800 893 333
Dunkerque	600	2 178 500 000
Moyenne	502	1 822 159 643

Il serait intéressant de creuser le pourquoi le parc du Calvados est moins cher et celui de Saint-Brieuc plus cher. Peu d'informations précises ont été trouvées sur ce sujet lors du stage.

Tableau 18 : investissement moyen d'après les investissements annoncés (€/MW)

Investissement moyen d'après les investissements annoncés (€/MW)			
Parcs	Puissance nominale (MW)	Investissement (€)	CAPEX (€/MW)
Saint-Nazaire	480	2 000 000 000	4166667
Courseulles-sur-Mer	448	1 800 000 000	4017857
Fécamp	497	2 000 000 000	4024145
Saint-Brieuc	496	2 400 000 000	4838710
Îles d'Yeu et de Noirmoutier	496	2 000 000 000	4032258
Dieppe-le-Tréport	496	2 000 000 000	4032258
Dunkerque	600	1 400 000 000	2333333
Moyenne	502	1 942 857 143	3920747

« Le baromètre 2020 des énergies renouvelables électriques en France ». Rapport n°11. Observatoire des Energies Renouvelables. 2020. Lien : http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/energie_renouvelable_france/ObservER-Barometre-EnR-Electrique-France-2020.pdf

Nous allons nous intéresser aux décompositions des coûts d'investissements proposées par les différentes sources (cf : tableau 19).

La part attribuée au raccordement pour l'estimation du SER est sur-estimée, parce qu'en réalité il s'agit de 41% pour « raccordements et autres ». Aussi, dans le raccordement au réseau il est souvent comptabilisé, par erreur, le raccordement interne. Le développement pour la décomposition de « 1.RTE (2) » est estimé à 8%, comme il est compris entre 5 et 10% (environ 7,5%) pour cette source et 7 et 10% (environ 8,5%) pour les autres sources, ce qui fait environ 8%.

Tableau 19 : les décompositions des coûts d'investissements proposées par les différentes sources

Fonctions/ Sources	2.SER		2.RTE*	
	(%)	(€/MW)	(%)	(€/MW)
Développement	7	205450	10	372000
Turbine			43	1599600
-Rotor	41	1203350	13	483600
-Mat			3	111600
-Nacelle			27	1004400
Fondations	6	176100	12	446400
Réseau interne	/	/	/	/
Installation	9	264150	7	260400
Raccordement au réseau			27	1004400
-Poste en mer			7	251100
-Liaison sous-marine	37	1085950	12	451980
-Liaison souterraine			5	200880
-Liaison aérienne			3	100440
-Poste à terre				
Démantèlement	/	/	1	37200
Total	100	2935000	100	3720000
CAPEX moyen		2935000		3720000

Fonctions/ Sources	1.RTE (2)**			
	sans raccordement (%)	sans raccordement (€/MW)	avec raccordement (%)	avec raccordement (€/MW)
Développement	8	166400	5	166400
Turbine				
-Rotor	60	1248000	41	1248000
-Mat				
-Nacelle				
Fondations	10	208000	7	208000
Réseau interne	8	166400	5	166400
Installation	13	270400	9	270400
Raccordement au réseau				
-Poste en mer				
-Liaison sous-marine	/	/	32	1000000
-Liaison souterraine				
-Liaison aérienne				
-Poste à terre				
Démantèlement	1	20800	1	20800
Total	100	2080000	100	3080000
CAPEX moyen		2080000		3080000

*RTE estime la décomposition du raccordement à 25% le poste en mer et 10% celui à terre, 45% la liaison sous-marine et 20% celles souterraine et aérienne

**RTE estime à 1 000 000 €/MW le coût du raccordement

Pour analyser ces différentes décompositions des coûts d'investissement, nous allons faire 3 différentes estimations :

-Basse : l'estimation minimale ;

-Haute : l'estimation maximale ;

-et, centrale : la moyenne de toutes les estimations (basse et haute).

Il faut être prudent avec les comparaisons comme les 3 sources ont un CAPEX moyen estimé différent, allant de 2 935 000 à 3 720 000 €/MW (avec le raccordement au réseau inclus).

Tableau 20 : estimations résultant des décompositions des coûts d'investissements proposées par les différentes sources

La décomposition des coûts d'investissement (%)					
Fonctions	Nombre d'estimation	Estimation basse	Estimation haute	Différence (points %)	Estimation centrale
Développement	3	5	10	5	7
Turbine	3	41	43	2	42
Fondations	3	6	12	6	8
Réseau interne	1	5	5	0	5
Installation	3	7	9	2	8
Raccordement au réseau	3	27	37	10	32
Démantèlement	2	1	1	0	1

La décomposition des coûts d'investissement (€/MW)					
Fonctions	Nombre d'estimation	Estimation basse	Estimation haute	Différence	Estimation centrale
Développement	3	166400	372000	205600	247950
Turbine	3	1203350	1599600	396250	1350317
Fondations	3	176100	446400	270300	276833
Réseau interne	1	166400	166400	0	166400
Installation	3	260400	270400	10000	264983
Raccordement au réseau	3	1000000	1085950	85950	1030117
Démantèlement	2	20800	37200	16400	29000

Position des fonctions de la filière en fonction de leur coût d'investissement			
Position (du moins cher au plus cher)	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
1	Démantèlement	Démantèlement	Démantèlement
2	Réseau interne	Réseau interne	Réseau interne
3	Développement	Installation	Développement
4	Fondations	Développement	Installation
5	Installation	Fondations	Fondations
6	Raccordement au réseau	Raccordement au réseau	Raccordement au réseau
7	Turbine	Turbine	Turbine

En vert il s'agit des postes stables à toutes les estimations, au contraire en bleu ce sont ceux qui varient.

Les deux postes les moins coûteux, d'après les estimations actuelles, sont le démantèlement et le réseau interne, c'est-à-dire les câbles inter-éoliennes (cf : tableau 20). Ils coûtent, en moyenne et respectivement, 29 000 €/MW et 166 400 €/MW. Ils représentent, approximativement et respectivement, 1% et 5% des coûts d'investissement. Les données des câbles inter-éoliennes ne proviennent que d'une source, mais il s'agit de RTE donc nous pouvons dire qu'elles restent informatives. Les deux postes les plus coûteux, sont le raccordement au réseau à environ 1 million €/MW et la turbine à en moyenne 1,3 million €/MW. Le premier représente entre 27 et 37% des coûts d'investissement en fonction des sources et le second environ 42%. Le raccordement au réseau a une différence de 10 points de pourcentage entre l'estimation basse et haute ce qui représente 86 000 €/MW et il reste supérieur à 1

million €/MW, alors que derrière les 2 points de la turbine c'est près de 4,5 fois cette valeur, soit 396 000 €/MW de différence. Les autres fonctions, telles que le développement, les fondations et l'installation n'ont pas les mêmes positions en fonction de si nous nous référons à l'estimation basse, haute ou centrale, puisqu'elles ont des coûts qui varient beaucoup d'une source à une autre. Le développement a un coût compris entre 166 400 et 372 000 €/MW, les fondations entre 176 100 et 446 400 €/MW, ces deux varient du simple à plus du double, puis l'installation est à environ 265 000 €/MW. En plus des différences méthodologiques d'une source à l'autre, d'autres explications peuvent expliquer ces variations. Les fondations ont un coût qui est fonction du type installé. Les monopieux sont moins coûteuses, bien que les jackets et gravitaires sont de plus en plus compétitives en eaux profondes, dans les zones où les forages sont difficiles et avec des éoliennes plus grandes. Les coûts de développement, quant à eux, sont fonction du site d'implantation du parc, plus précisément de son environnement.

Coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation sont en moyenne de 95 700 €/MW chaque année (cf : tableau 21).

Tableau 21 : OPEX moyen d'après les sources (€/MW/an)

Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
1.ADEME			118000
2.ADEME	95000	150000	122500
2.SER			68000
1.RTE (1)	80000	80000	80000
1.RTE (2)	70000	110000	90000
Moyenne	81667	113333	95700

Par exemple, pour un parc de 500 MW (moyenne du nombre de MW par parc), il s'agira de dépenser environ 48¹ millions d'euros par an en frais d'exploitation et de maintenance, sachant que la durée de vie d'un parc est à ce jour comprise entre 20 et 25 ans.

¹ Nombre moyen de MW des parcs français multiplié par l'OPEX moyen des estimations centrales= 500 MW multipliés par 95 700 €/MW= 47 850 000

La maintenance corrective, c'est-à-dire celle qui entraîne des réparations plus ou moins lourdes, occupe la plus grande part dans l'ensemble des frais.

LCOE

Le coût de l'énergie est en moyenne de 162 €/MWh d'après les sources mobilisées (cf : tableau 22).

Tableau 22 : LCOE moyen d'après les sources (€/MWh)

Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
1.ADEME	140	173	157
2.ADEME	143	191	167
Moyenne	142	182	162

Ce coût est fonction du facteur de charge, de la durée de vie et du coût moyen du capital pondéré (CMCP, ou taux d'actualisation) retenus (cf : image 12). Des incertitudes reposent sur la valeur prise par ces facteurs. Nous retrouvons, le plus souvent, un facteur de charge allant d'environ 39% à 42%, une durée de vie de 20 à 25 ans et un CMCP de 6 à 10%. Nous pouvons retenir que la valeur du LCOE est très dépendante des hypothèses faites pour la calculer.

À noter que le LCOE prend en compte le coût des combustibles, mais dans le cas de l'éolien en mer posé, il est nul. Alors, les coûts de production se résument aux coûts d'investissement et d'exploitation.

Image 12 : formule de calcul du LCOE

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

où les abréviations suivantes représentent :

LCOE le coût actualisé de l'énergie – (Levelized Cost Of Energy)

I_t les dépenses d'investissement pour l'année t

M_t les dépenses d'exploitation et de maintenance de l'année t

E_t la production d'énergie dans l'année t

r le taux d'actualisation

n la durée de vie du projet.

À titre de comparaison le LCOE est entre 64 et 79 €/MWh en 2016, pour les parcs étrangers et l'éolien terrestre en France.

Le coût de l'énergie de l'éolien en mer posé, à long terme, d'après la littérature aura tendance à fortement diminuer, du fait de nombreuses évolutions, quelques-unes d'entre elles sont énumérées ci-dessous :

• Augmentation de la production électrique :

-Le facteur de charge augmente avec des éoliennes de plus en plus grandes et de plus en plus puissantes qui sont capables d'atteindre une plus large gamme de vitesses de vent. D'après RTE, l'augmentation de taille et la localisation des éoliennes peuvent conduire à des facteurs de charge de l'ordre de 45% (contre 38% en moyenne actuellement).

-La durée de vie des installations évolue à la hausse, elle est estimée à 20 ans aujourd'hui, il est désormais considéré dans certains pays que les parcs pourront être exploités 30, voire 40 ans.

-Les composants d'éoliennes seront plus fiables et donc la disponibilité de celles-ci plus importante.

Augmentation de la maturité industrielle :

-Les optimisations de procédés de fabrication sont attendues, avec une meilleure exploitation des plateformes de production ;

-Le développement des projets, l'industrialisation de la fabrication et la standardisation des composants permettent des économies d'échelles ;

-Les plateformes de production et de logistique ont déjà été financées ;

-Le nombre d'acteurs positionnés plus importants favorisant la concurrence et s'étant déjà équipés ;

• Réduction des coûts de raccordement électrique :

- La mutualisation des infrastructures de raccordement ;
- L'utilisation du courant continu pour les parcs éloignés des côtes (afin de réduire les pertes de transmission).
- La prise en charge financière du raccordement par RTE et la mise en place d'un dispositif d'indemnités en cas de retard ou d'avarie du raccordement.

• Réduction des coûts de la maintenance :

- La numérisation croissante des parcs ;
- La mutualisation des centres de maintenance ;
- L'augmentation de la fiabilité des composants des parcs.

• Autres évolutions favorables à la réduction des coûts :

- Les retours d'expérience permettront de réduire les risques et donc les coûts de financement, puis il y aura une standardisation des modèles de financement ;
- La simplification et l'optimisation des procédures administratives comme, par exemple, la mise en place de la procédure de dialogue concurrentiel (aspect financier, technique, environnemental, etc.) ;
- Le dé-risquage du développement par la prise en charge par le gouvernement du maximum d'études nécessaires ;
- Le regroupement des projets permettra un partage des coûts fixes ;
- L'amélioration technique et la baisse des coûts des fondations sont attendues.

Le potentiel de baisse de coût pour la filière est de 63% d'ici 2030, d'après l'ADEME. Si uniquement l'aspect technologique est pris en compte, elle est de 54%. La réduction des coûts d'installation, des fondations et de raccordement électrique sera environ de 55%.

Nous constatons, effectivement une réduction des coûts dans les années à venir (cf : tableaux 23, 24, 25 et graphique 1). Les coûts d'investissement, en moyenne, seront réduits à moyen terme de 27% (à long terme de 36%), les coûts d'exploitation de 37% (59%, 2,5 fois inférieurs) et le coût de l'énergie de 58% (73%, 3,6 fois inférieur). Toutefois, il est intéressant de notifier le fait que ces réductions seront bien plus fortes entre aujourd'hui et 2030 qu'entre 2030 et 2050, notamment pour le CAPEX (différence de 12 points de pourcentage) et le LCOE (24 points de pourcentage).

Tableau 23 : estimations des coûts en 2030

CAPEX moyen d'après les sources (€/MW)			
Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
2.ADEME	2 500 000	2 900 000	2700000
3.ADEME	2 010 000	3 100 000	2555000
1.RTE (1)	1 300 000 + 1 000 000	2 100 000 + 1 000 000	2700000
Moyenne	2270000	3033333	2651667
*Le coût de raccordement actuel estimé par RTE est utilisé, il est sur-estimé car il devrait diminuer à long terme			
OPEX moyen d'après les sources (€/MW/an)			
Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
2.ADEME	60000	90000	75000
3.ADEME	40200	52260	46230
1.RTE (1)	54000	65000	59500
Moyenne	51400	69087	60243
LCOE moyen d'après les sources (€/MWh)			
Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
2.ADEME	54	73	64
3.ADEME	56	88	72
Moyenne	55	81	68

Tableau 24 : estimations des coûts en 2050

CAPEX moyen d'après les sources (€/MW)			
Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
3.ADEME	2 080 000	2 650 000	2365000
1.RTE (1)	700 000 + 1 000 000	1 900 000 + 1 000 000	2300000
Moyenne			2332500
*Le coût de raccordement actuel estimé par RTE est utilisé, il est sur-estimé car il devrait diminuer à long terme			
OPEX moyen d'après les sources (€/MW/an)			
Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
3.ADEME	31200	41600	36400
1.RTE (1)	28000	55000	41500
Moyenne	29600	48300	38950
LCOE moyen d'après les sources (€/MWh)			
Sources	Estimation basse	Estimation haute	Estimation centrale
3.ADEME	35	54	45
Moyenne	35	54	45

Graphique 1 : évolution des coûts à partir des moyennes des estimations centrales des sources utilisées

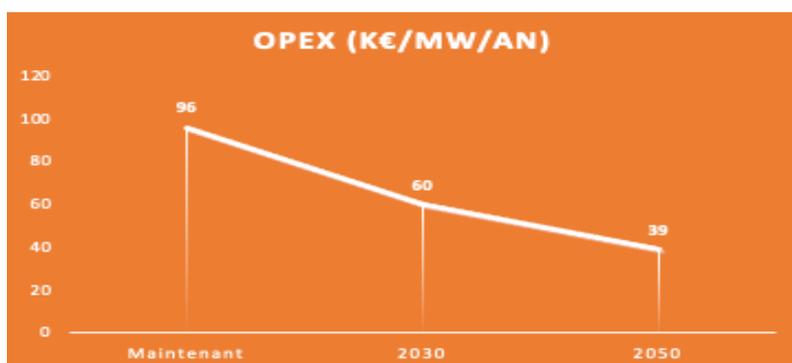
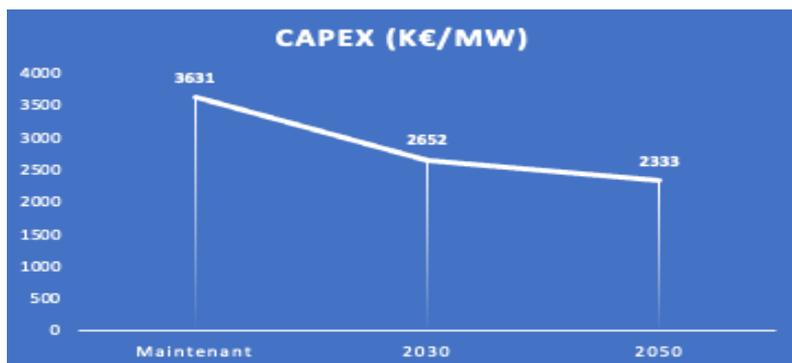


Tableau 25 : taux de variation des coûts à partir des moyennes des estimations centrales des sources utilisées

Taux de variation des coûts maintenant-2030 (%)	
CAPEX (€/MW)	-27
OPEX (€/MW/an)	-37
LCOE (€/MWh)	-58

Taux de variation des coûts maintenant-2050 (%)	
CAPEX (€/MW)	-36
OPEX (€/MW/an)	-59
LCOE (€/MWh)	-73

Taux de variation des coûts 2030-2050 (%)	
CAPEX (€/MW)	-12
OPEX (€/MW/an)	-35
LCOE (€/MWh)	-34

III.2.3) La vente de l'électricité produite

À ce jour, les coûts de production inhérents à un parc éolien en mer posé sont trop importants pour que les industriels envisagent d'investir dans de nouvelles installations sans soutien public. Le prix de l'électricité sur les marchés n'est pas assez attractif pour que la vente de l'électricité produite par les industriels compense leurs coûts et leur assure une rentabilité normale, sans parler du fait qu'ils n'ont aucune visibilité sur son évolution pendant la durée de vie d'un parc. À titre informatif, ces dernières années, le prix de l'électricité est entre 35 et 50 €/MWh. L'État apporte son soutien financier, afin d'accroître son effort dans la lutte contre le changement climatique.

Il y a deux dispositifs de soutien public qui coexistent, du fait que la manière dont cette subvention est versée diffère entre les deux premiers appels d'offres et le troisième (cf : schéma 10). Les points communs à ces deux dispositifs, sont les suivants :

- un tarif de référence fixé à l'avance par contrat entre l'État et le lauréat. Ce tarif est fonction du coût moyen de l'énergie supporté par ce dernier ;

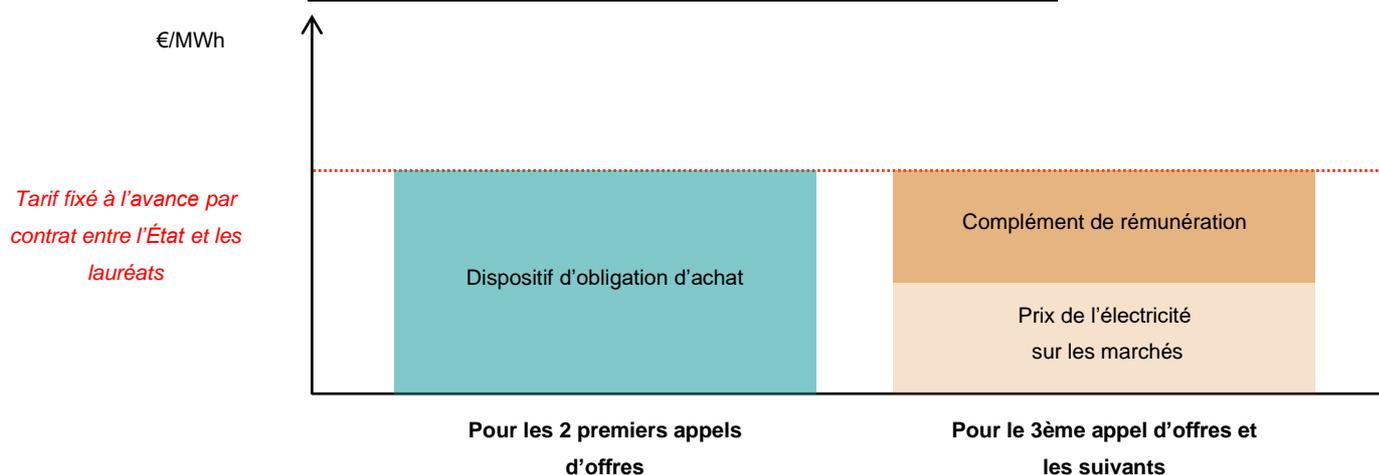
- des subventions qui sont des fonds versés par EDF Obligation d'Achat (EDF AO). Ils proviennent du compte d'affectation spéciale Transition Énergétique. Il est alimenté par une partie des recettes des taxes intérieures de consommation sur les produits énergétiques (TICPE), laquelle s'applique notamment aux carburants fossiles essence et diesel, et de la taxe intérieure de consommation sur le charbon (TICC) qui s'applique sur les houilles, lignites et coques. Cela signifie donc que ce soutien public est financé par des taxes sur des produits énergétiques fortement émetteurs de CO₂ ;

- un engagement de l'État de 20 ans.

Pour les 6 premiers parcs, l'État est dans l'obligation d'acheter l'électricité aux lauréats au tarif de référence, il s'agit du dispositif d'obligation d'achat. Il se charge après de la revendre sur les marchés. À partir du parc de Dunkerque, les consortiums vendent eux-mêmes l'électricité qu'ils produisent sur les marchés et l'État leur fait un complément de rémunération pour arriver à hauteur du tarif de référence, si le prix de

l'électricité lui est inférieur. En revanche, s'il est assez élevé pour qu'il lui soit supérieur les consortiums reversent la différence au budget de l'État. Comme ce complément de rémunération n'est pas fixe, puisqu'il dépend du prix de l'électricité sur les marchés, alors il est aussi nommé « prime variable ». Ce dispositif a été introduit par la loi de transition énergétique pour une croissance verte (LTECV).

Schéma 10 : mécanismes des dispositifs de soutien public



Source : « Combien coûte un parc éolien en mer en France ? Pourquoi et comment l'État a-t-il choisi de soutenir le développement de l'éolien en mer en France ? ». DMO Fiche n°12. Eoliennes en mer au large de la Normandie. Lien : <https://eolmnormandie.debatpublic.fr/images/documents/dmo/fiches/dmo-fiche-12-combien-coute-un-parc-eolien-en-france.pdf>

En définitive, dans les deux cas, les consortiums sont protégés de la fluctuation des prix de l'électricité, puis s'assurent de couvrir leurs coûts et d'une certaine rentabilité.

Tableau 26 : montants maximums du soutien public sur 20 ans pour les différents parcs

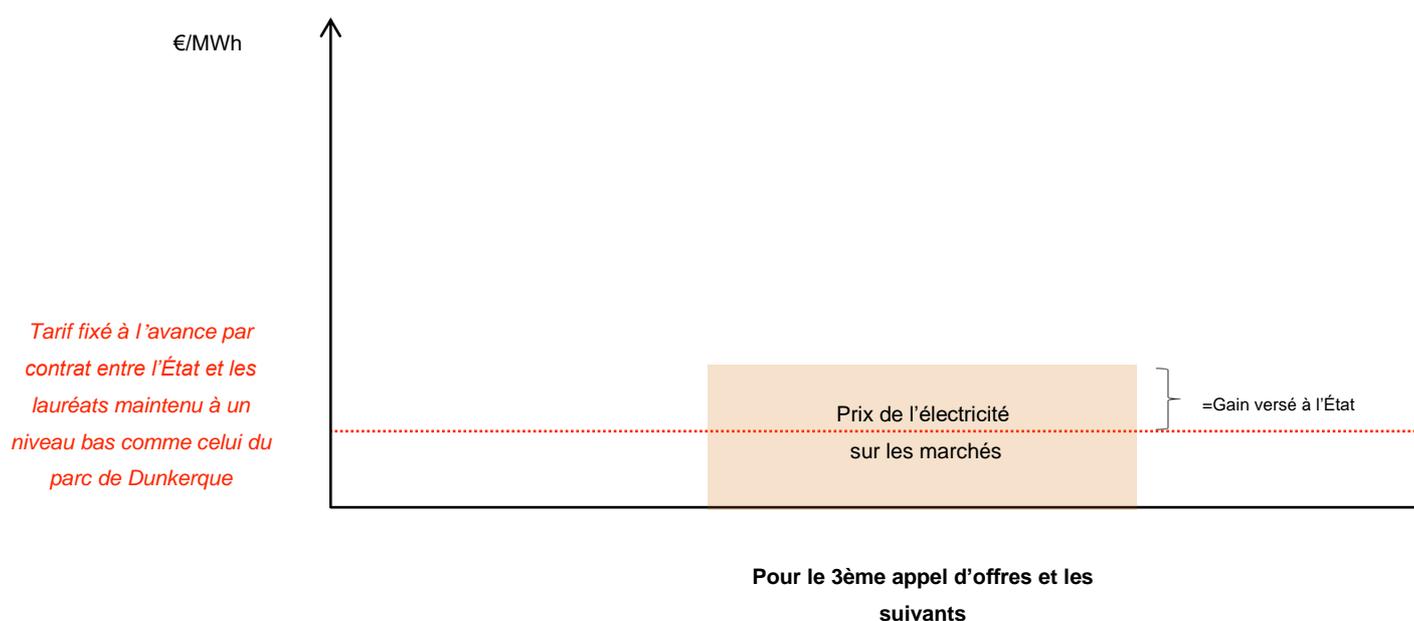
Parcs	Courseulles -sur-mer	Fécamp	Saint- Nazaire	Îles d'Yeu et de Noirmoutier	Dieppe- Le-Tréport	Saint- Brieuc	Dunkerque
Type de soutien	Tarif d'achat	Tarif d'achat	Tarif d'achat	Tarif d'achat	Tarif d'achat	Tarif d'achat	Complément de rémunération
Tarif fixé (€/MWh)	138,7	135,2	143,6	137	131	155	44
Puissance du parc (MW)	450	498	480	496	496	496	580
Productible totale prévue sur 20 ans (TWh)	[33-43]	[33-43]	[40-50]	[35-45]	[38-48]	[40-50]	[65-70]
Montant maximum du soutien public sur 20 ans (Md€)	3,0	3,6	3,5	3,7	3,7	4,7	[-0,3-0,5]

Source : « Pourquoi et comment l'État a-t-il choisi de soutenir le développement de l'éolien en mer en France ? ». EES Fiche n°8. Projet d'éoliennes flottantes en méditerranée et leur raccordement. Lien : https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2021/07/EES_AO6_Fiche8_WEB_0.pdf

Le soutien public restant à payer pour les projets éoliens en mer déjà engagés est estimé entre 21,9 et 22,7 milliards d'euros au maximum (cf : tableau 26).

Avec ce dispositif de complément de rémunération, l'État peut dégager des revenus. Par exemple, le parc de Dunkerque pourrait rapporter à l'État 300 millions d'euros sur les 20 ans. Pour ce faire il faut que le coût moyen de l'énergie soit plus bas que le prix de l'électricité. Deux cas de figure sont possibles, soit le coût moyen de l'énergie est assez bas pour être en-dessous du prix de l'électricité, ou alors le prix de l'électricité est assez haut pour être au-dessus du coût moyen de l'électricité. Le plus probable est le premier cas. Ce revenu est maximal, lorsque à la fois le coût moyen de l'énergie est bas (ce maintien au niveau de celui du parc de Dunkerque (cf : tableau 26)) et le prix de l'électricité est élevé. Les parcs éoliens en mer pourraient, donc, représenter une source de revenu net pour l'État (cf : schéma 11). Puisque, sur toute la durée de vie d'un parc, le montant des gains qui lui seront reversés sera plus important que les subventions que lui versera aux consortiums. À terme, il pourrait ne plus avoir besoin de subventions pour assurer le développement des installations d'éoliennes en mer posées (hors raccordement), bien que l'incertitude qui plane sur les prix de l'électricité fait que c'est encore difficilement envisageable.

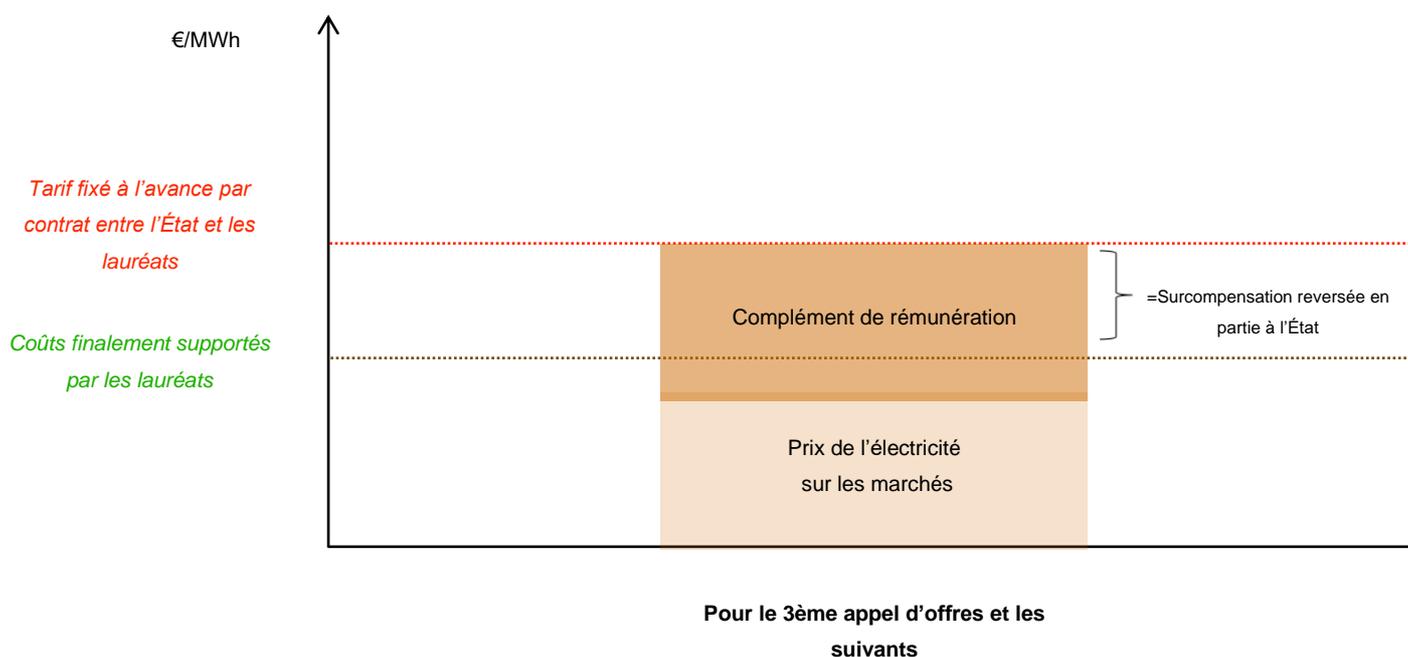
Schéma 11 : cas où l'État peut dégager des revenus par le dispositif de complément de rémunération



Source : « Combien coûte un parc éolien en mer en France ? Pourquoi et comment l'État a-t-il choisi de soutenir le développement de l'éolien en mer en France ? ». DMO Fiche n°12. Eoliennes en mer au large de la Normandie. Lien :

<https://eolmernormandie.debatpublic.fr/images/documents/dmo/fiches/dmo-fiche-12-combien-coute-un-parc-eolien-en-france.pdf>

Schéma 12 : le cas de surcompensation



Source : « Combien coûte un parc éolien en mer en France ? Pourquoi et comment l'État a-t-il choisi de soutenir le développement de l'éolien en mer en France ? ». DMO Fiche n°12. Eoliennes en mer au large de la Normandie. Lien : <https://eolmernormandie.debatpublic.fr/images/documents/dmo/fiches/dmo-fiche-12-combien-coute-un-parc-eolien-en-france.pdf>

Avec ce dispositif il est aussi possible que finalement le coût moyen de l'énergie prévu soit en deçà de l'effectif, si les performances économiques des lauréats ont été finalement supérieures à celles qui étaient attendues. Dans ce cas, la différence est reversée entre eux et l'État (cf : schéma 12).

La Commission européenne est à l'origine de la décision du mécanisme de complément de rémunération, afin de « limiter l'aide au minimum nécessaire et d'éviter les effets négatifs potentiels des aides sur la concurrence et les échanges » et inciter les producteurs à tenir compte des besoins réels du marché. Des reproches étaient faits à l'ancien mécanisme, notamment, de créer une distorsion des prix de marché de l'électricité et de contribuer à l'apparition de prix négatifs de l'électricité rendant moins rentables les moyens de production non subventionnés. Les deux dispositifs de soutien public concernent aussi les autres projets d'énergies renouvelables.

III.2.4) L'évolution du chiffre d'affaires et des investissements

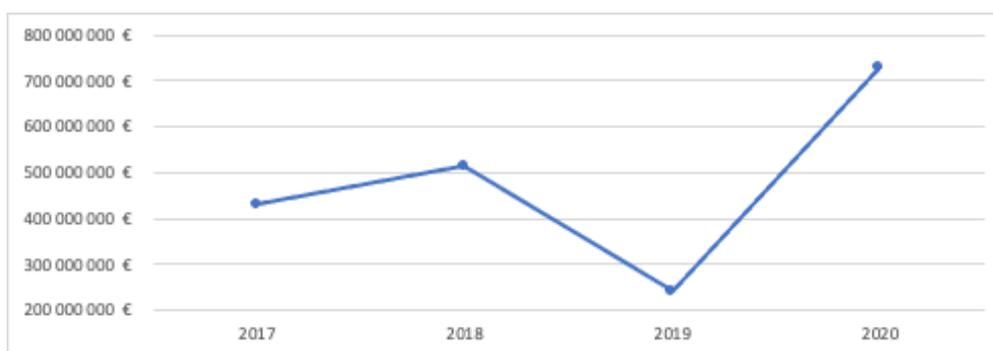
Nous allons expliquer, de manière non-exhaustive, le contexte dans lequel les évolutions des indicateurs économiques (chiffres d'affaires, investissements, ...) et sociaux (ETP, ...) s'inscrivent, afin de mieux les appréhender. Dans cette partie, nous allons nous intéresser qu'aux indicateurs économiques, ceux sociaux seront traités dans la suite de ce rapport (cf : partie III) 3)).

En 2016, sur le sol français, encore aucun parc n'a débuté sa construction. La totalité des valeurs positives des indicateurs sont dues à l'export, notamment de composants fabriqués sur le territoire à destination des parcs européens. Les années 2017 et 2018, bien que l'export reste important, marquent le début de la structuration de la filière sur le territoire. Les entreprises françaises commencent à se préparer pour assurer le développement prochain des parcs, notamment en se munissant de moyens de production. Il y a donc une montée en charge des sites industriels majeurs à l'image de l'usine de construction de pâles de LM Wind Power à Cherbourg. Les travaux du parc de Saint-Nazaire démarrent courant 2019, cette même année la construction de celui de Fécamp se lance et un nouveau projet est attribué à Dunkerque. Les sites industriels majeurs continuent de pousser de terre en France, par exemple Siemens Gamesa Renewable Energy engage les travaux de ses usines et de son hub logistique au Havre. Pour 2020 c'est Fécamp et Saint-Brieuc qui commencent leur construction et leur raccordement, Saint-Nazaire continue sur sa voie en installant sa station électrique en mer et sa première fondation. Des chantiers et infrastructures de production industrielle temporaires ont ainsi vu le jour (Navantia- Windar à Brest et Bouygues TP au Havre) et de nouveaux moyens de production sont également en cours de construction ou sont agrandis comme l'usine de pales GE Renewable Energy de Cherbourg et de nacelles à Saint-Nazaire. Enfin, courant 2021 c'est le parc de Courseulles-sur-mer qui devrait, aussi, commencer à être construit.

Les rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer nous permettent de connaître l'évolution des chiffres d'affaires et des investissements de la filière de 2016 à 2020 (cf : graphiques 2, 3 et 4). Nous allons nous intéresser à ces quelques

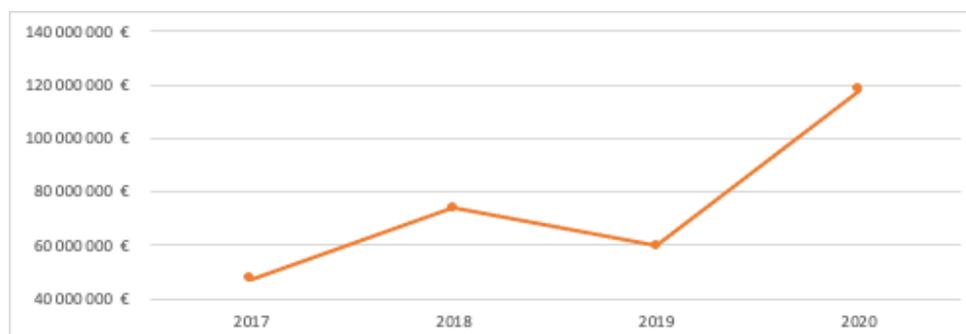
indicateurs économiques pour deux catégories d'acteurs, les prestataires et/ou fournisseurs et pour les développeurs-exploitants. Elles retracent l'ensemble de la chaîne de valeur de l'éolien en mer posé construite lors du stage, c'est-à-dire les fonctions et acteurs principaux.

Graphique 2 : évolution des chiffres d'affaires des prestataires et/ou fournisseurs



Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

Graphique 3 : évolution des investissements des prestataires et/ou fournisseurs



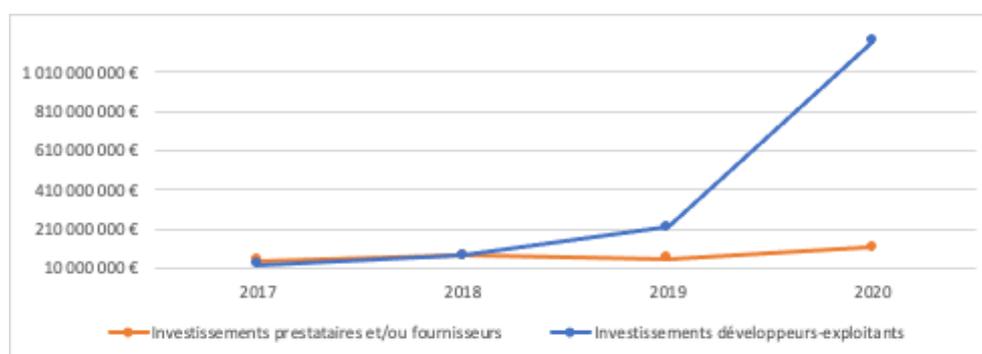
Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

Pour les acteurs prestataires et/ou fournisseurs les chiffres d'affaires (centaines de millions d'euros) sont très largement supérieurs aux investissements (dizaines de millions d'euros) sur l'ensemble de la période (cf : graphiques 2 et 3). Les deux indicateurs ont les mêmes tendances et ont connu une forte augmentation, le premier a été multiplié par 1,7 et le second par 2,5. En 2018, l'investissement augmente de 22 millions d'euros comme les entreprises se sont préparées au démarrage des marchés français. Les chiffres d'affaires et les investissements chutent en 2019. La chute de

ces premiers s'explique, en partie, par le fait qu'en 2018 des contrats à l'exports importants ont été facturés. Celle des investissements trouve son origine dans le changement de catégorie de RTE, passant de celle de prestataires et/ou fournisseurs à développeurs-exploitants, sinon ils se sont maintenus. Ils remontent en 2020 avec 488 millions d'euros de plus pour les chiffres d'affaires (+203%, multipliés par 3) et près de 2 fois plus d'investissements. Ces derniers proviennent en grande partie de Siemens-Gamesa pour la construction de ses deux usines au Havre de pales et de nacelles, ainsi que de l'agrandissement de celles de Général Electric. Les chiffres d'affaires de cette catégorie d'acteurs représentent plus de 95% de celui de l'ensemble des acteurs de la filière ces deux dernières années (96% en 2019 et 97% en 2020).

Les chiffres d'affaires sont de 1,5 et 9 millions d'euros en 2017 et 2018 pour les développeurs-exploitants, soit 6 fois supérieurs en 1 an, principalement répartis sur les 3 régions des 2 premiers appels d'offres (Pays de la Loire, Normandie et Bretagne). L'Observatoire des Energies de la Mer, a fait le choix de ne pas détailler les chiffres d'affaires des développeurs pour les années suivantes. Plusieurs raisons expliquent ce choix : 1) les parcs n'étant pas encore en service, les montants ne sont pas révélateurs de l'activité de production d'électricité des développeurs mais d'activités annexes. 2) les informations peuvent être sujettes à des problématiques de confidentialité. Ils sont inférieurs aux montants des investissements, tendance qui devrait s'inverser dans les années à venir avec la mise en service des parcs commerciaux.

Graphique 4 : comparaison des évolutions des investissements des prestataires et/ou fournisseurs avec ceux des développeurs-exploitants



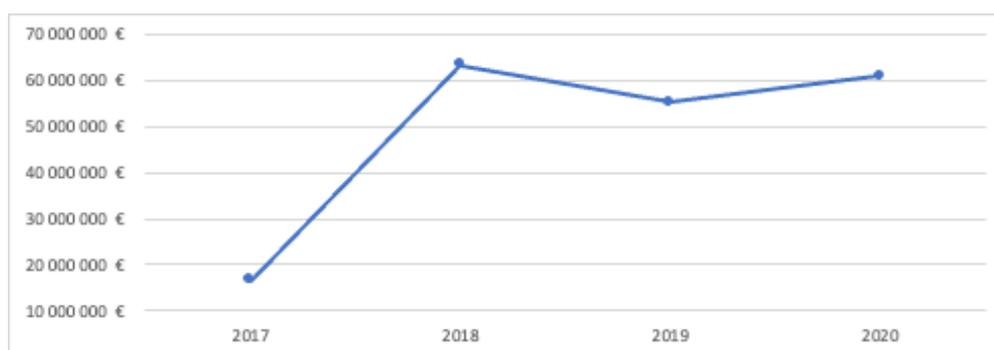
Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

Les investissements des développeurs-exploitants et des prestataires et/ou fournisseurs de la chaîne de valeur se valent (cf : graphique 4). C'est en 2019, qu'il y a un écart important qui se creuse en faveur des développeurs-exploitants, notamment dû au changement de catégorie de RTE. Ils enregistrent une augmentation de leurs investissements de 147 millions d'euros (+210%, multipliés par 3) cette année-là. En 2020, ils bondissent, culminant au-delà du milliard, avec une augmentation de 938 millions d'euros sur un an (+439%, multipliés par 5), témoignant du déploiement effectif de l'éolien en mer posé au large des côtes françaises. Entre 2017 et 2020 le montant des investissements a été multiplié par près de 40.

Petit zoom sur les investissements portuaires

Depuis début 2010 les principaux ports impliqués dans le développement de l'éolien en mer posé ont investi 600 millions d'euros (cf : tableau 27). L'aménagement du terminal EMR du port de Brest comptabilise à lui seul 220 millions d'euros d'investissement. Des investissements conséquents ont aussi été entrepris aux ports de Cherbourg, du Havre et de Saint-Nazaire pour le développement de la filière. Par exemple, le terrain sur lequel seront construits les usines et le hub logistique de Siemens-Gamesa a été aménagé au port du Havre. Dans les années à venir avec la construction et la mise en service des parcs commerciaux, les gestionnaires portuaires dégageront un chiffre d'affaires significatif. Nous pouvons constater que depuis 2018, les investissements portuaires se stabilisent aux alentours de 60 millions d'euros à l'année (cf : graphique 5).

Graphique 5 : évolution des investissements portuaires



Source : « Les ports français, acteurs incontournables du déploiement des énergies marines renouvelables ». Note de l'Observatoire n°8. Observatoire des Energies de la Mer. 2020. Lien : <https://merenergies.fr/media/note-OEM-08.pdf>

Tableau 27 : investissements portuaires en cours et en projet en 2016

Ports	Aménagement de surfaces portuaires	Zones de manutention
Le Havre	57 000 000 (en projet)	
Cherbourg	15 000 000 (en cours) 60 000 000 (en projet) 75 000 000	25 000 000 (en cours)
Brest	170 000 000 (en projet)	
Saint-Nazaire	40 000 000 (en cours)	10 000 000 (en cours)
Port-la-Nouvelle	210 000 000 (en projet)	
Total	587 000 000	

Source : « Les énergies de la mer : une réalité industrielle, une dynamique collective ». Rapport n°1. Observatoire des Energies de la Mer. 2017. Lien : <https://merenergies.fr/media/OEM-Rapport.pdf>

III.3) Quantification et description sociale

Pour la quantification et description sociale, en plus des acteurs et fonctions principaux, des informations seront données sur ceux de soutien, en fonction des sources et des données qu'elles fournissent.

III.3.1) Nombre d'entreprises positionnées et répartition sur le territoire

Des approximations annuelles du nombre d'entreprises positionnées sur la technologie de l'éolien en mer posé peuvent être faites sur la base du nombre de répondants aux questionnaires de l'Observatoire des Energies de la Mer pour ses rapports (cf : tableau 28). Ces données sont approximatives, puisque des entreprises de la filière peuvent ne pas se manifester à l'Observatoire et en fonction le nombre de répondants varient d'années en années. Il s'agit des approximations les plus précises, notamment en raison du fait que depuis 2016 l'Observatoire, porté par le Cluster Maritime Français, se donne comme objectif d'informer de la réalité économique et sociale des technologies des énergies de la mer, en construisant la base de données la plus fiable possible. À chaque rapport c'est environ 60% des entreprises identifiées qui répondent.

Tableau 28 : nombres approximatifs d'entreprises positionnées sur la filière

Années/ Catégories	2016	2017	2018	2019	2020
Prestataires et/ou fournisseurs	93 (ils représentent 83% des entreprises de la filière en 2016)	109 (ils représentent 93% des entreprises de la filière en 2017)	88 (ils représentent 65% des entreprises de la filière en 2018)	113 (ils représentent 64% des entreprises de la filière en 2019)	128 (ils représentent 80% des entreprises de la filière en 2020)
Développeurs-exploitants	3	8	10	11	14
Structures de formation et de R&D	16	X	12	28	19
Institutionnels	X	X	26	26	X

Total	112	117	136	178	161
--------------	-----	-----	-----	-----	-----

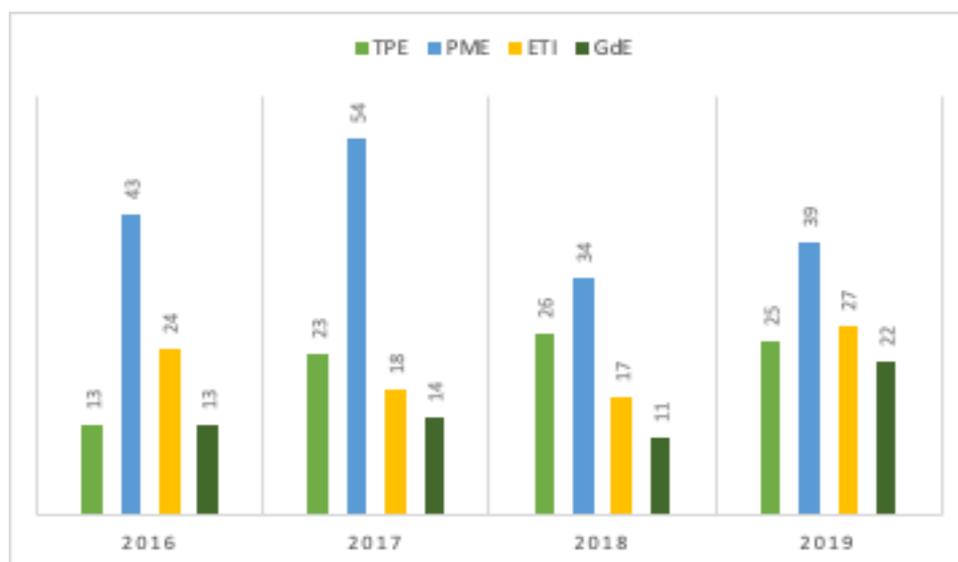
X : données non fournies. Les cellules bleues représentent le nombre maximum d'entreprises pour chaque catégories sur ces 5 dernières années.

Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

Nous pouvons partir du principe que le nombre résultant de la somme du maximum de répondants sur ces 5 dernières années de toutes les catégories est celui qui tend le plus vers celui des entreprises positionnées sur la filière. Il est de 196 (128 prestataires et/ou fournisseurs, 14 développeurs-exploitants, 28 structures de formation et de R&D, puis 26 institutionnels) (cf : tableau 28).

Les prestataires et/ou fournisseurs est la catégorie d'acteurs la plus importante quelle que soit l'année, elle représente au moins plus de 3/5 de l'ensemble chaque années (de 64% à 93%). Parmi eux, une majorité de petites et moyennes entreprises (cf : graphique 6). En 2020, c'est 11 PME et 11 ETI supplémentaires qui se positionnent dans cette catégorie.

Graphique 6 : types d'entreprises chez les prestataires et/ou fournisseurs

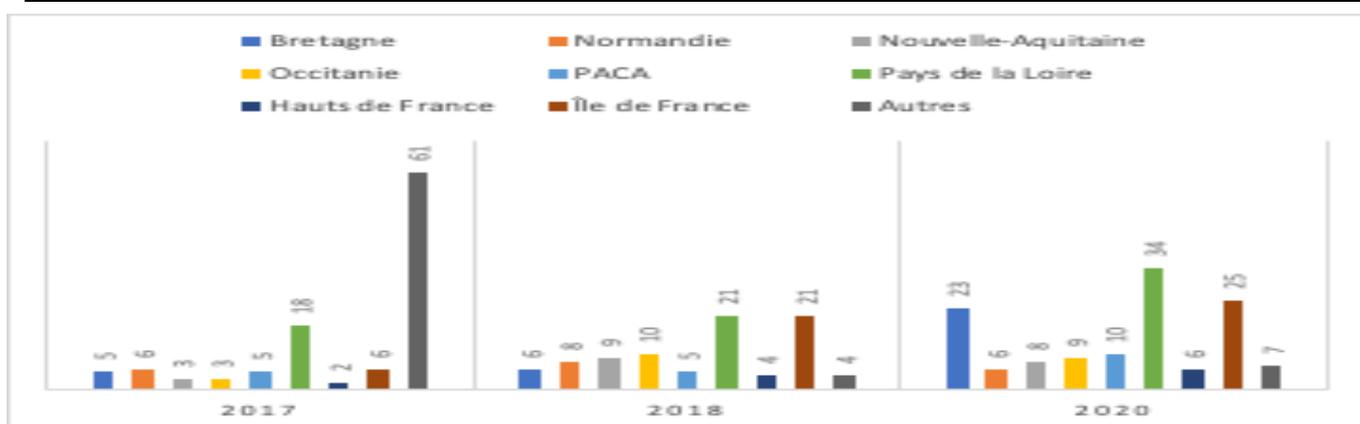


TPE (très petites entreprises) : entreprises de moins de 10 salariés
PME (petites et moyennes entreprises) : entreprises de 10 à 249 salariés
ETI (entreprises de taille intermédiaire) : entreprises de 250 à 4 999 salariés
GdE (grandes entreprises) : entreprises de plus de 5 000 salariés

Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

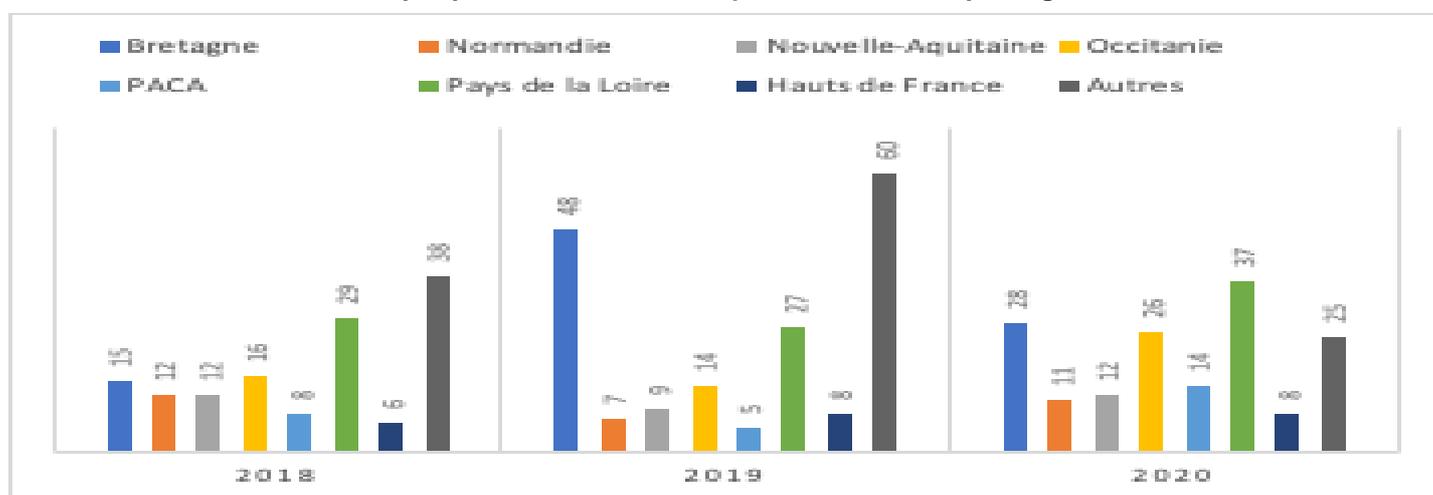
En 2018 et 2020 l'essentiel des entreprises sont localisées dans 8 régions : Bretagne, Occitane, Hauts-de-France, Normandie, PACA, Île-de-France, Nouvelle-Aquitaine et Pays de la Loire (cf : graphique 7). Nous retrouvons les 4 régions d'implantations des 3 appels d'offres (Bretagne, Hauts-de-France, Normandie et Pays de la Loire). Les Pays de la Loire et l'Île-de-France comptent près de 50% des entreprises ces deux années. La Bretagne, en 2020, s'affirme comme localisation privilégiée des sièges sociaux d'entreprises positionnées sur l'éolien en mer posé, puisqu'elle est en 3ème position avec à peine 2 structures de moins qu'en Île-de-France (23 contre 25 respectivement). Le reste des prestataires et/ou fournisseurs est réparti de façon presque homogène sur les autres des 8 régions.

Graphique 7 : nombre d'entreprises chez les prestataires et/ou fournisseurs en fonction de la localisation



Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

Graphique 8 : nombre d'entreprises de la filière par région



Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

Les structures de formation et de R&D, sur les 16 en 2016, 4 étaient en Île de France et 4 en Pays de la Loire, 3 en Bretagne, 2 en Normandie et 2 en région PACA, puis 1 en Occitanie.

Les institutionnels en 2019 sont majoritairement des acteurs de développement économiques, ils sont au nombre de 12 sur les 26 répondants de cette catégorie, suivis de 9 acteurs publics et collectivités, puis de 5 gestionnaires portuaires.

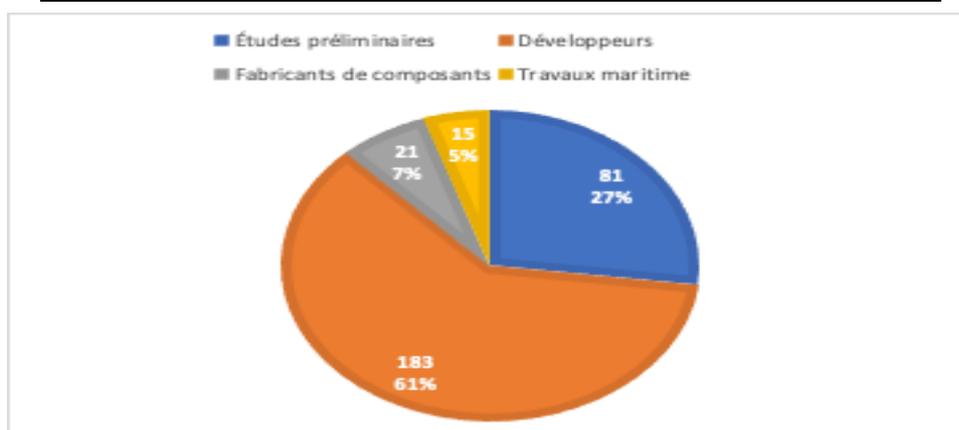
Ces trois dernières années au moins plus de 65% des entreprises de la filière étaient implantées dans les 8 régions citées ci-dessus, à l'exception de l'Île-de-France (soit 72% en 2018, 66% en 2019 et 85% en 2020) (cf : graphique 8). La région des Pays de la Loire est en tête, en 2019 la Bretagne devient la plus attractive ponctuellement (avec une augmentation de 33 entreprises en un an) et en 2020 ces deux régions et l'Occitane abritent 57% de celles-ci.

III.3.2) Les emplois de la filière

Pour cette partie il est intéressant de se référer à la partie III) 2.4) apportant des éléments de contexte.

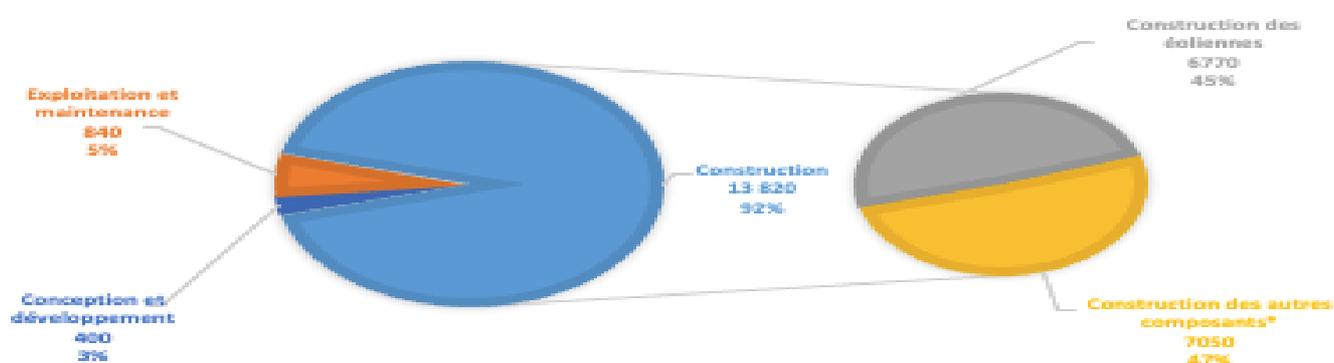
En 2015, 600 ETP directs et indirects (300 directs et 300 indirects) sont liés au marché domestique de l'éolien en mer d'après l'ADEME (cf : graphique 9).

Graphique 9 : répartition par maillons des ETP directs estimés en 2015



Le premier stade de la filière, le développement mobilisant bureaux d'études et développeurs, concentre près de 90% des ETP directs. Ce qui peut s'expliquer par le fait qu'en 2015 les fins des appels d'offres étaient encore proches, 3 ans après la première et à peine 1 an pour la deuxième. Nous pouvons dire que ces chiffres concernent principalement l'éolien en mer posé, au vu du développement du flottant à ce moment-là. 100 ETP induits par les revenus des emplois directs et indirects consommés sont estimés.

Graphique 10 : répartition par maillons des emplois directs et indirects estimés en 2018



*Les autres composants sont : les câbles inter-éoliennes, les fondations, les sous-stations, le raccordement et les travaux.

Source : « La filière éolienne maritime en France », « Focus sur les régions Bretagne, Normandie et Pays de la Loire ». Carte. SER. 2018. Lien : https://xrm3.eudonet.com/XRM/at?tok=A8F1EB23&cs=0Ye4iKYzgX56161qZfT1b05w_E8SUoWtM2_vFU96QrIJC6gdRrkWe2yZnPjndbEi&p=O34QDAZjKSClvCd6KxO3svvUkCYyM7QFvxLir1j0aPQpuEpdScL7aN2ECw-AxE33-G9qDX3IGVs%3d

En 2018, le SER estime à 15 000 le nombre d'emplois directs et indirects de la filière. La construction comptabilise 13 820 emplois, soit 92% de l'ensemble (cf : graphique 10). La construction, ici, prend en compte le stade de fabrication et assemblage des composants, ainsi que celui d'installation et de mise en service du site. Cette année est celle où les entreprises françaises commencent à se munir de moyens de production en vue de fabriquer les composants des futurs parcs. Les emplois pour l'exploitation et la maintenance, sont ceux qui sont le plus susceptibles de durer, comme ce sont des postes créés au moins pour la durée de vie d'un parc (20 à 25 ans actuellement).

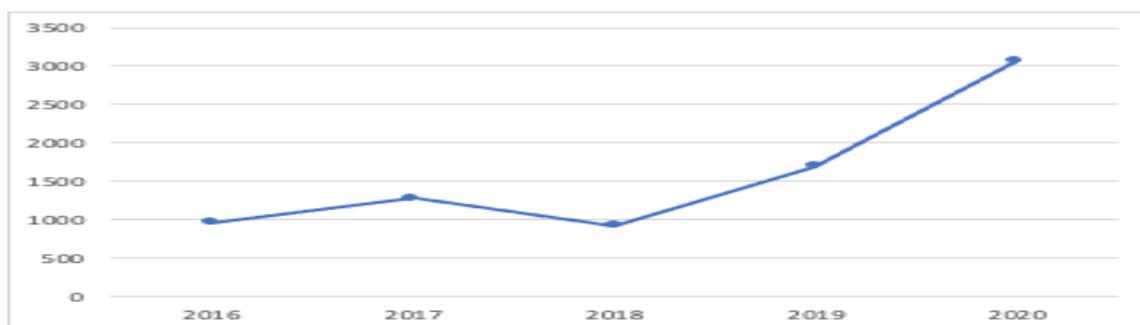
Tableau 29 : nombres approximatifs d'ETP de 2016 à 2020 et leur répartition par acteurs

Années/ Acteurs	2016	2017	2018	2019	2020
Prestataires et/ou fournisseurs	967	1280	926	1696	3074
Développeurs-exploitants	X	204	220	310	403
Structures de formations et de R&D	X	X	X	57	72
Institutionnels	X	19	22	18	27

Les X sont les données non informées par les sources.

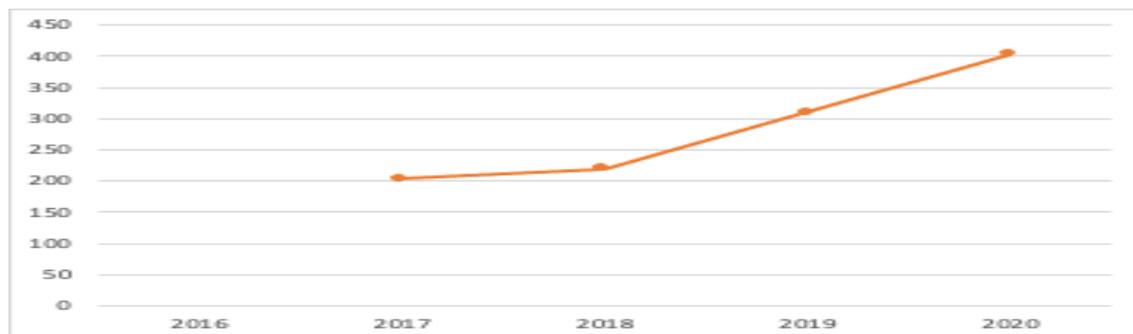
Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

Les ETP chez les prestataires et/ou fournisseurs ont triplé sur la période (cf : graphique 11). La baisse de 2018, s'explique par un contexte de recul global des emplois.

Graphique 11 : évolution des ETP chez les prestataires et/ou fournisseurs

Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

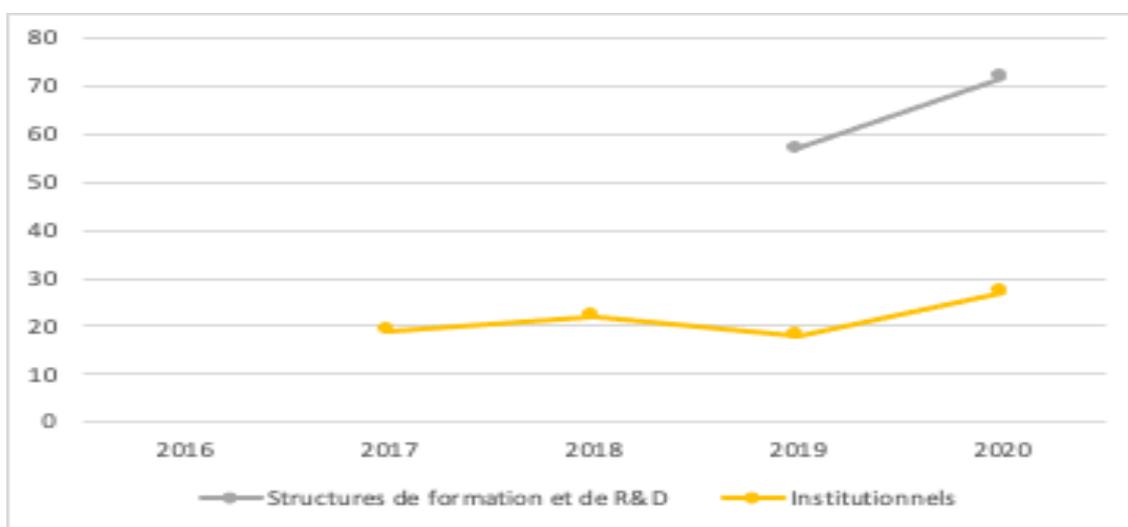
Chez les développeurs-exploitants, le nombre d'ETP a doublé de 2017 à 2020 (cf : graphique 12).

Graphique 12 : évolution des ETP chez les développeurs-exploitants

Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

Les structures de formation et de R&D ont gagné environ 10 ETP de 2017 à 2020 (cf : graphique 13). Les travaux de recherche mobilisent d'importantes ressources humaines sur la technologie étudiée, mais ils sont désormais portés par les prestataires et/ou fournisseurs de la chaîne de valeur (turbiniers, constructeurs de fondations, etc.) et leurs sous-traitants. Les activités de formation (notamment professionnelle) sont de plus en plus nombreuses. Du côté des institutionnels, plus de 10 ETP en plus en 1 an, du 31 décembre 2019 à 2020 (cf : graphique 13). En 2020, 16 sur 27 sont pour les gestionnaires de port, 6 pour les acteurs de développement économique et 5 pour les acteurs publics.

Graphique 13 : évolution des ETP dans les structures de formation et de R&D et chez les institutionnels



Source : rapports annuels de l'Observatoire des Energies de la Mer (cf : bibliographie de la partie)

III.3.3) Prévisions des emplois de la filière à plus long terme

L'ADEME a fait des estimations des ETP directs par le biais de scénarios, lesquels sont présentés ci-dessous (cf : image 13).

Ce qui change entre tous ces scénarios pour la filière de l'éolien en mer posé à horizon 2050, c'est sa part dans l'électricité éolienne (passant de 12% à 50%) et son niveau d'import (passant de 35% à 9%). Le niveau du coût moyen de l'énergie est fonction du nombre d'éoliennes installées, plus il y en a plus il est élevé.

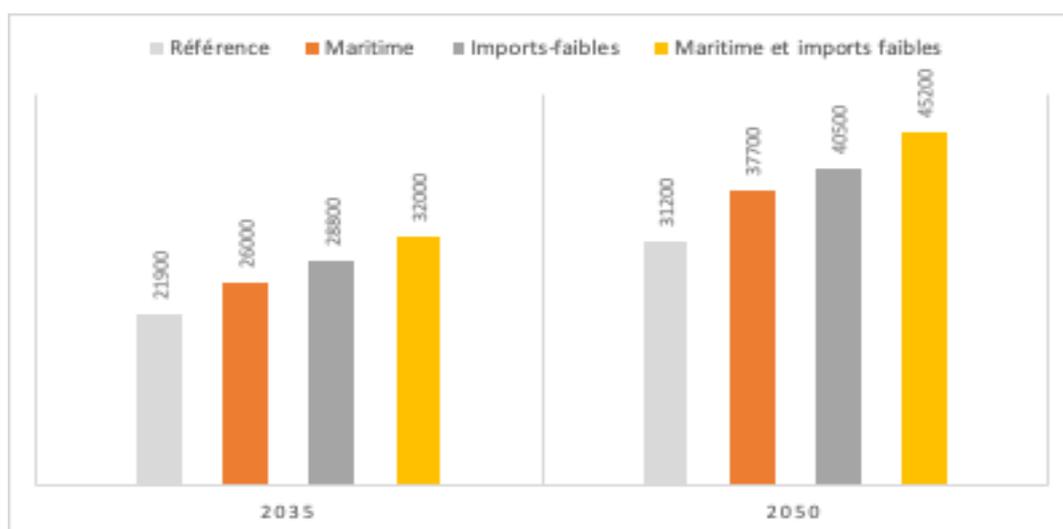
Image 13 : les différents scénarios de l'ADEME à la base des prévisions à long terme des ETP directs

		Cadrage énergétique	
		Eolien en mer bas	Eolien en mer haut
Cadrage filière	Pas de structuration de la filière FR	<p>Scénario de référence</p> <ul style="list-style-type: none"> Part de l'éolien en mer dans l'électricité éolienne à 12% et coût moyen pondéré du MWh éolien bas ; et Propension à importer de la filière éolienne constante par rapport à l'historique (50% pour le terrestre et 35% pour le maritime). 	<p>Scénario « Maritime »</p> <ul style="list-style-type: none"> Part de l'éolien en mer dans l'électricité éolienne à 50% et coût moyen pondéré du MWh éolien élevé ; et Propension à importer de la filière éolienne constante par rapport à l'historique (50% pour le terrestre et 35% pour le maritime).
	Structuration accrue de la filière FR	<p>Scénario « Imports faibles »</p> <ul style="list-style-type: none"> Part de l'éolien en mer dans l'électricité éolienne à 12% et coût moyen pondéré du MWh éolien bas ; et Propension à importer de la filière éolienne en diminution (10% pour le terrestre et 9% pour l'éolien en mer). 	<p>Scénario « Maritime - imports faibles »</p> <ul style="list-style-type: none"> Part de l'éolien en mer dans l'électricité éolienne à 50% et coût moyen pondéré du MWh éolien élevé ; et Propension à importer de la filière éolienne en diminution (10% pour le terrestre et 9% pour l'éolien en mer).

Source : « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>

À moyen comme à long termes, un plus haut niveau de développement de l'éolien en mer posé couplé avec une structuration accrue de la filière éolienne sur le sol français est la configuration la plus prometteuse en termes de création d'ETP directs (cf : graphique 14). Il s'agit du scénario « maritime-imports faibles » avec plus de 42 000 ETP directs à horizon 2050, soit une croissance de plus de 600% (en 2015 quel que soit le scénario, il y en a 6 700 dans la filière éolienne).

Graphique 14 : nombre d'ETP directs estimés en fonction des scénarios



Source : « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>

Les scénarios qui nous intéressent sont ceux qui envisagent une part importante de l'éolien en mer posé dans le mix électrique à horizon 2050 (« maritime » et « maritime-imports faibles »), ainsi que le scénario de référence.

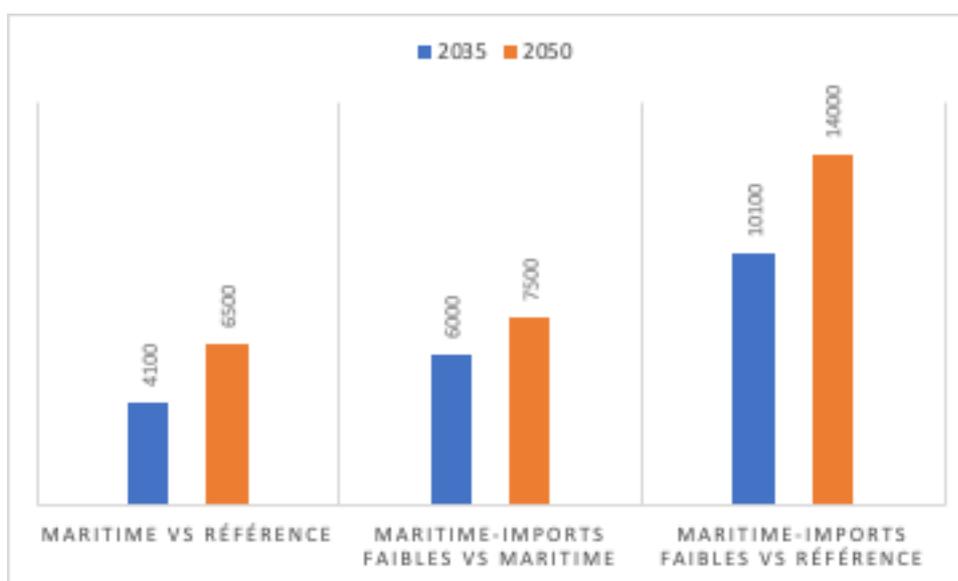
La comparaison entre ces scénarios, nous permet les analyses suivantes (cf : graphique 15) :

-Scénario « maritime » vs référence : l'effet de l'augmentation de la part de l'éolien en mer posé dans l'électricité éolienne lorsque la filière éolienne n'est pas structurée sur le territoire est de 6 500 ETP directs en 2050.

-Scénario « maritime-imports faibles » vs maritime : l'effet de la structuration de la filière éolienne sur le territoire lorsque la part de l'éolien en mer est élevée est de 7 500 ETP directs en 2050. Ils sont principalement créés pour la fabrication des éoliennes et des fondations.

-Scénario « maritime-imports faibles » vs référence : l'effet de la conjonction d'une structuration accrue de la filière éolienne et d'une part importante de l'éolien en mer posé est de 14 000 emplois en plus en 2050.

Graphique 15 : différences d'ETP directs entre les scénarios

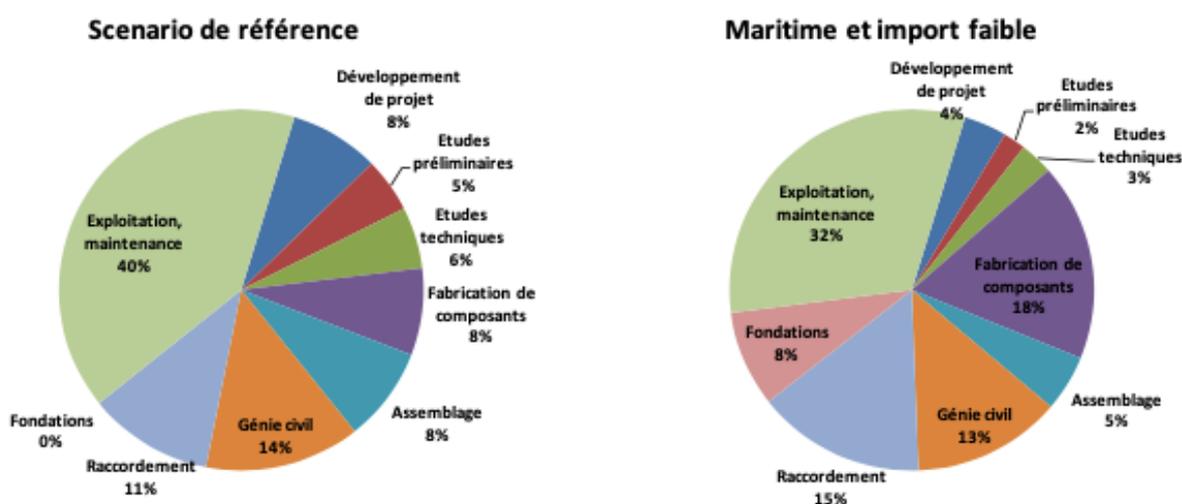


Source : « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>

Nous constatons l'importance de la structuration de la filière dans la création d'ETP directs. Elle est à la base de plus de la moitié des créations estimées dans le scénario « maritime-imports faibles » (7 500 sur 14 000), devant même celles résultant du seul effet de l'augmentation de la part de l'éolien en mer posé dans l'électricité éolienne (6 500 contre 7 500). En 2035, le constat reste le même.

La répartition par maillons de ces emplois évolue fortement du scénario de référence au scénario « maritime-imports faibles » à long terme (cf : graphique 16).

Graphique 16 : comparaison de la répartition des ETP directs par maillons entre le scénario de référence et celui « maritime et imports faibles »

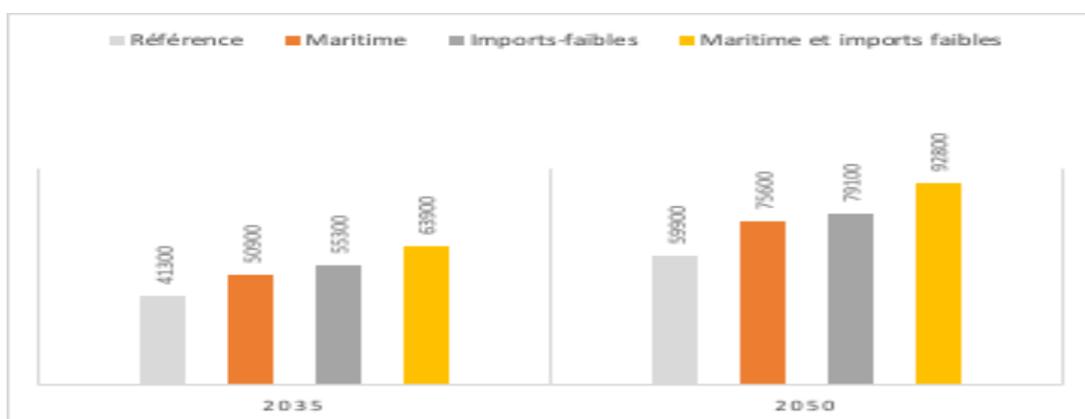


Source : « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>

Nous avons vu qu'une part importante de l'éolien en mer posé dans le mix électrique français couplé à une baisse des imports entrainerait une forte augmentation des ETP directs. La répartition de ces derniers dans les différents maillons, permet de savoir où cette augmentation a lieu. Les emplois sont créés principalement au niveau de la fabrication de composants (plus 10 points de pourcentage supplémentaires pour le scénario « maritime-import faible ») et des fondations (plus 8 points), puis pour le raccordement (plus 3 points).

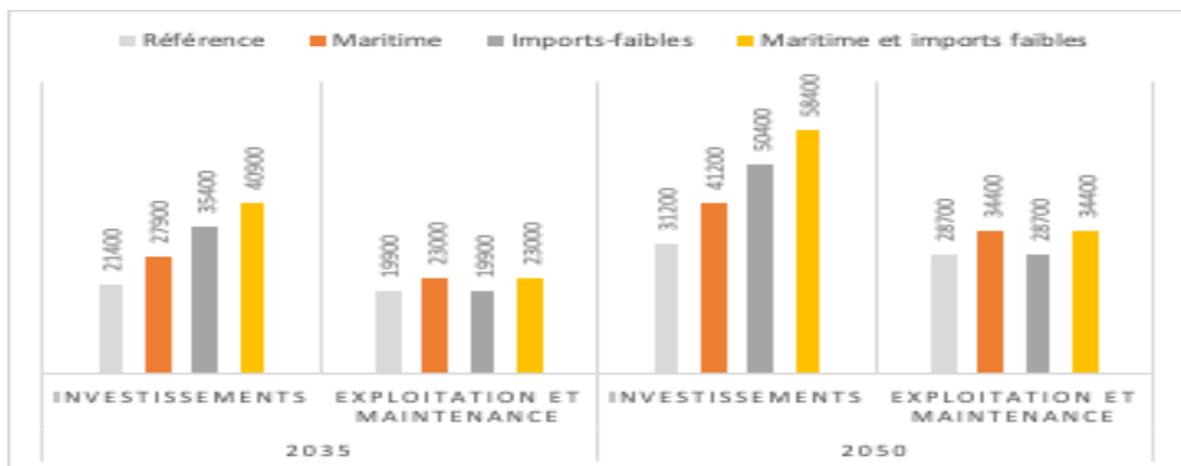
Nous regardons, maintenant, du côté des estimations d'ETP directs et indirects (cf : graphique 17). Les mêmes conclusions peuvent être faites qu'avec les ETP directs, seule chose qui change c'est le volume d'emplois qui est plus important, comme les indirects s'y ajoutent. Par exemple, le scénario « maritime-imports faibles » reste en tête concernant le nombre d'emploi avec près de 93 000 ETP directs et indirects à horizon 2050, soit une augmentation de 700% (en 2015 quel que soit le scénario, il y en a 11 500 dans la filière éolienne).

Graphique 17 : nombre d'ETP directs et indirects estimés en fonction des scénarios



Source : « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>

Graphique 18 : répartition des ETP directs et indirects entre phase d'investissements et phase d'exploitation et maintenance



Source : « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>

La phase d'investissements créait plus d'emplois que la phase d'exploitation et de maintenance quels que soit l'année et le scénario (cf : graphique 18). Toutefois, la deuxième assure des emplois stables, alors que dans la première ils sont de nature plus temporaire. Cette dernière nécessite aucun imports, donc le scénario « imports-faibles » à un nombre égal d'emploi avec celui de référence, puis de même pour le scénario « maritime et imports-faibles » avec le « maritime ».

D'après le SER en 2028 la répartition géographique des emplois directs et indirects par maillons sera la suivante :

-Développement : les emplois directs seront concentrés dans 5 régions (les 4 des trois premiers appels d'offres et l'Île-de-France), la Normandie en tête avec 34%. Les emplois indirects eux seront sur l'ensemble du territoire, notamment en Île-de-France (25%), Normandie (19%) et Pays de la Loire (14%).

-Fabrication d'équipements : les emplois directs sont uniquement dans les 4 régions des trois premiers appels d'offres, la Normandie en détient 70%. Les indirects sont partout et surtout en Normandie (38%), Pays de la Loire (13%) et Île-de-France (10%).

-La construction et l'installation : les emplois directs sont dans les 4 régions des appels d'offres, mais aussi en Nouvelle-Aquitaine (10%). Les indirects sont sur toute la France et principalement en Normandie (24%) et Pays de la Loire (17%).

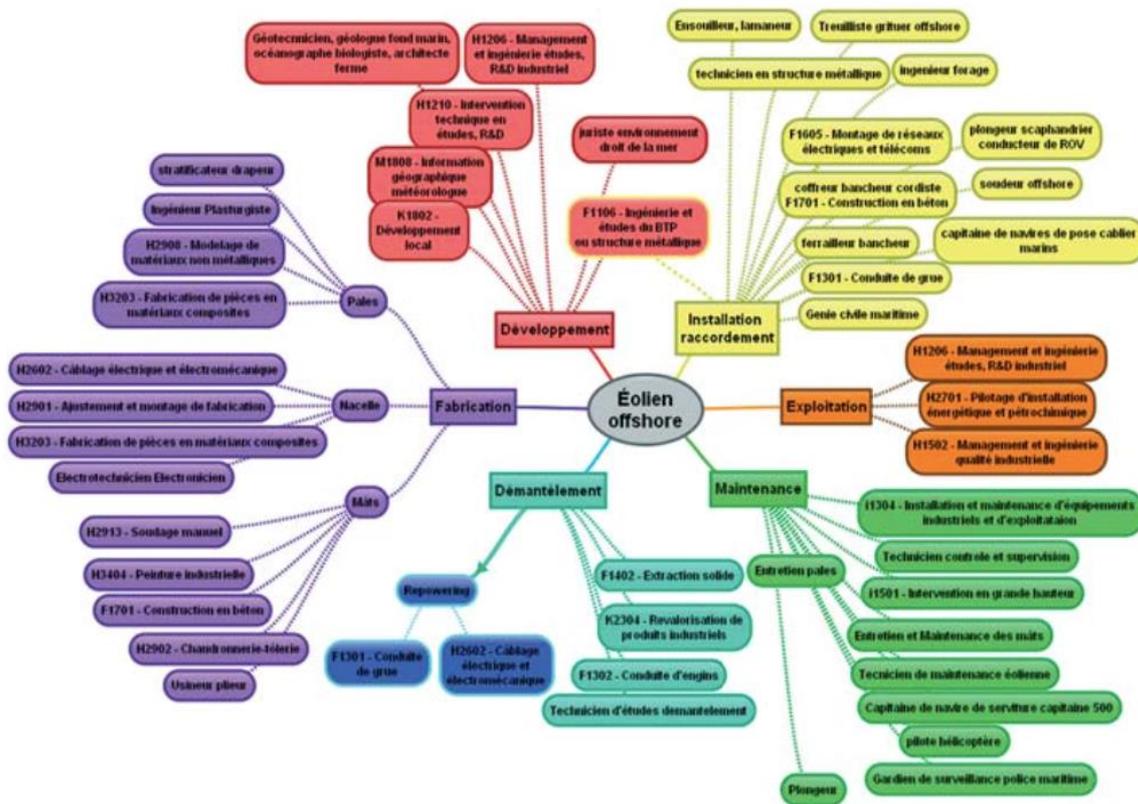
-L'exploitation et la maintenance : les emplois directs sont uniquement sur les 4 régions avec la Normandie en tête. Pour ceux indirects, tout le territoire est concerné et comme le maillon précédent ils sont principalement en Normandie et Pays de la Loire avec les mêmes pourcentages.

En définitive, les emplois directs sont globalement dans les 4 régions des 3 premiers appels d'offres, la Normandie est la première région quel que soit le maillon et les Pays de la Loire la deuxième. Les emplois indirects se trouvent dans toutes les régions, toujours avec le même classement que les directs, à l'exception du développement où l'Île-de-France est première, Normandie deuxième et Pays de la Loire troisième.

III.3.4) Une réflexion sur les emplois dits « nouveaux »

L'idée d'emplois nouveaux ou de création d'emplois est à nuancer comme la plupart existent déjà. Il s'agit d'anciens métiers valorisés ou/et maritimisés (cf : image 14). Ils devront quand même s'adjoindre de compétences additionnelles. Les savoir-faire sont réagencés, approfondis et adaptés aux caractéristiques spécifiques des éoliennes en mer. La filière nécessite des métiers des industries métallurgiques qui sont rares et en tensions. En phase d'exploitation et de maintenance il s'agit plus de métiers spécifiques et peu connus, directement liés à l'environnement marin. Ils proviennent du secteur de l'offshore (filière du Oil & Gas ou celle de l'extraction minière sous-marine, ou encore dans le génie et travaux publics maritimes).

Image 14 : principaux métiers sur la CdV de l'éolien en mer



Source : « Chapitre 9 : la filière de l'éolien offshore posé en France : nouveaux métiers ou nouveau regard sur les métiers ? ». Gérard Podevin. 2018. Lien : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01792232/document>

CONCLUSION

Pour conclure, à ce jour 7 parcs éoliens en mer posés ont été attribués, en Bretagne, Pays de la Loire, Normandie et Hauts-de-France, par les 3 premiers appels d'offres pour un total de plus de 3,5 GW. Saint-Nazaire est le plus avancé, il devrait être mis en service courant 2022. La PPE prévoit un objectif de 2,4 GW d'éolien en mer en service en 2023 et de 5,2 à 6,2 GW en 2028. Le potentiel de cette technologie en France, forte de son vaste espace maritime, est estimé à 30 GW. Deux fermes commerciales de plus sont en projet dans le Cotentin et à la façade Sud-Atlantique pour un total de 2 à 2,5 GW supplémentaires. L'approche filière permet de mettre en évidence l'organisation et le fonctionnement complexes, du fait de la multitude d'acteurs et des relations qui les lient, au sein de la filière de l'éolien en mer posé à chaque maillon de sa Chaîne de Valeur. Cette énergie marine renouvelable nécessite des investissements colossaux de l'ordre de 2 milliards d'euros en moyenne par parc, les deux premiers pôles de dépense sont la turbine et le raccordement au réseau. Lorsque les parcs seront en service, des coûts d'exploitation et de maintenance sont à prévoir, ils sont moindres à hauteur de 20% des coûts de production. À terme, le coût moyen de l'énergie aura une tendance à la baisse, à l'instar du parc de Dunkerque à 44 €/MWh. Les fermes sont subventionnées, par le dispositif de complément de rémunération, pour que les industriels puissent couvrir leurs coûts et s'assurer d'une rentabilité. Le soutien public restant à payer pour les projets éoliens en mer déjà engagés est estimé entre 21,9 et 22,7 milliards d'euros au maximum. Le développement de cette énergie marine renouvelable impulse une industrie croissante et créatrice de richesse. En 2020, les prestataires et/ou fournisseurs de la chaîne productive sont les acteurs dégagant le chiffre d'affaires le plus important (plus de 700 millions d'euros) et les développeurs-exploitants, eux, réalisant les investissements les plus élevés dépassant le milliard d'euros. L'industrie de l'éolien en mer posé c'est environ 200 entreprises principalement dans les 4 régions des AO et en Occitanie, PACA et Nouvelle-Aquitaine pour 3/5 des prestataires et/ou fournisseurs, lesquels sont majoritairement des PME. Des emplois sont créés, notamment grâce aux différents sites industriels (usines, hubs logistiques, ports, etc.). C'est 15 000 emplois directs et indirects en 2018, dont 92% pour la construction des turbines et autres composants. Au 31 décembre 2019 à celui de 2020 c'est 1 500 ETP

supplémentaires, passant d'environ plus de 2 000 à plus de 3 500, preuve de l'attractivité de la filière. Les prestataires et/ou fournisseurs occupent presque la totalité de ces postes. En 2050, près de 93 000 ETP directs et indirects sont estimés pour l'éolien dans un scénario où il y a un important développement de l'éolien en mer conjugué avec une forte structuration sur le territoire. Ces ETP sont principalement créés pour la phase d'investissements avec des emplois plus temporaires que pour la phase d'exploitation et de maintenance offrant des emplois stables. Les emplois directs sont globalement dans les 4 régions des 3 premiers appels d'offres (la Normandie est la première région quel que soit le maillon et les Pays de la Loire la deuxième) et les emplois indirects se trouvent sur tout le territoire. Il est important de notifier le fait que parler d'emplois « nouveaux » pour qualifier ces emplois est peu approprié, puisqu'il s'agit pour la plupart d'emplois peu connus et/ou rares, qui sont valorisés et/ou maritimisés.

BIBLIOGRAPHIE/ WEBOGRAPHIE PARTIE PAR PARTIE

I) PARTIE INTRODUCTIVE : ÉTAT DES LIEUX DE LA FILIERE

I.1) Le cas français : présentation des 3 premiers AO français

- « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>
- <https://parc-eolien-en-mer-de-fecamp.fr>
- <https://parc-eolien-en-mer-de-saint-nazaire.fr>
- <https://iles-yeu-noirmoutier.eoliennes-mer.fr>
- <https://parc-eolien-en-mer-de-dunkerque.fr>
- <https://www.parc-eolien-en-mer-du-calvados.fr>
- <https://dieppe-le-treport.eoliennes-mer.fr>
- <https://www.toutvivre-cotesdarmor.com/Les-grands-projets-structurants/Le-parc-eolien-offshore-en-Baie-de-Saint-Brieuc>
- <https://www.eoliennesenmer.fr>

I.2) État des lieux au niveau mondial et positionnement de la France

- « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>

- « Analyse économique de l’empreinte territoriale des projets d’énergies marines renouvelables ». « Le cas de l’éolien posé en mer Bretagne ». Thèse. Soazig Lalancette. 2019. Lien : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02081035/document>
- « Offshore Wind in Europe » « Key trends and statistics 2018 ». Report. Wind Europe. 2019. Lien : <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Offshore-Statistics-2018.pdf>
- « Offshore Wind Outlook 2019 ». World Energy Outlook Special Report. IEA. 2019. Lien : https://iea.blob.core.windows.net/assets/495ab264-4ddf-4b68-b9c0-514295ff40a7/Offshore_Wind_Outlook_2019.pdf
- « Marché électrique ». Cours. M2 I3E Bordeaux. 2021.

I.3) Les objectifs de la Programmation-Pluriannuelle de l’Energie (PPE)

- « Décret n°2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l’énergie ». NOR : TRER2006667D. Décret. Ministère de la transition écologique et solidaire. 2020. Lien : <https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>
- <https://www.eoliennesenmer.fr>
- https://ec.europa.eu/clima/index_fr
- <https://www.ecologie.gouv.fr/eolien-en-mer-0>
- <https://fee.asso.fr>
- <https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr>
- « Changement climatique ». Cours. M2 I3E Bordeaux. 2021.

II) L’APPROCHE FILIERE : CARTOGRAPHIE DE BASE

II.1) L’approche filière en théorie

- « Diagnostic chaîne de valeur industrielle ». « Un outil intégré ». ONUDI. 2011. Lien : https://www.unido.org/sites/default/files/2012-02/FR_VCD_0.pdf
- « Value Links Manual ». « The Methodology of Value Chain Promotion First Edition. Manual. GTZ. 2007. Lien : https://www.shareweb.ch/site/EI/Documents/PSD/Tools/Resource_Box/Project%20Identification/Situation%20and%20actor%20analysis/GTZ-Manual-ValueChainPromotion-en.pdf
- « L'« APPROCHE FILIERE » : Conceptions, avantages et risques pour l'agriculture familiale ». Rapport. CSA. 2013. Lien : http://www.csa-be.org/IMG/pdf_Rapport_Filiere_FINAL.pdf
- « L'approche filière ». « Analyse fonctionnelle et identification des flux ». Module EASYPol 043. FAO. 2005. Lien : <http://www.fao.org/3/am350f/am350f.pdf>

II.2) L'analyse fonctionnelle

- « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>
- « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>.
- « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Annexes du rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>
- « Les énergies de la mer : la dynamique est lancée ! ». Rapport n°4. Observatoire des Energies de la Mer. 2020. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2020.pdf>

- « Annuaire de l'industrie éolienne et des Energies Marines Renouvelables en France ». Annuaire. Windustry France. 2015-2016. Lien : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-25749-annuaire-windustry-2015-16.pdf>
- « Analyse du marché, des emplois et des enjeux de l'éolien en France ». Observatoire de l'éolien. 2020. Lien : <https://fee.asso.fr/pub/observatoire-de-leolien-2020/>
- « L'annuaire de la filière française des EMR ». GICAN et SER. 2015. Lien : https://gican.asso.fr/files/presses/DOC_EMR_fiches_BD_161015.pdf
- « Annuaire éolien FEE ». « FEE Wind energy directory ». Annuaire. FEE. 2016. Lien : <https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/12/Annuaire-FEE-20156-INTERACTIF-post-EWEA.pdf>
- « Le démantèlement d'un parc éolien en mer ». DMO Fiche n°10. Eoliennes en mer au large de la Normandie. Lien : <https://eolmernormandie.debatpublic.fr/images/documents/dmo/fiches/dmo-fiche-10-le-demantellement-d-un-parc-eolien-en-mer.pdf>
- « Eolien en mer : une empreinte environnementale réduite sur l'ensemble du cycle de vie ». Note de l'Observatoire n°12. Observatoire des Energies de la Mer. 2021. Lien : <https://merenergies.fr/media/note-OEM-12.pdf>
- « Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières ». Rapport final. ADEME, BVG Associates, GS Consulting et INNOSEA. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1780-caracterisation-des-innovations-technologiques-du-secteur-de-l-eolien-et-maturites-des-filieres.html>
- « Quelques explications sur l'échelle des TRL (Technology readiness level). Annexes. DGA. 2009. Lien : https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/politique-et-enjeux/innovation/tc2015/technologies-cles-2015-annexes.pdf
- « La filière éolienne maritime en France ». « Focus sur les régions Bretagne, Normandie et Pays de la Loire ». Carte. SER. 2018. Lien : <https://xrm3.eudonet.com/XRM/at?tok=A8F1EB23&cs=0Ye4iKYzgX56161qZfT1b05>

w_E8SUoWtM2_vFU96QrIJC6gdRrkWe2yZnPjndbEi&p=O34QDAZjKSClvCd6KxO3svvUkCYyM7QFvxLir1j0aPQpuEpdScL7aN2ECw-AxE33-G9qDX3IGVs%3d

- <https://www.ecologie.gouv.fr/eolien-en-mer-0>
- <https://www.energiesdelamer.eu/2021/05/20/percee-technologique-cle-dans-les-pales-deoliennes-recyclables-avec-cetec/>
- « Chaîne de Valeur ». Cours. ENSAE.
- <https://www.bureauveritas.fr/besoin/certification-de-projet-dans-le-domaine-eolien>
- <https://www.rte-france.com/projets/raccorder-les-energies-marines-renouvelables>

III) L'APPROCHE FILIERE : ANALYSE ECONOMIQUE DE LA FILIERE

III.1) Provenance et description des données mobilisées

- « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>
- « L'annuaire de la filière française des EMR ». GICAN et SER. 2015. Lien : https://gican.asso.fr/files/presses/DOC_EMR_fiches_BD_161015.pdf
- « Annuaire éolien FEE ». « FEE Wind energy directory ». Annuaire. FEE. 2016. Lien : <https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/12/Annuaire-FEE-20156-INTERACTIF-post-EWEA.pdf>
- « Annuaire de l'industrie éolienne et des Energies Marines Renouvelables en France ». Annuaire. Windustry France. 2015-2016. Lien : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-25749-annuaire-windustry-2015-16.pdf>
- « La filière éolienne maritime en France ». « Focus sur les régions Bretagne, Normandie et Pays de la Loire ». Carte. SER. 2018. Lien : <https://xrm3.eudonet.com/XRM/at?tok=A8F1EB23&cs=0Ye4iKYzgX56161qZfT1b05>

w_E8SUoWtM2_vFU96QrIJC6gdRrkWe2yZnPjndbEi&p=O34QDAZjKSClvCd6KxO3svvUkCYyM7QFvxLir1j0aPQpuEpdScL7aN2ECw-AxE33-G9qDX3IGVs%3d

- <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definitions>
- <https://parc-eolien-en-mer-de-saint-nazaire.fr>
- <https://parc-eolien-en-mer-de-fecamp.fr>

III.2) Quantification et description économique

- « Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières ». Rapport final. ADEME, BVG Associates, GS Consulting et INNOSEA. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1780-caracterisation-des-innovations-technologiques-du-secteur-de-l-eolien-et-maturites-des-filieres.html>
- « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>
- « Les énergies de la mer : une réalité industrielle, une dynamique collective ». Rapport n°1. Observatoire des Energies de la Mer. 2017. Lien : <https://merenergies.fr/media/OEM-Rapport.pdf>
- « Les énergies de la mer : une réalité industrielle, une dynamique collective ». Rapport n°2. Observatoire des Energies de la Mer. 2018. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2018.pdf>
- « Les énergies de la mer : les emplois essentiels à la transition énergétique française ». Rapport n°3. Observatoire des Energies de la Mer. 2019. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2019.pdf>
- « Les énergies de la mer : la dynamique est lancée ! ». Rapport n°4. Observatoire des Energies de la Mer. 2020. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2020.pdf>

- « Energies renouvelables en mer : les chantiers s'activent, les emplois en forte croissance ! ». Rapport n°5. Observatoire des Energies de la Mer. 2021. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2021.pdf>
- « Groupe de travail n°9 « coûts » ». « Les hypothèses de coûts des énergies renouvelables et du nucléaire ». Document de cadrage n°2. RTE. 2020.
- « Raccordement de l'éolien offshore ». « Retombées socio-économiques des projets de RTE ». Document de travail. RTE. 2021.
- « Coûts des énergies renouvelables et de récupération en France ». ADEME, In Numeri et Enerdata. 2020. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/765-couts-des-energies-renouvelables-et-de-recuperation-en-france-9791029713644.html>
- « Réglementations applicables aux projets éoliens : la nouvelle donne ». Etude n°65. BDEI. 2016. Lien : <https://www.jonesday.com/files/Publication/a3c7d0ab-8ba0-4c92-8f13-9eb12a192d4c/Presentation/PublicationAttachment/d45080bd-4415-40de-bc5d-f6cced0833fa/BDEI-Sept%202016.pdf>
- « Combien coûte un parc éolien en mer en France ? Pourquoi et comment l'État a-t-il choisi de soutenir le développement de l'éolien en mer en France ? ». DMO Fiche n°12. Eoliennes en mer au large de la Normandie. Lien : <https://eolmernormandie.debatpublic.fr/images/documents/dmo/fiches/dmo-fiche-12-combien-coute-un-parc-eolien-en-france.pdf>
- « Pourquoi et comment l'État a-t-il choisi de soutenir le développement de l'éolien en mer en France ? ». EES Fiche n°8. Projet d'éoliennes flottantes en méditerranée et leur raccordement. Lien : https://www.eoliennesenmer.fr/sites/eoliennesenmer/files/fichiers/2021/07/EES_AO6_Fiche8_WEB_0.pdf
- « Evaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires ». Rapport. SER. 2020. Lien : https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/evaluationeconomiqueenr_rapport_12062020-vf.pdf

- « Les ports français, acteurs incontournables du déploiement des énergies marines renouvelables ». Note de l'Observatoire n°8. Observatoire des Energies de la Mer. 2020. Lien : <https://merenergies.fr/media/note-OEM-08.pdf>
- « Le baromètre 2020 des énergies renouvelables électriques en France ». Rapport n°11. Observatoire des Energies Renouvelables. 2020. Lien : http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/energie_renouvelable_france/ObservER-Barometre-EnR-Electrique-France-2020.pdf

III.3) Quantification et description sociale

- « Les énergies de la mer : une réalité industrielle, une dynamique collective ». Rapport n°1. Observatoire des Energies de la Mer. 2017. Lien : <https://merenergies.fr/media/OEM-Rapport.pdf>
- « Les énergies de la mer : une réalité industrielle, une dynamique collective ». Rapport n°2. Observatoire des Energies de la Mer. 2018. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2018.pdf>
- « Les énergies de la mer : les emplois essentiels à la transition énergétique française ». Rapport n°3. Observatoire des Energies de la Mer. 2019. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2019.pdf>
- « Les énergies de la mer : la dynamique est lancée ! ». Rapport n°4. Observatoire des Energies de la Mer. 2020. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2020.pdf>
- « Energies renouvelables en mer : les chantiers s'activent, les emplois en forte croissance ! ». Rapport n°5. Observatoire des Energies de la Mer. 2021. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2021.pdf>
- « La filière éolienne maritime en France ». « Focus sur les régions Bretagne, Normandie et Pays de la Loire ». Carte. SER. 2018. Lien : https://xrm3.eudonet.com/XRM/at?tok=A8F1EB23&cs=0Ye4iKYzgX56161qZfT1b05w_E8SUoWtM2_vFU96QrIJC6gdRrkWe2yZnPjndbEi&p=O34QDAZjKSClvcD6KxO3svvUkCYmM7QFvxLir1j0aPQpuEpdScL7aN2ECw-AxE33-G9qDX3IGVs%3d

- « Etude sur la filière éolienne française bilan, prospective, stratégie ». Rapport final. ADEME, E-CUBE Strategy consultants, I Care & Consult, et in Numeri. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2073-etude-sur-la-filiere-eolienne-francaise-bilan-prospective-et-strategie-9791029709487.html>
- « Evaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires ». Rapport. SER. 2020. Lien : https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/evaluationeconomiqueenr_rapport_12062020-vf.pdf
- « Chapitre 9 : la filière de l'éolien offshore posé en France : nouveaux métiers ou nouveau regard sur les métiers ? ». Gérard Podevin. 2018. Lien : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01792232/document>

TABLE DES FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : présentation générale des 3 premiers AO	5
Tableau 2 : situation géographique des parcs	7
Tableau 3 : description technique des parcs	8
Tableau 4 : description productible des parcs	10
Tableau 5 : calendrier prévisionnel d'attribution d'appel d'offres pour l'éolien en mer posé en France	15
Tableau 6 : composants du rotor	29
Tableau 7 : composants de la nacelle	30
Tableau 8 : répartition des fondations dans la filière éolienne maritime française	32
Tableau 9 : composants d'un poste électrique en mer	41
Tableau 10 : répartition de la fin de vie des matériaux de construction	47
Tableau 11 : récapitulatif de l'analyse fonctionnelle faite sur la filière	54
Tableau 12 : liste des codes NAF (divisions/ branches) pour les fonctions et acteurs principaux	63
Tableau 13 : liste des codes NAF (sous-classes) pour les fonctions et acteurs principaux	64
Tableau 14 : liste non-exhaustive des codes NAF pour les fonctions et acteurs de soutien	66
Tableau 15 : sources de données des coûts	73
Tableau 16 : CAPEX moyen d'après les sources (€/MW)	75
Tableau 17 : investissement moyen avec un CAPEX de 3 631 k€/MW	76
Tableau 18 : investissement moyen d'après les investissements annoncés (€/MW)	76
Tableau 19 : les décompositions des coûts d'investissements proposées par les différentes sources	77
Tableau 20 : estimations résultant des décompositions des coûts d'investissements proposées par les différentes sources	78
Tableau 21 : OPEX moyen d'après les sources (€/MW/an)	79
Tableau 22 : LCOE moyen d'après les sources (€/MWh)	80
Tableau 23 : estimations des coûts en 2050	83
Tableau 24 : estimations des coûts en 2030	83
Tableau 25 : taux de variation des coûts à partir des moyennes des estimations centrales des sources utilisées	84
Tableau 26 : montants maximums du soutien public sur 20 ans pour les différents parcs	86
Tableau 27 : investissements portuaires en cours et en projet en 2016	93
Tableau 28 : nombres approximatifs d'entreprises positionnées sur la filière	94
Tableau 29 : nombres approximatifs d'ETP de 2016 à 2020 et leur répartition par acteurs	100

CARTES

Carte 1 : localisation des parcs	6
Carte 2 : implantation des turbiniers à proximité des ports	51
Carte 3 : répartition des emplois directs et indirects estimés en 2018 par sites industriels dans les régions de Bretagne, Normandie et Pays de la Loire	99

SCHÉMAS

Schéma 1 : les différents stades de la filière	24
Schéma 2 : principaux composants d'une éolienne	29
Schéma 3 : rangs des fournisseurs	34
Schéma 4 : représentation schématique des chaînes de valeur de la filière de l'éolien en mer posé, du transport maritime et des granulats marins	53
Schéma 5 : représentation simplifiée des liens entre les acteurs de la filière	56
Schéma 6 : apports principaux des rendez-vous professionnels	58
Schéma 7 : quelques exemples d'entreprises présentes sur le marché français (fonctions et acteurs principaux)	70
Schéma 8 : quelques exemples d'entreprises présentes sur le marché français (fonctions et acteurs de soutien)	71
Schéma 9 : stades de la filière comptabilisés en coûts bruts d'investissements (CAPEX) ou d'exploitation (OPEX)	73
Schéma 10 : mécanismes des dispositifs du soutien public	86

Schéma 11 : cas où l'État peut dégager des revenus par le dispositif de complément de rémunération	87
Schéma 12 : le cas de surcompensation	88

IMAGES

Image 1 : capacité installée cumulée (MW) et le nombre de turbines par pays en Europe en 2018	12
Image 2 : les étapes d'un projet éolien en mer posé	17
Image 3 : représentation des différents niveaux de description	25
Image 4 : composants des fondations de type monopieux, gravitaires et jackets	32
Image 5 : exemple d'une offre proposée par un bureaux de contrôle spécialisé dans l'éolien en mer	39
Image 6 : le raccordement d'un parc éolien en mer posé	41
Image 7 : échelle et description des différents niveaux du CRI	50
Image 8 : échelle et description des différents niveaux du TRL	50
Image 9 : présentation des trois bases de données de l'INSEE	59
Image 10 : les usages maritimes répertoriés par la NAF	60
Image 11 : décomposition des coûts de la filière de l'éolien en mer posé	74
Image 12 : formule de calcul du LCOE	80
Image 13 : les différents scénarios de l'ADEME à la base des prévisions à long terme des ETP directs	102
Image 14 : principaux métiers sur la CdV de l'éolien en mer	107

GRAPHIQUES

Graphique 1 : évolution des coûts à partir des moyennes des estimations centrales des sources utilisées	84
Graphique 2 : évolution des chiffres d'affaires des prestataires et/ou fournisseurs	90
Graphique 3 : évolution des investissements des prestataires et/ou fournisseurs	90
Graphique 4 : comparaison des évolutions des investissements des prestataires et/ou fournisseurs avec ceux des développeurs-exploitants	91
Graphique 5 : évolution des investissements portuaires	92
Graphique 6 : types d'entreprises chez les prestataires et/ou fournisseurs	95
Graphique 7 : nombre d'entreprises chez les prestataires et/ou fournisseurs en fonction de la localisation	96
Graphique 8 : nombre d'entreprises de la filière par région	96
Graphique 9 : répartition par maillons des ETP directs estimés en 2015	97
Graphique 10 : répartition par maillons des emplois directs et indirects estimés en 2018	98
Graphique 11 : évolution des ETP chez les prestataires et/ou fournisseurs	100
Graphique 12 : évolution des ETP chez les développeurs-exploitants	100
Graphique 13 : évolution des ETP dans les structures de formation et de R&D et chez les institutionnels	101
Graphique 14 : nombre d'ETP directs estimés en fonction des scénarios	102
Graphique 15 : différences d'ETP directs entre les scénarios	103
Graphique 16 : comparaison de la répartition des ETP directs par maillons entre le scénario de référence et celui « maritime et imports faibles »	104
Graphique 17 : nombre d'ETP directs et indirects estimés en fonction des scénarios	105
Graphique 18 : répartition des ETP directs et indirects entre phase d'investissements et phase d'exploitation et maintenance	105

PISTES POUR APPROFONDIR L'APPROCHE FILIERE

⇒ La formation est une fonction clé de la filière, ainsi que la R&D.

- « Les énergies de la mer : une réalité industrielle, une dynamique collective ».

Rapport n°1. Observatoire des Energies de la Mer. 2017. Lien :

<https://merenergies.fr/media/OEM-Rapport.pdf>

- « Les énergies de la mer : une réalité industrielle, une dynamique collective ».

Rapport n°2. Observatoire des Energies de la Mer. 2018. Lien :

<https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2018.pdf>

- « Les énergies de la mer : les emplois essentiels à la transition énergétique française ». Rapport n°3. Observatoire des Energies de la Mer. 2019. Lien :

<https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2019.pdf>

- « Les énergies de la mer : la dynamique est lancée ! ». Rapport n°4. Observatoire des Energies de la Mer. 2020. Lien : <https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2020.pdf>

- « Energies renouvelables en mer : les chantiers s'activent, les emplois en forte croissance ! ». Rapport n°5. Observatoire des Energies de la Mer. 2021. Lien :

<https://merenergies.fr/media/Rapport-OEM-2021.pdf>

- « Annuaire de l'industrie éolienne et des Energies Marines Renouvelables en France ». Annuaire. Windustry France. 2015-2016. Lien : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-25749-annuaire-windustry-2015-16.pdf>

- « Annuaire éolien FEE ». « FEE Wind energy directory ». Annuaire. FEE. 2016.

Lien : <https://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/12/Annuaire-FEE-20156-INTERACTIF-post-EWEA.pdf>

- « Chapitre 9 : la filière de l'éolien offshore posé en France : nouveaux métiers ou nouveau regard sur les métiers ? ». Gérard Podevin. 2018. Lien : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01792232/document>

⇒ Les principales innovations et leurs impacts sur le champ socio-économique.

- « Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières ». Rapport final. ADEME, BVG Associates, GS Consulting et INNOSEA. 2017. Lien : <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1780-caracterisation-des-innovations-technologiques-du-secteur-de-l-eolien-et-maturites-des-filieres.html>

- « Analyse économique de l'empreinte territoriale des projets d'énergies marines renouvelables ». « Le cas de l'éolien posé en mer Bretagne ». Thèse. Soazig Lalancette. 2019. Lien : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02081035/document>

⇒ Les impacts qu'à l'ensemble du cycle de vie de cette technologie sur l'environnement.

- « Analyse du Cycle de Vie de la production d'électricité d'origine éolienne en France ». Rapport final. ADEME, CYCLECO. 2015. Lien : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/impacts-environnementaux-eolien-francais-2015-rapport.pdf>.

- « Eolien en mer : une empreinte environnementale réduite sur l'ensemble du cycle de vie ». Note de l'Observatoire n°12. Observatoire des Energies de la Mer. 2021. Lien : <https://merenergies.fr/media/note-OEM-12.pdf>

- « Guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer ». Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer. 2017. Lien : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/guide_etude_impact_eolien_mer_2017_complet.pdf

- « Recommandations pour une approche écosstémique des aires d'implantation d'énergies marines renouvelables ». « Cas d'étude du parc éolien offshore de Courseulles-sur-mer ». France Energies Marines Editions. France Energies Marines. 2019. Lien : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00511/62273/66478.pdf>