

Les parcs éoliens en mer : état des lieux et perspectives

Vincent GUENARD¹

¹ ADEME, service Réseaux Energies Renouvelables. vincent.guenard@ademe.fr

Télécharger le diaporama



Résumé

L'éolien en mer connaît un développement très rapide en Europe. Cet article dresse un état des lieux de la filière puis anticipe son développement en France à la fois avec les technologies classiques de fondations posées ou les technologies flottantes plus émergentes encore au stade de recherche et développement mais amenées à se développer fortement au large des côtes françaises de leurs eaux profondes (> 50 m).

Abstract

Offshore wind power experiences a rapid growth in Europe. This paper gives the state of current development and anticipates its future development in France with both classical grounded foundations and emerging floating foundations well suited for the deep-water French coasts (> 50 m).

Contexte général

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) couvertes par le protocole de Kyoto ont atteint près de 49 milliards de tonnes équivalent CO₂ en 2010 selon les dernières données du GIEC. Elles ont augmenté de 80 % entre 1970 et 2010, principalement en raison du doublement de la consommation d'énergie dans le monde dont la grande majorité est liée à la combustion d'énergies fossiles.

L'Union Européenne a pris conscience de l'impact de la production énergétique sur les émissions de GES dès 2008 en adoptant le plan climat-énergie qui consiste à diminuer de 20 % les émissions de GES, à réduire de 20 % la consommation d'énergie et à atteindre 20 % d'énergies renouvelables (EnR) dans le bouquet énergétique d'ici à 2020. Ces objectifs sont écrits dans la Directive n° 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009.

Dans le cadre de cette Directive, la France s'est engagée à porter la part des énergies renouvelables de sa consommation énergétique finale d'à peine 10 % en 2005 à 23 % en 2020, objectif qui se déclinait en 27 % d'EnR électriques. La France s'est par ailleurs fixée des objectifs ambitieux de développement des EnR à 2030 dans le cadre de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte qui prévoit une part de 32 % d'EnR dans la consommation d'énergie finale en 2030, dont 40 % pour la part d'EnR dans la production.

L'éolien en mer connaît un fort développement en Europe et en Chine avec un taux de croissance annuel sur la période 2010-2015 de plus de 30 %. Ce taux est

de 20 % sur l'année 2016 avec 2,2 GW supplémentaires installés dont un quart vient de la Chine (Figure 1). Dans ce contexte, le Royaume-Uni reste le leader mondial avec plus de 5 GW installés (soit 36 % du parc total mondial), suivi par l'Allemagne (4,1 GW, 28 % du parc total) et la Chine (1,6 GW, 11 % du parc total).

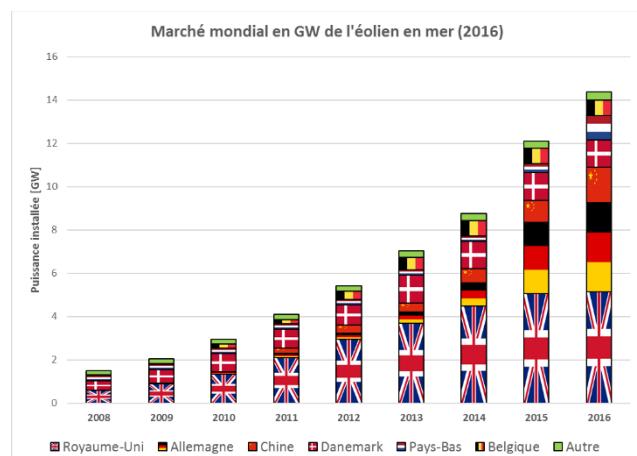


Figure 1 : Etat du marché mondial de l'éolien en mer en 2016.

L'éolien en mer posé et flottant

L'éolien en mer posé se définit comme des éoliennes posées sur le fond marin par différents types de fondations monopieus, gravitaire, tripode, jacket (Figure 2). L'éolien posé a débuté en 1991 avec la première ferme exploitée au Danemark et démantelée en 2016. Les fondations posées sont destinées à des profondeurs inférieures à 40-50 m.

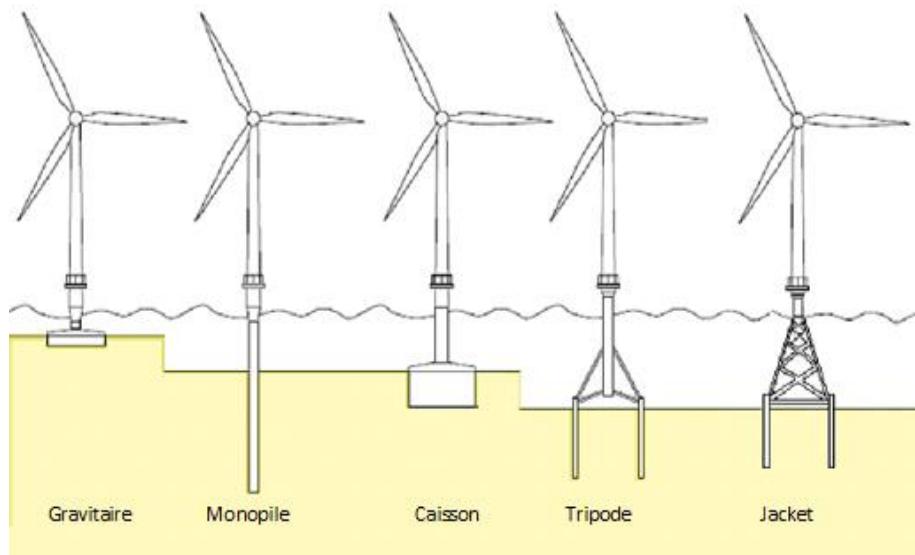


Figure 2 : Les différents types de fondations posées (non exhaustifs).

Au-delà d'une profondeur de 50 m, les fondations flottantes sont plus adaptées.

de zones portuaires particulièrement adaptées à la construction d'infrastructures dédiées à cette activité.

Pour répondre aux objectifs fixés par la Directive européenne et pour valoriser les ressources énergétiques en énergies marines et les savoir-faire industriels et scientifiques français, la France s'est fixée l'objectif ambitieux de porter la capacité installée de l'éolien en mer à 6 000 MW en 2020. Cet objectif a donné lieu au lancement de deux appels d'offres (Figure 4) : le 1^{er} appel d'offre a abouti à désigner 4 projets lauréats en 2012: Saint-Nazaire (EDF-EN, 480 MW), Saint-Brieuc (Iberdrola, 496 MW), Courseulles-sur-Mer (EDF-EN, 450 MW) et Fécamp (EDF-EN, 498 MW). Le 2^{ème} appel d'offre a abouti à 2 projets lauréats en 2014: Les îles d'Yeu et de Noirmoutier (Engie/EDPR, 496 MW) et Dieppe-Le Tréport (Engie/EDPR, 496 MW).

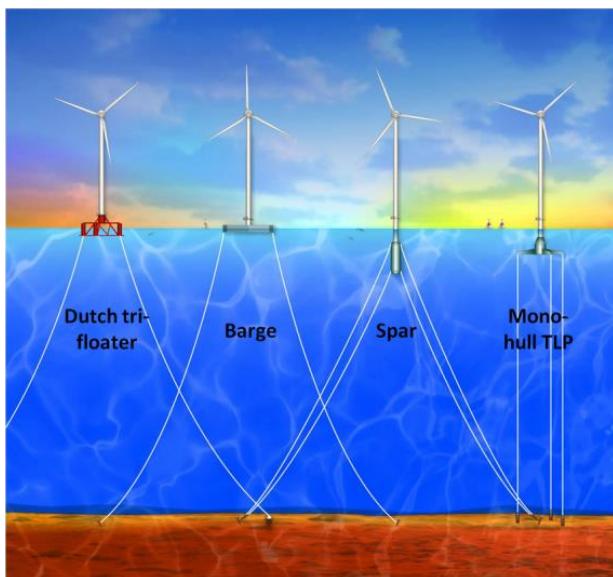


Figure 3: Différents types de fondations flottantes (non-exhaustifs).

L'éolien en mer en France

La France possède le deuxième espace maritime au monde, avec 11 millions de km² et plusieurs milliers de kilomètres de côtes réparties sur quatre façades maritimes - Mer du Nord, Manche, Atlantique et Méditerranée – et Outre-Mer. Cette géographie favorable lui permet de bénéficier d'un potentiel de développement des énergies marines renouvelables parmi les plus importants d'Europe. Par ailleurs, l'expertise française en matière énergétique et maritime est reconnue dans le monde entier et la France dispose

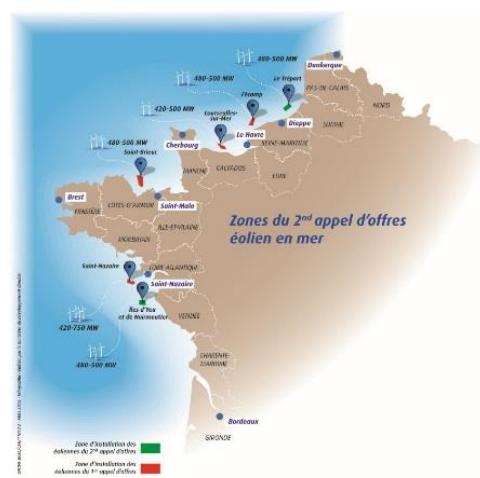


Figure 47 : Les projets lauréats des 2 appels d'offres français lancés en 2011 et 2013.

Tableau 1: Résultats de l'étude 100% EnR sur les potentiels des filières éoliennes en mer.

	Eolien posé	Eolien flottant
Capacité installée [GW]	20.1	46.2
Productible [TWh/an]	80.3	195.5

Le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer a souhaité poursuivre le développement de l'éolien en mer, en lançant en 2016 une 3^{ème} procédure de mise en concurrence concernant deux zones au large de Dunkerque et de l'île d'Oléron. Ces appels d'offres vont contribuer à l'atteinte des objectifs fixés par la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) de porter la capacité installée de l'éolien en mer à 3 000 MW en 2023.

L'ADEME a fait une estimation des gisements permettant de mettre en évidence que l'éolien flottant est beaucoup plus prometteur que l'éolien en mer posé (Tableau 1). Le gisement exploitable est de 46 GW pour l'éolien flottant et de 20 GW pour l'éolien posé. En effet, l'éolien en mer flottant se distingue du posé par

L'engouement vers l'éolien flottant a justifié le lancement d'un appel à projet de fermes pilotes éoliennes aboutissant à la désignation de 4 projets lauréats : Groix et Belle-Ile (Eolfi/CGN, 24 MW), EolMed (Gruissan, Quadran, 24 MW), PGL (Port-Saint-Louis-du-Rhône, 25 MW) et EFGL (Leucate, Engie/EDPR, 24 MW).

Analyse coût-bénéfices de l'éolien en mer Impacts énergétiques

Les bénéfices énergétiques de l'éolien en mer sont très importants puisque ce mode de production est

l'accès à une ressource plus abondante (car plus éloignée des côtes du fait de l'exploitation des zones de profondeurs comprises entre 50 et 200 m). L'éloignement des côtes à des distances supérieures à 15 km fait baisser la pression des contraintes sur les autres activités (notamment la pêche professionnelle) ce qui rend les projets potentiellement plus acceptables. L'intérêt du flottant réside aussi dans l'installation des éoliennes puisque la plupart des solutions de flotteur permettent un montage de la turbine à quai et une installation une seule phase limitant les travaux et opérations en mer. L'éolien flottant est aussi moins dépendant des conditions de sol, conditions qui sont assez hétérogènes au large des côtes françaises et qui nécessitent des études spécifiques pouvant remettre en cause certaines options technologique.

déployé à grande échelle dans des zones à fortes ressources éoliennes. Le Tableau 2 illustre le part de la production électrique espérée des 6 projets lauréats des 2 appels d'offres avec la consommation régionale d'électricité. Cette part se situe entre 6 et 9 % de la consommation ce qui permet de confirmer que l'éolien en mer peut contribuer significativement à l'indépendance énergétique nationale (ses projets étant tous raccordés au réseau national de transport d'électricité). Au niveau national, l'ensemble de ces 6 parcs peut subvenir à hauteur 2,5 % de la consommation nationale d'électricité.

Tableau 2: part de la production d'électricité des futurs projets dans la consommation régionale.

Parc éolien	Région	Puissance [MW]	Productible [TWh/an]	Cons. élec. régionale (2006-2015) [TWh/an]	Part de la cons. élec. régionale [%]
Fécamp	Normandie	498	1,8	26,3	6,8
Courseulles	Normandie	450	1,5	26,3	5,7
Saint Nazaire	Pays de la Loire	480	1,7	24,1	7,0
Saint Brieuc	Bretagne	496	1,9	20,3	9,4
Les 2 Iles	Pays de la Loire	496	1,9	24,1	7,9
Dieppe – Le Tréport	Normandie	496	2,0	26,3	7,6
TOTAL	France	2 916	10,8	439,4	2,5

Impacts environnementaux

Les études d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) de l'éolien en mer français conduites par l'ADEME en 2016 montre que la moyenne des émissions des 6 parcs

lauréats a été estimée à 14,8 g eqCO₂/kWh ce qui place cette filière parmi les plus prometteuses pour réduire les émissions de GES des moyens de production d'électricité et lutter contre le changement climatique (Figure 5).

La phase de construction d'un parc éolien en mer peut avoir des impacts potentiellement négatifs sur l'environnement, notamment sur les mammifères (cétacés, phoques) et les poissons. Grâce aux mesures d'atténuation mises en place suite aux études d'impacts,

ceux-ci sont restés très limités lors de la construction des parcs au Danemark ou au Royaume Uni. La composante littorale des travaux est également conçue pour minimiser les impacts.

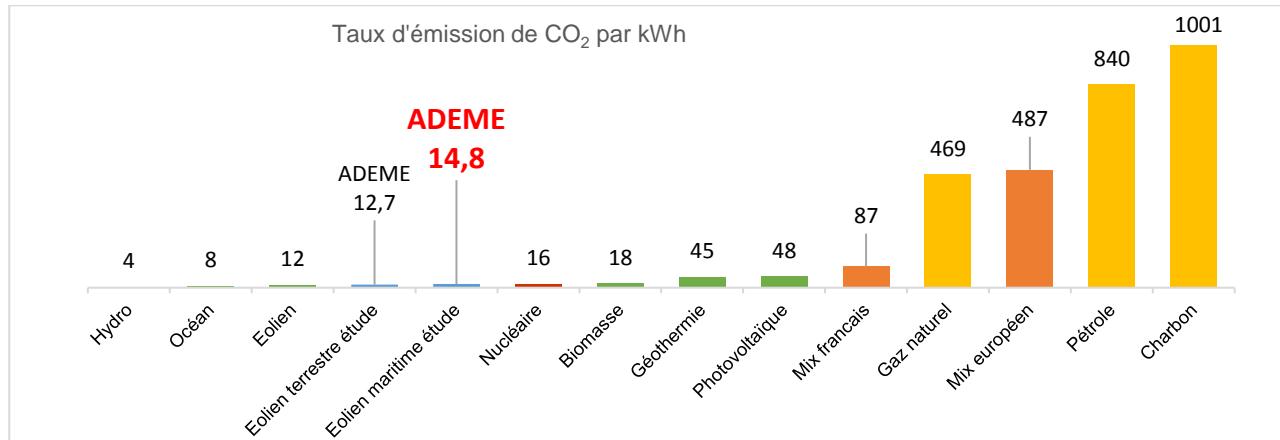


Figure 5 : Emissions de CO₂ des principaux moyens de production d'électricité (ADEME - 2016).

En fonctionnement, les éoliennes peuvent avoir un impact sur les mammifères marins et les poissons à cause des vibrations générées, des émissions électromagnétiques dans les câbles d'export d'électricité ainsi qu'un impact sur l'avifaune du fait des risques de collisions et du phénomène d'évitement des parcs. Les études de suivi des parcs en mer existants, effectuées sur plusieurs années, ont conclu que ces effets ont été négligeables jusqu'à présent.

L'existence d'un effet de type « récif artificiel » associé aux fondations des éoliennes a été très nettement observée au sein des parcs déjà construits, et ce après un an seulement. Selon ces observations, l'implantation de parcs éoliens en mer semble favoriser l'augmentation locale de biomasse et de biodiversité marine, ce qui pourrait avoir un effet positif sur les communautés de poissons.

Pour tous les projets lauréats des appels d'offres ayant une étude d'impact environnemental validée par l'Etat, des mesures de type ERC (Eviter Réduire Compenser) et un dispositif de suivi environnemental ont été mis en place. Les budgets associés ont été provisionnés par les porteurs de projet de façon à garantir leur exécution.

Impacts sur l'emploi

Comme tout nouveau secteur d'activité arrivant sur des territoires disposant de leur propre équilibre économique et social, l'éolien en mer est susceptible de perturber les activités économiques existantes ce qui est de nature à soulever des conflits. Ceux-ci se révèlent lors des différentes instances de concertation mises en place tout au long du développement des projets (planification maritime et identification des zones propices, débat public, enquête publique de l'octroi des

autorisations administratives pour le parc éolien et son raccordement).

Les principales sources d'opposition viennent des populations résidentes préoccupées par la modification des paysages ayant des conséquences sur l'activité touristique des territoires concernés. Même si des études menées en Mer du Nord ont montré le pouvoir attracteur des parcs éoliens pour des activités de tourisme industriel, leur impact sur des parcs éoliens en France doit être évalué au cas par cas pour prendre en compte les spécificités locales des projets.

Le plus grand impact identifié en France concerne la pêche professionnelle car le parc éolien prive les pêcheurs d'une partie de leur espace de travail même si l'effet de récif artificiel mentionné plus haut peut nuancer cet aspect dans un contexte de changement climatique et de raréfaction de la ressource halieutique. De plus, les parcs éoliens sont susceptibles de priver la pêche professionnelle de leurs ressources humaines et logistiques car les parcs éoliens ont eux aussi besoin de personnel qualifié et expérimenté notamment dans leur phase d'exploitation. Pour accompagner l'arrivée de cette nouvelle activité, une taxe éolienne a été mise en place d'un montant d'environ 15 000 €/MW dont 35 % reviendra au Comité National des Pêches, 50 % aux communes situées à moins de 12 milles marins du parc, 15 % aux projets de développement durable.

L'essor de cette nouvelle filière apparaît comme une formidable opportunité de développement industriel, tant pour le marché français que pour l'exportation, ce qui permet d'envisager une traduction rapide en termes de croissance et d'emplois. On estime à 8 000 le nombre d'emplois directs en France pour la réalisation des 6 parcs lauréats des 2 appels d'offres (Tableau 3)

Tableau 3 : Emplois directs et indirects espérés de la réalisation des 6 parcs éoliens français.

Parc éolien	Nombre d'emplois directs (indirects)
Fécamp	1 000 (4 000)
Courseulles	1 000 (4 000)
Saint Nazaire	1 000 (4 000)
Saint Brieuc	2 000
Dieppe – Le Tréport	1 500 (4 500)
Les 2 Iles	1 500 (4 500)

Impacts économiques

En France, les investissements générés, qui s'élèveront à environ 2 à 2,5 milliards d'euros par parc, permettront également de dynamiser l'implantation industrielle sur le territoire, à l'exemple des usines de General Electric (ex-Alstom) à Saint-Nazaire et à Cherbourg, qui construisent des composants d'éoliennes offshore, ou des usines d'Adwen (ex-Areva) au Havre. Des investissements portuaires pour l'accueil, l'assemblage et la maintenance des éoliennes sont également à prévoir, comme à Brest, Dunkerque ou Port-la-Nouvelle.

Coûts de production actuels et prospectifs

L'ADEME a publié en 2017 une analyse des coûts de production des différentes filières EnR dont l'éolien en mer (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'analyse est basée sur des projets éoliens posés mis en service en Europe au cours de la période 2014-2015, des projets en cours de construction et des projets financés qui seront réalisés à partir de 2019. Les coûts de production sont sensibles aux coûts d'investissement (CAPEX), aux coûts d'exploitation (OPEX), à la performance des parcs éoliens (facteur de charge) et au taux d'actualisation (coût moyen pondéré du capital). En faisant jouer ces 2 derniers paramètres, la fourchette des coûts de production se situe entre 130 et 190 €/MWh en Europe. Ces chiffres sont en ligne avec des travaux conduits au Royaume-Uni qui montrent par ailleurs une diminution de 30 % des coûts entre 2010 et 2015 (OWFB 2017).

Il faut noter que le retour d'expériences de l'éolien en mer a permis de faire nettement baissé le taux d'actualisation qui traduit le rendement qu'il serait possible d'obtenir en investissant ailleurs le même capital. Ce taux intègre une prime de risque lié au projet, qui traduit sa probabilité d'échec. Ainsi, deux projets ont été lauréats des appels d'offres au Danemark et au Pays-Bas qui ont proposé des coûts d'électricité beaucoup plus faibles que ceux présentés par l'ADEME. De plus, les lauréats (Ørsted et EnBW) du dernier appel d'offre allemand de mars 2017 annoncent ne pas avoir besoin d'un tarif d'achat : l'électricité produite par les 3 parcs sera vendue directement sur le

marché de gros de l'électricité soit à des prix inférieurs à 44 €/MWh (hors raccordement). Un 4ème projet a été attribué à Dong au tarif de 60 €/MWh (hors raccordement). Le dérisque des projets, la mise en place d'un industriel qui sera pleinement mature lors de la construction des 4 projets, la montée en puissance des machines de 10 à 15 MW attendues pour 2025 permettant de réduire le nombre de machines installées et donc le nombre d'opérations marines, de bonnes conditions de vent (vitesse moyenne supérieure à 10 m/s), une durée des autorisations étendue à 30 ans, suffisent à expliquer cette réduction potentielle des coûts (Figure 6).

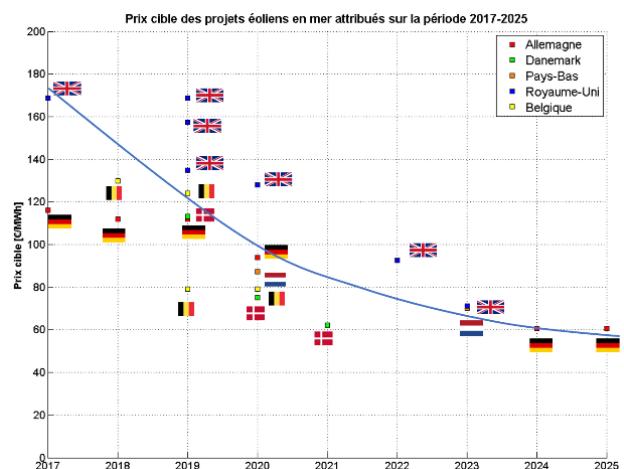


Figure 6 : Prix cible des projets éoliens en mer en Europe sur la période 2017-2025.

Une étude de BVG Associates et d'Innosea pour le compte de l'ADEME a identifié les perspectives de réduction des coûts de l'éolien en mer en France d'une situation de référence en 2015 jusqu'à l'horizon 2030 sur tous les éléments constituants la chaîne de valeur de l'éolien (Figure 7). Cette étude montre que les réductions de coûts sur les turbines (augmentation des performances, augmentation de la taille et la puissance des machines, industrialisation) sont le moteur de la réduction des coûts. La maturité de la filière fait baisser les coûts de financement à partir des années 2015. Ainsi, l'étude montre une réduction des coûts d'un facteur 2 de 2015 (~ 200 €/MWh) à 2030 (~ 100 €/MWh) et ce pour les filières posées et flottantes en notant une réduction plus précoce pour l'éolien en mer posé, plus mature, que pour l'éolien flottant.



Figure 7 : Perspectives de réduction de l'éolien en mer en France consécutives à l'innovation technologique (ADEME, 2017)

Prospective de développement de l'éolien en mer en 2030

L'Association Européenne de l'Energie Eolienne Wind-Europe a réalisé un travail prospectif à l'horizon 2015 qui montre que les perspectives de marché sont très importantes au Royaume-Uni (23 GW), en Allemagne (17,5 GW) et en France (9 GW).

A des horizons plus lointains que 2025, il est probable que l'éolien en mer posé doive faire face à des conflits d'usage majeurs (notamment en France) du fait de zones propices limitées qui donnent l'opportunité de développer l'éolien flottant (Tableau 1).

Aux horizons 2030 et 2050, les travaux prospectifs réalisés par l'ADEME en 2012 ont abouti à des valeurs un peu plus élevées avec 12 GW en 2030 et 30 GW en 2050 répartis comme indiqué dans le Tableau 4.

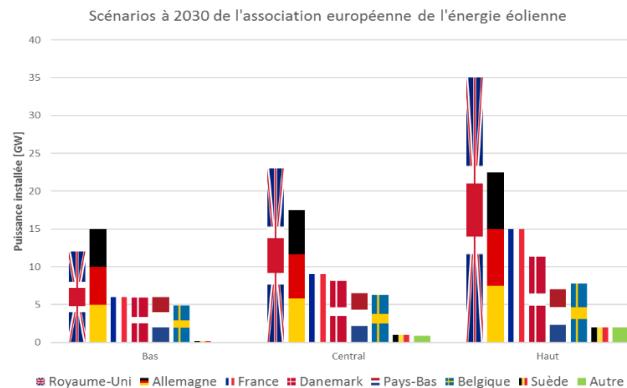


Figure 8 : Perspectives de marché à l'horizon 2030 (Wind-Europe 2015).

Tableau 4: Vision du développement de l'éolien en mer en 2030 et 2050 (ADEME 2012).

Capacité installée [GW]	2030	2050
Eolien posé	8	10
Eolien flottant	4	20
TOTAL	12	30

Conclusions

L'éolien en mer est en fort développement en Europe. Même si les coûts de production sont encore élevés, ils sont en nette diminution grâce notamment au retour d'expérience positif de cette industrie en mer du Nord qui a permis de nouer des partenariats de confiance avec leurs investisseurs privés et bancaires. Ce secteur est en constante évolution avec la montée en puissance des machines (de 3 MW en 2010 à 6 MW en 2015 et bientôt 8 MW en 2018 puis de 10 à 20 MW avant 2030) qui a aussi contribué à la réduction des coûts. Cette réduction doit encore s'accentuer par des travaux de recherche et développements sur les briques technologiques (turbines, fondations posées et flottantes, méthodes d'installation, méthodes d'industrialisation,...) et d'acquisition de connaissances nouvelles sur les aspects non technologiques (impacts environnementaux, impacts sociétaux,...) pour que cette filière prenne son essor partout dans le monde où les conditions sont propices. Ce moyen de production d'électricité contribue à l'indépendance énergétique, à la diminution des émissions de GES et à une lutte efficace

contre le changement climatique. L'éolien en mer donne aussi l'opportunité de créer de l'activité dans des territoires qui ont beaucoup souffert de la désindustrialisation. Le développement de cette activité réconcile Environnement, Economie et Emplois, pilier du Développement Durable.

Références

- ADEME, Avril 2016. Impacts environnementaux de l'éolien français 2015.
- ADEME, Janvier 2017. Coûts des énergies renouvelables en France.
- ADEME, Septembre 2017. Etude sur la filière éolienne française : bilan, prospective et stratégie.
- ADEME, Septembre 2017. Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières.
- EWEA – Wind Europe, Août 2015. Wind Energy Scenarios 2030.
- OWPB, Janvier 2017. Cost Reduction Monitoring Framework 2016, Offshore Wind Programme Board.