



étude

Des énergies marines en Bretagne (2) : concrétisons la filière

rapporteur

M. Guy JOURDEN



Conseil économique, social
et environnemental

Octobre 2012

Des énergies marines en Bretagne (2) : concrétisons la filière

**Copyright © Région Bretagne –
Conseil économique, social et environnemental de Bretagne**
7 rue du Général Guillaudot – CS 26918 - 35069 Rennes Cedex

Les rapports du CESER peuvent faire l'objet d'une présentation orale publique par les rapporteurs.
Les demandes doivent être adressées au Président du Conseil économique, social et
environnemental de Bretagne.

Pour mieux connaître le fonctionnement et les activités du CESER,
visitez le site www.ceser-bretagne.fr

Octobre 2012

Avant-propos

Face au défi de la demande croissante en énergie dans le monde, à la raréfaction des énergies fossiles qui crée de vives tensions géopolitiques et à la question centrale du dérèglement climatique, **il est aujourd'hui indispensable d'envisager un nouveau bouquet énergétique**. Celui-ci devra accorder une part de plus en plus importante aux énergies renouvelables non émettrices de CO₂.

Cette transition énergétique est une chance pour la Bretagne et son économie. Elle pourrait lui permettre de réduire significativement sa dépendance et sa fragilité électriques, grâce à de nouvelles sources de production réparties sur son territoire et son littoral.

La mer présente en effet un potentiel énergétique très significatif. Pour de nombreux États côtiers, l'exploitation des différentes sources d'énergies marines (vent, courants, marée, houle, chaleur) apparaît aujourd'hui comme une solution de proximité fiable pour faire face aux défis énergétiques de demain.

Ainsi que le CESER l'avait montré en 2009, la Bretagne dispose le long de ses 2 700 km de côtes d'un éventail de ressources marines exploitables qui lui permet d'envisager sereinement son avenir énergétique.

D'une puissance de 500 MW, le parc éolien offshore de la baie de Saint-Brieuc fournira bientôt l'équivalent de 7 % de la consommation électrique bretonne.

A plus long terme, les hydroliennes, et plus encore les éoliennes flottantes, viendront renforcer considérablement les 1 000 MW d'éolien offshore prévus en 2020 par le Pacte électrique breton.

Les diverses formes de stockage de l'électricité (Station de transfert de l'énergie par pompage, hydrogène, air comprimé, chaleur, batteries des véhicules électriques...) et les réseaux intelligents permettront de mieux ajuster production et consommation.

Mais l'exploitation des énergies marines est également l'occasion d'impulser dans notre région une nouvelle filière énergétique, scientifique et industrielle.

L'implantation à Brest de France Énergies Marines, labellisé Institut d'excellence en énergies décarbonées, les sites pilotes hydroliens de Paimpol-Bréhat et du Fromveur, ou encore le développement de l'éolienne flottante Winflo, démontrent le dynamisme de la Bretagne en matière de recherche, développement et innovation.

Notre région doit saisir l'opportunité de construire une véritable politique industrielle pour développer la filière des énergies marines sur son

territoire. L'aménagement du polder du port de Brest s'inscrit dans cette dynamique économique.

Cette nouvelle filière industrielle pourrait générer régionalement des centaines d'emplois directs ou connexes, pouvant être pérennisés par l'ouverture à d'autres projets en France et en Europe, pour l'éolien offshore posé mais aussi pour les technologies plus innovantes.

Sa réussite dépend des stratégies industrielles et des soutiens politiques, mais également de la mobilisation de l'ensemble de la société civile qui doit être associée aux choix de déploiement des énergies marines selon des modalités appropriées.

Avec ce travail complémentaire à sa première étude, la section Mer Littoral du CESER de Bretagne souhaite proposer une information actualisée sur les enjeux, appeler les acteurs à la mobilisation et réaffirmer l'importance de l'appropriation collective des enjeux liés à cette nouvelle activité. **C'est bien cette appropriation collective qui peut enclencher une dynamique territoriale de création de richesses et d'emplois.**

Que toutes les personnes qui ont participé à ce travail soient ici chaleureusement remerciées : les personnes auditionnées pour la qualité de leurs apports, les membres de la section pour la richesse de leurs échanges, et l'équipe technique (Pierre YACGER, Fanny TARTARIN et Stéphanie VINCENT), pour la compilation et la mise en forme de cette matière particulièrement riche.

Le rapporteur, M. Guy JOURDEN

La section Mer Littoral

Deuxième assemblée de la Région Bretagne, le Conseil économique, social et environnemental régional (CESER) dans sa fonction consultative émet des avis sur le budget du Conseil régional et sur les grandes politiques de la Région. Par son droit d'autosaisine il élabore, sous forme de rapports, des réflexions et propositions sur des sujets d'intérêt régional. Il est composé d'acteurs du tissu économique, social et environnemental de la Bretagne, représentant tous les courants de la société civile. La section Mer Littoral est composée de membres du CESER et de personnalités extérieures.

Rapporteur : M. Guy JOURDEN

1. Membres du CESER

- M. Daniel COLLET
- M. Antoine DOSDAT
- M. Pierre EUZENES
- M. Bernard GUILLEMOT
- M. Jean-Paul GUYOMARC'H
- M. Hervé JENOT
- M. Guy JOURDEN
- M. Jean-Yves LABBE
- M. André LE BERRE
- M. Youenn LE BOULC'H
- M. Éric LE COURTOIS
- M. François LE FOLL
- M. Yves LE GOURRIEREC
- M. Daniel ROUSSEL
- Mme Viviane SERRANO
- M. Lucien THOMAS

2. Personnalités extérieures

- M. Denis BERIC
- M. Jean-Claude BODERE
- M. Alain GOURMELEN
- M. Loïc LAISNE
- M. Hervé MOULINIER
- Mme Dominique PETIT
- M. Hervé THOMAS

3. Assistance technique

- M. Pierre YACGER, conseiller technique
- Mme Fanny TARTARIN, conseillère technique
- Mme Stéphanie VINCENT, assistante

Les derniers rapports de la section Mer Littoral

- *Pour une politique maritime en Bretagne* (2007)
- *Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer !* (2009)
- *Les marées vertes en Bretagne : pour un diagnostic partagé, garant d'une action efficace* (2011)
- *Milieux côtiers, ressources marines et société* (2011)

Sommaire

Synthèse

Introduction 1

Première partie Maintenir le cap pour atteindre les objectifs fixés	5
--	----------

Chapitre 1 9

Des objectifs convergents et des projets qui se concrétisent

- | | | |
|----|--|----|
| 1. | Les énergies marines entrent dans les programmations énergétiques | 13 |
| 2. | Un développement rapide des EMR sur les côtes européennes...
et bientôt en France | 20 |

Chapitre 2 35

Des progrès continus en matière de recherche et développement

- | | | |
|----|---|----|
| 1. | Une dynamique collaborative dans laquelle les acteurs bretons
sont très présents | 39 |
| 2. | Des progrès technologiques rapides | 45 |
| 3. | Des avancées qui concernent également les champs de recherche
complémentaires | 62 |

Chapitre 3 71

Des incertitudes pouvant freiner le déploiement des énergies marines

- | | | |
|----|--|----|
| 1. | Une planification qui n'en est qu'à ses débuts | 75 |
| 2. | Malgré des améliorations, la réglementation reste complexe | 77 |
| 3. | Des signaux parfois contradictoires sur le soutien aux projets | 79 |
| 4. | Des difficultés apparaissant au moment de la mise en œuvre des projets | 83 |

Chapitre 4 87

Aller plus loin dans l'appropriation collective

- | | | |
|----|--|-----|
| 1. | La participation des différentes parties prenantes aux projets en Bretagne | 92 |
| 2. | Une insuffisance d'information | 98 |
| 3. | Les exigences de l'appropriation collective | 100 |

Deuxième partie Faire des énergies marines un nouveau pilier de l'industrie régionale	107
--	------------

Chapitre 5 111

Les perspectives de développement industriel

- | | | |
|----|---|-----|
| 1. | Éolien offshore posé : un marché en pleine expansion,
tiré par les pays européens | 115 |
| 2. | Hydrolien : les projets industriels s'accélèrent | 116 |
| 3. | L'éolien flottant, à la fois concurrent et relais de croissance
pour l'éolien posé | 117 |

4.	Énergie houlomotrice : un potentiel important mais un développement incertain	118
5.	Énergie thermique des mers : des marchés concentrés en zone intertropicale	119
6.	La réduction des coûts, un enjeu majeur	119

Chapitre 6

Éolien offshore : la mise en place d'une filière industrielle en France 123

1.	Les différentes composantes d'une nouvelle filière industrielle	127
2.	Trois exemples de structuration de la filière	134
3.	En France : la volonté politique et les stratégies industrielles se rejoignent	137

Chapitre 7

La Bretagne a un rôle-clé à jouer dans la filière des énergies marines 147

1.	La Bretagne : une région qui compte dans le déploiement des énergies marines	151
2.	De multiples projets structurants en prévision	158
3.	Une filière industrielle qui se structure à l'échelle du Grand Ouest	163

Chapitre 8

Organiser collectivement la filière des énergies marines en Bretagne 171

1.	Vers une coordination renforcée des initiatives	175
2.	Pour une stratégie régionale offensive	181

Conclusion : pour une feuille de route offensive, qui réaffirme le rôle du niveau régional	185
---	------------

Auditions	189
------------------	------------

Tables	193
---------------	------------

Synthèse

En 2009, le CESER publiait un rapport intitulé « *Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer !* ». Ce travail appelait les acteurs bretons à se mobiliser afin d'exploiter le formidable potentiel des énergies marines et profiter de leurs retombées économiques et sociales. Il visait également à instaurer un véritable débat permettant d'aboutir à des cadres de pensée et d'action partagés.

L'enjeu industriel du développement des énergies marines avait été identifié par le CESER dès 2007. S'il n'avait pas été perçu à l'époque à sa juste dimension, il est désormais au centre des attentions. A partir du moment où il a été considéré par le prisme des retombées économiques, le développement des énergies marines s'est considérablement accéléré et plusieurs avancées majeures sont intervenues, tant dans le développement technologique que dans la structuration de la recherche et l'appropriation collective.

L'année 2012, en particulier, a été une année charnière en France, avec l'attribution des quatre premières zones pour l'exploitation de l'énergie éolienne en mer et la création d'une plateforme de recherche dédiée. Une nouvelle étape du développement des énergies marines s'ouvre désormais, qui concerne plus que jamais les acteurs économiques puisque l'on assiste actuellement à la naissance d'une filière industrielle complète. Par ailleurs, les débats publics qui auront lieu à partir de 2013 associeront plus largement les citoyens à ces questions qui concernent l'avenir énergétique de notre pays.

Cependant, ce contexte favorable ne suffit pas à lui seul à enclencher en Bretagne une dynamique industrielle créatrice de richesses et d'emplois. C'est pourquoi le CESER souhaite renouveler son appel à la mobilisation pour que la Bretagne, disposant d'importantes ressources naturelles, d'un grand potentiel de recherche et d'innovation, ainsi que d'entreprises compétentes et d'infrastructures adaptées, participe pleinement au développement de la filière industrielle.

En complétant son précédent rapport, le CESER souhaite ainsi proposer une information actualisée sur la réalité des évolutions intervenues depuis 2009, mais aussi et surtout apporter des éclairages nouveaux pour les décisions à venir, cruciales pour l'avenir industriel de la région.

Le CESER souhaite enfin rappeler la complémentarité entre les enjeux économiques et les enjeux énergétiques. Ainsi, si cette actualisation est axée prioritairement sur la dimension industrielle, elle ne doit pas faire oublier que la production d'énergies marines en Bretagne doit apporter une contribution significative aux objectifs régionaux et nationaux de production d'énergies renouvelables.

1. Réalité des évolutions 2009-2012 et perspectives nouvelles

1.1. Les énergies marines entrent désormais dans le bouquet énergétique des pays européens

Dans une optique de diversification de leur approvisionnement énergétique, les États du nord et de l'ouest de l'Europe intègrent de plus en plus l'éolien offshore dans leurs politiques énergétiques.

Le Danemark a joué un rôle pionnier dans le développement de l'éolien offshore posé. Après avoir installé les toutes premières éoliennes en mer en 1991, le pays compte aujourd'hui de très nombreux parcs. Mais le leader mondial de l'éolien en mer est désormais le Royaume-Uni, avec plus de 2 000 MW installés fin 2011. Un statut qu'il conservera probablement plusieurs années encore, son objectif pour 2020 étant de 18 GW.

En France, l'objectif pour 2020 a été fixé à 6 000 MW par le Grenelle de l'Environnement, soit 1 000 éoliennes environ avec les technologies actuelles. Aucun parc n'ayant encore été installé à ce jour, nombre d'observateurs pensent que cet objectif ne sera pas atteint. Un premier pas a toutefois été franchi avec un appel d'offres national lancé en juillet 2011 pour une première tranche de 3 000 MW, dont les résultats ont été annoncés en mars 2012. Cette initiative a permis à deux consortiums de lancer les procédures administratives d'autorisation pour quatre parcs, totalisant *in fine* une puissance installée de 1 900 MW. Un second appel d'offres est prévu, qui intégrerait une zone en Vendée. Ces programmes successifs constituent une avancée majeure dans la mesure où ils apportent aux industriels la visibilité dont ils avaient besoin pour engager des investissements importants sur le sol français.

Les autres énergies marines (hydrolien, houlomoteur, éolien flottant) sont, pour le moment, quasiment absentes de la programmation énergétique des États européens, mais plusieurs pays disposant de ressources intéressantes ont annoncé leur volonté de soutenir la mise en place rapide de sites pilotes, puis de parcs commerciaux.

1.2. Les progrès technologiques permettent d'envisager une exploitation industrielle des énergies marines

Technologie bien maîtrisée, l'éolien offshore posé est largement exploité en Mer du Nord, du fait de conditions très favorables (faible profondeur, vents soutenus, proximité de grands ports). Les innovations se poursuivent toutefois pour gagner en puissance et réduire les coûts de production. En France, les premiers parcs devraient être installés entre 2018 et 2020.

L'hydrolien est sans doute la technologie qui a le plus progressé depuis 2009. De très nombreux concepts étaient alors à l'étude, mais les démonstrations réalisées sur les

sites d'essais en Écosse et au Canada ont permis aux grands industriels de sélectionner les plus performants. Les investissements réalisés depuis lors conduisent à une accélération des travaux de recherche et développement. Dès 2013, le premier site pilote hydrolien au monde sera opérationnel en Bretagne, à Paimpol-Bréhat.

Le développement de l'éolien flottant devrait suivre de près. Si deux prototypes seulement sont actuellement testés dans le monde, d'autres éoliennes assez différentes et souvent plus innovantes devraient également être mises à l'essai au cours des prochaines années, notamment en Bretagne.

Les stades de développement des technologies houlomotrices, permettant d'exploiter l'énergie des vagues, restent quant à eux très disparates. Les premiers sites pilotes pourraient être installés dès 2014, mais nombre d'investisseurs semblent être dans une position attentiste.

Par ailleurs, trois entreprises dans le monde (dont le groupe naval français DCNS) prévoient d'ici 2014 à 2015 la construction de démonstrateurs pour la production d'électricité à partir de l'énergie thermique des mers en zone intertropicale.

Enfin, les travaux sur les dispositifs utilisant la pression osmotique pour produire de l'électricité, et sur les procédés visant à produire des carburants à partir d'algues se poursuivent sans avoir permis, à ce jour, des productions à grande échelle.

1.3. Le champ de la recherche et de l'innovation est plus structuré

Les énergies marines étant désormais identifiées comme des ressources prometteuses, la recherche, le développement et l'innovation pour leur exploitation sont soutenus par des investissements publics et privés croissants.

Ainsi que le CESER le préconisait, les efforts en matière de R&D s'inscrivent depuis 2009 dans une dynamique collaborative, qui permet de créer des synergies entre les équipes de recherche, d'organiser une meilleure circulation du savoir et de faciliter les croisements entre disciplines. Les pouvoirs publics jouent le rôle de catalyseur dans ces collaborations qu'ils soutiennent (financement de programmes de recherche) et impulsent (Instituts d'excellence en énergies décarbonées, Pôles de compétitivité...).

La création de la plateforme France Énergies Marines est une avancée majeure dans le renforcement et la coordination de la recherche. Financé par les Investissement d'avenir (à hauteur de 34 millions d'euros), ainsi que par ses 58 membres publics et privés, cet institut d'excellence est basé à Brest. Ses missions : mener des recherches partenariales sur certains aspects transversaux des énergies marines et coordonner les cinq sites d'essais français, dont les deux premiers fonctionneront dès 2013.

1.4. Les connaissances environnementales sont plus complètes mais restent insuffisantes

Des études de suivi des effets environnementaux ont été menées pour chacun des parcs éoliens construits en Europe. Ces travaux, qui ont fait apparaître un nouveau champ d'études, ont déjà permis de progresser considérablement dans la connaissance des effets de court terme des parcs éoliens sur les écosystèmes marins. Ces effets s'avèrent variables selon les sites.

Malgré les avancées, ce jeune champ de recherche se trouve face à de nombreuses incertitudes, qui concernent notamment les impacts cumulatifs liés à la multiplication des parcs ainsi qu'à leur présence sur le long terme. Par ailleurs, les impacts environnementaux des autres technologies demeurent largement méconnus, car évalués jusqu'à présent uniquement sur quelques prototypes.

1.5. Les autres usagers de la mer sont de mieux en mieux pris en compte

L'exploitation des énergies marines interfère nécessairement avec les autres usages de la mer, parfois très nombreux sur des espaces relativement limités. Si les méthodes de concertation et de planification diffèrent selon les pays, elles ont progressé en France et particulièrement en Bretagne, avec une complémentarité entre des espaces de concertation locaux, propres à chaque projet, et des espaces de concertation régionaux. Ces avancées sont liées à la fois à des obligations réglementaires et à la volonté des décideurs et des porteurs de projets de mieux faire comprendre et accepter le développement des énergies marines. Grâce à ces travaux et aux compensations mises en place, la plupart des projets français de parcs éoliens en mer ont été acceptés par les pêcheurs professionnels, premiers concernés par l'implantation de machines en mer côtière.

2. Une opportunité plus que jamais d'actualité de dynamiser le tissu industriel breton

Le CESER avait déjà souligné, dans son rapport de 2009, l'opportunité majeure de développement que constituait l'exploitation des énergies marines. Il la réaffirme aujourd'hui, à la lumière des avancées retracées ci-dessus, en appelant de ses vœux la mobilisation rapide et coordonnée de tous pour enclencher une dynamique industrielle nouvelle en Bretagne.

2.1. Éolien offshore posé : une filière est née

Au cours des deux prochaines décennies, des milliers d'éoliennes et de fondations devront être construites pour le marché européen. A ces activités de construction des machines s'ajouteront l'ensemble des opérations liées à l'installation des parcs et à

leur maintenance, parmi lesquelles la construction de navires spécialisés. Ces perspectives industrielles sont déjà une réalité pour les ports d'Esbjerg (Danemark), de Bremerhaven et de Cuxhaven (Allemagne), où plusieurs milliers de personnes travaillent à l'assemblage et à l'expédition de turbines, pales et mâts pour des éoliennes qui sont ensuite implantées dans divers pays.

Étant donné l'ampleur des besoins en termes de compétences et d'infrastructures, d'autres territoires peuvent encore se positionner dans la filière. C'est le choix fait par la France : malgré un retard dans le lancement de son programme éolien offshore qui obère la capacité à atteindre les objectifs énergétiques pour 2020, l'impulsion donnée sur le plan industriel est telle qu'elle devrait permettre de lancer une filière nationale et de l'ancrer plus largement dans le marché européen.

En effet, l'appel d'offres lancé au niveau national pour l'implantation de parcs éoliens en mer prévoyait d'évaluer les projets, pour une part non négligeable, sur leurs aspects industriels (40 % de la note totale). Cette mesure visait à garantir la solidité des réponses. De fait, les lauréats des quatre parcs attribués sont des consortiums composés d'énergéticiens et de grands groupes industriels :

- EDF, Dong et Alstom pour les parcs de Normandie et celui de Guérande ;
- Iberdrola, Eole-Res et Areva pour le parc de Saint-Brieuc.

Alstom, qui teste son prototype de 6 MW depuis 2012, et Areva, dont les éoliennes de 5 MW fonctionnent depuis 2009 en Mer du Nord, ont alors annoncé l'ouverture d'usines d'assemblage de leurs turbines au Havre (Areva, 700 emplois) et à Saint-Nazaire (Alstom, 500 emplois). Deux unités de fabrication de pales et de mâts seront également ouvertes à Cherbourg (500 emplois pour les fournisseurs d'Alstom). La localisation d'autres sites de production importants (fondations et sous-stations) reste à déterminer : c'est une opportunité à saisir pour la Bretagne.

Les consortiums ont également promis de recourir au maximum aux compétences régionales pour la sous-traitance (80 % des pièces d'une turbine), ainsi que pour de nombreuses autres activités telles que les études de terrain, les études d'impact, la construction de navires, l'installation et la maintenance des parcs, etc.

La Bretagne est particulièrement concernée par les deux parcs de Saint-Brieuc et Guérande. Les sites bas-normands et le projet vendéen lui sont également accessibles.

Au total, ce sont 7 000 à 10 000 emplois qui pourraient être créés ou confortés dans l'ouest de la France, du Havre à Saint-Nazaire. Les 100 à 150 emplois affectés à la maintenance de chaque parc seront maintenus durant vingt ans au moins. Mais parmi les emplois créés, certains seront *a priori* temporaires, puisque limités à l'installation d'un parc (études préalables, construction des navires de maintenance, travaux maritimes, installation des éléments du parc...). La pérennisation de ces emplois implique le lancement d'autres appels d'offres, la création de nouveaux parcs et, à plus long terme, le renouvellement des plus anciens, mais aussi l'ouverture à l'international ou le transfert des compétences d'une technologie à une autre.

Les différentes technologies sont donc complémentaires, et la manière dont leur développement pourra être articulé doit d'ores et déjà être prise en compte dans les stratégies de déploiement industriel.

2.2. Hydrolien : l'imminence du démarrage industriel

La ressource hydrolienne est concentrée dans un nombre limité de zones, estuaires ou détroits, dont certaines peuvent représenter un potentiel significatif. La puissance potentielle en France est évaluée à 3 GW environ, mais des sites propices à l'implantation de parcs sont recensés sur plusieurs continents, et le marché mondial pourrait alors représenter un potentiel de l'ordre de 10 000 machines.

Les deux pays qui disposent de la plus importante ressource en courants en Europe, le Royaume-Uni et la France, se préparent à délivrer des permis d'exploitation. En avril 2012, le Ministre de l'énergie a demandé à ses services de préparer le lancement en 2013 d'un appel d'offres pour la zone du Raz Blanchard, premier gisement en France. Le passage du Fromveur, entre l'archipel de Molène et l'île d'Ouessant, représente le second potentiel de France mais n'a pas été intégré dans cette démarche.

De même que pour l'éolien posé, l'activité industrielle générée par l'installation des premiers parcs ne sera pérenne qu'à la condition d'envisager ensuite une ouverture à l'export. Les territoires qui attireront les premières usines de production en série disposeront ainsi d'un atout concurrentiel pour l'avenir.

Groupes industriels et énergéticiens se livrent donc une compétition pour fiabiliser les technologies et obtenir au plus vite l'autorisation d'exploiter les meilleurs gisements de courants marins. Plusieurs acteurs français sont dans la course :

- EDF Énergies Nouvelles installe un site pilote à Paimpol, en lien avec DCNS, qui prévoit par ailleurs d'ouvrir une usine à Cherbourg à partir de 2014 ;
- Alstom développe deux concepts différents, baptisés Orca et Beluga avec des équipes de recherche basées à Nantes, Orca devant être testée à Paimpol ;
- GDF Suez s'appuie à la fois sur une technologie allemande (HyTide) et une technologie française (Sabella).

2.3. Éolien flottant : un segment innovant pour pérenniser la filière

La technologie flottante permettra d'implanter des parcs assez loin des côtes, ainsi que dans des zones où la profondeur d'eau est trop importante pour l'éolien posé, notamment sur la façade atlantique de l'Europe ainsi qu'en Méditerranée. Son potentiel de développement est donc bien supérieur à celui de l'éolien posé.

Ce segment n'est pas encore massivement investi par les grands groupes, dont certains perçoivent la technologie comme une concurrente de l'éolien posé alors qu'elle devrait être considérée comme complémentaire. Cette relative absence des

« géants » de l'éolien en mer permet à des entreprises innovantes de se positionner. Deux prototypes sont déjà à l'essai en Norvège et au Portugal.

Un projet breton s'inscrit également dans cette dynamique : Winflo. Il s'agit d'une technologie nouvelle entièrement pensée pour l'éolien flottant. Cette approche intégrée vise à optimiser chacun des éléments de la machine et doit permettre au consortium à l'origine du programme (DCNS, Nass&Wind et Vergnet) de produire lui-même tous les éléments à forte valeur ajoutée. Après la démonstration d'un prototype à échelle réduite sur le site d'essais houlomoteur du Croisic (2013), il est prévu d'installer un site pilote au large de Groix avant 2020. Selon le programme établi par le consortium, les machines de ce site seraient produites à Brest. Au vu du potentiel de production sur l'ensemble de la façade atlantique, et sous réserve d'un soutien apporté au démarrage, le marché de l'éolien flottant devrait, lui aussi, avoir des retombées économiques importantes en Bretagne.

2.4. Des activités connexes en appui à la filière

L'installation de parcs de production en mer, qu'il s'agisse d'éoliennes posées, d'hydroliennes ou d'éoliennes flottantes nécessite, au-delà de la seule industrie, la mise en place d'un système productif complet. De nombreuses activités connexes y jouent un rôle majeur, telles que les études préliminaires menées sur les sites, les phases de conception et d'ingénierie préalables à la construction, ou encore la communication autour des projets. Ces activités seront pérennes, là encore, si elles sont envisagées pour l'ensemble des projets dans leur complémentarité.

3. Organiser collectivement la filière des énergies marines en Bretagne

Aussi prometteur soit-il, le développement des énergies marines renouvelables est confronté aux incertitudes inhérentes à l'émergence d'une activité nouvelle. Ces incertitudes, qui pour la plupart avaient déjà été identifiées dans le rapport du CESER de 2009, ne doivent pas freiner l'action mais, au contraire, susciter une motivation supplémentaire pour construire, ensemble, une nouvelle activité créatrice de richesses et d'emplois.

3.1. Le déploiement des énergies marines s'inscrit dorénavant dans une planification

En 2009, il revenait à chaque porteur de projet d'identifier les sites qui lui paraissaient propices à l'installation d'éoliennes en mer, de conduire les évaluations adéquates et d'engager des processus de concertation avec les acteurs locaux. La réglementation était, de plus, totalement inadaptée aux spécificités de l'éolien offshore. Cette situation était source d'incertitudes tant pour les développeurs que pour les autres usagers de la mer.

Le CESER avait ainsi identifié les multiples instances ou initiatives dédiées aux énergies marines et appelé de ses vœux la formalisation d'un espace de concertation. Aujourd'hui, la concertation entre les acteurs de la mer et du littoral pour la définition de zones propices à l'éolien offshore posé est devenue l'une des forces de la Bretagne. En effet, dès 2009, un important travail de planification a été confié aux Préfets de région, en vue de préparer l'appel d'offres national pour l'éolien en mer. En Bretagne, ce travail a été réalisé conjointement par l'État et la Région, au sein de la Conférence régionale de la mer et du littoral. Reconnue par décret en Conseil d'État, présidée par le Préfet maritime, le Préfet de région et le Président du Conseil régional, elle rassemble les acteurs de la mer et du littoral. Cette initiative, unique en France, a permis de proposer collectivement la baie de Saint-Brieuc comme zone propice à l'implantation d'un parc éolien. L'accord trouvé tient également à la volonté des pêcheurs professionnels de participer activement à ce travail, alors qu'ils étaient réticents à l'implantation de parcs en mer avant que la planification ne soit mise en place.

Chacun des consortiums candidats a ensuite organisé la concertation autour de son projet, selon des méthodes qu'il lui appartenait de définir. En Bretagne, ces démarches semblent avoir porté leurs fruits. A l'issue de nombreuses réunions qui ont permis de définir des compensations et de faire évoluer le projet du lauréat pour le parc de Saint-Brieuc, celui-ci a été accepté par les Comités locaux des pêches. Dans le même temps, à Paimpol, la concertation organisée par EDF a permis d'aboutir à un large consensus autour du projet hydrolien.

Une troisième phase de concertation s'est ouverte après l'annonce des résultats de l'appel d'offres. Des instances de suivi pour chaque projet ont été créées, et la loi impose divers temps de concertation indispensables à l'obtention des autorisations administratives. Un débat public sera notamment organisé pour chaque parc en 2013.

Ces trois étapes de concertation et celles qui suivront, au niveau local comme au niveau régional, constituent des jalons essentiels du processus d'appropriation collective des enjeux liés aux énergies marines. Le CESER réaffirme ici la force de ce concept, plus large que celui d'« acceptabilité sociale », généralement utilisé. Ce dernier, en insistant sur le rôle central du porteur de projet (c'est à lui qu'il reviendrait de faire accepter le projet), masque l'importance des échanges avec les autres acteurs pour parvenir à une vision partagée de l'avenir énergétique et industriel de la région. Vision partagée qui est de nature à faciliter ensuite la concertation sur chacun des projets.

3.2. Sur les enjeux industriels, la gouvernance pourtant cruciale demeure insuffisante

Le développement des énergies marines suppose la mise en place d'un système productif complexe, et donc la mobilisation de nombreux acteurs.

Ce système productif doit pouvoir s'appuyer sur des infrastructures et des équipements portuaires. A Bordeaux, Saint-Nazaire, Brest, Cherbourg et Le Havre, des investissements ont d'ores et déjà été engagés dans ce sens. Il nécessite par

ailleurs la mise en place d'une filière industrielle, ce qui suppose de créer des liens nouveaux entre les entreprises. Cette démarche doit enfin être capable de dépasser la stricte logique de filière, puisque l'exploitation des énergies marines se trouve à la croisée de multiples secteurs et mobilise de nombreuses activités connexes.

En Bretagne, la stratégie régionale pour les énergies marines s'appuie sur trois axes :

- un soutien à la recherche. L'ambition est de faire de Brest la place de référence dans la R&D sur les énergies marines et d'inciter à la mise en place de démonstrateurs en Bretagne ;
- des objectifs de production d'énergie précisés dans le Pacte électrique breton : 1 000 MW d'éolien offshore et 10 MW d'hydrolien à horizon 2020 ;
- des objectifs industriels. Dans un premier temps, il s'agit de développer des activités logistiques et industrielles pour l'éolien offshore posé (à partir de 2014-2015). A plus long terme, l'objectif est de placer Brest au cœur d'une activité industrielle liée à l'éolien flottant (à partir de 2017).

Le projet de développement du port de Brest constitue un axe structurant de cette stratégie. Dans un premier temps, il vise à créer un quai lourd et des espaces de travail pour l'assemblage et le chargement des éoliennes du parc de Saint-Brieuc. Leurs fondations ainsi que la logistique du parc de Guérande pourraient également être réalisées pour tout ou partie à Brest. Une deuxième phase de travaux permettra ensuite de créer une zone dédiée à la fabrication d'éoliennes flottantes.

La stratégie régionale présente deux avantages. D'une part, elle porte sur les trois piliers complémentaires du développement des énergies marines : la recherche, les objectifs énergétiques et les stratégies industrielles. D'autre part, elle ne se focalise pas sur une seule activité ou technologie mais envisage au contraire la succession des activités de production dans le temps : l'éolien posé d'abord, l'hydrolien et le flottant ensuite, ce qui est un gage de pérennité des activités industrielles.

Elle est toutefois fragile dans sa dimension de court terme. Pour que les atouts actuels deviennent des avantages comparatifs au moment où l'éolien flottant se développera, il est important que les entreprises bretonnes puissent acquérir une expérience significative dans l'éolien en mer. Or, les acteurs bretons n'ont pas encore su valoriser pleinement leurs atouts auprès des maîtres d'œuvres en recherche de partenaires. Des compétences existent pourtant, issues notamment de l'offshore, de la construction navale, de l'électronique, des TIC, des matériaux, de l'océanographie opérationnelle... Il convient de les valoriser rapidement, au risque sinon d'écarter les entreprises bretonnes de la dynamique en cours de construction au niveau national.

Les collectivités, pôles de compétitivité, chambres consulaires et agences de développement économique se mobilisent pour organiser la filière. Mais, au-delà des actions déjà menées par chacun d'eux, un leadership clair fait aujourd'hui défaut en Bretagne, alors que dans certaines régions, il a parfois permis d'inscrire les actions de structuration de la filière dans une dynamique plus globale de marketing territorial.

En Bretagne, les acteurs ont su dialoguer efficacement dans le cadre de la concertation en amont des projets, ce qui a permis d'initier une dynamique

d'appropriation collective autour de ces derniers. Paradoxalement, ces progrès dans la concertation et l'identification d'objectifs partagés ne se sont pas traduits par la mise en place d'un pilotage efficace des enjeux économiques. Il est important de créer une dynamique du même type autour de ces enjeux en se dotant des moyens de gouvernance adaptés.

3.3. Pour une feuille de route offensive, qui réaffirme le rôle du niveau régional

A plusieurs reprises déjà, le déploiement des énergies renouvelables a été freiné par l'instabilité des politiques destinées à le soutenir. Par exemple, les récentes évolutions de la politique nationale de soutien à l'éolien terrestre ainsi qu'au photovoltaïque ont conduit au gel ou à l'abandon de certains projets. En France, les énergies marines semblent désormais assurées de politiques de soutien fermes. Celui-ci doit toutefois se prolonger et se concrétiser par le lancement rapide de nouveaux appels d'offres et la définition d'objectifs de plus long terme pour chacune des technologies.

Au niveau régional, afin de permettre une concrétisation rapide de leurs ambitions, il est nécessaire de coordonner les initiatives des différents acteurs bretons impliqués sur ce dossier, dans le cadre d'objectifs partagés, préalablement définis.

Il convient, ainsi, de décliner les grandes orientations régionales partagées entre autres dans le Pacte électrique, en **objectifs opérationnels** et en **moyens associés**. Il s'agit non seulement de valoriser et d'organiser les initiatives existantes, mais aussi d'en impulser de nouvelles pour permettre :

- de **repérer précisément les sites exploitables**. Une initiative de planification en ce sens a été lancée par le Conseil régional en 2012. Elle concerne toutes les technologies ;
- de **soutenir l'installation en Bretagne de sites pilotes** pour l'éolien flottant et l'hydrolien ;
- de **accélérer la structuration de la filière**. A cette fin, il est essentiel d'en **clarifier la gouvernance**, en nommant un chef de projet ou en instaurant un leadership accepté et reconnu par les différents organismes qui se mobilisent en faveur du développement des énergies marines ;
- de **anticiper les besoins et de structurer l'offre régionale de formation**. Là encore, la Région a annoncé la mise en place d'une instance visant à mettre en cohérence l'action des différents acteurs de la formation initiale, professionnelle et continue ;
- de **mettre en place une gestion prévisionnelle des emplois et des compétences territoriale**, afin de s'adapter à l'évolution des technologies et des activités ;
- de **poursuivre les efforts en matière de concertation** au niveau régional comme au niveau local, nécessaires à l'acceptation des projets par les populations locales et les usagers de la mer ;
- de maintenir un dialogue permanent pour l'**appropriation collective** des enjeux du développement des énergies marines. La Conférence régionale de la mer et du littoral peut constituer un lieu pertinent pour structurer ces échanges en y intégrant l'ensemble des parties prenantes. **La création en**

son sein d'un groupe de travail permanent sur les énergies marines est donc proposée, ainsi qu'un renforcement de ses moyens ;

- d'impulser des coopérations sur des enjeux tels que la formation ou la recherche, qui doivent être appréhendés à l'échelon interrégional.

L'engagement de tous est nécessaire. L'État, la Région, les collectivités, les chambres consulaires, les industriels et l'ensemble des acteurs socio-économiques doivent **participer à la définition de ces objectifs et s'engager, chacun à son niveau, dans leur mise en œuvre**. Au sein de chacun de ces organismes, il importe de clarifier au maximum les responsabilités afin de faciliter l'identification de personnes ressources et de faciliter le dialogue entre elles.

Seule une telle feuille de route, précise, offensive, partagée par tous mais clairement pilotée par un interlocuteur identifié et reconnu, permettra de concrétiser la filière des énergies marines en Bretagne.

Introduction

En 2009, le CESER publiait un rapport intitulé « *Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer !* »¹. Ce travail appelait les acteurs bretons à se mobiliser afin d'exploiter en Bretagne le formidable potentiel des énergies marines et profiter de leurs retombées économiques et sociales. Il visait également à instaurer un véritable débat permettant d'aboutir à des cadres de pensée et d'action partagés.

Dans ce rapport, le CESER identifiait « trois défis pour une feuille de route » :

- produire de l'énergie en Bretagne grâce aux énergies marines;
- définir une stratégie de déploiement industriel ;
- créer en Bretagne un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale.

Trois ans plus tard, et alors que l'année 2012 aura été une année charnière pour le développement des énergies marines renouvelables (EMR)² en France, un nouvel examen de ces trois axes laisse une impression contrastée.

Sur le plan énergétique, les avancées sont très nettes. L'Union européenne, ainsi que de nombreux États, dont la France, ont fixé des objectifs précis pour l'exploitation des EMR et initié des politiques permettant de les atteindre. En France, l'appel d'offres pour l'éolien en mer permettra une première mise en œuvre des objectifs fixés par le Grenelle de l'Environnement en matière d'énergies marines renouvelables. Néanmoins, certains éléments laissent à penser qu'au rythme actuel, les objectifs fixés pour 2020 ne pourront pas être atteints.

Sur le plan de la recherche et développement, la préconisation du CESER est devenue réalité, puisqu'un Institut d'excellence entièrement dédié aux énergies marines renouvelables a été créé en 2012. Il s'agit de France Énergies Marines, implanté à Brest. Cette création est symptomatique de la vigueur des dynamiques collaboratives qui associent laboratoires publics et entreprises privées à travers l'Europe entière.

Le volet industriel est celui qui a connu les plus grands bouleversements. Identifié dès 2009 par le CESER, il n'avait sans doute pas été perçu à l'époque à sa juste dimension mais se trouve désormais au centre des attentions. La filière industrielle de l'éolien offshore est en passe de devenir une réalité. Ce tournant a considérablement accru l'importance des enjeux économiques des EMR, mais également leur urgence. La création de plusieurs usines est annoncée dans l'ouest de la France et de nombreux projets peuvent être recensés en Bretagne. C'est dans la période actuelle que se décide la localisation d'activités industrielles destinées à être pérennes, puisqu'outre le marché intérieur, elles visent également le marché européen.

¹ Ce rapport est toujours disponible. Il peut être envoyé gratuitement sur demande ou téléchargé sur le site Internet du CESER www.ceser-bretagne.fr.

² Le terme énergies marines renouvelables doit ici être entendu dans un sens large : il désigne l'ensemble des technologies permettant de produire de l'électricité, des biocarburants, du froid ou de la chaleur à partir des sources d'énergies disponibles en mer : vent, houle, courants, biomasse algale, gradients de température et de salinité.

Enfin, le CESER, très attaché aux enjeux liés à la gouvernance et à l'appropriation collective des projets, constate que si les EMR font désormais l'objet d'une démarche de planification et d'une large appropriation par les parties prenantes en Bretagne, le sujet n'en demeure pas moins lointain pour nombre de citoyens.

Pour toutes ces raisons, le CESER a choisi de renouveler son appel à la mobilisation afin que la Bretagne, disposant d'importantes ressources naturelles, d'un grand potentiel de recherche et d'innovation, ainsi que d'entreprises compétentes et d'infrastructures adaptées, participe pleinement au développement de la filière industrielle.

En complétant son précédent rapport, le CESER souhaite ainsi proposer une information actualisée sur la réalité des évolutions intervenues depuis 2009, mais aussi et surtout apporter des éclairages nouveaux aux décisions à venir, cruciales pour l'avenir industriel de la région.

Deux parties composent ce rapport complémentaire. La première propose un état des lieux des évolutions intervenues depuis 2009 en termes de programmation énergétique (chapitre 1) et de progrès technologiques (chapitre 2). Elle montre également que des incertitudes subsistent quant au déploiement de ces technologies (chapitre 3). Au vu de ces incertitudes, et à la lumière des progrès intervenus dans la concertation, notamment en Bretagne, le CESER réaffirme la force de la notion d'appropriation collective et encourage les acteurs à aller plus loin encore (chapitre 4).

La seconde partie de l'étude est consacrée aux enjeux économiques et industriels. Chacune des technologies se trouve face à d'importantes perspectives de développement (chapitre 5), et la filière industrielle des énergies marines a commencé à se mettre en place par le déploiement de l'éolien offshore posé (chapitre 6). Après avoir montré que la Bretagne possédait de nombreux atouts pour prendre part à cette dynamique (chapitre 7), l'étude détaille les conditions de mise en œuvre d'une stratégie régionale partagée (chapitre 8).

Première partie

Maintenir le cap
pour atteindre
les objectifs fixés

Une étude prospective de l’Ifremer publiée en 2008 soulignait l’importance de l’intervention publique pour le développement des énergies marines renouvelables³. Il apparaissait notamment que les États avaient un rôle central à jouer, qui recouvrait trois dimensions : la définition des stratégies, la coordination des compétences et le soutien aux initiatives ciblées.

En France, l’État a pris conscience de ce fait. Il soutient des programmes de recherche et a récemment attribué quatre zones pour des parcs éoliens en mer. Un certain nombre de ces projets sont en voie de concrétisation, mais ils devront toutefois faire face à diverses difficultés, comme le montrent les exemples tirés de pays plus avancés. Il convient donc de rester prudent. Et ce, d’autant plus que les effets d’annonce sont légion, qui exagèrent fréquemment l’ampleur ou la probabilité de réalisation des projets.

Attaché au développement des énergies marines, le CESER souhaite s’interroger sur l’ampleur réelle du phénomène : quelle pourra-t-être, demain, la place des énergies marines renouvelables dans le bouquet énergétique français ? Les politiques de soutien sont-elles conformes aux objectifs chiffrés ? A quelles réalisations pourront-elles aboutir ? Comment les acteurs de la société civile peuvent-ils contribuer au développement des énergies marines ?

Pour répondre à ces questions, le rapport analysera :

- les objectifs de long terme assignés aux EMR et la part de ces objectifs qui a déjà été atteinte (chapitre 1) ;
- l’état de l’art en matière de recherche et développement (chapitre 2) ;
- les freins au déploiement des EMR : ceux qui ont été partiellement levés et ceux qui subsistent (chapitre 3) ;
- la manière dont l’appropriation collective des enjeux liés aux énergies marines peut faciliter le succès des projets (chapitre 4).

³ Ifremer, 2008. *L’avenir des énergies renouvelables marines*.

Chapitre 1

Des objectifs convergents et des projets qui se concrétisent

1.	Les énergies marines entrent dans les programmations énergétiques	13
1.1.	La politique énergétique européenne	13
1.2.	La politique énergétique nationale	15
1.3.	En Bretagne	17
1.4.	Demain, des objectifs plus ambitieux ?	17
1.5.	Prendre toute la mesure du potentiel de production des énergies marines	19
2.	Un développement rapide des EMR sur les côtes européennes... et bientôt en France	20
2.1.	Le Danemark : un pionnier de l'éolien offshore toujours actif	21
2.2.	Le Royaume-Uni et l'Irlande : tirer le meilleur profit de potentiels exceptionnels	22
2.2.1.	L'Irlande : un développement en collaboration avec le Royaume-Uni	22
2.2.2.	Le Royaume-Uni, locomotive de l'éolien offshore	23
2.2.3.	L'Écosse : le cas particulier d'une région qui vise l'indépendance énergétique	24
2.3.	Ailleurs dans le monde	24
2.4.	En France : enfin des projets qui se concrétisent !	26
2.5.	Des projets qui se confirment en Bretagne	29
2.5.1.	Un site pilote hydrolien à Paimpol-Bréhat	29
2.5.2.	Un parc éolien en baie de Saint-Brieuc	30
2.5.3.	Un démonstrateur et un projet de parc hydrolien dans le passage du Fromveur	32
2.5.4.	Un parc pilote pour l'éolien flottant à Groix	32

La production d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables est une nécessité. Nécessité écologique, tout d'abord, dans un contexte où le lien entre émissions de gaz à effet de serre et réchauffement climatique a été démontré. Nécessité économique et géopolitique, ensuite. La hausse continue du prix de l'énergie pèse en effet très lourd dans la balance commerciale des pays européens, largement dépendants d'importations de pétrole, de gaz, de charbon ou même d'uranium depuis des pays souvent instables politiquement⁴. Étant donné la faiblesse des ressources fossiles disponibles en Europe et leur épuisement progressif au niveau mondial, l'exploitation des énergies renouvelables devient incontournable pour limiter la dépendance énergétique des pays européens.

Cet enjeu est de mieux en mieux pris en compte dans les politiques énergétiques : ainsi, au cours des dernières années, l'Union européenne et les États ont fixé des objectifs convergents en matière de développement des énergies renouvelables. Dans quelle mesure ces objectifs chiffrés se traduisent-ils par le déploiement effectif des énergies marines ?

Les feuilles de route des pays européens disposant de ressources intéressantes s'accordent à faire de l'éolien en mer un élément significatif des bouquets énergétiques à l'horizon 2020, et certaines intègrent également (mais de manière très secondaire) les autres énergies marines (1). Les politiques énergétiques mises en place dans ce cadre conduisent à l'installation de nombreux parcs éoliens dans les pays d'Europe du Nord. En France, les premiers parcs devraient commencer à fonctionner dès 2018 (2).

1. Les énergies marines entrent dans les programmations énergétiques

L'Union européenne, la France et la Région Bretagne ont défini des objectifs convergents en termes de production d'énergies renouvelables.

1.1. La politique énergétique européenne

Le traité de Lisbonne (2007) a donné une base juridique à la politique énergétique européenne et a fait de l'énergie une compétence partagée. Alors que la politique énergétique de l'Union était initialement libérale, la prise en compte du réchauffement climatique a amené la Commission à fixer des objectifs contraignants

⁴ « En 1999, l'Union européenne à 27 avait importé pour 84 milliards d'euros d'énergie, soit 1 % de son produit intérieur brut. En 2011, on en était à 488 millions, soit 3,9 % du PIB de l'Union, quatre fois plus qu'en 1999. Un euro de la richesse produite sur le Vieux Continent sur 25 s'en va donc chaque année à l'extérieur de l'Union pour nous permettre de nous chauffer et de nous déplacer. Cela peut sembler un sacrifice limité, mais en réalité, une « fuite » de cette ampleur suffit à faire la différence entre une économie saine et une économie en difficulté [...] L'Europe est plus sensible à ce phénomène que les autres régions du monde parce que – du fait de son industrialisation précoce – elle est aussi la zone où les réserves fossiles sont le plus épuisées ». Source : Alternatives économiques n°313, mai 2012. Desserrer l'étau. Extrait du dossier « Europe : l'urgence énergétique ».

en termes d'émissions de CO₂ (dès 2005) et d'énergies renouvelables, à partir du paquet Énergie-Climat adopté en 2008.

Conformément à ce texte dit « des trois 20 », l'Europe devra, à l'horizon 2020 :

- diminuer ses émissions de gaz à effet de serre de 20 % par rapport à 1990 ;
- produire 20 % de l'énergie qu'elle consomme à partir de sources renouvelables ;
- accroître de 20 % l'efficacité énergétique de son économie.

La Commission souhaite ainsi faire des énergies renouvelables « le levier qui permettra d'atteindre le double objectif d'une plus grande sécurité d'approvisionnement et d'une réduction des gaz à effets de serre »⁵. Elle laisse aux États membres le soin de définir les objectifs à atteindre, technologie par technologie, sous la forme de plans d'action en faveur des énergies renouvelables. Néanmoins, la Commission accorde une place centrale à l'éolien, y compris en mer⁶. En revanche, elle juge négligeable la contribution des autres énergies marines en 2020.

Outre ces objectifs énergétiques, un autre instrument de la politique européenne vise à faciliter le développement des EMR : l'interconnexion des réseaux de transport de l'électricité. Pour la Commission, le déploiement des énergies marines représente à la fois un défi et une opportunité pour les réseaux électriques. Un défi car l'intégration au réseau de grands parcs nécessitera d'importants investissements, une opportunité dans la mesure où la situation géographique des parcs permet d'envisager une interconnexion à grande échelle via des câbles sous-marins. La création d'un réseau de transport d'électricité dans la Mer du Nord a ainsi été identifiée comme l'une des priorités de la Commission en matière d'infrastructures énergétiques. Ce réseau permettra d'acheminer l'électricité produite par les éoliennes en mer vers les consommateurs, de réduire les difficultés liées à l'intermittence des productions et de stocker l'énergie (notamment grâce au potentiel hydraulique de la Norvège). Sa mise en place est actuellement à l'étude mais il apparaît déjà qu'elle devra affronter de grandes difficultés, liées à son coût, mais également aux différences entre les législations nationales⁷.

⁵ *Feuille de route pour les sources d'énergie renouvelables*. Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen, janvier 2007.

⁶ *Énergie éolienne en mer : réaliser les objectifs de politique énergétique à l'horizon 2020 et au-delà*. Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen, novembre 2008.

⁷ The New York Times, 16 janvier 2012. *An energy supergrid for Europe faces big obstacles*.

Figure 1. L'interconnexion des parcs éoliens en mer à l'horizon 2030, une proposition de l'EWEA.



Source : EWEA.

Compte tenu de ces difficultés, il a été proposé d'instituer un « mécanisme pour l'interconnexion en Europe », qui permettrait de financer ces infrastructures. Un règlement européen sur ces questions doit être adopté fin 2012⁸.

1.2. La politique énergétique nationale

En réponse aux exigences européennes et suite aux débats du Grenelle de l'environnement, la politique énergétique nationale fixe désormais des objectifs précis en termes d'énergies renouvelables à l'horizon 2020.

Ces objectifs ont été officialisés en 2009, dans la programmation pluriannuelle des investissements d'électricité (PPI) pour la période 2009-2020. En se basant sur les orientations données par le comité opérationnel n°10 du Grenelle de l'environnement, la programmation prévoit d'augmenter la puissance installée à hauteur de :

- 25 000 MW pour l'éolien, dont 6 000 MW en mer ;
- 5 400 MW de solaire ;
- 2 300 MW de biomasse ;
- 3 000 MW de capacité de pointe pour l'hydraulique.

Le premier objectif chiffré pour la production d'énergies marines en France était apparu dans la PPI de 2003, avec une puissance de 500 à 1 500 MW d'éolien

⁸ Commission de régulation de l'énergie, novembre 2011. *Proposition de règlement européen sur les investissements prioritaires*. Décryptages n°27.

offshore en 2007. Revu à 4 000 MW dans la PPI de 2006, il ne concernait que l'éolien offshore, de même que la PPI de 2009.

Pour les autres énergies marines, une première ambition a été définie par le Président de la République lors de son discours du Havre en 2009. Il ne s'agissait pas encore d'objectifs chiffrés, mais plutôt d'une affirmation de la volonté de soutenir l'innovation dans des technologies de rupture. Cette ambition a été précisée par le Livre bleu du Grenelle de la mer, qui propose des solutions pour soutenir la recherche et développement ainsi que pour faciliter l'implantation des EMR en France.

C'est avec le Plan national en faveur des énergies renouvelables présenté en 2010, conformément aux directives européennes, qu'apparaissent les premiers objectifs chiffrés, toujours en vigueur, pour les énergies marines renouvelables (hors éolien posé).

Tableau 1. Objectifs définis pour les énergies marines dans le Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables.

Source d'énergie	Puissance installée en 2009 (MW)	Objectif 2020 (MW)
ETM	0	40
Hydrolien	0	50
Marémoteur	250	250
Houlomoteur	0	50
Éolien offshore	0	6 000

Source : Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables, 2010.

De son côté, l'ADEME a publié une feuille de route qui fixe des objectifs plus ambitieux à horizon 2020 (hormis pour l'éolien en mer, la feuille de route ayant été préparée à l'époque où l'objectif national était de 4 000 MW), en se basant sur l'étude prospective qu'avait menée l'Ifremer.

Tableau 2. Objectifs pour les énergies marines tels que définis par l'ADEME.

Source d'énergie	Objectif 2020 (MW)
Hydrolien	400
Marémoteur	500
Houlomoteur	200
Éolien posé	4 000
Éolien flottant	1 000
ETM	200

Source : Feuille de route sur les énergies marines renouvelables, ADEME, 2009.

1.3. En Bretagne

Bien que leurs compétences en matière de politique énergétique soient limitées à l'élaboration des Schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) instaurés par la loi Grenelle 2, les Régions jouent un rôle croissant dans ce domaine⁹. Le profil énergétique particulier de la Bretagne¹⁰ a ainsi poussé la Région, dès 2007, à élaborer une politique énergétique volontariste, avec notamment un Plan Énergie pour la Bretagne visant à favoriser la maîtrise de l'énergie et la promotion des énergies renouvelables. Déjà, ce plan fixait des objectifs en termes d'EMR :

- 500 MW pour l'éolien offshore en 2015, 1 000 MW en 2020 ;
- 1 à 3 démonstrateurs pour l'exploitation de l'énergie des vagues ou des courants avant 2013 ;
- 1 plateforme d'essai pour les énergies marines (vagues ou courants) avant 2015.

Cette démarche a connu un nouvel élan à partir du moment où la Région a été associée à la mise en œuvre de la politique énergétique de l'État à travers la Conférence bretonne de l'énergie, instaurée en janvier 2010. Après un an de travail, cette Conférence a permis la signature, en janvier 2011, du Pacte électrique breton, définissant des objectifs partagés.

L'un des engagements de ce pacte est de porter la production d'électricité renouvelable en Bretagne à 3 600 MW d'ici 2020. L'hydrolien devrait y contribuer à hauteur de 10 MW et l'éolien offshore posé ou flottant à 1 000 MW. Ce dernier objectif a constamment été réaffirmé depuis lors.

Nouvel outil de planification, le SRCAE entrera en vigueur à partir de la fin de l'année 2012. Il définira les orientations stratégiques des collectivités bretonnes en matière de lutte contre le changement climatique et un schéma régional éolien lui sera annexé. En Bretagne, ce dernier document concernera également l'éolien en mer, bien que le législateur ne l'impose pas.

1.4. Demain, des objectifs plus ambitieux ?

Qu'ils soient européens, nationaux ou régionaux, les objectifs de développement des énergies marines font l'objet d'un relatif consensus qui facilite leur stabilité dans le temps. Néanmoins, l'horizon 2020 se rapproche et il convient de définir rapidement des objectifs ultérieurs permettant de donner de la visibilité aux investisseurs.

Dans cette perspective, les associations de professionnels du secteur définissent elles-mêmes des feuilles de routes à échéance 2030 voire 2050. Dans un rapport intitulé « *Ambition éolien 2012* », France Énergie Éolienne appelle par exemple de

⁹ Le Monde, 12 septembre 2012. *Les territoires à la reconquête de l'énergie*.

¹⁰ La région est située à l'extrémité du réseau de transport de l'électricité et ne produit que 10 % de l'électricité qu'elle consomme, ce qui en fait avec la région Provence Alpes Côte d'Azur l'une des deux régions les plus fragiles du pays en termes d'approvisionnement.

ses vœux l'installation de 55 000 MW d'énergie éolienne en 2030, dont 15 000 MW en mer¹¹. Un tel objectif impose un accroissement significatif du rythme des installations.

Autre exemple, également très volontariste : la feuille de route publiée par l'Association européenne pour l'énergie des océans (EOEA)¹². Au vu de l'énorme potentiel de l'Union pour l'exploitation des énergies marines (entendues dans un sens étroit : énergie des vagues, des courants et pression osmotique), elle propose une programmation permettant un développement exponentiel des énergies marines. En termes de capacité installée, l'objectif est fixé à 3,6 GW en 2020, et à 188 GW en 2050 !

La Commission européenne a également engagé une réflexion sur les objectifs énergétiques de l'Union au-delà de 2020¹³. Les débats achoppent sur la question suivante : faut-il aller au-delà des objectifs du paquet Climat-Énergie, en fixant de nouveaux objectifs contraignants à horizon 2030 ?

Un document préparatoire à une rencontre informelle entre les Ministres de l'énergie des 27, élaboré sous la présidence danoise, mentionne un objectif de l'ordre de 30 % d'énergies renouvelables dans la consommation en 2030. L'Allemagne partage cette volonté de fixer des objectifs plus contraignants, de même que le Commissaire européen à l'énergie, qui s'est déclaré « *personnellement favorable à un objectif contraignant plus élevé en 2030 pour les énergies renouvelables* »¹⁴.

A contrario, France et Royaume-Uni considèrent que la lutte contre le réchauffement climatique doit certes passer par les énergies renouvelables mais aussi par le nucléaire, et qu'il n'est pas souhaitable que la politique énergétique privilégie les premières¹⁵.

Les objectifs énergétiques français pourraient toutefois être amenés à évoluer suite au débat national sur l'énergie annoncé par le Président de la République pour la fin de l'année 2012.

¹¹ France Energie Eolienne, avril 2012. *L'énergie éolienne : renouvelable, compétitive et créatrice d'emplois*. Pour une démarche du même type au niveau européen, voir EWEA, *Breath of fresh air – EU energy policy after 2020, 2011*.

¹² European ocean energy association, 2010. *Oceans of Energy. European ocean energy roadmap 2010-2050*.

¹³ Commission européenne, 6 juin 2012. *Énergies renouvelables : un acteur de premier plan sur le marché européen de l'énergie*. COM(2012) 271,

¹⁴ Actu Environnement, 6 juin 2012. *Énergies renouvelables : la Commission présente son mode d'emploi pour atteindre l'objectif 2020*. Le Monde, 14 février 2012. *Énergies renouvelables : les Européens divisés*.

¹⁵ Selon le député Roland BLUM, « la France devrait donc plaider [...] pour que l'UE concentre sa future législation sur un seul objectif quantifié pour 2030 concernant la réduction de gaz à effet de serre ». BLUM R., avril 2012. *Principales décisions que le Parlement et le gouvernement devront prendre dès l'été 2012 pour que la France puisse atteindre les objectifs de sa politique énergétique*. Rapport au Premier Ministre.

1.5. Prendre toute la mesure du potentiel de production des énergies marines

Ces objectifs énergétiques sont à mettre en regard du potentiel de production d'électricité à partir des différentes technologies, qui ouvre de larges perspectives de déploiement en France.

Si l'Europe est l'une des zones au monde les plus adaptées à l'éolien offshore posé, elle doit principalement cette caractéristique à l'extension du plateau continental en Mer du Nord. Les sites propices sont concentrés sur les côtes de la Manche et de la Mer du Nord, ainsi que sur la façade atlantique entre la Bretagne et l'Aquitaine. L'Agence internationale de l'énergie évalue toutefois le potentiel éolien offshore français à 30 TWh par an, soit la consommation domestique de 13 millions de Français¹⁶. Ces chiffres doivent néanmoins être maniés avec prudence : il s'agit bien d'un potentiel, dont on ne mesure pas entièrement ni la faisabilité technique ni l'acceptabilité sociale.

Pour des pays comme la France, l'Irlande, le Portugal, l'Espagne ou l'Italie, limités par la morphologie des côtes, l'éolien flottant élargira considérablement le potentiel de production. En ouvrant la possibilité de positionner des éoliennes par des profondeurs supérieures à 50 m, cette technologie permettra d'accéder à de nouveaux espaces, mais également de s'éloigner des côtes afin de tirer parti de vents plus soutenus et de réduire les interactions avec les autres usages. En France, l'éolien flottant permettra d'envisager l'exploitation d'une douzaine de zones supplémentaires, dont les deux plus importantes seraient situées en Bretagne¹⁷.

L'Europe possède également un important potentiel techniquement exploitable pour l'hydrolien, qu'EDF évalue entre 15 et 35 TWh/an, pour 10 GW de puissance installée (sur un potentiel mondial estimé à 450 TWh/an). Le potentiel techniquement exploitable français représente 5 à 14 TWh/an selon EDF, soit entre 2,5 et 3,5 GW de puissance installée. Ce potentiel est réparti sur un petit nombre de zones : détroits, caps et goulets. La plus importante est celle du Raz Blanchard, partagée entre la France et le Royaume-Uni : 1 GW de puissance pourrait être installé dans la seule partie française de cette zone, soit un millier de machines ! Situé entre l'archipel de Molène et l'île d'Ouessant, le passage du Fromveur représente le second potentiel de France. Plusieurs zones de moindre importance ont été répertoriées en Bretagne : raz de Sein, Bréhat¹⁸.

Dernière ressource abondante dans nos régions : la houle. Selon le Conseil mondial de l'énergie, l'énergie houlomotrice pourrait couvrir jusqu'à 10 % de la demande annuelle mondiale en électricité, soit un potentiel techniquement exploitable de

¹⁶ Données citées par le Syndicat des énergies renouvelables dans un document de présentation de l'éolien en mer publié en 2011.

¹⁷ Audition de M. Stéphane JEDREC (Nass& Wind), 26 avril 2012.

¹⁸ Audition de M. Marc BŒUF (DCNS), 8 mars 2012 ; Ifremer, 2008. *Les énergies renouvelables marines*.

1 400 TWh/an. En France métropolitaine, ce potentiel est évalué à 40 TWh/an, et concerne pour l'essentiel la façade atlantique¹⁹.

En théorie, il est donc possible de produire de grandes quantités d'électricité à partir des EMR en France et en Bretagne. Pour donner une chance à cette possibilité de se concrétiser et pour apporter aux opérateurs la visibilité nécessaire, **il est urgent de repérer précisément quelles sont les zones propices à l'échelle de la région, et les potentiels de production attendus. Le CESER se félicite de l'initiative prise par le Conseil régional en ce sens²⁰ et souhaite que l'ensemble des parties prenantes participe à ce travail, qui ne peut être mené que dans le cadre d'une véritable concertation.**

2. Un développement rapide des EMR sur les côtes européennes...et bientôt en France

Les objectifs définis par les autorités européennes ou nationales sont suivis d'effets : le bouquet énergétique se modifie peu à peu pour faire une place croissante aux énergies renouvelables. Les statistiques de l'European Wind Energy Association (EWEA)²¹ montrent que l'énergie éolienne en mer y occupe une place croissante et que les autres énergies marines y font une entrée timide. Au 30 juin 2012, 1 503 turbines étaient installées au sein de 56 parcs répartis entre 10 pays européens. La puissance cumulée de ces machines s'élevait à 4,3 GW.

L'Europe est désormais en avance sur les autres régions du monde, tant du point de vue des capacités éoliennes offshore installées que de celui des autres EMR. Pour l'hydrolien, l'éolien flottant ou le houlomoteur, la plupart des systèmes installés le sont en effet au Royaume-Uni, en France, en Norvège ou encore dans la péninsule ibérique ; même si des projets importants concernent également les États-Unis, le Canada et l'Australie.

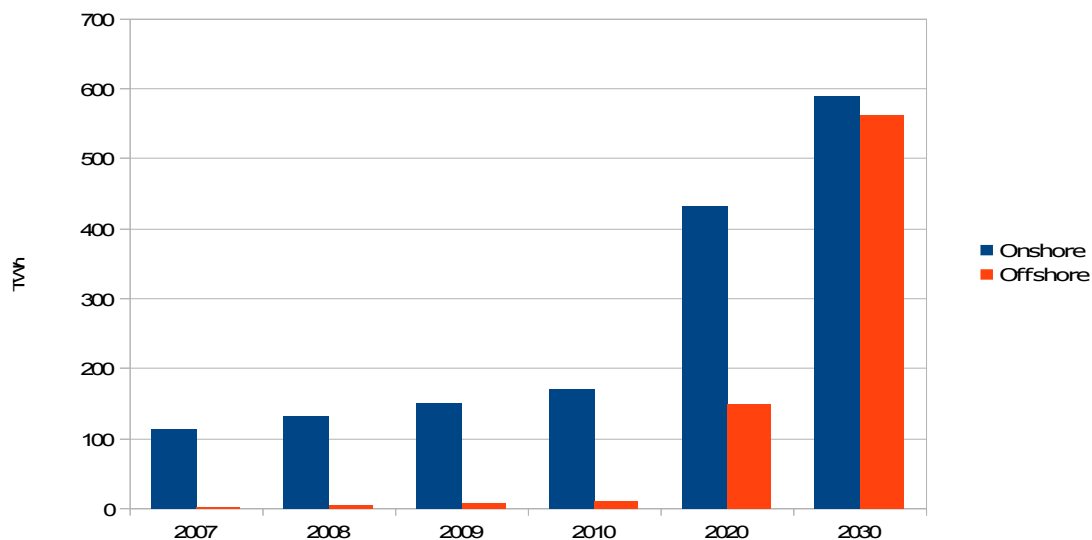
En outre, la production éolienne offshore devrait croître très rapidement d'ici à 2030, selon les prévisions de l'EWEA.

¹⁹ Audition de M. Alain CLEMENT (Ecole centrale de Nantes), 5 avril 2012. Ifremer, 2008. *Les énergies renouvelables marines*.

²⁰ Initiative annoncée par le Président du Conseil régional lors de la Conférence régionale de la mer et du littoral du 2 février 2012.

²¹ EWEA, 2012. *Wind in Power. 2011 European statistic*. EWEA, juillet 2012. *The European offshore wind industry, key trends and statistics 1st half 2012*.

Figure 2. Production d'électricité éolienne onshore et offshore en Europe.



Source : EWEA 2012.

2.1. Le Danemark : un pionnier de l'éolien offshore toujours actif

L'éolien est très fortement ancré dans la société danoise, pays qui fut le pionnier dans l'offshore, avec un premier parc installé en 1991. Le Royaume ambitionne de produire 50 % de son électricité grâce au vent dès 2025.

Ce succès repose sur une politique volontariste axée sur :

- le soutien public aux projets : tarif de rachat garanti, prise en charge du raccordement par le gestionnaire de réseau ;
- l'appropriation collective des projets : les citoyens peuvent participer au financement de parcs situés près de chez eux tandis que la concertation avec les pêcheurs est menée en amont ²² ;
- la simplification des procédures.

Nombre de parcs danois présentent la particularité d'être de taille moyenne et d'utiliser des machines de faible ou moyenne puissance, même si les turbines des parcs anciens sont progressivement remplacées par des modèles plus performants. La plupart des projets en attente d'autorisation portent sur des parcs de 200 MW, soit moins de la moitié de celui de Saint-Brieuc. Et si certains atteignent 1 200 MW, d'autres affichent une puissance de quelques dizaines de MW seulement²³ ! En juin 2011, les parcs danois en fonctionnement ne représentaient que 854 MW de puissance cumulée, quand celui de Thanet en Angleterre affiche, à lui seul, 300 MW. A cet égard, ils peuvent sembler modestes par rapport à ceux que d'autres pays envisagent de créer. Peut-on alors toujours parler de « modèle danois » ?

²² Le Monde, 28 juillet 2010. Énergie éolienne : la leçon danoise.

²³ Éolien offshore au Danemark : bilan 2010/01. <http://energiesdelamer.blogspot.fr/>, 7 octobre 2010. Pour une information détaillée sur les parcs existants ou en projet, voir www.thewindpower.net.

En premier lieu, il convient de signaler que s'ils peuvent aujourd'hui sembler modestes, les premiers parcs installés au Danemark ont permis de faire progresser la technologie et rendu possible l'installation ultérieure de grands parcs.

Par ailleurs, le Danemark demeure le troisième pays au monde en termes de puissance installée, après le Royaume-Uni et l'Allemagne, et poursuit activement sa politique d'installations de parcs.

Mais c'est avant tout sur le plan économique que le Danemark peut faire figure de modèle. La précocité et la stabilité de la politique de soutien à l'éolien offshore ont permis aux Danois d'occuper une place de premier plan dans ce domaine d'activité. Par exemple, le port d'Esbjerg, qui s'est spécialisé dans l'éolien offshore, est souvent cité comme un exemple de reconversion réussie (voir chapitre 6)

2.2. Le Royaume-Uni et l'Irlande : tirer le meilleur profit de potentiels exceptionnels

Le Royaume-Uni et l'Irlande possèdent des potentiels exceptionnels pour l'exploitation des énergies marines, avec :

- un plateau continental très étendu en Mer du Nord et donc de grands espaces peu profonds propices aux implantations d'éoliennes ;
- le premier potentiel d'Europe pour l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants²⁴.

Conscients de ces potentiels, les deux États ont mis en place des politiques volontaristes : cartographie des zones exploitables, appels d'offres, mise en place de sites d'essais, soutien à l'innovation...

2.2.1. L'Irlande : un développement en collaboration avec le Royaume-Uni

Le gouvernement irlandais a engagé précocement une politique de soutien aux énergies marines, qui a abouti à l'installation d'un premier parc de 7 éoliennes en 2004. Il prévoit désormais de déployer 3 400 MW d'éolien en mer d'ici 2020. Un parc de 1 000 MW est actuellement en construction, tandis que six autres projets sont toujours à l'étude.

Ces projets sont menés en lien avec les autorités britanniques, avec lesquelles un accord a été signé en juin 2011. Celui-ci porte sur l'exploitation de l'ensemble des énergies marines dans la Mer d'Irlande et la Manche. Il concerne également l'interconnexion des réseaux, car pour le Ministre britannique de l'énergie, *« il paraît beaucoup plus intelligent aujourd'hui de développer et de partager une énergie*

²⁴ *The future of marine renewables in the UK*. Rapport parlementaire présenté devant la Chambre des communes, février 2012.

propre, verte et sûre avec nos voisins plutôt que d'importer massivement de l'énergie fossile de parties du monde éloignées »²⁵.

2.2.2. Le Royaume-Uni, locomotive de l'éolien offshore

En quelques années, le Royaume-Uni est devenu le premier pays au monde en termes de capacités éoliennes installées en mer. Avec un objectif fixé à 18 GW pour 2020²⁶, il devrait continuer à accroître son avance sur les autres pays.

Le gouvernement britannique a défini une politique reposant sur trois piliers :

- la délimitation de zones propices. Le Crown Estate, administration en charge des eaux territoriales, finance lui-même des recherches, de manière à définir et caractériser les zones exploitables ;
- le lancement d'appels d'offres. Trois appels d'offres ont successivement été lancés par le Crown Estate, qui portaient sur des champs de plus en plus grands, nombreux et éloignés des côtes. Les 9 zones du « Round 3 » ont été attribuées en janvier 2010 pour un total de 32,2 GW. Dogger Bank, la plus importante de toutes, doit permettre à elle seule d'implanter 9 GW de capacité de production ;
- un soutien financier attractif par le biais d'« obligations renouvelables »²⁷.

Fort de ces objectifs ambitieux, le Royaume-Uni est devenu la locomotive de l'éolien offshore en Europe. En juin 2011, la puissance installée au Royaume-Uni était approchant 1 600 MW et plus de 600 éoliennes supplémentaires étaient en cours d'installation au début de l'année 2012, auxquelles il faut ajouter les nombreux projets n'ayant pas encore démarré²⁸. Ces perspectives attirent les industriels du secteur, et les principaux acteurs européens de l'éolien en mer sont d'ailleurs tous présents sur le marché britannique.

Le Royaume-Uni est également engagé dans le soutien aux autres énergies marines, avec plusieurs projets en cours :

- un soutien financier aux démonstrateurs et à trois sites d'essais : les deux sites écossais et le Wave Hub, destiné à tester les systèmes houlomoteurs au sud-ouest de la Grande-Bretagne ;
- des démarches visant à attribuer les premières zones pour la production d'électricité grâce à l'énergie des vagues ou des courants, en Écosse ainsi que dans le Raz Blanchard ;

²⁵ Cité par le blog des énergies de la mer. *Énergies marines : accord historique entre le Royaume-Uni et l'Irlande*. <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 24 juin 2011.

²⁶ Le Marin, 8 juin 2012. *Royaume-Uni : le leader veut multiplier ses installations par dix*.

²⁷ Pour chaque MWh d'électricité produite, le producteur se voit remettre un certificat. Celui-ci peut ensuite être revendu aux entreprises ne produisant pas suffisamment d'énergie d'origine renouvelable par rapport aux ratios fixés par le gouvernement. Les producteurs de l'éolien offshore reçoivent deux fois plus de certificats que ceux de l'éolien à terre. Quant aux exploitants d'autres énergies marines, ils en reçoivent plus encore. Ce système va toutefois changer prochainement, le gouvernement ayant choisi de le remplacer par un système de tarif d'achat garanti sur 30 ans à partir de 2017. Systèmes solaires, 2011. *Le Royaume-Uni, leader mondial de l'éolien offshore*. Hors-série Le journal de l'éolien n°9. In *Depht : UK's EMR plans have to provide a spark*. www.rechargenews.com, 27 février 2012.

²⁸ *Renewables UK*. Plaquette de présentation de la conférence Global Offshore Wind, 13 et 14 juin 2012, Londres. Capgemini consulting, 2012. *Cleantech Tracker 2011-2012 – 3rd edition*.

- une forte mobilisation autour des projets d'interconnexion des réseaux, qu'il s'agisse de projets bilatéraux (Royaume-Uni/Irlande, Royaume-Uni/Islande ou Royaume-Uni/France) ou multilatéraux (projet d'interconnexion des parcs éoliens de la Mer du Nord).

Un rapport de la Chambre des Communes pointe néanmoins le risque de voir le Royaume-Uni, pays pionnier pour l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants, distancé par d'autres nations, si des objectifs clairs et ambitieux ne sont pas rapidement fixés pour ces technologies²⁹.

2.2.3. L'Écosse : le cas particulier d'une région qui vise l'indépendance énergétique

Alex SALMOND, Premier ministre de l'Écosse, a fait de l'indépendance énergétique l'une de ses priorités. Ce nationaliste y voit une opportunité d'affranchir un peu plus sa région de la tutelle de Londres. Après avoir rehaussé l'objectif pour 2020 de 50 % à 80 % lors de son précédent mandat, il vise désormais les « 100 % renouvelables » en matière de production d'électricité.

L'Écosse compte sur son important potentiel éolien pour atteindre cet objectif. Les zones propices au développement de l'éolien à terre étant peu à peu saturées, le gouvernement se tourne vers l'éolien en mer. 11 zones ont été définies, dont deux sont déjà occupées par des éoliennes (un parc commercial de 180 MW et le démonstrateur en eaux profondes de Beatrice).

L'Écosse n'étant pas un État indépendant, l'implantation des parcs nécessite un travail de coopération avec le Crown Estate britannique. Cette coopération semble fonctionner pour l'éolien offshore car deux zones écossaises ont été attribuées dans le cadre du troisième appel d'offres. En revanche, la relation tourne parfois à la concurrence dans les domaines de l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants. L'Écosse a été pionnière dans ces secteurs grâce aux deux sites d'essais de l'EMEC (European Marine Energy Centre), sur lesquels sont ou ont été testés la plupart des concepts qui se trouvent aujourd'hui proches de la phase de commercialisation. A l'heure où les premiers projets commerciaux se dessinent, le gouvernement écossais semble disposé à proposer un tarif de rachat supérieur au tarif britannique³⁰. Les premiers parcs houlomoteurs et hydroliens pourraient ainsi voir le jour en Écosse, respectivement à proximité des îles de Lewis et d'Islay.

2.3. Ailleurs dans le monde

Le développement de l'éolien en mer, seule énergie marine renouvelable installée à grande échelle, reste largement concentré en Mer du Nord.

²⁹ The Independent, 19 février 2012. *Britain must act fast to rule wave-power world.*

³⁰ Systèmes solaires, 2011. *L'Écosse, grenier à vent de l'Europe.* Hors-série Le journal de l'éolien, n°9.

Tableau 3. Capacités éoliennes offshore installées en Europe en juin 2011.

Pays	Puissance installée (MW)
Royaume-Uni	1 586
Danemark	854
Allemagne	195
Suède	164
Finlande	25
Norvège	2

Source : Capgemini Consulting, 2012.

Toutefois, quelques pays asiatiques et américains se positionnent sur ce secteur d'activité, dont les plus ambitieux sont la Chine, le Japon et les États-Unis.

Le premier parc éolien offshore chinois a été inauguré en 2010, à l'occasion de l'Exposition universelle de Shanghai. Deux autres parcs sont en cours de construction et Pékin a annoncé sa volonté d'installer 30 GW d'ici 2020. Ces projets répondent à la nécessité d'économiser les terres agricoles, dont le gouvernement commence à se rendre compte qu'elles sont menacées par la multiplication des parcs éoliens terrestres³¹.

Le Japon dispose de 17 éoliennes offshore en activité, réparties sur trois parcs. Suite à la catastrophe de Fukushima, le gouvernement cherche à développer les énergies renouvelables, et notamment l'éolien offshore, qui a fait la preuve de sa capacité de résistance face à une catastrophe naturelle majeure (le parc de Kamitsu étant situé à 300 km de l'épicentre du séisme). En mars 2012, le gouvernement a annoncé la mise en place d'un parc expérimental d'éoliennes flottantes dans la zone de Fukushima³².

Malgré une ressource abondante et des projets ayant reçu les premières autorisations administratives sur la côte Est ainsi que sur les Grands Lacs, les États-Unis n'ont toujours pas installé d'éoliennes en mer. Dans ces conditions, le souhait de l'administration Obama de voir le premier parc créé au cours de sa première mandature ne se concrétisera probablement pas³³, bien que plusieurs projets semblent désormais proches de leur aboutissement. Par ailleurs, le projet de construction d'un réseau électrique offshore sur la côte Est a plusieurs fois été réaffirmé comme une priorité gouvernementale. Compte tenu de la vétusté du réseau terrestre, ce projet est un préalable indispensable à l'implantation de parcs éoliens en mer. Enfin, les industriels états-uniens ont également des ambitions pour les autres énergies marines et plusieurs prototypes ont déjà été mis à l'eau³⁴.

³¹ Le Marin, 17 février 2012. *Éolien offshore : entre vents et marées*.

³² *L'éolien offshore dans le monde : les chiffres*. <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 22 avril 2011. *Contraint, le Japon se tourne aussi vers l'énergie éolienne*. www.enerzine.com, 13 avril 2012.

³³ *L'éolien offshore dans le monde : les chiffres*. <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 22 avril 2011. *Salazar, Chu announce major offshore wind initiatives*. www.maritime-executive.com, 24 février 2011.

³⁴ Pour des précisions, tant sur le potentiel de développement des EMR que sur les projets déjà réalisés, voir la feuille de route de l'association regroupant les professionnels du secteur : *Ocean Renewable Energy Coalition, 2011. US Marine and Hydrokinetic Renewable Energy Roadmap*.

2.4. En France : enfin des projets qui se concrétisent !

L'éolien en mer a longtemps été marqué par la faible présence de l'État, qui se contentait d'offrir un tarif de rachat garanti, sans se charger du repérage des zones ni de la concertation. Un premier appel d'offres a bien été lancé dès 2004, mais il n'avait pas été précédé d'une véritable planification ni d'un travail abouti sur les conditions d'implantation d'éoliennes en mer. Il n'a donné lieu à aucune installation car le seul candidat retenu, l'énergéticien Enertrag, a finalement été bloqué par un recours.

Les années suivantes ont été marquées par un foisonnement de projets de parcs éoliens en mer. Plusieurs opérateurs se disputaient parfois une même zone, avec des méthodes de concertation différentes, suscitant parfois la méfiance voire l'hostilité des usagers de la mer. Une vingtaine de projets se sont développés dans ces conditions, dont deux en baie de Saint-Brieuc. Tous ces projets ont aujourd'hui disparu en tant que tels : ils ont soit été abandonnés, soit fondus dans de nouveaux projets construits en réponse à l'appel d'offres de 2011.

Ainsi, au début de l'année 2012 et malgré les avancées majeures de ces dernières années, un seul dispositif produisait de l'électricité en France à partir des énergies marines : le barrage de la Rance, mis en service en 1966³⁵ !

Constatant ce retard, l'État a redéfini son action en faveur des énergies marines à partir du « Plan Borloo » de 2008 pour le développement des énergies renouvelables. Son action comprend depuis lors deux dimensions complémentaires :

- un processus de concertation confié aux Préfets de région, en vue de planifier et d'accélérer le développement de l'éolien en mer (mars 2009) ;
- une procédure d'appels d'offres sur les zones identifiées grâce à la planification, basée sur un cahier des charges plus précis.

La procédure de l'appel d'offres présente plusieurs avantages selon le Plan national en faveur des énergies renouvelables, qui précise : « la procédure d'appel d'offres ciblée permet de maîtriser le calendrier de réalisation, d'optimiser les conditions de raccordement et d'accélérer l'obtention de l'ensemble des autorisations »³⁶. En mettant en concurrence les opérateurs, il permet également de maîtriser le coût de l'énergie produite.

Ce nouvel appel d'offres a été annoncé au début de l'année 2010, ce qui a eu pour effet de suspendre toutes les procédures d'autorisation en cours. Le cahier des charges, publié en juillet 2011 seulement, portait sur 5 zones, pour une puissance totale de 3 000 MW au maximum.

³⁵ Quelques dispositifs ont été testés en mer (Sabella, HydroGen) ou le sont actuellement, en mer (OpenHydro) ou à terre (Espadon, Haliade 150), mais aucun n'a encore été raccordé au réseau. Les premiers démonstrateurs raccordés au réseau seront ceux d'EDF à Paimpol-Bréhat ainsi que les premiers clients du site d'essais du Croisic.

³⁶ CGDD, 2010. *Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables*.

Le 6 avril 2012, le Ministre de l'énergie a annoncé les résultats de l'appel d'offres. Conformément à l'avis de la Commission de régulation de l'énergie (CRE), seules quatre zones ont finalement été attribuées. Le projet proposé par le consortium mené par GDF Suez, seul candidat pour la cinquième zone, a été jugé trop coûteux. Un autre appel d'offres devrait être lancé prochainement, qui intégrera très probablement cette zone ainsi qu'une zone vendéenne, qui avait été rejetée mais qui bénéficie maintenant du soutien des collectivités territoriales concernées.

Deux consortiums ont été retenus et se partagent les quatre zones ainsi :

- les sites de Guérande, Courseulles-sur-Mer et Fécamp ont été attribués au consortium mené par Éolien maritime France (EDF Énergies nouvelles et Dong Energy), qui a pour partenaires wpd Offshore, Nass&Wind Offshore et Alstom ;
- le site de Saint-Brieuc revient au consortium mené par Ailes Marines (Iberdrola et Eole-Res), dont les partenaires sont Areva, Neoen et Technip.

Depuis avril 2012, les porteurs de projets retenus sont entrés dans la phase dite de « levée des risques », c'est-à-dire qu'ils disposent de 18 mois pour mener les études nécessaires afin de confirmer la faisabilité de leurs projets. Viendra ensuite le temps des demandes d'autorisations, dont certaines nécessitent encore des études complémentaires ainsi que les phases de consultation des citoyens. Dans ces conditions, les premières machines devraient commencer à fonctionner en 2018.

Le *modus operandi* retenu pour l'éolien en mer s'appliquera prochainement à l'hydrolien. Un appel d'offres pour l'exploitation de l'énergie des courants dans le Raz Blanchard³⁷ a ainsi été annoncé pour 2014 – soit le délai nécessaire pour permettre aux équipes du ministère et au gestionnaire du réseau de répertorier précisément les conditions dans lesquelles ce courant pourra être exploité. Cet appel d'offres devrait permettre à la France de mettre en place des parcs hydroliens quelques années seulement après la première installation, annoncée pour 2014 en Écosse.

A ce jour, aucune planification n'a été annoncée pour l'exploitation commerciale de l'éolien flottant, du houlomoteur ou de l'énergie thermique des mers en France.

La planification initiée par les appels d'offres est complétée par une politique de mise à niveau du réseau électrique. En l'état, les capacités de raccordement des énergies marines sont limitées (c'est l'une des conséquences de la centralisation du réseau électrique national). Les difficultés concernent en particulier la Bretagne, région dont le réseau est déjà saturé alors même qu'elle devra accueillir bientôt des productions décentralisées.

Pour remédier à ces difficultés, la loi Grenelle 2 (complétée par le décret du 20 avril 2012) impose au gestionnaire de réseau d'élaborer des schémas régionaux de raccordement au réseau des énergies renouvelables. Ces schémas seront soumis au Préfet de région dans les six mois suivant l'approbation des Schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) par l'État et la Région. Ils définiront les ouvrages à créer ou à renforcer pour atteindre les objectifs fixés par les SRCAE.

³⁷ Situé entre le cap de la Hague (Basse-Normandie) et Aurigny (Royaume-Uni), le Raz Blanchard est parcouru par l'un des courants de marée les plus énergétiques d'Europe.

Figure 3. Sites pilotes en projet en France.



Source : France Énergies Marines.

Figure 4. Projets industriels d'exploitation des énergies marines en France.



Source : France Énergies Marines.

2.5. Des projets qui se confirment en Bretagne

Dans son rapport de 2009, le CESER évoquait « l'effervescence » en Bretagne, où apparaissaient de nombreux projets de développement des énergies marines dans l'éolien posé, l'hydrolien ou l'éolien flottant. Depuis lors, plusieurs projets solides se sont concrétisés ou précisés dans la région.

2.5.1. Un site pilote hydrolien à Paimpol-Bréhat

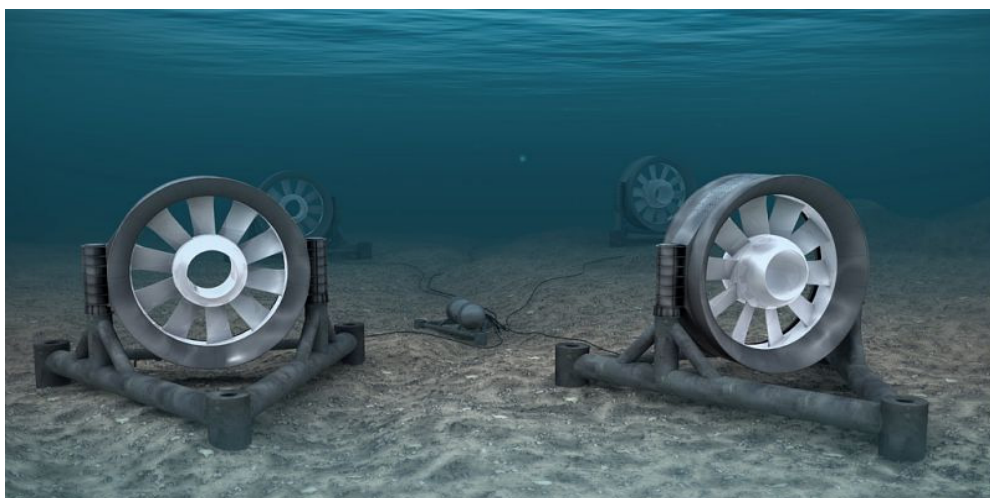
Le projet de Paimpol-Bréhat vise à construire l'un des premiers parcs hydroliens multi-machines au monde. Son but est de tester et optimiser la turbine OpenHydro à l'échelle 1:1 (16 m de diamètre) ainsi que d'analyser le comportement d'un parc de quatre machines et ses impacts sur l'environnement.

Si les résultats sont concluants, ce site constituera la dernière étape de développement de la technologie avant son passage à la phase commerciale.

Une première turbine a été testée durant trois mois avant d'être sortie de l'eau en janvier 2012 pour des contrôles. A son retour sur le site (automne 2012), elle sera raccordée au réseau électrique, le câble ayant été posé durant l'été. D'après EDF, l'exploitant du parc, les essais ont confirmé le potentiel de la machine, dont la production semble supérieure aux prévisions. Les trois autres hydroliennes, similaires, seront installées dans le courant de l'année 2013³⁸.

Les impacts de ce site pilote ont été limités au maximum, tant pour l'environnement (posée et retirée directement avec son trépied, cette machine n'a que peu d'impacts sur les fonds marins) que pour les autres usagers de la mer, avec lesquels une concertation a été menée durant plusieurs années (voir chapitre 4).

Figure 5. Parc de quatre hydroliennes OpenHydro.



Source : OpenHydro.

³⁸ Audition de M. Vincent DENBY-WILKES (EDF), 5 avril 2012.

2.5.2. Un parc éolien en baie de Saint-Brieuc

Alors qu'en 2009 la baie de Saint-Brieuc attirait les convoitises de plusieurs opérateurs, pour des projets de 100 à 200 MW, la planification préalable à la publication de l'appel d'offres a abouti à la définition d'une zone propice à l'implantation d'un parc de 500 MW.

Le périmètre de la zone retenue a été au centre des discussions lors de la phase de concertation. Le compromis finalement trouvé porte sur un espace très vaste, englobant la zone souhaitée par les opérateurs, au sud, et celles proposées par les pêcheurs professionnels, au nord.

Le projet retenu, qui doit être confirmée suite à la période de levée des risques, est celui de l'énergéticien espagnol Iberdrola, associé à la société Eole-Res (acteur important de l'éolien français) dans une entreprise créée pour l'occasion : Ailes Marines SAS.

Le parc comprendra 100 turbines M5000 d'Areva d'une puissance unitaire de 5 MW. Ce modèle est actuellement fabriqué dans une usine de Bremerhaven (Allemagne) mais dans le cadre de l'appel d'offres, Areva s'est engagé à fournir des éoliennes 100 % françaises. Une nouvelle usine d'assemblage des nacelles sera donc construite au Havre.

Le parc sera positionné dans la partie centrale de la zone, et aucune éolienne ne sera installée dans sa partie sud, qui est d'une grande importance économique pour les pêcheurs de coquilles Saint-Jacques. Les machines seront posées sur des fondations « jacket » et réparties sur huit rangées, mille mètres séparant deux rangées successives. La surface totale de ce parc sera alors de 80 km², sur les 190 km² de la zone d'études.

Les lignes d'éoliennes seront parallèles à la direction des principaux courants et permettront, théoriquement, de naviguer et même de pêcher au sein du parc. Ce point constituait la principale revendication des pêcheurs. Selon le consortium, la demande n'a pas été difficile à satisfaire, les vents et les courants de marées étant fréquemment alignés dans cette zone³⁹. Il convient néanmoins de rappeler que c'est le Préfet maritime qui autorisera ou interdira *in fine* la circulation au sein du parc.

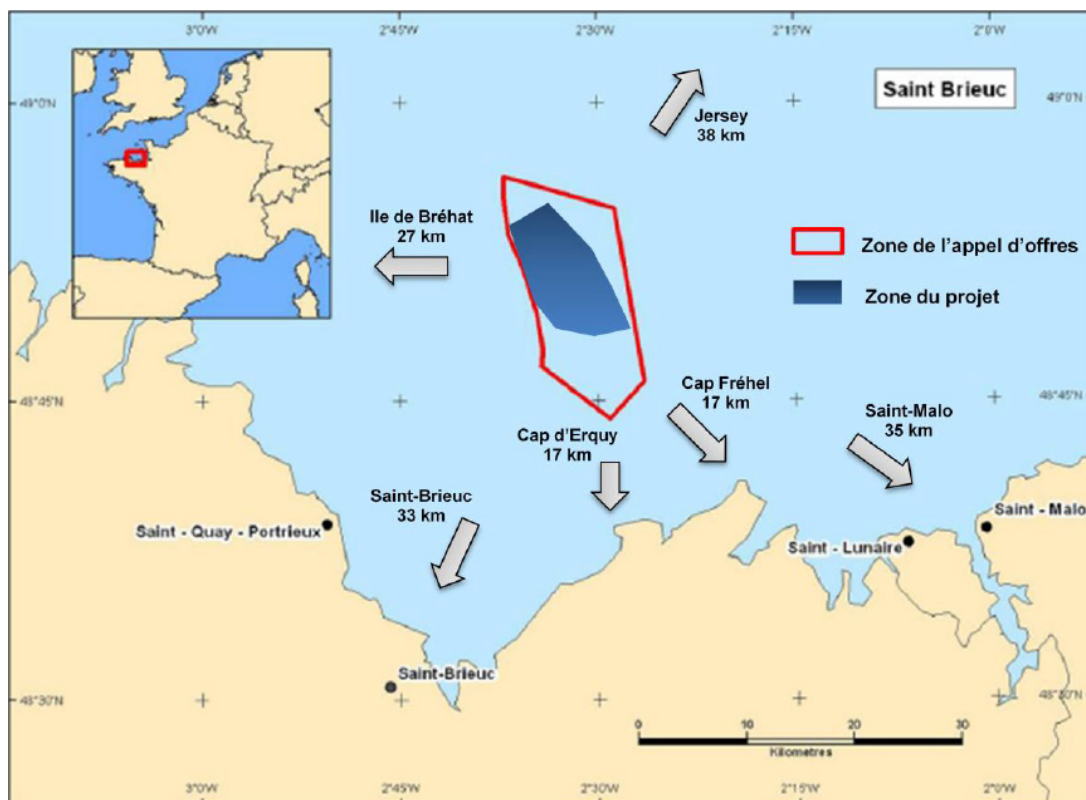
Au vu de ces caractéristiques, le Comité départemental des pêches des Côtes d'Armor s'est déclaré satisfait du choix de ce consortium, qui était le seul à éviter la zone sud⁴⁰.

L'installation du parc, qui nécessite des conditions météorologiques clémentes et devra donc être stoppée en hiver, est programmée pour les années 2018, 2019 et 2020 ; toutefois, le parc commencera à produire dès la première année.

³⁹ Audition de M. Alain COUDRAY (CDPMEM 22), 5 avril 2012.

⁴⁰ Intervention de M. Alain COUDRAY, Président du CDPMEM 22 lors de la Conférence régionale de la mer et du littoral du 10 mai 2012.

Figure 6. Zone du parc de Saint-Brieuc.



Source : © Ailes Marines.

L'électricité produite par toutes les éoliennes convergera vers une station électrique installée en mer. Le gestionnaire du réseau français de transport de l'électricité (RTE) sera chargé de la définition, de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre des travaux de raccordement, mais il reviendra à l'exploitant de financer le raccordement depuis la station en mer jusqu'au poste à terre. Tous les câbles seront ensouillés de manière à ne pas gêner la pêche aux arts traïnants.

D'une puissance de 500 MW, ce parc ne permettra pas, à lui seul, d'atteindre les objectifs du Pacte électrique breton (1 000 MW de puissance éolienne installée en mer à l'horizon 2020). Des parcs supplémentaires devront donc être installés, mais aucun n'a été planifié à ce jour. Les études de faisabilité et la concertation menée entre les différentes parties prenantes n'ont pas permis de définir de nouvelles zones propices au développement de parcs éoliens offshore posé en Bretagne, ce qui n'exclut pas que de nouveaux sites puissent être trouvés à l'occasion de démarches ultérieures. En outre, l'extension du parc de Saint-Brieuc est techniquement envisageable mais les pêcheurs souhaitent prendre du recul sur l'effet produit par les 100 éoliennes du premier projet avant de se prononcer sur cette possibilité⁴¹.

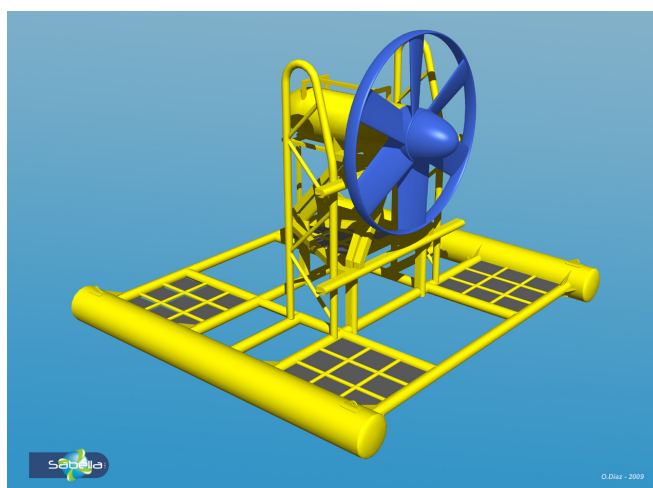
⁴¹ Intervention de M. Michel CADOT, Préfet de la région Bretagne, lors de la Conférence régionale de la mer et du littoral du 2 février 2012.

2.5.3. Un démonstrateur et un projet de parc hydrolien dans le passage du Fromveur

Après avoir testé de mars 2008 à avril 2009 un prototype d'un diamètre de 3 m dans l'Odet (Finistère), la société Sabella a pour objectif de faire la démonstration de sa technologie à l'échelle 1:1 dans le passage du Fromveur, entre Ouessant et l'archipel de Molène. La construction de l'hydrolienne, d'un diamètre de 10 m, a débuté en juin 2012. Elle se distingue des autres hydroliennes destinées à exploiter les courants très énergétiques par sa faible puissance (500 kW de puissance nominale, 1,1 MW de puissance maximale). Grâce à cette caractéristique, la machine est adaptée aux petites îles. Le coût de l'électricité étant souvent plus élevé dans les territoires insulaires que sur le continent, l'électricité hydrolienne pourrait y être rapidement compétitive.

A terme, la société ambitionne d'installer un parc d'hydroliennes dans le passage du Fromveur en collaboration avec Éole Génération (filiale de GDF Suez)⁴².

Figure 7. Représentation de l'hydrolienne Sabella D10.



Source : Sabella.

2.5.4. Un parc pilote pour l'éolien flottant à Groix

Certains observateurs considèrent que l'objectif des 1 000 MW pourrait être atteint grâce à l'éolien flottant. A ce stade, il n'existe toutefois qu'un seul projet en Bretagne, dont l'autorisation est suspendue à la décision du Ministère de la Défense, car les éoliennes seraient situées à proximité d'une zone d'exercices militaires. Le Ministre de la Défense a toutefois affirmé son soutien au projet et s'est engagé à rendre rapidement une décision argumentée à son endroit.

Le parc en question doit être installé dès 2016. Il sera vraisemblablement constitué de 5 à 6 turbines Winflo de classe 5 MW, suite au test d'un prototype moins puissant

⁴² Ouest-France, 5 septembre 2012. *Hydrolienne Sabella : construction lancée.*

sur le site d'essais du Croisic. Il s'agit donc d'un parc pilote, c'est-à-dire que l'électricité produite par les machines sera injectée dans le réseau, contribuant en cela à réduire la dépendance énergétique de la région. Par la suite, plusieurs parcs commerciaux d'une taille comparable à celui de Saint-Brieuc pourraient être installés au large de la Bretagne.

Chapitre 2

Des progrès continus en matière de recherche et développement

1.	Une dynamique collaborative dans laquelle les acteurs bretons sont très présents	39
1.1.	Des projets de recherche collaboratifs	40
1.1.1.	Les outils européens	40
1.1.2.	En France : les Instituts d'excellence en énergies décarbonées (IEED)	40
1.2.	Démonstrateurs et sites d'essais	42
1.2.1.	Des appels à projets pour soutenir la démonstration	42
1.2.2.	Des sites d'essais en France	43
2.	Des progrès technologiques rapides	45
2.1.	Éolien offshore posé : des éoliennes de plus en plus marinisées	45
2.1.1.	La course au gigantisme	46
2.1.2.	La recherche de la fiabilité	48
2.1.3.	Les autres innovations technologiques	48
2.2.	Hydrolien : une technologie proche de la phase industrielle	50
2.2.1.	Des progrès technologiques mais pas d'innovation radicale	50
2.2.2.	Des investissements significatifs	53
2.3.	Éolien flottant : des technologies prometteuses, qui doivent encore faire leurs preuves	54
2.3.1.	Première tendance : des technologies extrapolées d'autres secteurs d'activité	54
2.3.2.	Deuxième tendance : l'innovation radicale	55
2.3.3.	Troisième tendance : une conception intégrée	56
2.4.	Exploitation de l'énergie des vagues : le jeu reste ouvert	57
2.4.1.	Les systèmes à la côte	57
2.4.2.	Les systèmes installés près des côtes	58
2.4.3.	Les systèmes installés au large	58
2.5.	La production de carburants à partir d'algues	59
2.6.	Énergie thermique des mers : des investissements considérables en perspective	60
2.7.	Gradients de salinité : les recherches se poursuivent en Norvège	61
2.8.	Une nouveauté : les « îles d'énergie »	62
3.	Des avancées qui concernent également les champs de recherche complémentaires	62
3.1.	Étude des impacts environnementaux : un nouveau champ de recherche	62
3.2.	La recherche sur les réseaux intelligents	67
3.3.	Le stockage de l'énergie	67

En mars 2009, le rapport du CESER de Bretagne avait dressé un large panorama des technologies et des développements, qui faisait état d'un foisonnement de projets. Des parcs éoliens commençaient à être installés dans plusieurs pays européens, tandis que dans les domaines de l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants, de très nombreux porteurs de projets développaient des concepts souvent différents.

Dynamiques mais dispersés, les acteurs français de la R&D sur les énergies marines renouvelables manquaient à la fois de moyens, de soutiens et de visibilité.

L'une des préconisations majeures du rapport était alors de développer en Bretagne un centre de ressources et d'expertise sur les énergies marines, afin de créer des synergies entre les équipes de recherche. Un renforcement significatif des moyens alloués à la recherche était également jugé indispensable.

Trois ans après ce rapport, les programmations énergétiques mises en œuvre par les États se sont accompagnées d'un accroissement du soutien public à la recherche. De plus, la visibilité apportée par les feuilles de route nationales a également permis un renforcement de la recherche privée.

Outre ces progrès quantitatifs, les dernières années ont été marquées par la structuration d'une dynamique collaborative associant chercheurs du public et du privé (1).

Ces évolutions ont permis un développement rapide des technologies les plus performantes, dont certaines sont déjà matures pour un développement commercial (2).

Parallèlement à ces progrès technologiques, les efforts de recherche et d'innovation se poursuivent aussi sur des aspects associés aux technologies des EMR, tels que les impacts environnementaux, le stockage de l'énergie ou encore les réseaux de transport de l'énergie intelligents (3).

1. Une dynamique collaborative dans laquelle les acteurs bretons sont très présents

L'exploitation des énergies marines renouvelables nécessite un grand nombre d'innovations technologiques, sociales ou juridiques. Certaines de ces innovations requièrent des investissements de recherche et développement très élevés, investissements dont les retombées sont hypothétiques et parfois lointaines. Dans ces conditions, le rapport de 2009 montrait que le secteur de la recherche et développement se trouvait face à l'obligation de se structurer pour dégager les moyens d'une recherche de pointe en France.

Mais il ne s'agit pas uniquement de moyens : dans leur démarche vers l'exploitation des EMR, les porteurs de projets ont tout intérêt à réutiliser les acquis de secteurs mieux établis, tels l'offshore pétrolier, l'industrie éolienne terrestre ou encore l'exploitation des barrages hydrauliques ou marémoteurs. Enfin, les questions liées à

l'étude et l'atténuation des impacts environnementaux occupent une place croissante dans les projets. Dès lors, la recherche sur les EMR se trouve face à une exigence de transdisciplinarité.

1.1. Des projets de recherche collaboratifs

Le secteur de la recherche et développement sur les énergies marines renouvelables est marqué par une accélération de la mise en réseau des acteurs à l'échelle européenne comme au niveau national.

1.1.1. Les outils européens

La politique de l'Union européenne en faveur de la recherche est définie par des programmes-cadres de recherche et développement (PCRD), dont le septième couvre la période 2007-2013. Le 6ème puis le 7ème PCRD ont soutenu divers projets ayant permis de mettre en réseau les chercheurs de différents pays autour de questions liées aux énergies marines à travers des programmes tels qu'Upwind, Marinet ou Equimar.

Par ailleurs, la recherche sur les EMR bénéficie également de la création de l'Alliance européenne de la recherche sur l'énergie (EERA), destinée à accélérer le développement des énergies renouvelables. Parmi ses 13 programmes de recherche, l'un concerne les énergies marines, auquel participent huit partenaires de pays différents, dont l'Ifremer. Les ambitions de ce programme sont immenses, puisque les thèmes de recherche identifiés couvrent tout le champ des questions liées aux EMR : ressources, technologies, impacts environnementaux mais aussi socio-économiques, formation...

1.1.2. En France : les Instituts d'excellence en énergies décarbonées (IEED)

En France également, la recherche sur les EMR s'organise. Les industriels du secteur ont renforcé leurs équipes de recherche, souvent implantées dans l'ouest de la France. L'incubateur de DCNS a ainsi été créé en 2010. Il emploie une équipe d'une centaine de personnes⁴³, principalement basées à Brest. La même année, Alstom a installé à Nantes en 2010 une équipe de recherche sur l'hydrolien⁴⁴.

La recherche française est également marquée par la multiplication de projets coopératifs. Depuis plusieurs années déjà, les pôles de compétitivité Mer Bretagne et Mer PACA jouent un rôle stratégique de mise en réseau des acteurs et de financement des projets dans le domaine des énergies marines. Ces deux pôles sont actuellement dans une phase d'expansion : le nombre de leurs adhérents ne cesse

⁴³ Audition de M. Marc BŒUF (DCNS), 8 mars 2012.

⁴⁴ *Alstom installe ses équipes hydroliennes à Nantes.* www.usinenouvelle.com, 3 décembre 2010.

d'augmenter. Parallèlement, le Pôle Mer Bretagne renforce ses liens avec les acteurs des Pays de la Loire et de Basse-Normandie⁴⁵.

Cette dynamique coopérative a encore été renforcée par les appels à projet lancés par le gouvernement français pour la création d'Instituts d'excellence en énergies décarbonées (IEED). Financés par les investissements d'avenir mais également par des fonds privés, ces instituts visent à associer la recherche publique aux entreprises autour de problématiques de R&D communes et d'un véritable projet industriel. Deux de ces instituts concernent directement les EMR.

Labellisé en 2012, l'IEED Greenstars doit contribuer au développement d'une nouvelle filière industrielle basée sur la production d'algues. Porté par l'INRA, il permettra de dynamiser et de fédérer les acteurs français, de manière à leur permettre de passer au stade industriel d'ici dix ans. L'institut soutiendra la filière dans toute sa diversité, ce qui inclut la production de biocarburants à base de micro-algues⁴⁶.

De son côté, l'IEED France Énergies Marines (FEM) porté par l'Ifremer est entièrement consacré aux énergies marines. Sa labellisation en 2012 couronne plusieurs années de définition d'un projet porté par l'Ifremer, durant lesquelles le Pôle Mer Bretagne et la Région Bretagne ont joué un rôle majeur. L'État ayant demandé une forte participation du monde industriel dans le projet, c'est EDF qui a été élu à la présidence de France Énergies Marines, le 15 mars 2012. L'État financera l'institut à hauteur de 34 millions d'euros sur dix ans par le biais des investissements d'avenir. Cet apport sera complété par les cotisations des 58 membres de l'Institut : industriels (EDF, Alstom, Areva, Technip, DCNS...), organismes de la recherche publique (Ifremer, CNRS, CEA...) et collectivités (Régions Basse-Normandie, Bretagne, PACA, Pays de la Loire...).

France Énergies Marines doit faciliter le passage à la phase industrielle des systèmes hydroliens, houlomoteurs, éoliens flottants et de ceux exploitant l'énergie thermique des mers. Il pilotera les cinq sites d'essais en mer qui seront prochainement installés et permettra également de mettre en œuvre des partenariats de recherche, qui porteront sur les technologies mais aussi sur les impacts environnementaux, l'acceptabilité des projets, les questions juridiques... Cette double dimension partenariale et pluridisciplinaire avait été identifiée comme une nécessité par le CESER dans son rapport de 2009.

L'implantation de cet institut à Brest confirme le rôle majeur que la ville est appelée à jouer dans la recherche sur les EMR, avec des instituts tels que l'Ifremer, l'Institut universitaire européen de la mer (IUEM), l'ENSTA, l'École navale ou encore l'incubateur énergies marines de DCNS.

⁴⁵ Ouest-France, 3 avril 2012. *Le Pôle Mer Bretagne se renforce dans l'Ouest*.

⁴⁶ Le Marin, 27 avril 2012. *Les nouvelles de l'Ifremer. Développer le potentiel des micro-algues*. Cultures marines, mars 2012. *Exploiter le potentiel des microalgues en Méditerranée*.

Enfin, il convient de signaler que le premier Institut de recherche technologique créé en France, l'IRT Jules Verne de Nantes, travaillera sur divers sujets maritimes, dont les matériaux utilisés pour l'exploitation des énergies marines⁴⁷.

La mise en place de coopérations associant des organisations de caractère public comme privé constitue donc l'axe fort du soutien public à la recherche sur les énergies marines. Orientée vers des projets industriels plus que vers la recherche fondamentale, la dynamique créée conduit à des réalisations concrètes, dont les plus significatives sont les démonstrateurs et les sites d'essais.

1.2. Démonstrateurs et sites d'essais

Dans le développement d'une nouvelle technologie, la phase de démonstration joue un rôle déterminant. A l'articulation entre la phase de conception et la phase de production en série, elle permet d'affiner les choix technologiques et de démontrer la viabilité des machines. C'est pourquoi le soutien aux démonstrateurs et la mise en place de sites d'essais constituent des instruments privilégiés de la politique de soutien au secteur des EMR.

1.2.1. Des appels à projets pour soutenir la démonstration

- L'ADEME et les Investissements d'avenir

Depuis plusieurs années déjà, les énergies marines renouvelables bénéficient de la politique nationale de soutien à l'innovation. Pour preuve : cinq des premiers lauréats des Investissements d'avenir étaient des porteurs de projets dans le domaine des EMR, soutenus dans le cadre d'un Appel à manifestation d'intérêt (AMI) lancé par l'ADEME en 2009 et qui portait sur des démonstrateurs de recherche en énergies marines. Les projets retenus sont Sabella, Winflo, Vertiwind, Orca et S3.

- Le Fonds européen « NER 300 »

Il s'agit d'un fonds pouvant être amené à soutenir le développement des énergies marines à un stade précoce : le NER 300 est présenté par la Commission européenne comme le plus grand programme de démonstration au monde pour les énergies décarbonées.

Le programme sera financé par la vente de 300 millions de quotas d'émission de CO₂, ce qui représente plus d'un milliard d'euros⁴⁸. Deux appels à projets sont prévus. Le premier a été lancé en 2010. Parmi les trois projets liés aux énergies marines soutenus par la France, seul celui qui concerne l'exploitation de l'énergie thermique des mers en Martinique a été présélectionné.

⁴⁷ Le Marin, 9 mars 2012. *Nantes : avec l'IRT Jules Verne, la recherche navale a son campus.*

⁴⁸ Un quota représente l'émission d'une tonne de dioxyde de carbone.

La Commission doit rendre sa décision pour l'attribution de ce fonds, puis un second appel d'offres devrait être lancé avant la fin de l'année 2012.

Outre le soutien financier direct à des porteurs de projets, l'autre axe de la politique française de soutien à la recherche concerne les sites d'essais mutualisés, qui profiteront aux entreprises françaises mais permettront également d'attirer des porteurs de projets étrangers.

1.2.2. Des sites d'essais en France

Les sites d'essais permettent aux porteurs de projets de louer un emplacement en mer pour la période de test des machines. Ces sites sont financés par des fonds publics (État, UE, collectivités) et privés (notamment via France Énergies Marines) ainsi que par leurs utilisateurs, qui louent un emplacement ainsi que d'éventuels services associés. Ce mode de fonctionnement permet de mutualiser les coûts fixes que représentent le raccordement du site ou encore les instruments de mesure. Il permet également aux porteurs de projet de réaliser des tests en mer dans un environnement réglementaire simplifié.

Un site d'essais doit offrir des conditions appropriées, ce qui suppose :

- un savant équilibre entre l'abondance de la ressource (il s'agit bien de tester les machines en conditions réelles) et la relative clémence des conditions de mer (celles-ci doivent permettre de fréquentes interventions sur les prototypes) ;
- une instrumentation permettant de mesurer précisément les performances des machines ;
- des prises permettant le raccordement des machines au réseau.

Dans le parcours d'une machine, le site d'essais intervient après la phase de test du prototype en bassin mais avant celle du site pilote. Un site pilote a pour but de démontrer la capacité des machines à produire en conditions réelles, c'est pourquoi les sites retenus offrent généralement une ressource énergétique plus importante que les sites d'essais⁴⁹.

Plusieurs sites d'essais existent déjà, qui s'adressent principalement aux concepts houlomoteurs (l'EMEC en Écosse, le Wave Hub au Pays de Galles, Bimpe au Pays basque espagnol) et hydroliens (l'EMEC en Écosse). Le Royaume-Uni conserve un statut de leader en la matière, avec notamment des projets visant à étendre ses sites pionniers et en créer de nouveaux⁵⁰. D'autres projets apparaissent en Europe ainsi qu'aux États-Unis ou au Japon. Dans ces deux derniers cas, les projets sont conçus en lien avec l'EMEC, ce qui démontre une nouvelle fois combien la compétence des Écossais, pionniers en ce domaine, est reconnue⁵¹.

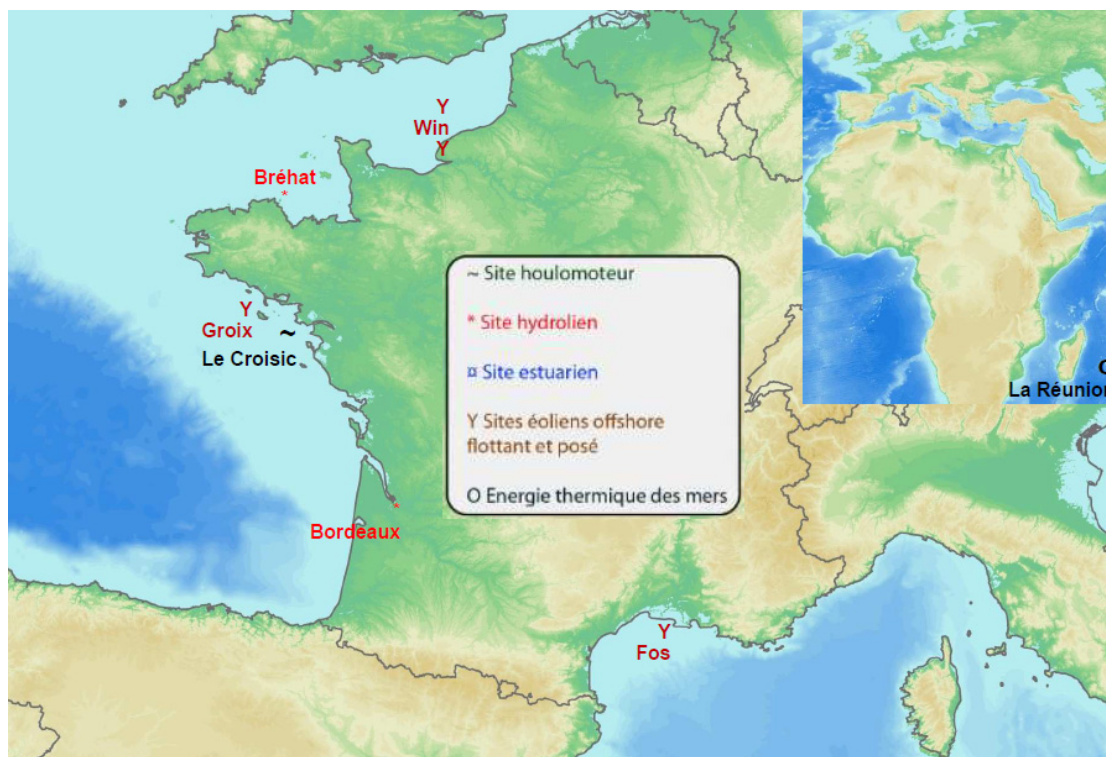
En France, il existe 5 projets de sites d'essais.

⁴⁹ Audition de M. Alain CLEMENT (Ecole centrale de Nantes), 5 avril 2012.

⁵⁰ *Rising tide for ocean energy : UK aims to ride the wave.* www.renewableenergyworld.com, 30 août 2012.

⁵¹ *Nouveau succès pour l'EMEC : après le JMEC, le PMEC.* www.mer-veille.com, 28 mai 2012.

Figure 8. Les projets de sites d'essais en France.



Source : France Énergies Marines.

Le SEM-REV, Site d'expérimentation en mer pour la récupération de l'énergie des vagues, doit être opérationnel dès la fin de l'année 2012. Cofinancé par la Région Pays de la Loire, l'État et France Énergies Marines, il offrira la possibilité de raccorder simultanément quatre machines au large du Croisic. S'il a été conçu pour les systèmes houlomoteurs, ce site pourra également accueillir d'autres technologies. L'éolienne Winflo figurera d'ailleurs parmi les premiers clients du site, aux côtés du système houlomoteur S3⁵².

Un autre site sera réservé aux hydroliennes : celui de Paimpol-Bréhat. Ce projet est lié au site pilote d'EDF, cofinancé par le Conseil régional de Bretagne (à hauteur de 3,1 millions d'euros), l'ADEME (0,5 millions d'euros) et l'Union européenne (3,6 millions d'euros). En contrepartie de ces financements, EDF s'est engagé à ajouter un site d'essais à son site pilote. Un contrat a donc été signé avec France Énergies Marines, en vertu duquel le site sera aménagé pour accueillir quatre hydroliennes supplémentaires. Le site comptera donc huit machines au maximum, qui seront reliées au réseau terrestre par un câble qui a été installé durant l'été 2012. Le premier client du site d'essais devrait être Alstom, pour son hydrolienne Orca⁵³.

Destiné aux petites hydroliennes, le SEENEH, Site expérimental estuarien national pour l'essai et l'optimisation d'hydroliennes, sera implanté au niveau du Pont de Pierre à Bordeaux. Il pourrait entrer en fonctionnement dès 2013.

⁵² Audition de M. Alain CLEMENT (Ecole centrale de Nantes), 5 avril 2012.

⁵³ Audition de M. Marc BŒUF (DCNS), 8 mars 2012.

Au large de Fos sur Mer, un autre site permettra le test d'éoliennes flottantes à partir de 2015. Dans un premier temps, le site sera destiné à accueillir les premiers prototypes du concept Vertiwind, mais pourrait par la suite être ouvert à d'autres technologies.

De son côté, le projet de Groix pourrait associer un site pilote pour l'éolienne Winflo et un site d'essais pour d'autres éoliennes flottantes. Le projet est porté par le consortium à l'origine de Winflo, avec le soutien de la Région Bretagne et de France Énergies Marines⁵⁴.

Enfin, le projet WIN associera un site d'essais à terre et un site d'essais en mer, tous deux destinés à l'éolien offshore. Situé au niveau de Veulettes-sur-Mer, ce projet est une évolution du projet de parc éolien porté par Enertrag, premier parc autorisé par l'État puis bloqué par un recours.

A terme, tous ces sites à l'exception de WIN seront coordonnés par France Énergies Marines, qui en sera propriétaire pour tout ou partie, ce qui permettra de définir pour chacun d'entre eux des procédures comparables ainsi que de mutualiser certains moyens.

La mise en place de ces sites d'essais constitue alors une autre illustration de la capacité de la recherche sur les énergies marines à se structurer aux niveaux national et européen, une dynamique qui agit comme un accélérateur du progrès technologique.

2. Des progrès technologiques rapides

Depuis le rapport de 2009, les progrès technologiques ont été importants et ont permis l'émergence des concepts les plus performants.

2.1. Éolien offshore posé : des éoliennes de plus en plus marinisées

Des parcs éoliens en mer sont installés en Europe depuis plus de dix ans et ont connu un développement technologique très rapide, grâce auquel les éoliennes offshore posées se distinguent de plus en plus des éoliennes à terre. Mature pour une exploitation commerciale, ce secteur continue à produire des innovations, principalement motivées par l'impératif de réduction du coût de l'énergie produite.

⁵⁴ Audition de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind), 26 avril 2012.

2.1.1. La course au gigantisme

En 1991, lorsque la compagnie danoise SEAS installe le premier parc éolien en mer, elle utilise des éoliennes terrestres d'une puissance de 450 kW et de 35 m de diamètre. 21 ans plus tard, Alstom inaugure (à terre) la plus puissante éolienne au monde. Spécifiquement dédiée à l'éolien offshore, l'Haliade a un diamètre de 150 m et une puissance de 6 MW⁵⁵.

Figure 9. L'éolienne Haliade 150 d'Alstom sur le site du Carnet, à Saint-Nazaire.



Source : © Alstom.

Entre ces machines, dont la forme générale reste la même, le gain de puissance est considérable. Ce saut quantitatif a été permis par une optimisation des éoliennes, tant au niveau des pales qu'à celui de la turbine. Mais il correspond aussi et surtout à une course au gigantisme. La taille des éoliennes offshore est en effet moins contrainte que celles des éoliennes terrestres, la marinisation des machines permettant de recourir à des éléments de très grande taille sans devoir affronter des problèmes liés à la gêne visuelle, à l'encombrement de l'espace et au transport des pales.

Tous les grands turbiniers développent désormais des turbines multimégawatts destinées à l'éolien offshore, et si les machines les plus puissantes affichent actuellement des puissances de 5 ou 6 MW, certains annoncent travailler sur des aérogénérateurs de 10 MW.

⁵⁵ Pour une présentation précise, voir l'article *L'éolienne offshore Haliade inaugurée*. www.meretmarine.com, 20 mars 2012.

La principale motivation de cette course au gigantisme est économique. Pour les opérateurs, l'enjeu est de réduire les coûts fixes de l'éolien offshore, dans un contexte où l'installation en mer demeure extrêmement coûteuse – et pourrait même l'être de plus en plus, alors que les sites attribués aux développeurs se situent toujours plus loin des côtes, dans des eaux dont la profondeur peut atteindre 40 m.

Cette évolution ne pourra toutefois pas se poursuivre indéfiniment. Elle semble d'ailleurs s'approcher d'un point critique. Certains observateurs considèrent en effet qu'en l'état actuel des connaissances, l'optimum technico-économique pourrait être prochainement atteint⁵⁶. La dimension des plus grandes machines actuelles constitue déjà un défi : des nacelles de 200 tonnes doivent être hissées à 80 m de hauteur. Quant aux pales, elles atteignent 60, voire 75 m de longueur.

Jusqu'à quel point pourra-t-on alors accroître la taille des éoliennes ? Un groupe de chercheurs pense avoir prouvé la faisabilité technique de machines de 20 MW et 250 m de diamètre mais reconnaît que l'intérêt économique de telles éoliennes ne peut pas encore être démontré⁵⁷.

De son côté, le chercheur François CANNEAU⁵⁸ considère que le changement d'échelle des machines pose, en soi, des problèmes, liés notamment à la résistance des matériaux (pales, engrenages...). Il ajoute : « *Sur les très grandes machines actuelles, c'est-à-dire les machines de 2 à 5 MW [...], on est quasiment au maximum de ce que l'on est capables de faire par l'exercice de la mise à l'échelle de la fameuse tripale à axe horizontal* »⁵⁹.

Figure 10. La nacelle de l'éolienne M5000 d'Areva.



Source : © Areva, Oelker Jan.

⁵⁶ La Croix, 28 février 2012. *La course au gigantisme des éoliennes offshore*. Le Marin, 26 novembre 2010. *Vesta et Siemens, les seigneurs des mers*.

⁵⁷ UpWind, *design limits and solutions for very large wind turbines*, 2011.

⁵⁸ Spécialiste en mécanique des fluides et chercheur au Centre énergie et procédés, qui accompagne les exploitants de parcs.

⁵⁹ *Énergie éolienne et recherche partenariale*. Interview vidéo réalisée par Mines ParisTech, visible sur www.dailymotion.com.

A ce stade, il n'est donc pas possible d'imaginer ce que sera le profil des éoliennes de demain, et cela est d'autant moins possible que les développeurs d'éoliennes flottantes proposent parfois des innovations radicales, n'hésitant pas à s'éloigner de cette « *fameuse tripale à axe horizontal* ».

2.1.2. La recherche de la fiabilité

La maintenance en mer fait appel à des navires spécialisés, voire à des hélicoptères. Dès lors, elle est plus coûteuse qu'à terre, alors même que les machines sont soumises à des conditions extrêmes (houle, vents, corrosion). Chacune d'entre elles étant à la fois très productive⁶⁰ et très onéreuse, tout arrêt est coûteux pour l'opérateur. Il est donc impératif que les éoliennes offshore puissent produire durant au moins 20 ans avec un taux de charge élevé⁶¹.

Dans cette perspective, les recherches visent à :

- fiabiliser les machines (suppression ou simplification de la boîte de vitesses, limitation des contraintes subies par la turbine, etc.) ;
- simplifier les opérations de maintenance (possibilité de réparer les machines sur place, apparition de systèmes de maintenance prédictive) ;
- faire en sorte que les machines puissent fonctionner en cas de panne (redondance de certaines pièces...).

Comme tout process industriel, l'éolien en mer a connu des échecs, avec des difficultés techniques qui ont affecté des prototypes ainsi que des machines commerciales.

Dans ces conditions, et malgré les importants progrès technologique de ces dernières années, chaque constructeur arbitre à sa manière entre l'innovation (pour augmenter la puissance et/ou la fiabilité des machines) et l'usage de pièces éprouvées, permettant de garantir une meilleure fiabilité aux clients.

2.1.3. Les autres innovations technologiques

Outre les machines elles-mêmes, d'autres aspects de l'éolien offshore ont connu des innovations au cours des dernières années : les fondations, les navires de pose et les process d'installation.

Pour les parcs éoliens recourant à des fondations posées sur le fond marin, la profondeur d'eau constitue un facteur limitant. L'adaptation des fondations « jacket »⁶² utilisées dans le secteur pétrolier permet toutefois d'envisager d'installer des éoliennes par des profondeurs supérieures à 40 m.

⁶⁰ Les éoliennes en mer ne sont pas seulement plus puissantes, elles fonctionnent également de manière plus régulière que les éoliennes à terre. Selon France Energie Eolienne, la durée moyenne de fonctionnement d'une éolienne est de 3 200 heures par an en mer contre 1 200 heures à terre.

⁶¹ Le taux de charge d'une éolienne se définit par le rapport entre le nombre d'heures de fonctionnement de l'éolienne à puissance nominale et le nombre d'heures d'une année.

⁶² Les fondations jackets sont constituées d'un treillis métallique à quatre pieds, qui se resserre de bas en haut.

D'autres innovations visent à limiter l'impact environnemental des fondations et leur coût d'installation. C'est l'approche retenue par le concept Rockmat, un socle pour fondations jacket ou gravitaires qui s'adapte à tous les fonds rocheux sans préparation ni forages.

Les navires de pose ont également connu de nombreuses innovations. Les premières éoliennes ont été installées par des navires à vocations multiples, dont le dénominateur commun était de disposer de capacités de levage très importantes. Aujourd'hui, les développeurs privilégient les bateaux qui ont spécialement été construits pour l'éolien offshore.

Ces navires sont conçus pour installer à la fois les fondations, les pièces de transition, les pales et les turbines. Pour la plupart, ils sont autopropulsés et disposent de systèmes de positionnement dynamique, de grues à grandes capacités de levage et de vastes surfaces de pont. Nombre de ces navires sont autoélévateurs (ou « jack up »), c'est-à-dire qu'ils disposent de pieds leur permettant de trouver leur stabilité et de s'élever au-dessus de l'eau, ce qui facilite le levage des éléments de l'éolienne. La tendance semble toutefois être au développement de navires qui n'ont pas besoin de prendre appui sur le fond afin de ne pas être limités par la profondeur d'eau. Autre tendance : les opérateurs privilégient les navires capables de transporter des éoliennes pré-assemblées, ce qui leur permet de limiter au maximum la délicate opération du montage en mer.⁶³ L'usage de navires non spécifiques perdure néanmoins, le nombre de bateaux spécialisés demeurant insuffisant⁶⁴.

Figure 11. Navire jack up ayant servi à l'installation du danois de Horns Rev 2.



Source : © Nass&Wind.

⁶³ ORECCA. *Offshore Infrastructures : ports and vessels*.

⁶⁴ Le Marin, 26 novembre 2010. *A2Sea : une belle aventure maritime*.

L'optimisation des navires et des process a permis à Vestas d'installer le parc de Thanet (100 éoliennes au large de l'Angleterre) en 198 jours calendaires et 100 jours utiles.

Les recherches se poursuivent également dans le domaine des navires de maintenance, avec par exemple le projet Windkeeper soutenu par le Pôle Mer PACA et qui vise à développer un navire démonstrateur plus performant, économe et éco-conçu.

2.2. Hydrolien : une technologie proche de la phase industrielle

Des conceptions fort différentes de l'exploitation de l'énergie des courants coexistent, qui ne sont pas nécessairement concurrentes dans la mesure où cette diversité fait écho à celle des sites potentiels, qui peuvent être marins, estuariens ou fluviaux. Grâce aux récentes avancées technologiques, les industriels ont toutefois pu sélectionner les concepts jugés les plus performants. Leurs investissements permettent d'accélérer la mise au point des technologies et devraient conduire à l'installation prochaine de machines dans des parcs commerciaux.

2.2.1. Des progrès technologiques mais pas d'innovation radicale

- Hydrolennes de faible ou moyenne puissance

Plusieurs constructeurs développent des concepts de faible puissance (inférieure au MW), souvent destinés aux marchés fluviaux, estuariens ou insulaires.

Ces hydrolennes seront optimisées pour des sites moins énergétiques mais plus facilement accessibles. Elles pourront ainsi être installées à proximité des lieux de consommation.

Parmi les projets les plus avancés figure celui d'une société française, Hydroquest, qui travaille sur une hydrolenne à axe vertical. A terme, le constructeur annonce une gamme d'hydrolennes allant de 30 kW à 200 kW. Une turbine à l'échelle 1:2 est testée depuis 2011 et un démonstrateur préindustriel devrait être mis à l'eau en 2012 sur le futur site d'essais du Pont de Pierre, à Bordeaux.

Enfin, la société Le Gaz Intégral projette d'installer une hydrolenne Blustream en ria d'Étel (Morbihan)⁶⁵. D'un diamètre de 5 m, le prototype qui devrait être testé durant deux ans à partir d'octobre 2013 utilise deux rotors positionnés dans des tuyères, ce qui permet d'accélérer la vitesse des courants. Sa puissance sera inférieure à 250 kW.

⁶⁵ Le Télégramme, 9 juin 2012. *Un projet d'hydrolenne en Ria d'Étel*. Ouest-France, 11 juillet 2012. *Le projet d'essais d'hydrolenne dans la Ria d'Étel avance*.

- Hydroliennes de grande puissance

Les hydroliennes ayant fait l'objet des plus forts investissements de R&D jusqu'à ce jour sont les machines de grande puissance (un, voire plusieurs MW). Il s'agit généralement de machines de dix mètres de diamètre ou plus, destinées à exploiter l'énergie des courants de marée grâce à un rotor à axe horizontal. Dimensionnées pour des sites très énergétiques, sur lesquels les contraintes sont très importantes, ces hydroliennes devront être particulièrement robustes.

Les industriels, qui sont en compétition pour l'accès aux meilleurs sites, recherchent moins l'innovation que la fiabilité. C'est pourquoi les efforts de R&D portent avant tout sur la mise au point de machines suffisamment simples pour pouvoir être rapidement opérationnelles.

Une seule machine fait l'objet d'une exploitation commerciale : le prototype SeaGen (1,1 MW), installée dans le détroit de Strangford en Irlande du Nord. Cette machine n'a pas connu de déboires majeurs depuis son installation en 2008. Le gouvernement écossais a autorisé l'implantation d'un parc de 10 turbines, dont la construction pourrait débuter dès 2013. Le déploiement de cette technologie pourrait toutefois être limité par le fait qu'elle possède une partie émergée.

Les constructeurs semblent actuellement privilégier des systèmes totalement immergés (qui n'occasionnent pas de gêne visuelle et ne constituent pas d'obstacles à la navigation) et ne nécessitant ni ancrage ni préparation des fonds marins (de manière à limiter l'impact environnemental).

La technologie Hammerfest Strom est peut-être la plus éprouvée à ce jour : une machine de 300 kW est testée depuis 2005 dans le nord de la Norvège, ce qui a permis au constructeur d'ajuster sa technologie. La machine donnant satisfaction, il est passé à l'échelle supérieure en immergeant en décembre 2011 une turbine d'1 MW sur le site d'essais de l'EMEC en Écosse.

Autre machine actuellement ayant connu des évolutions : l'hydrolienne développée par la société irlandaise OpenHydro. Après les tests de deux prototypes au Royaume-Uni puis dans la baie de Fundy (Canada), dont le second n'a pas été jugé concluant par les développeurs, une machine de 16 m de diamètre a été immergée au large de Paimpol-Bréhat en octobre 2011. Cette dernière développe une puissance de 0,5 MW à Paimpol-Bréhat mais pourrait atteindre 1,2 MW dans un site où les courants sont plus puissants, tel le Raz Blanchard⁶⁶.

A partir de 2014, ce même site de Paimpol-Bréhat servira aux premiers tests de l'hydrolienne Orca. D'un diamètre de 20 m, elle développera une puissance d'1 MW. Alstom, porteur du projet, développe en parallèle une hydrolienne d'un diamètre inférieur et qui, étant prévue pour les sites les plus énergétiques (avec des courants supérieurs à 4,5 m/s), sera tout aussi puissante. C'est le projet Beluga qui, après des tests en bassin à l'École centrale de Nantes, devrait donner lieu à la mise en place

⁶⁶ Audition de M. Vincent DENBY-WILKES (EDF), 5 avril 2012.

d'un démonstrateur dans les très forts courants de la baie de Fundy (Canada), avant la fin de l'année 2012⁶⁷.

- Vers la mise en place de parcs hydroliens

Plusieurs concepts ont donc été testés, ce qui a permis de valider ou de revoir certains choix technologiques. Avant le lancement commercial réel, une dernière phase est indispensable : la démonstration de plusieurs machines fonctionnant conjointement.

Comme une éolienne, une hydrolienne produit des effets de sillage. Des effets qui peuvent être modélisés mais nécessitent tout de même d'être étudiés sur site. Cette étape est nécessaire pour optimiser le positionnement des machines les unes par rapport aux autres. D'autres aspects techniques de l'exploitation en batterie doivent également être étudiés, qui sont liés à la maintenance, à la rotation des machines ou encore à leurs impacts environnementaux.

Le premier parc multi-machines au monde sera celui de Paimpol-Bréhat, puisqu'en janvier 2013 trois hydroliennes identiques viendront rejoindre la première installée par EDF.

Peu après, de 2013 à 2015, l'entreprise ScottishPower Renewables installera un parc de 10 turbines Hammerfest Strom dans le détroit d'Islay (Écosse). L'exploitant envisage ce premier parc en conditions réelles comme la dernière étape avant l'exploitation de l'hydrolienne à grande échelle – à laquelle il travaille d'ailleurs, avec notamment un projet de 95 machines dans le détroit de Pentland, au Nord de l'Écosse⁶⁸. En France, DCNS se positionne également pour être en mesure d'installer un parc commercial dans le Raz Blanchard.

- Les moyens d'installation des machines

Avec le changement d'échelle des projets, il va devenir nécessaire de développer des moyens de transport et d'installation des machines. A ce jour, certaines machines sont installées à l'aide de navires multi-usages (ce fut le cas pour SeaGen, par exemple) tandis que d'autres sont mises en place grâce à des moyens dédiés mais rudimentaires, telle la barge utilisée par EDF à Paimpol-Bréhat. N'étant pas autopropulsée, celle-ci nécessite l'intervention d'un remorqueur de haute mer – des navires qui seront probablement trop peu disponibles pour permettre la mise en place de grands parcs.

⁶⁷ Intervention de M. Eric PELLERIN, responsable produits énergies de la mer chez Alstom Hydro, lors du salon Thetis EMR, le 11 janvier 2012 à Bordeaux.

⁶⁸ *Hammerfest Strom : feu vert pour un parc hydrolien de 10 MW*. <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 21 mars 2011.

Figure 12. La première hydrolienne de Paimpol-Bréhat sur sa barge.



Source : EDF – Rémy Artigues.

2.2.2. Des investissements significatifs

A en croire les déclarations des développeurs, le secteur de l'hydrolien est désormais proche de son développement industriel. L'entrée de grands groupes au capital des entreprises ayant développé ces technologies est à la fois une cause et une conséquence de cette accélération.

De nombreux groupes industriels ont en effet investi des sommes importantes dans de petites sociétés innovantes. Il s'agit :

- d'énergéticiens, comme EDF ou Iberdrola ;
- de géants de l'hydroélectrique ou de l'éolien tels Alstom, Andritz ou Siemens ;
- de groupes de l'aéronautique, de la navale ou de l'armement comme Rolls Royce, DCNS ou encore Lockheed Martin.

En résumé, le domaine de l'hydrolien se caractérise par des progrès technologiques constants mais sans ruptures d'une part, et par une prise de conscience de son potentiel économique et industriel d'autre part. Cette prise de conscience a conduit les grands groupes industriels à acheter les petites entreprises qui, jusqu'ici, portaient les projets. Cette dynamique a eu deux conséquences. D'abord, elle a conduit à une sélection des technologies, car les investisseurs se sont tournés davantage vers des machines robustes et éprouvées que vers des concepts très innovants, qui risquaient de leur faire prendre du retard. Ensuite, elle a accéléré le développement des machines sélectionnées.

Le principal enjeu consiste aujourd'hui à développer des machines fiables le plus rapidement possible pour prendre possession des meilleurs sites, qui ne manqueront

pas d'être prochainement attribués⁶⁹. Plusieurs entreprises françaises prennent part à cette compétition internationale, tant des grands groupes (DCNS, Alstom) que des PME visant des marchés de niche (Sabella).

Il convient toutefois de rappeler que les technologies vont continuer à évoluer et que certains concepts prometteurs n'ont pas encore été testés. En outre, les technologies seront amenées à évoluer dans une large mesure en fonction des caractéristiques propres à chaque gisement. Dans ce contexte, les concepts qui apparaissent aujourd'hui comme les plus performants ne le resteront pas nécessairement à l'avenir.

2.3. Éolien flottant : des technologies prometteuses, qui doivent encore faire leurs preuves

L'éolien offshore flottant suscite de grands espoirs dans la mesure où il permettra d'ouvrir de nouveaux marchés à l'éolien en mer. Nécessitant des profondeurs d'eau importantes, les éoliennes flottantes pourront être installées dans des zones où les eaux sont profondes même à proximité des côtes ; elles pourront également être positionnées très au large, de manière à réduire les conflits d'usages. De plus, des éoliennes installées loin des côtes bénéficieront de vents plus puissants et plus réguliers que celles qui sont proches des côtes. Dernier atout : certaines éoliennes flottantes pourront être remorquées au port pour la maintenance lourde, ce qui dispensera les exploitants de s'équiper de navires spécifiquement conçus à cet usage.

Pour atteindre ces objectifs, quelques années de recherches supplémentaires seront nécessaires. A ce jour, la plupart des concepts sont encore au stade du développement : quatre prototypes seulement ont été mis à l'eau, dont deux étaient à échelle réduite.

Dans un contexte où les investisseurs ne disposent pas du recul nécessaire pour déterminer leur choix entre les différentes conceptions de l'éolien flottant, la diversité des machines reste grande. On distingue trois tendances majeures.

2.3.1. Première tendance : des technologies extrapolées d'autres secteurs d'activité

Tous les prototypes d'éoliennes flottantes testés à ce jour reposent sur le choix de focaliser les efforts de R&D sur les flotteurs.

Outre Blue H (mis à l'eau à échelle réduite en 2008) et Hywind (testé en Norvège à l'échelle 1:1 depuis 2009)⁷⁰, deux autres technologies ont été expérimentées à ce jour.

⁶⁹ Audition de M. Marc BOEUF (DCNS), 8 mars 2012.

Areva et Sway sont associés depuis 2008 pour développer ce qui est annoncé comme l'éolienne la plus puissante au monde, puisque leur projet commun associerait une turbine Areva de 10 MW et une bouée Spar. Un prototype à l'échelle 1/6 a été mis à l'eau en mars 2011 mais il a dû être ramené au port dès le mois de novembre à cause de dégâts causés par une tempête, lesquels semblent toutefois être considérés comme mineurs par le développeur.

Le dernier projet à avoir été mis à l'eau est Windfloat, un flotteur semi-immergé développé par Principle Power. Un prototype doté d'une turbine Vestas de 2 MW destinée à l'éolien terrestre est testé sur le centre portugais d'énergies marines d'Aguçadoura depuis novembre 2011. Les porteurs de projets disent n'avoir rencontré aucune difficulté et annoncent l'implantation d'un premier parc de 5 machines (d'une puissance unitaire de 5 MW) en 2014 ou 2015⁷¹.

Ces quatre projets sont les plus avancés dans le secteur de l'éolien flottant. Ils doivent cette avance au choix de réemployer au maximum les technologies disponibles tant dans l'offshore pétrolier que dans l'éolien posé. Cette force est aussi leur limite : les éoliennes « classiques » que l'on cherche à adapter sur leurs flotteurs n'ont pas été conçues pour un tel usage. Dès lors, les développeurs se trouvent dans l'obligation de concevoir des flotteurs très stables, aux performances comparables à celles de fondations posées, afin de limiter les efforts subis par les turbines. Lourds ou volumineux, lesdits flotteurs seront probablement coûteux à fabriquer comme à installer⁷².

2.3.2. Deuxième tendance : l'innovation radicale

Certains porteurs de projets sont de nouveaux entrants, sans lien avec l'éolien, l'exploitation pétrolière offshore, les énergies marines ni même la construction navale. Ils cherchent à entrer sur le marché de l'éolien en proposant des innovations radicales. En France, deux concepts très différents ont vu le jour.

Avec Vertiwind, la société Nénuphar développe à la fois une éolienne innovante et un flotteur dédié. La principale originalité du concept est son axe vertical. Cette technologie a été développée pour le petit éolien terrestre mais n'a jamais trouvé d'applications de grande taille. Elle pourrait demain s'avérer pertinente pour l'éolien flottant grâce à un centre de gravité bas, qui permet de réduire les contraintes supportées par le flotteur. Ces éoliennes seront également moins visibles depuis les côtes qu'une machine de même puissance utilisant un axe horizontal. Les essais à terre pourraient commencer dès 2012 et le constructeur espère pouvoir mettre un prototype à l'eau en 2014⁷³. Il faudra pour cela relever de considérables défis, car la

⁷⁰ Ces deux concepts sont présentés dans le rapport du CESER de 2009. *Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer !* Rapporteurs MM. Guy JOURDEN et Philippe MARCHAND, pp. 27 et 72.

⁷¹ *Semi-submersible wind turbine is floating into the future*. www.rechargenews.com, 4 juillet 2012.

⁷² Audition de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind), 26 avril 2012.

⁷³ *Des éoliennes au large de Fos ?* <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 24 octobre 2011.

technologie est, à certains égards, obsolète. Depuis les années 1980, la recherche se concentre en effet quasi-exclusivement sur les turbines à axe horizontal⁷⁴.

Le second concept est porté par Ideol, jeune société du sud de la France créée en 2010. Elle développe un flotteur léger, pouvant être déplacé en fonction du vent à l'aide d'une « solution de mobilité ». Piloté automatiquement par un logiciel calculant en permanence la position optimale des aérogénérateurs dans le parc, ce système doit limiter la perte de production liée aux effets de sillage, inconvénient commun à tous les champs d'éoliennes de grande taille. Dans certains grands parcs de la Mer du Nord par exemple, la perte d'énergie que ces effets occasionnent est estimée à 15 %⁷⁵. Un premier prototype pourrait être installé en 2013, en France ou en Espagne.

Ces deux projets innovants ont été jugés pertinents par le Pôle Mer PACA, qui les soutient. La société Nenuphar bénéficie en outre de l'appui de grandes entreprises, à savoir Technip (qui a conçu les flotteurs) et EDF Énergies Nouvelles. Il n'est toutefois pas exclu que le développement de ces concepts soit plus lent que ceux de leurs concurrents moins innovants, dans la mesure où ils devront lever davantage de verrous technologiques.

2.3.3. Troisième tendance : une conception intégrée

Une dernière catégorie d'entreprises a fait le choix d'un développement intégré, c'est-à-dire qu'elles conçoivent la turbine et son flotteur comme une unité cohérente, sans chercher toutefois à introduire d'innovations structurelles. Cette démarche peut être qualifiée d'intermédiaire dans la mesure où elle vise à éviter les contraintes rencontrées par les concepteurs de flotteurs pour turbines classiques (la nécessité de proposer un flotteur très stable), mais également les risques qui pèsent sur les concepts les plus innovants. Le fait de concevoir la turbine et le flotteur en même temps permet d'optimiser chacun de ces éléments par rapport à l'autre. Les gains attendus concernent le coût initial de la machine, mais également sa fiabilité.

Le principal projet conçu selon cette approche est breton, il s'agit du programme Winflo, qui vise à associer une plateforme semi-submersible légère à une turbine de 5 à 7 MW spécialement conçue pour résister aux vibrations engendrées par les mouvements du flotteur. Des essais en bassin ont déjà été réalisés et l'année 2013 verra la mise à l'eau d'un premier démonstrateur équipé d'une turbine de 1 MW à moyeu oscillant, développée par Vergnet pour les milieux tropicaux. La machine serait ensuite testée à l'échelle 1:1 au large de Groix. Enfin, le programme prévoit la mise en place des premiers parcs commerciaux avant 2020⁷⁶.

Le projet européen HiPRWind associe 19 partenaires issus de 8 pays différents, emmenés par Acciona (acteur important des énergies renouvelables en Espagne).

⁷⁴ *Offshore use of vertical axis wind turbines gets closer look.* www.renewableenergyworld.com, 8 août 2012.

⁷⁵ *Ideol : un flotteur éolien qui limite l'effet de sillage aérodynamique.* <http://energiesdelamer.blogspot.fr/>, 31 mars 2011.

⁷⁶ Audition de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind), 26 avril 2012.

Comme Winflo, ce projet porte sur la conception d'une plateforme semi-submersible, qui devra être la plus légère possible, et d'une turbine dédiée. Des tests ont été menés en bassin à Madrid et un prototype de 1,5 MW devrait être testé sur le site d'essai Bimep, au large des côtes basques. Ce site a été retenu pour ses conditions extrêmes : on y trouve les vagues les plus puissantes d'Espagne⁷⁷.

L'éolien flottant commence à être jugé crédible par les investisseurs : plusieurs groupes spécialisés dans la production d'énergie ou l'offshore pétrolier y ont déjà investi tandis que les gouvernements états-unien et britannique ont lancé un programme conjoint de recherche destiné à développer une turbine avant 2016. Du point de vue technologique, le jeu reste ouvert : plusieurs approches se distinguent. Celles qui intègrent le moins d'innovations ont de l'avance sur les autres, mais aucune n'a pris l'avantage – d'autant que les unes et les autres seront probablement destinées à des environnements différents. A telle enseigne que le Japon, qui souhaite exploiter des éoliennes offshore flottantes, semble se tourner vers un parc expérimental sur lequel trois technologies différentes seraient testées et comparées⁷⁸.

2.4. Exploitation de l'énergie des vagues : le jeu reste ouvert

Les systèmes houlomoteurs présentent plusieurs avantages :

- ils exploitent une ressource intermittente mais abondante, gratuite et prédictible ;
- ils sont généralement peu visibles de la côte, voire complètement invisibles ;
- certains d'entre eux ont un impact environnemental limité ;
- leur maintenance ne nécessite généralement pas l'acquisition de coûteux moyens dédiés (certains pourront être remorqués puis révisés au port tandis que d'autres seront implantés très près des côtes) ;
- moins puissants que des éoliennes mais souvent de petite taille, ces systèmes permettront de dimensionner précisément les parcs en fonction des besoins en électricité.

Des concepts fort différents sont portés par un grand nombre d'entreprises innovantes, généralement des PME. Il n'est pas possible, à ce jour, de faire des pronostics quant aux technologies qui seront demain jugées les plus pertinentes, car les développeurs sont encore confrontés à de nombreuses difficultés. Ces obstacles tiennent principalement à l'irrégularité de la ressource, à son hétérogénéité ainsi qu'aux contraintes mécaniques subies par les machines.

2.4.1. Les systèmes à la côte

Une première famille de dispositifs houlomoteurs est constituée de systèmes à la côte, qui utilisent le principe de la colonne d'eau oscillante. Ces systèmes de

⁷⁷ Acciona will test a marine 1,5 MW wind turbine. <http://dailyenergy.net>, 16 avril 2012.

⁷⁸ Audition de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind), 26 avril 2012.

première génération existent depuis 2000, date de la mise en place du LIMPET sur l'île d'Islay en Écosse. Malgré cette ancienneté, ils n'ont pas réellement trouvé de marché. A ce jour, une seule centrale en fonctionnement est répertoriée, ainsi que deux démonstrateurs en Écosse et aux Açores.

Pour limiter l'impact de ces machines qui nécessitent de bétonner la côte, il est possible de les intégrer dans des constructions prévues à d'autres fins, telles que les digues. C'est la solution retenue pour la centrale de Mutriku, première centrale commerciale du genre, qui a été installée au Pays basque espagnol durant l'été 2011. Il est prévu que cette centrale atteigne 2 000 heures de fonctionnement à plein rendement chaque année, ce qui est comparable à la disponibilité de l'éolien terrestre. Sa puissance nominale est de 296 kW. Par ailleurs, la centrale a été insonorisée de manière à réduire les nuisances⁷⁹.

2.4.2. Les systèmes installés près des côtes

Immergés ou flottants, les systèmes installés près des côtes permettent de transporter l'énergie produite sous la forme d'un fluide sous pression, qui est ensuite turbiné à terre. La proximité de la côte facilite leur surveillance ainsi que la maintenance.

Deux concepts du genre en sont à un stade avancé de démonstration : CETO, testé en Australie depuis 2003 à l'échelle 1:3, puis à l'échelle 1:1, et Oyster, dont un premier prototype de 315 kW a été testé durant plus de 6 000 heures, au cours desquelles il a fait la preuve de sa capacité à fonctionner sans heurts, tournant souvent 24 heures sur 24. Un second prototype plus puissant (800 kW) est testé à l'EMEC et sera bientôt rejoint par deux machines identiques⁸⁰.

N'ayant pas connu de déboires lors des tests à l'échelle 1:1, ces deux concepts seraient proches du stade de la commercialisation. La société Aquamarine Power porte d'ailleurs un projet de parc de 40 MW équipé de machines du type Oyster 800. Elle a réservé un site en Écosse à cet effet.

Enfin, un site pilote de trois machines a été installé en août 2012 au large du Portugal. Il utilise la technologie finlandaise Waveroller, d'une puissance unitaire de 100 kW).

2.4.3. Les systèmes installés au large

La catégorie des systèmes de récupération de l'énergie des vagues au large est la plus hétérogène, puisqu'elle rassemble des concepts flottants, d'autres placés dans la colonne d'eau et d'autres encore qui sont installés au fond de la mer.

⁷⁹ *La energia limpia que viene del mar*. www.lavanguardia.com, 24 mars 2012.

⁸⁰ *Oyster 2 lancé par le premier ministre écossais*. <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 15 juillet 2011. Des descriptions de ces deux projets pourront être trouvées dans le rapport du CESER de 2009.

Celui qui bénéficie du plus grand retour d'expérience est le Pelamis, qui a été testé au Portugal en 2009. Ces tests ont révélé de nombreuses fragilités au niveau de l'articulation des différents éléments de ce « serpent de mer » et les machines ont été définitivement retirées de l'eau après quelques mois seulement. Une seconde version a ensuite été développée, puis testée en Écosse depuis 2010⁸¹.

Selon Alain CLEMENT, chercheur à l'École centrale de Nantes, les constructeurs vont, là encore, privilégier la fiabilité. C'est pourquoi des concepts qui ont pu apparaître comme rudimentaires, tel Waveroller (sorte de volets oscillants fixés au fond de la mer) sont désormais regardés avec une attention croissante⁸².

Pour ce qui concerne la France, la principale nouveauté est la technologie S3, développée par un groupe basé aux Pays-Bas et qui sera testée sur le site du Croisic. Il s'agit d'une technologie très innovante, en forme de serpent de mer comme le Pelamis mais composée de polymères électroactifs qui se déforment sous l'action de la houle. Cette approche permet une conversion directe de l'énergie des vagues en électricité, sans passer par l'intermédiaire des pièces mécaniques ou hydrauliques qui font la fragilité du Pelamis, par exemple.

Pour la plupart des systèmes de récupération de l'énergie des vagues, il faudra mettre en œuvre de nouveaux progrès technologiques avant d'atteindre le stade commercial. Ces progrès viseront à accroître leurs performances et leur puissance (qui, à terme, pourrait être de l'ordre du MW), mais également à démontrer la viabilité des concepts les plus innovants. Ils concernent également la fiabilité des machines sur le long terme, car un parc sera appelé à fonctionner durant 20 ans au moins. L'incertitude sur ce point constitue probablement le premier obstacle à l'investissement dans ces technologies. Aussi, c'est principalement à ce niveau que se fera la sélection entre les différents concepts.

Pour l'heure, le jeu reste largement ouvert. Au sein de France Énergies Marines, les recherches sur le houlomoteur viseront moins à lever des verrous technologiques précis qu'à identifier les technologies les plus prometteuses. A ce stade, la France est moins investie sur ces technologies que les pays anglo-saxons et l'Australie : elle ne compte aucun projet de site pilote et les grandes entreprises françaises des EMR, à l'exception de DCNS, ne sont pas présentes dans ce secteur.

2.5. La production de carburants à partir d'algues

Avec l'augmentation du prix du pétrole, l'intérêt pour les biocarburants ne cesse de s'accroître. Cependant, l'usage des biocarburants de première ou de deuxième génération – ou agrocarburants – fait polémique dans la mesure où leur production entre en concurrence avec l'alimentation. C'est pourquoi la recherche se tourne vers l'utilisation d'autres ressources. L'une des solutions envisagées pour accroître les rendements est de cultiver des microalgues dans des fermes puis d'en extraire les

⁸¹ Audition de M. Alain CLEMENT (Ecole centrale de Nantes), 5 avril 2012.

⁸² Audition de M. Alain CLEMENT (Ecole centrale de Nantes), 5 avril 2012. *Waveroller : une nouvelle génération sera testée pendant l'été*. <http://energiesdelamer.blogspot.fr/>, juin 2010.

lipides et les transformer en carburant. Les rendements attendus sont supérieurs à ceux des oléagineux, mais il ne s'agit encore que de projection théoriques. Avant de parvenir à leur concrétisation, les défis restent nombreux : sélection des organismes les plus exploitables, augmentation de leur productivité, techniques de récolte...

Aussi, et bien que quelques usines fonctionnent déjà, l'époque est plutôt aux projets de R&D visant à accroître les connaissances sur les microalgues ou à préparer la phase d'industrialisation. Plus de 200 projets de recherche et développement ont été recensés, pour la plupart aux États-Unis⁸³. Mais la recherche française est également dynamique, avec de nombreux projets, principalement dans le sud du pays :

- HelioBiotech, qui vise à optimiser les mécanismes biologiques de certaines microalgues et à sélectionner les espèces les plus intéressantes ;
- ANR symbiose, qui vise la production de biogaz ;
- Salinalgue, pilote industriel dans les salines du sud de la France ;
- par ailleurs, l'entreprise Fermentalg travaille sur la diminution des coûts de production de la biomasse issue des micro-algues.

Ces projets sont soutenus par les pôles de compétitivité Trimatec, Derbi, Mer PACA et Capénergie ainsi que par l'IEED Greenstars. En Bretagne, il existe un projet de production de carburants à partir d'algues qui seraient cultivées dans une ancienne carrière de kaolin, à Ploemeur.

La filière pourrait devenir rentable vers 2020 ou 2025, en fonction des progrès technologiques ainsi que de l'évolution du prix du pétrole⁸⁴.

Les États-Unis, qui possèdent une certaine avance technologique dans ce domaine, vont probablement investir des sommes croissantes pour la production de biocarburants, dans un contexte de tensions internationales sur l'approvisionnement énergétique. C'est du moins ce que laissent supposer des rapports publiés par le Pentagone et le Ministère de l'énergie début 2012⁸⁵.

2.6. Énergie thermique des mers : des investissements considérables en perspective

En ce qui concerne l'exploitation de l'énergie thermique des mers (ETM), le paysage est plus dégagé. Compte tenu des sommes à investir pour construire un prototype de centrale capable de transformer cette énergie en électricité (plusieurs dizaines de millions d'euros)⁸⁶, les porteurs de projet sont rares. Pour cette même raison, aucun démonstrateur de grande ampleur n'a encore vu le jour, alors même que la technologie est étudiée depuis plusieurs décennies.

⁸³ Le Marin, 27 avril 2012. *Les nouvelles de l'Ifremer. Développer le potentiel des micro-algues.*

⁸⁴ Les Défis du CEA, mai 2012. *De la biomasse et des algues dans le moteur.*

⁸⁵ États-Unis : des algues pour réduire la facture pétrolière. <http://bourse.lefigaro.fr>, 2 mai 2012. *Biocarburant algal US : feuille de route gouvernementale et pression des industriels.* www.mer-veille.com, 7 mai 2012.

⁸⁶ Les centrales de ce type utilisent la différence de température entre l'eau chaude de surface et l'eau froide puisée plus profondément pour faire fonctionner une turbine. Elles ne peuvent être implantées que dans des zones où le gradient de température est important : il faut donc une eau chaude en surface et une grande profondeur. Ces conditions se rencontrent fréquemment au large d'îles situées en zone intertropicale.

L'intérêt pour cette source d'énergie reste toutefois important. Elle possède en effet un atout majeur par rapport aux autres EMR : un fonctionnement en continu, nuit et jour et en toutes saisons, apportant une production électrique de base. Certes, le coût de cette énergie restera élevé, mais il sera néanmoins concurrentiel par rapport au coût de l'électricité dans certains territoires insulaires. Il convient toutefois de rappeler que ces systèmes ne pourront être implantés qu'en zone intertropicale.

Plusieurs observateurs considèrent que la faisabilité théorique des projets est acquise, de même que leur pertinence économique. Mais cela reste à démontrer dans les faits. *« Alors que rien dans les expériences passées ne laisse penser que l'ETM ait des verrous technologiques majeurs à lever, l'exploitation de l'énergie thermique des mers ne peut être considérée comme prête pour la phase de commercialisation. Une démonstration en mer de plusieurs années permettrait de résoudre les incertitudes »*, indique Gérard NIHOUS de l'Université d'Hawaï⁸⁷.

Pionniers dans ce domaine, la société Lockheed Martin et l'US Navy devraient construire en 2015 une installation industrielle de 5 à 10 MW au large d'Hawaï. En France, DCNS a également lancé une démarche lui permettant d'aller vers ce type de centrale. C'est le projet Espadon, dont la première phase (essais à terre de la centrale) est en cours à La Réunion tandis que la seconde (test en mer de la machine pilote de 10 MW) aura lieu en Martinique. A terme, les deux concurrents visent des centrales affichant une puissance de 100 MW. Dernière concurrente : la société OTEC International, basée à Baltimore, qui espère installer un démonstrateur à terre en 2014.

Des études doivent être menées afin d'évaluer l'impact environnemental de telles centrales. Ces impacts pourraient notamment être induits par le rejet de quantités importantes d'eau froide dans des écosystèmes fragiles.

Une autre application de l'énergie thermique des mers peut être déployée en France métropolitaine. Elle consiste à produire du chauffage ou de la climatisation pour des bâtiments situés sur le littoral grâce à un système de pompes à chaleur utilisant les gradients de température de la mer. Un tel dispositif a été installé en 2009 sur le port de la Seyne-sur-mer (83) pour un coût jugé amortissable à long terme⁸⁸.

2.7. Gradients de salinité : les recherches se poursuivent en Norvège

Seule la Norvège semble travailler sur ce procédé. Un premier prototype de centrale osmotique de 4 kW a été installé en novembre 2009 près d'Oslo par la société Statkraft. Ce projet bénéficie d'un important soutien de l'État, mais il n'est pas

⁸⁷ *Scouring the tropics for thermal energy.* www.renewablesenergyworld.com, 3 mai 2012. *L'ETM déclaré compétitif commercialement par les Américains.* <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 23 février 2010.

⁸⁸ NUNEZ P., février 2010. *Pompe à chaleur sur eau de mer pour 54000 m² à la Seyne/mer.* <http://conseils.xpair.com>.

encore mature, car les contraintes techniques à dépasser pour parvenir à produire de l'électricité à un coût compétitif restent nombreuses⁸⁹.

2.8. Une nouveauté : les « îles d'énergie »

Sur le papier, le concept est simple. Il s'agit d'imaginer des plateformes en mer combinant plusieurs sources de production d'énergie, laquelle pourra être convertie en électricité qui sera ramenée à terre via des câbles, ou transformée sur place en hydrogène par exemple. Autre application envisagée : la production d'eau désalinisée. De tels projets permettraient d'optimiser l'occupation de l'espace maritime tout en réduisant les contraintes liées à l'intermittence des énergies marines renouvelables.

Ces projets nécessitent d'identifier des zones dans lesquelles deux ressources au moins seront présentes de manière importante (vent, houle, soleil, courants...).

La perspective a été jugée suffisamment crédible pour que de grands groupes industriels et des laboratoires de recherche de 12 pays s'associent avec le soutien de la Commission européenne en un programme commun de R&D. Doté d'un budget de 12,8 millions d'euros, le programme Marina Platform est conduit par Acciona. Il vise principalement à produire et analyser des données liées à la faisabilité des projets ainsi qu'à déterminer quelles sont les zones les plus propices au développement de ce type de dispositifs.

3. Des avancées qui concernent également les champs de recherche complémentaires

La possibilité de produire de l'électricité à partir des énergies marines pour un coût abordable et dans des conditions répondant aux exigences du développement durable ne dépend pas uniquement des progrès technologiques concernant les machines. Doivent également être prises en compte les données sur les impacts environnementaux, ainsi que celles relatives à l'état des réseaux électriques.

3.1. Étude des impacts environnementaux : un nouveau champ de recherche

Le Code de l'environnement prévoit que les incidences d'un projet d'exploitation des énergies marines sur les activités humaines ainsi que sur le patrimoine naturel, archéologique et paysager soient évaluées précisément, de façon à ce que les impacts puissent être (dans l'ordre de priorité) évités, réduits ou compensés

⁸⁹ *Énergie osmotique : la R&D développée par Statkraft reçoit 11 millions de couronnes norvégiennes.* <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 5 avril 2012.

(lorsqu'aucune mesure d'atténuation n'est possible). En application de ce code, les porteurs de projet doivent réaliser des études d'impact ainsi que des études de suivi.

Au préalable, une précision terminologique s'impose. Le terme « effet » ne renvoie pas à l'ampleur des phénomènes, contrairement à « impact », qui suppose de prendre en compte l'intensité et la durée des effets.

Les effets environnementaux des parcs éoliens en mer ont déjà fait l'objet de plusieurs études. La synthèse la plus longue porte sur sept années d'observation au sein des parcs danois de Nysted et Horns Rev⁹⁰. Les résultats de ces différents travaux permettent, dans une certaine mesure, d'anticiper les incidences à court et moyen termes des parcs qui seront installés en France.

- L'installation du parc : une étape critique

Bruit, turbidité causée par l'installation des fondations, va-et-vient des navires : la phase d'installation perturbe le milieu naturel. L'agitation qu'elle induit éloigne certaines espèces de poissons ou de mammifères marins. Pour ces derniers, le bruit causé par l'installation de fondations monopieu⁹¹ peut représenter un danger. En Mer du Nord, les phoques semblent éviter les zones situées dans un rayon de 40 km autour des parcs au moment où ces fondations sont plantées dans le sol⁹².

En général, ces espèces reviennent vivre au sein du parc, plus ou moins rapidement⁹³. Il convient toutefois de veiller à ce que les parcs ne soient pas installés dans les zones où les écosystèmes sont les plus fragiles (avec de faibles capacités de résilience) et où les espèces sont les plus vulnérables (croissance lente et faible capacité de reproduction).

Selon l'ADEME, certaines incidences peuvent être limitées grâce aux mesures d'atténuation mises en place⁹⁴. Il est par exemple possible d'installer des rideaux de bulles pour atténuer la propagation du bruit. Cette technique est obligatoire dans plusieurs pays, mais elle doit être améliorée car son efficacité laisse parfois à désirer⁹⁵.

- La présence du parc : un effet souvent favorable à la biodiversité

La présence en mer d'un parc éolien peut avoir deux effets favorables à un accroissement de la biodiversité, lequel n'est pas toujours souhaité. Le monde de la

⁹⁰ Danish Energy Authority, 2006. *Danish Offshore Wind : key environmental issues*.

⁹¹ Les fondations monopieu devraient être utilisées pour le parc de Saint-Nazaire mais pas pour celui de Saint-Brieuc.

⁹² THOMSEN F., 2006. *Effects of offshore Wind farm noise on marine mammals and fish*, 2006. *Éoliennes marines : quels risques pour l'environnement ?* www.universscience.fr, 26 novembre 2010.

⁹³ BOEHLERT G. et GILL A., 2010. *Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development*. Oceanography, Vol. 23.

⁹⁴ Les fiches techniques de l'ADEME, avril 2012. *L'éolien en mer*.

⁹⁵ Le Marin, 29 juin 2012. *Travaux, des bulles pour protéger les phoques*.

pêche, par exemple, peut craindre l'effet de l'arrivée de nouvelles espèces invasives sur les espèces commerciales⁹⁶.

D'une part, certaines espèces de poissons semblent profiter d'un effet refuge au sein des parcs où la pêche est interdite⁹⁷.

D'autre part, les fondations peuvent avoir un effet positif sur la biomasse ainsi que, à titre d'habitat, sur l'abondance de certaines espèces. Il semble toutefois prématuré de parler d'effet récif, car cette notion suppose que les structures jouent un rôle sur leur reproduction. Or, les scientifiques ne savent pas établir clairement si la présence des fondations facilite la croissance des populations ou si elle se contente de les attirer.

L'effet d'attraction est indéniable : les fondations sont en effet colonisées par diverses espèces benthiques, lesquelles attirent des prédateurs⁹⁸. En Mer du Nord, nombre de ces nouvelles espèces ne sont pas indigènes⁹⁹ ; elles sont alors attirées par l'apparition d'un substrat dur (en l'occurrence, les fondations) dans une zone sableuse¹⁰⁰. Une approche écosystémique est donc désormais nécessaire, afin d'appréhender dans leur globalité les conséquences de l'apparition de ces nouvelles espèces¹⁰¹.

Ces phénomènes ont été observés sur plusieurs parcs mais leur ampleur varie en fonction de la nature des fonds marins, de la bathymétrie, de la localisation du parc et du type de fondations choisi¹⁰².

- Le fonctionnement du parc : des effets contrastés

La rotation des pales ne semble pas constituer un risque majeur pour les oiseaux, capables de circuler entre les éoliennes et d'éviter les machines. Néanmoins, certaines espèces locales semblent fuir les parcs, de même que les oiseaux migrateurs. A l'approche des champs d'éoliennes, ces derniers volent à des altitudes supérieures à leur trajectoire habituelle. Les collisions d'oiseaux avec les pales des machines sont difficilement quantifiables mais les études montrent qu'elles sont plutôt rares. En revanche, la stratégie d'évitement pourrait conduire à un impact négatif significatif sur les oiseaux migrateurs dès lors que les parcs se multiplieront¹⁰³.

⁹⁶ Audition de M. Alain COUDRAY (CDPMEM 22) et Mme Violaine MERRIEN (CRPMEM), 5 avril 2012.

⁹⁷ DOE, 2009. *Report to Congress on the potential environmental effects of marine and hydrokinetic energy*.

⁹⁸ LEONHARD S.B., STENBERG C. and STOTTRUP J., 2011. *Effects of the Horns Rev 1 offshore Wind farm on fish communities. Follow-up Seven Years after Construction*. DTU Aqua. BOEHLERT G. and GILL A., 2010. *Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development*. Oceanography, Vol. 23.

⁹⁹ Intervention de M. Steven DEGRAER, chercheur à l'Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique lors du colloque « Les EMR et vous ? » à Caen, le 20 juin 2012.

¹⁰⁰ LINDEBOOM et al., 2011. *Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the dutch coastal zone ; a compilation*. Environmental research letters 6.

¹⁰¹ Intervention de M. Steven DEGRAER, chercheur à l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique lors du colloque « Les EMR et vous ? » à Caen, le 20 juin 2012.

¹⁰² *Les fermes éoliennes offshore en faveur de la biodiversité*. <http://cordis.europa.eu>, 9 août 2011. *Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the dutch coastal zone ; a compilation*. Environmental research letters 6.

¹⁰³ BOEHLERT G. and GILL A., 2010. *Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development*. Oceanography, Vol. 23.

Le bruit et les vibrations occasionnées par le fonctionnement des machines semblent avoir peu d'incidence sur les mammifères marins. Par exemple, le taux de fréquentation des marsouins est maintenu dans le parc danois d'Horns Rev II¹⁰⁴ et augmente même dans le parc hollandais d'Egmond aan Zee¹⁰⁵.

Certaines espèces sont sensibles aux ondes électromagnétiques, notamment celles qui utilisent le magnétisme terrestre pour s'orienter lors de leurs migrations (saumons, anguilles) et celles qui utilisent les champs électriques pour détecter leurs proies (requins, raies). Or, les câbles électriques des parcs éoliens émettent de telles ondes, dont les incidences potentielles sur les poissons et les mammifères marins restent très mal connues. Une étude a par exemple montré que les champs électromagnétiques émis par les câbles avaient un effet sur la trajectoire des anguilles¹⁰⁶, même si, à ce jour, aucun impact négatif sur la survie des espèces n'a été établi.

Les effets des dispositifs d'exploitation des énergies marines sur les crustacés n'ont été que très peu abordés¹⁰⁷.

- Un nouveau champ de recherche en constitution

Ces connaissances font apparaître un nouveau champ de recherche, qui fait appel à de nombreuses spécialités et se renforce avec chaque projet. Malgré les avancées, de nombreux domaines restent à explorer.

Les effets d'un parc éolien en mer, certes de mieux en mieux documentés, varient largement en fonction des écosystèmes dans lesquels ils s'insèrent. Il est donc difficile de généraliser les conclusions des études réalisées sur les premiers parcs. C'est pourquoi le suivi doit être rigoureusement mené pour chacun des futurs projets.

Les scientifiques ne disposent pas encore du recul temporel nécessaire pour évaluer les impacts de long terme¹⁰⁸. Les impacts environnementaux de la phase du démantèlement des parcs, en particulier, ne sont absolument pas connus à ce jour. Il demeure donc impossible de savoir dans quelle mesure les sites pourront être remis en état après la phase de production.

D'autre part, les impacts cumulés résultant de la multiplication de parcs sur certaines zones n'ont pas encore pu être observés. Ceux-ci peuvent être de deux ordres :

¹⁰⁴ BRANDT M.J., 2009. *Harbour porpoise response to pile driving at the horns rev II offshore wind farm in the Danish north sea*. BioConsultSH final report to Dong Energy.

¹⁰⁵ LINDEBOOM et al., 2011. *Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the dutch coastal zone ; a compilation*. Environmental research letters 6.

¹⁰⁶ WESTBERG H. and LAGENFELT I., 2008. *Sub-sea power cables and the migration behaviour of the European eel*. Fisheries management and Ecology.

¹⁰⁷ BOEHLERT G. and GILL A., 2010. *Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development*. Oceanography, Vol. 23.

¹⁰⁸ Ibid.

- la multiplication (dans l'espace comme dans le temps) de l'impact d'un dispositif unique (une éolienne). L'impact global est rarement la simple somme des impacts unitaires ;
- la conjugaison des impacts des EMR avec ceux d'autres types de pression anthropique sur une même zone (pollution, pêche intensive, espèces invasives, etc.).

Par ailleurs, les impacts environnementaux des technologies autres que l'éolien offshore posé demeurent largement méconnus¹⁰⁹, car évalués jusqu'à présent uniquement sur quelques prototypes. En raison de la grande diversité des technologies, ces effets seront probablement très variables. Il est alors nécessaire que chaque expérience pilote d'exploitation des énergies marines soit accompagnée d'une étude environnementale spécifique.

- Assurer la rigueur et la comparabilité des études

En France, les porteurs de projet EMR sous-traitent la réalisation des études environnementales à des bureaux d'études. Les synthèses et interprétations de ces travaux sont ensuite transmises à des organismes publics (comme l'Ifremer), qui émettent un avis.

Pour assurer la qualité de ces études, mais également pour permettre leur comparaison (condition nécessaire à l'évaluation des impacts cumulatifs), il est urgent de définir des protocoles unifiés¹¹⁰. Le programme européen Equimar, qui associait des chercheurs de différents pays européens, a déjà permis de formaliser plusieurs protocoles, mis à disposition des porteurs de projets.

Un engagement des autorités publiques peut permettre d'aller plus loin, en fixant des normes applicables par tous les bureaux d'études ou en supervisant et compilant systématiquement leurs travaux. Plusieurs États ont choisi des solutions de ce type, à l'instar de la Belgique, où l'Institut royal des sciences naturelles est chargé du monitoring des impacts environnementaux des parcs. L'Institut ne pilote pas l'ensemble des travaux mais assure un rôle de coordination. Au Danemark, les travaux sur les parcs d'Horns Rev et de Nysted ont été coordonnés par un groupe rassemblant des partenaires privés et publics. Considérées comme une démarche de service public, les études de ce groupement sont menées depuis 1999 et évaluées par un panel d'experts internationaux¹¹¹.

Par ailleurs, les pêcheurs professionnels pourraient jouer un rôle important dans la caractérisation des états de référence et le suivi des ressources halieutiques, si cette participation s'inscrit dans une collaboration avec les organismes de recherche, sur la base de protocoles validés.

¹⁰⁹ Pour une première synthèse de ces effets, voir *Ibid.* ainsi que WITT M.J. et al., 2012. *Assessing wave energy effects on biodiversity: the Wave Hub experience*. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 370.

¹¹⁰ Marine Board, octobre 2010. *Marine Renewable Energy. Research challenges and opportunities for a new energy era in Europe*, European Science Foundation.

¹¹¹ Ifremer, 2008. *Les énergies renouvelables marines*.

3.2. La recherche sur les réseaux intelligents

Dans les pays où la pénétration des énergies renouvelables est la plus forte, la flexibilité des réseaux de transport et de distribution de l'électricité montre aujourd'hui ses limites¹¹². Ces réseaux peuvent toutefois évoluer afin d'intégrer davantage d'électricité produite par des sources intermittentes et/ou décentralisées.

Une première solution réside dans l'interconnexion des réseaux de transport de différents pays. Celle-ci peut être facilitée par certains progrès technologiques. Il s'agit notamment d'optimiser le transport de l'électricité sur de très longues distances. En France, cette thématique est prise en charge par l'IEED SuperGrid, qui associe six Écoles supérieures et bénéficie du soutien de l'État à hauteur de 72,6 millions d'euros.

Mais plus encore que les technologies d'acheminement, c'est la gestion des réseaux électriques qui devra évoluer. Les « réseaux intelligents » seront gérés de manière plus active et plus souple. Dans cette optique, les efforts de recherche portent sur les outils de prévision de l'offre, mais également sur les moyens d'adapter la demande à l'offre. Le gestionnaire pourra ainsi disposer de moyens d'intervention à distance lui permettant d'optimiser la consommation par rapport à la production.

L'Union européenne soutient plusieurs projets de recherche sur les réseaux, notamment à travers deux programmes de financement de démonstrateurs. Des acteurs français de la recherche publique ou privée participent à ces programmes, et certains mènent également leurs propres projets, tout particulièrement en ce qui concerne les compteurs « intelligents ».

Ces progrès faciliteront l'intégration des énergies renouvelables. Lors du sommet international sur les énergies renouvelables qui s'est tenu en mars 2012 à Düsseldorf, les débats ont montré que l'interconnexion et le développement de réseaux plus intelligents pourraient, en théorie, rendre obsolètes les solutions de stockage de masse. Mais il a également été rappelé que l'extension du réseau constitue une solution coûteuse¹¹³. Dans ces conditions, les deux approches doivent être perçues comme complémentaires.

3.3. Le stockage de l'énergie

Les solutions de stockage de l'énergie à grande échelle permettent au gestionnaire de réseau d'adapter l'offre d'électricité à la demande. Le stockage est d'autant plus nécessaire que la part des productions intermittentes dans la production totale est élevée.

A ce jour, la seule solution de stockage capable de répondre aux objectifs énergétiques de l'Union européenne est le stockage hydraulique. Les Stations de

¹¹² *Stocker l'énergie renouvelable : vers des opérateurs intégrés ?* www.enerzine.com, 13 décembre 2011.

¹¹³ *Energy storage must become cheaper and more efficient.* www.windkraft-journal.de, 17 mars 2012.

transfert de l'énergie par pompage (STEP) offrent un coût d'investissement parmi les plus bas, des rendements élevés et une durée de vie de plusieurs dizaines d'années. Au début des années 2000, la puissance cumulée des STEP était de l'ordre de 140 GW au niveau mondial, pour une puissance totale installée de 3 800 GW¹¹⁴. Ces capacités peuvent être encore accrues :

- en interconnectant les réseaux, de manière à faire profiter les pays européens des énormes capacités norvégiennes de stockage ;
- en créant de nouvelles STEP, utilisant de l'eau douce ou de l'eau de mer¹¹⁵. Ces constructions posent toutefois des problèmes d'acceptabilité, c'est pourquoi des chercheurs tentent de réduire leurs impacts paysagers et environnementaux ;
- en optimisant les STEP existantes.

Un projet de STEP existe en Bretagne, autour du lac de Guerlédan. Vieux de trente ans, il n'a jamais vu le jour en raison de l'abandon du projet de centrale nucléaire à Plogoff. Dans un contexte de pénétration croissante des énergies renouvelables en Bretagne, il pourrait aujourd'hui trouver une nouvelle pertinence. Il convient de s'interroger à nouveau sur ce point et de mener une concertation quant à la faisabilité du projet.

La principale technologie concurrente est le stockage sous forme d'air comprimé dans une cavité souterraine ou sous-marine¹¹⁶. Les premières installations de ce type sont en projet ou en cours de réalisation en Allemagne, en Suisse, aux États-Unis et au Royaume-Uni.

Une autre solution pourra être trouvée dans le recours à des batteries électrochimiques. Par exemple, le gestionnaire du réseau chinois a achevé en 2012 la construction de la plus grande station de stockage d'énergie sur batterie au monde, couplée à une centrale d'énergies renouvelables. Les batteries ne constituent pas en soi une solution de stockage de masse. En revanche, leur nombre s'accroît et continuera d'augmenter, du fait de la multiplication des voitures électriques, entre autres. A terme et grâce à des réseaux intelligents, toutes ces batteries pourraient permettre une forme de stockage à grande échelle¹¹⁷.

Il est par ailleurs envisageable de stocker directement l'énergie renouvelable, c'est-à-dire sans passer par le réseau. Par exemple, des plateformes de production d'énergie en mer pourraient extraire directement l'hydrogène de l'eau de mer, lequel pourrait ensuite être réutilisé pour produire de l'énergie dans des applications mobiles grâce à des piles à combustible (PAC). Certains types de PAC fonctionnent déjà et le nombre de leurs applications s'accroît. A Nantes, par exemple, une équipe de chercheurs conçoit des bateaux de pêche électrique alimentés par ce système¹¹⁸.

¹¹⁴ CNRS, 2011. *Quelques enjeux de la recherche en énergie*. Résumé des travaux des ateliers du 8ème colloque organisé par le programme interdisciplinaire Énergie du CNRS.

¹¹⁵ Il existe plusieurs projets de STEP marines dans le monde, dont l'un concerne la Guadeloupe.

¹¹⁶ Voir le site Internet de l'association, www.electricitystorage.org.

¹¹⁷ *Are the batteries ready ? 100% clean energy requires progress on storage* www.renewableenergyworld.com, 7 août 2012.

¹¹⁸ Le Marin, 6 juillet 2012. *La pile à hydrogène, futur du bateau de pêche ?*

Outre les applications mobiles, l'hydrogène peut également alimenter des centrales thermiques.

Malgré des performances qui demeurent relativement faibles, le stockage de l'énergie sous forme d'hydrogène constitue alors une solution prometteuse, grâce notamment à sa flexibilité.

Par ailleurs, les promoteurs des solutions de stockage devront faire face à de nombreux défis, qui ne sont pas uniquement technologiques, mais aussi¹¹⁹ :

- environnementaux : prendre en compte les impacts de chaque système en appréhendant l'ensemble de son cycle de vie ;
- économiques et réglementaires : les opérations de stockage de l'énergie doivent pouvoir être rémunérées.

¹¹⁹ ADEME, avril 2011. *Les systèmes de stockage d'énergie*.

Chapitre 3

Des incertitudes pouvant freiner le déploiement des énergies marines

1.	Une planification qui n'en est qu'à ses débuts	75
2.	Malgré des améliorations, la réglementation reste complexe	77
3.	Des signaux parfois contradictoires sur le soutien aux projets	79
	3.1. Le passage du démonstrateur à la machine commerciale : une étape délicate	79
	3.2. Financement des parcs : vers des difficultés croissantes ?	80
	3.2.1. Le tarif de rachat : une garantie pour l'exploitant	80
	3.2.2. Des financeurs plus nombreux, mais demandeurs d'une stabilité accrue	81
4.	Des difficultés apparaissant au moment de la mise en œuvre des projets	83
	4.1. Le raccordement au réseau	83
	4.2. La disponibilité des navires spécialisés, des câbles et des espaces portuaires	84
	4.3. Des projets abandonnés	85

Le déploiement des énergies marines renouvelables, éolien offshore en tête, est désormais une réalité et devrait s'accélérer au cours des prochaines décennies, au vu des objectifs ambitieux des États européens.

Ces projets doivent cependant affronter des incertitudes et des difficultés. Ces obstacles avaient pour l'essentiel été identifiés par le CESER dans son rapport de 2009. Si certains peuvent sembler aujourd'hui en passe d'être levés, la multiplication des projets de grande taille a également pu renforcer l'importance de certains autres et en faire apparaître de nouveaux. L'objet de ce chapitre est ainsi de proposer un tour d'horizon des difficultés auxquelles restent confrontés les porteurs de projet. Ces aléas ne doivent pas freiner l'action mais, au contraire, susciter une motivation supplémentaire pour construire, ensemble, une nouvelle activité créatrice de richesses et d'emplois.

Les incertitudes sont de plusieurs ordres. En France, une première inquiétude est liée au rythme de mise en œuvre du Plan national de développement des énergies renouvelables, dont on ne sait s'il sera suffisant pour tenir les objectifs à horizon 2020 (1). Cette inquiétude est renforcée par l'observation des pays plus avancés en termes de déploiement des énergies marines, dans lesquels de nombreux obstacles ont été repérés, qu'il s'agisse d'incertitudes réglementaires (2), de difficultés de financement des projets (3), ou de difficultés apparaissant plus tardivement, au moment de la construction ou de l'installation des machines (4).

1. Une planification qui n'en est qu'à ses débuts

Alors que l'appel d'offres pour l'éolien offshore de 2011 a lancé le processus qui permettra l'installation prochaine de parcs en mer, plusieurs éléments conduisent à s'interroger sur la réelle capacité de la France à tenir ses objectifs pour 2020, étant donné le rythme d'attribution des zones.

En tout premier lieu, l'appel d'offres a été lancé avec retard, en juillet 2011, alors qu'il avait initialement été annoncé pour octobre 2010 puis pour janvier 2011. Or, à ce moment déjà, l'EWEA notait : « avec un premier appel d'offres annoncé pour le début 2011, le Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables français prévoit le début de la construction de fermes en mer dès 2012. Bien qu'un tel calendrier soit nécessaire pour atteindre l'objectif des 6 GW en 2020, il semble excessivement optimiste étant donné qu'il n'y a actuellement pas de turbines dans les eaux françaises »¹²⁰. Il faut rappeler, en effet, que le délai moyen entre l'autorisation et la mise en service des parcs britanniques était de 4 ans en 2011¹²¹. L'installation des parcs étant soumise à des contraintes comparables dans tous les pays d'Europe, les délais rencontrés en France devraient être du même ordre. De surcroît, l'autorisation d'implantation des parcs elle-même nécessitera plusieurs mois, et ne pourra intervenir qu'après les 18 mois de la période dite de « levée des risques », qui s'est ouverte à l'annonce des résultats de l'appel d'offres. Alors que les

¹²⁰ European Wind Energy Association, mars 2011. *EU Energy Policy to 2050*.

¹²¹ RenewableUK, octobre 2011. *State of the industry report. Onshore and offshore wind : a progress update*.

premières éoliennes offshore avaient été annoncées pour 2012, elles ne devraient finalement pas produire d'électricité avant 2018, et les parcs atteindront leur régime de croisière deux ans plus tard.

Ce retard s'explique en partie par la volonté gouvernementale de réaliser une véritable planification, qui a entraîné des délais consécutifs à la concertation autour des zones à retenir, ainsi qu'à la nécessité de réduire le maquis juridique lié à la construction des parcs¹²².

D'autres observateurs considèrent que les retards illustrent surtout les contradictions de la politique de soutien aux énergies renouvelables. Il faut rappeler qu'au moment où elle clarifiait la réglementation applicable aux éoliennes en mer, la loi Grenelle 2 rendait plus complexe l'installation d'éoliennes à terre¹²³.

Par ailleurs, il n'est pas certain que la procédure retenue (deux appels d'offres portant sur 3 000 MW chacun), calculée au plus juste, permette d'atteindre l'objectif des 6 GW. Elle ne laisse en effet aucune marge de manœuvre. Or il convient de signaler à titre d'exemple que près de 20 % des projets attribués dans le cadre du premier appel d'offres britannique n'ont pu aboutir¹²⁴.

Les résultats de l'appel d'offres français confirment ces inquiétudes puisque la mise en œuvre des quatre projets retenus conduira à installer une puissance totale maximale d'environ 1 900 MW, là où 3 000 MW avaient été annoncés.

Peut-on considérer, dès lors, que la différence sera compensée par l'appel d'offres à venir ? L'hypothèse est peu crédible, car la concertation menée par les préfets à ce sujet ne semble pas avoir permis d'identifier de nouvelles zones susceptibles d'être proposées pour un second appel d'offres, hormis la zone du Tréport et celle de Vendée. Dans l'hypothèse où de nouvelles zones seraient définies, il est peu probable qu'elles soient suffisamment nombreuses ou étendues pour que l'on parvienne rapidement à un appel d'offres portant sur 4 000 MW. La sélection des zones propices est en effet un exercice difficile, car de nombreux critères entrent en compte : disponibilité de la ressource, bathymétrie, possibilités de raccordement au réseau, conflits d'usages, etc.

Certes, le recours à l'éolien flottant permettra très certainement de dépasser les 6 GW – mais les délais seront plus longs, le premier parc pilote en France n'étant pas attendu avant 2016 (à Groix)¹²⁵.

¹²² Le Monde, 2 décembre 2010. *Le décollage tardif de l'éolien offshore en France*.

¹²³ Voir à ce sujet Observ'ER, *Le Baromètre 2011 des énergies renouvelables électriques en France*.

¹²⁴ *Un appel d'offres pour créer une filière industrielle*. www.actu-environnement.com, 9 janvier 2012.

¹²⁵ Indicta, 2011. *Rapport sur le modèle économique de la filière EMR*.

2. Malgré des améliorations, la réglementation reste complexe

En 2009, le CESER notait : « *la réglementation qui s'applique actuellement aux projets d'implantation en mer de systèmes d'exploitation de l'énergie des vents, des vagues et des courants est un empilement de mesures souvent transposées du domaine terrestre et inadaptées au milieu marin [...] L'instruction administrative du premier projet de parc éolien offshore en France prévoyait 8 enquêtes publiques différentes* »¹²⁶.

Une clarification de la législation applicable à l'éolien offshore était donc attendue, tant par les porteurs de projet en demande de visibilité que par les représentants de la société civile.

Plusieurs décisions ont permis de préciser et d'adapter la réglementation :

- le cahier des charges de l'appel d'offres a permis aux porteurs de projet de connaître précisément les attentes de l'État. La procédure de l'appel d'offres a également apporté une certaine transparence dans la sélection des projets ;
- la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010 a simplifié les procédures applicables à l'éolien en mer. En vertu de cette loi, l'implantation des éoliennes offshore n'est pas soumise à l'existence d'une Zone de développement de l'éolien (ZDE) et elle est dispensée d'inscription au régime des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Par ailleurs, la loi élargit les exceptions d'inconstructibilité dans la bande des 100 mètres aux ouvrages de raccordement au réseau. Enfin, un décret pris en application de cette loi¹²⁷ dispose que le code de l'urbanisme ne s'applique pas au-delà de la laisse de basse mer – ce qui dispense les créateurs de parcs de procédures qui étaient totalement inadaptées à leur situation, telles que le permis de construire.

Un autre décret a par ailleurs été annoncé¹²⁸, destiné à palier l'absence de législation quant à l'exploitation des énergies marines au-delà des eaux territoriales. La Convention de Montego Bay permet en effet aux États d'exploiter les ressources situées dans leur zone économique exclusive, ce qui inclut le vent, la houle ou les courants. Certains pays, dont les eaux sont peu profondes même à plusieurs dizaines de kilomètres des côtes, utilisent déjà cette possibilité, à l'instar de la Belgique, de l'Allemagne ou du Royaume-Uni.

Malgré ces dispositions, les procédures administratives applicables aux EMR demeurent marquées par une certaine complexité.

¹²⁶ CESER de Bretagne, mars 2009. *Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer !* Rapporteurs MM. Guy JOURDEN et Philippe MARCHAND.

¹²⁷ Décret n° 2012-41 du 12 janvier 2012 relatif aux installations de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable

¹²⁸ Commissariat général au développement durable, mars 2012. *Deuxième rapport d'étape sur le Grenelle de la mer.*

Les lauréats d'un appel d'offres se voient garantir le rachat de leur électricité dans des conditions prévues par leur offre, mais le fait d'être lauréat n'ouvre pas directement le droit de débiter les travaux de construction.

Les éoliennes en mer sont soumises à deux procédures d'autorisation au titre de la loi sur l'eau et de l'occupation du domaine public maritime. Une étude d'impact et une enquête publique sont nécessaires pour l'obtention de chacune de ces autorisations, mais il n'est pas obligatoire de les mener deux fois. Si la zone en question est classée Natura 2000, une étude d'impact spécifique est également nécessaire.

Les candidats retenus doivent par ailleurs saisir la Commission nationale du débat public (CNDP) au plus tard six mois après la publication des résultats de l'appel d'offres.

Une autre incertitude juridique, enfin, concerne les porteurs de projets dans des domaines non encore régulés (ceux pour lesquels aucun appel d'offres n'est prévu). Par exemple, Nass&Wind travaille depuis plusieurs années dans le but de mettre en place un site pilote pour l'éolien flottant au large de Groix. La société investit pour permettre la création de ce site mais ne possède pas la garantie qu'il ne sera pas attribué à l'un de ses concurrents, y compris si ses propres démarches aboutissent. Il convient de sécuriser ce type d'investissements. A cet effet, il est par exemple envisageable d'étendre certaines dispositions du droit minier, ou de s'en inspirer.

La complexité des procédures administratives n'est pas une spécificité française, mais les exemples étrangers montrent bien à quel point elle peut retarder les projets. En Allemagne, par exemple, Siemens a accumulé en 2012 des retards de plusieurs mois dans le raccordement de parcs éoliens en mer au réseau électrique, des retards que le géant allemand attribue précisément à cette cause¹²⁹.

Cependant, le principal risque est lié à l'accumulation des recours contre un même projet. Les projets d'exploitation des énergies marines pourraient alors se trouver confrontés à un allongement des délais à l'instar de l'industrie éolienne terrestre, qui affiche un taux de recours particulièrement élevé : 35 %, contre 5 à 7 % en moyenne pour les autres industries selon le baromètre Observ'ER¹³⁰.

Dans cette optique, France Énergie Éolienne propose une révision du cadre législatif et réglementaire applicable à l'éolien, fondée sur trois piliers¹³¹ :

- la création d'un outil unique de planification territoriale ;
- la mise en place d'un système d'autorisation unifié ;
- l'encadrement des recours.

Le CESER réitère son appel à la simplification et à la clarification des procédures, tout en réaffirmant que les procédures d'autorisation doivent

¹²⁹ Les Echos, 26 avril 2012. *L'éolien en mer contraint Siemens à abaisser ses objectifs de profit.*

¹³⁰ Observ'ER, 2012. *Le Baromètre 2011 des énergies renouvelables.*

¹³¹ FEE, 2012. *L'énergie éolienne : renouvelable, compétitive et créatrice d'emplois.*

continuer à garantir la prise en compte de l'environnement ainsi que des différents usages dans chaque projet relatif aux énergies marines.

3. Des signaux parfois contradictoires sur le soutien aux projets

Qu'elles interviennent lors de la phase de recherche et développement ou durant l'installation et le fonctionnement des parcs, les politiques de soutien aux énergies marines ont montré leur capacité à favoriser l'émergence de nombreux projets. Elles connaissent néanmoins certaines limites.

3.1. Le passage du démonstrateur à la machine commerciale : une étape délicate

Tout changement d'échelle des projets représente une phase critique, car le passage du prototype au démonstrateur puis du démonstrateur à la machine de série requiert d'importants investissements. L'intervention de nouveaux investisseurs est alors souvent nécessaire. Or, ce lien entre les investisseurs et les entreprises innovantes peut s'avérer fragile.

L'entreprise Sabella a connu des difficultés de ce type : malgré une labellisation par le Pôle Mer Bretagne, le soutien du fonds démonstrateur de l'ADEME et celui de collectivités territoriales et alors même qu'un prototype à échelle réduite avait été testé avec succès, elle a dû faire face à des délais supplémentaires lors du tour de table pour le financement de ses démonstrateurs dans le passage du Fromveur. Après plusieurs mois de recherche de partenaires, un accord avec GDF Suez a été annoncé en juin 2012. Il devrait apporter au projet la solidité nécessaire pour permettre son rapide aboutissement¹³².

Il convient par conséquent d'étendre les dispositifs visant à la mise en relation des porteurs de projets avec les financeurs. Efficaces pour le financement des premiers stades de la vie d'un projet, ces dispositifs doivent également pouvoir accompagner le passage au stade du parc pilote.

En complément, des dispositifs d'accompagnement peuvent être instaurés pour la mise en place du premier parc commercial d'une technologie innovante. Il s'agit d'accroître l'attractivité du territoire national pour des entreprises dont le projet énergétique se double souvent d'un projet industriel.

¹³² Ouest-France, 19 mars 2011. *L'hydrolienne en quête de fonds*. Ouest-France, 21 juin 2012. Ouessant : GDF séduit par l'hydrolienne Sabella. GDF Suez ancre ses ambitions dans l'énergie hydrolienne. <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 29 juin 2012.

3.2. Financement des parcs : vers des difficultés croissantes ?

La multiplication des installations en mer se traduit par des économies d'échelle et engendre des effets d'apprentissage. Ces progrès doivent permettre une réduction des coûts de production susceptible de rendre les énergies marines concurrentielles au regard des prix du marché. Dans l'intervalle, ces énergies demeurent onéreuses, et un soutien continu reste nécessaire.

3.2.1. Le tarif de rachat : une garantie pour l'exploitant

Nombre d'États ont donc élaboré des politiques tarifaires spécifiques aux énergies marines (principalement dédiées à l'éolien en mer) :

- le tarif de rachat bonifié, souvent assorti d'une obligation d'achat. En France, tous les producteurs d'énergies renouvelables bénéficient de l'obligation de rachat à un tarif différent selon les sources d'énergie ;
- les systèmes de péréquation, via un marché spécifique (système d'obligations renouvelables, actuellement en vigueur au Royaume-Uni) ou une taxe.

L'un comme l'autre visent à répartir sur la collectivité les charges supplémentaires induites par les énergies renouvelables.

En France, ce coût est supporté à la fois par les ménages et par les entreprises, au titre de la Contribution au service public de l'électricité (CSPE). Cette dernière bénéficie à tous les producteurs sur lesquels portent des charges de service public : tarif social de l'électricité, fourniture d'énergie pour les territoires insulaires non raccordés, production d'électricité décarbonée... Les énergies renouvelables y tiennent une place croissante, à hauteur de 52 % des charges prévisionnelles pour 2012 (pour un total s'élevant à 4,2 milliards d'euros)¹³³.

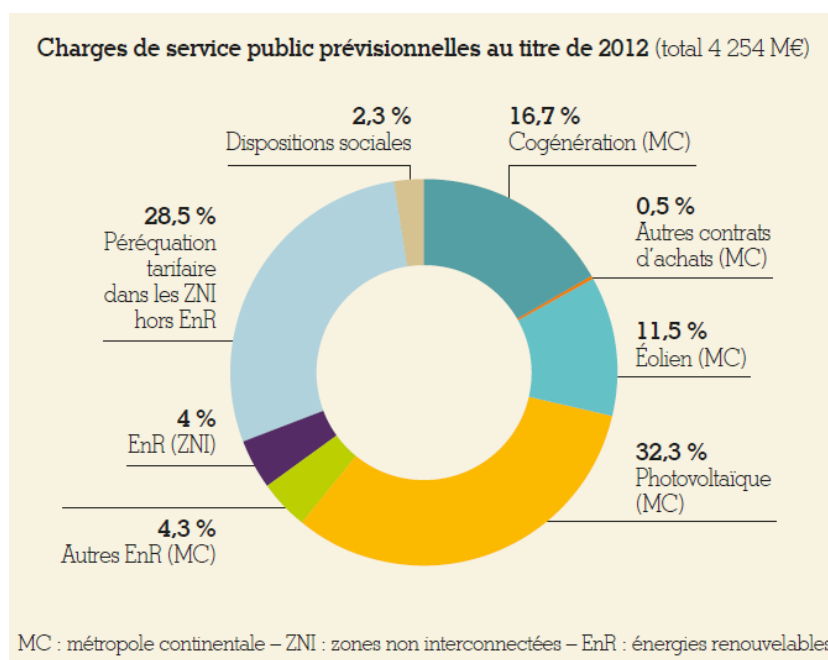
La charge supplémentaire engendrée par les parcs du premier appel d'offres français est évaluée à 1,1 milliard d'euros par an à compter de 2020¹³⁴.

Dans ce dispositif, la Commission de régulation de l'énergie veille à ce que le coût des énergies renouvelables ne dérape pas ; c'est pourquoi elle a alerté le gouvernement sur la bulle spéculative du photovoltaïque en 2011 et conseillé de ne pas retenir de candidat pour le parc éolien au large du Tréport, le seul candidat en lice ayant proposé un tarif de rachat de l'électricité trop élevé.

¹³³ CRE. *Délibération de la Commission de régulation de l'énergie du 13 octobre 2011 portant proposition relative aux charges de service public de l'électricité et à la contribution unitaire pour 2012.*

¹³⁴ CRE. *Délibération de la Commission de régulation de l'énergie du 5 avril 2012 portant avis sur le choix des offres que le ministre chargé de l'énergie envisage au terme de l'appel d'offres portant sur des installations éoliennes de production d'électricité en mer en France métropolitaine.*

Figure 13. Charges de service public de l'électricité concernées par la CSPE en 2012 (montants prévisionnels).



Source : Commission de régulation de l'énergie.

3.2.2. Des financeurs plus nombreux, mais demandeurs d'une stabilité accrue

Les projets de parcs éoliens en mer nécessitent des investissements très élevés : la construction des quatre premiers parcs français est estimée à 7 milliards d'euros, tandis que le programme britannique pourrait représenter 80 à 120 milliards d'euros sur dix ans¹³⁵. De tels montants nécessitent l'intervention de différents financeurs, dont les principaux sont les énergéticiens, les développeurs, les banques ainsi que certains investisseurs institutionnels.

Au Royaume-Uni, ce sont habituellement les énergéticiens qui financent l'implantation des parcs avant de revendre leurs parts à des investisseurs privés, afin de financer ensuite d'autres installations. Cette solution n'est pas entièrement satisfaisante, dans la mesure où les coûts d'investissements sont parfois jugés trop élevés par les énergéticiens¹³⁶, mais elle permet déjà de faire participer les investisseurs institutionnels aux projets, en les impliquant à un moment où les risques sont moins importants¹³⁷. Ces investisseurs demeurent toutefois très attentifs à la stabilité des engagements publics.

Or, cette stabilité n'est pas acquise : les contraintes budgétaires ont conduit plusieurs pays européens à revoir leurs politiques de soutien aux énergies renouvelables.

¹³⁵ L'Usine Nouvelle, 14 avril 2011. *L'envol britannique*.

¹³⁶ PWC, mai 2011. *Offshore proof*.

¹³⁷ Le Marin, 29 juin 2012. *Bruce Valpy : le coût de l'électricité devra baisser de 30%*.

En janvier 2012, l'Espagne décidait de supprimer temporairement les aides aux nouvelles installations de centrales de production d'énergies renouvelables. Une décision qui s'ajoute à la diminution des tarifs de rachat pour le solaire photovoltaïque (février 2011) et l'éolien (octobre 2011), deux mesures avec effet rétroactif¹³⁸. Le développement des énergies marines en Espagne s'en trouvera très probablement ralenti, les investisseurs ne souhaitant pas s'engager dans un environnement instable¹³⁹, et ce alors même que l'Espagne compte quelques grands noms des énergies marines, tels Iberdrola ou Gamesa. Au début de l'année 2012 le gouvernement portugais a également suspendu l'attribution de nouvelles licences d'exploitation des énergies marines¹⁴⁰.

De son côté, le Royaume-Uni affiche un soutien déterminé aux EMR. Le nombre d'obligations renouvelables alloués aux producteurs d'électricité houlomotrice ou hydrolienne a d'ailleurs été doublé en juillet 2012¹⁴¹. Ces politiques sont de nature à rassurer les investisseurs, qui viennent du monde entier pour monter des projets houlomoteurs, hydroliens, et surtout éoliens offshore. Toutefois, la stratégie EMR la plus ambitieuse du monde est elle-même menacée d'instabilité, certains parlementaires de la majorité ayant publiquement demandé sa remise en cause. Le gouvernement maintient ses objectifs, mais de manière plus ambiguë que par le passé¹⁴² et revoit à la baisse les conditions de son soutien à l'éolien terrestre puis, à partir de 2015, celles de son soutien à l'éolien en mer¹⁴³. En conséquence, plusieurs acteurs de l'éolien ont annoncé qu'ils allaient reconsidérer leurs investissements au Royaume-Uni¹⁴⁴.

En France, la politique de soutien aux énergies marines renouvelables reste stable. Néanmoins, les fonds d'investissements susceptibles d'intervenir dans le domaine des énergies renouvelables se montrent prudents suite aux changements de réglementation dans le photovoltaïque et l'éolien terrestre¹⁴⁵.

Les changements de cap des politiques publiques rendent ainsi plus difficile le financement des parcs comme celui des grandes infrastructures électriques associées. Ces tendances se renforcent à mesure que les projets deviennent plus risqués. Ainsi l'association britannique renewablesUK considère que le financement des projets ne rencontrait pas de difficultés majeures en 2011 mais deviendra plus difficile dès lors qu'il s'agira d'installer les projets du troisième round, dont certains

¹³⁸ *Spain imposes « temporary » halt to new renewable energy and co-generation projects.* www.renewableenergyworld.com, 3 avril 2012.

¹³⁹ Aucun dispositif EMR ne produit actuellement en Espagne. Il existe néanmoins plusieurs projets de parcs éoliens en mer, mais le pays mise avant tout sur l'énergie des vagues. ANIDO C., CALVO A., IGLESIAS G., TELMO J., 2012. *Análisis de la necesidad de ayuda pública para la viabilidad económica de la energía undimotriz*. VII Congreso Asociación Española para la Economía Energética.

¹⁴⁰ *Portugal tambien frena a las renovables.* www.portaldelmedioambiente.com, 8 février 2012.

¹⁴¹ *UK marine energy to benefit from increased renewable obligation certificate allowance.* www.renewableenergyworld.com, 30 juillet 2012.

¹⁴² Cette critique a été formulée par des acteurs du secteur ainsi que par l'Agence internationale de l'énergie. The Guardian, 25 avril 2012. *Governments failing to avert catastrophic climate change, IEA warns.*

¹⁴³ *UK boosts gas while cutting subsidies from wind to biomass.* www.renewableenergyworld.com, 25 juillet 2012.

¹⁴⁴ The Telegraph, 27 février 2012. *Investment at risk after wind power backlash.*

¹⁴⁵ Greenunivers, janvier 2012. *Panorama des cleantech en France en 2012.*

sont gigantesques, très éloignés des côtes ou situés en eaux profondes¹⁴⁶. En outre, le nombre des installations va s'accroître. Les énergéticiens ne pourront alors plus continuer à financer seuls l'installation des parcs, et de nouvelles solutions devront être trouvées.

Il convient cependant de rester réaliste et de ne pas exagérer les difficultés de financement rencontrées par les développeurs. L'EWEA note d'ailleurs que la première moitié de l'année 2012 a été marquée par une multiplication des transactions, et que les acteurs prenant part au financement des parcs sont de plus en plus variés¹⁴⁷.

Pour réduire les risques qui pèsent sur le financement des projets, les principaux leviers d'action sont entre les mains des pouvoirs publics. Ils concernent¹⁴⁸ :

- **la stabilité des politiques de rachat et l'absence d'incertitudes réglementaires.** Selon un rapport de la Deutsche Bank portant sur 270 politiques de lutte contre le changement climatique dans 109 pays, les politiques les plus efficaces présentent trois qualités : transparence, longévité et certitude¹⁴⁹ ;
- **l'implication d'investisseurs publics** dans le financement des projets ou la garantie des emprunts (un projet de parcs éoliens offshore d'un milliard d'euros est généralement financé par une à trois institutions publiques et 7 à 10 banques commerciales, selon un cabinet de conseil spécialisé¹⁵⁰) ;
- **la répartition des risques** entre la puissance publique, l'opérateur et les investisseurs.

4. Des difficultés apparaissant au moment de la mise en œuvre des projets

Même lorsqu'un projet d'exploitation des énergies marines a été autorisé et que les financements nécessaires à son installation sont réunis, de nouvelles sources de retard peuvent apparaître.

4.1. Le raccordement au réseau

Les producteurs d'électricité renouvelable bénéficient de l'obligation de raccordement au réseau, assortie d'un principe de priorité. Malgré ces règles européennes¹⁵¹, les

¹⁴⁶ RenewableUK, octobre 2011. *State of the industry report. Onshore and offshore wind : a progress update*. Fitch ratings parvient à des conclusions similaires dans une analyse de mai 2012 intitulée *Construction risks in offshore wind farms*.

¹⁴⁷ EWEA, juillet 2012. *The European offshore wind industry – key trends and statistics 1st half 2012*.

¹⁴⁸ *Is ocean energy more than a very expensive hobby ?* www.renewableenergyworld.com, 22 juin 2012.

¹⁴⁹ *I want my TLC*. www.renewableenergyworld.com, 10 mai 2012.

¹⁵⁰ *Offshore wind finance : riding the storm*. <http://social.windenergyupdate.com>, 25 mai 2012.

¹⁵¹ Le principe de priorité apparaît dans la directive du 23 avril 2009.

difficultés de raccordement constituent parfois des freins importants à la mise en œuvre de certains projets.

En Europe, la situation allemande est probablement la plus critique : le pays ayant choisi de sortir du nucléaire, il doit reconfigurer profondément et rapidement son réseau de transport d'électricité et l'adapter à la nouvelle géographie des sources de production. Selon les opérateurs du réseau de transport, l'extension du réseau haute tension coûtera 20 milliards d'euros au cours des dix prochaines années¹⁵². L'urgence de ces investissements apparaît de plus en plus criante au fur et à mesure que se concrétisent les projets, car la construction de certains parcs éoliens en mer a déjà été directement retardée par le manque de capacités de raccordement¹⁵³.

En France, l'apparition des sources décentralisées de production d'électricité est plus progressive, ce qui laisse au gestionnaire le temps de s'organiser. L'intégration de sources de production intermittentes et décentralisées n'en constitue pas moins un défi pour le réseau français. Ces enjeux ne sont pas propres aux énergies marines mais concernent toutes les sources d'électricité renouvelables. Du reste, les énergies marines ne seront probablement pas les plus complexes à raccorder, car l'éolien en mer et l'hydrolien sont plus stables et prédictibles que l'éolien terrestre ou le photovoltaïque, par exemple. De plus, les projets EMR font l'objet d'une planification, ce qui permet au gestionnaire de réseau d'influer sur le choix des zones ainsi que d'anticiper les nécessaires évolutions de ses infrastructures¹⁵⁴. De ce point de vue, les énergies marines possèdent un autre avantage : elles offrent la possibilité de créer de nouveaux réseaux de transport sous-marins moins susceptibles de se heurter à des oppositions que les réseaux terrestres. Par exemple, RTE étudie actuellement la possibilité de raccorder les futurs parcs hydroliens du Raz Blanchard à Saint-Brieuc et à l'Angleterre, l'opération étant inenvisageable en direction de Flamanville, où le réseau sera saturé¹⁵⁵.

En revanche, les projets EMR font face à une difficulté qui leur est propre : l'atterrissage. Pour raccorder un câble sous-marin au réseau à terre, RTE doit tenir compte des différents usages du littoral ainsi que de contraintes juridiques, notamment dans les zones bénéficiant d'une protection particulière. A Paimpol-Bréhat, par exemple, le câble devait passer à travers des exploitations conchylicoles. Pour le parc de Saint-Brieuc, il semblerait également que les possibilités de raccordement soient soumises à un certain nombre de contraintes.

4.2. La disponibilité des navires spécialisés, des câbles et des espaces portuaires

Par ailleurs, l'installation de parcs éoliens en mer peut être retardée par des difficultés d'accès à certains matériels ou infrastructures. C'est notamment le cas

¹⁵² Le Monde, 30 mai 2012. *L'abandon du nucléaire va coûter entre 200 et 400 milliards d'euros à l'Allemagne.*

¹⁵³ Les Echos, 26 avril 2012. *L'éolien en mer contraint Siemens à baisser ses objectifs de profit. RWE sees German climate goals threatened by offshore grid delays.* www.renewableenergyworld.com, 5 juillet 2012.

¹⁵⁴ RTE, novembre 2011. *Projet de schéma décennal de développement.*

¹⁵⁵ Audition de M. Vincent DENBY-WILKES (EDF), 5 avril 2012.

pour le câble permettant de relier les parcs au réseau électrique, ainsi que pour les navires de pose spécialisés. Pour ces derniers – y compris ceux qui sont en cours de construction – la file d’attente est en effet de plusieurs années¹⁵⁶.

De même, les grands espaces portuaires nécessaires à l’assemblage des machines sont assez largement saturés, particulièrement dans les pays où les investissements dans les infrastructures portuaires ont été faibles au cours des dernières décennies¹⁵⁷.

Des investissements sont prévus, qui permettront aux ports français d’accueillir différentes activités, incluant l’assemblage mais aussi, en certains cas, la fabrication des éoliennes ou des hydroliennes. 6 ports peuvent ainsi prétendre jouer un rôle important : Bordeaux, Saint-Nazaire, Brest, Cherbourg, Le Havre et Dunkerque (voir chapitre 7).

4.3. Des projets abandonnés

Enfin, preuve que le déploiement des EMR demeure fragile, plusieurs projets ont été abandonnés dans des phases tardives de leur développement.

Certains l’ont été pour des raisons financières. En la matière, l’échec le plus emblématique fut celui des trois démonstrateurs Pelamis au Portugal. En 2008, trois prototypes de ce « serpent de mer » furent mis à l’eau sur le site d’Aguçadoura, avec la volonté de parvenir à terme à un site pilote de 28 récupérateurs de l’énergie des vagues. Il s’agissait alors d’une première mondiale. Ces trois machines ont rapidement connu des avaries techniques qui ont nécessité de les ramener à terre - des revers qui ne doivent pas surprendre, puisqu’il s’agissait de prototypes. Cependant, la défection de l’un des financeurs du parc pilote s’étant ajoutée à ces difficultés, les trois appareils n’ont jamais été remis à l’eau.

D’autres abandons font suite à la mauvaise anticipation de la nature des fonds marins, qui obère le modèle économique initial des parcs. Au Royaume-Uni, nombre de projets du premier round auraient été abandonnés pour cette raison¹⁵⁸.

Enfin, certains abandons ou blocages emblématiques sont liés à des oppositions aux projets. Aux États-Unis, le projet de parc éolien de Cape Wind, qui a déjà reçu la plupart des autorisations nécessaires à sa mise en place, est paralysé depuis plusieurs années par des recours. De même, le projet de Veulettes-sur-Mer (près de Fécamp), seul parc éolien en mer ayant été autorisé en France, a été bloqué à la suite du recours déposé par une association.

Malgré la planification désormais opérée par l’État, des blocages de ce type ne sont pas à exclure, notamment dans les zones où les projets risquent de susciter

¹⁵⁶ Barry Robliano Salles, *Les marchés maritimes et la construction navale en 2012*.

¹⁵⁷ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Conseil régional de Bretagne), 9 février 2012.

¹⁵⁸ Le Monde, 6 avril 2012. *Parcs éoliens en mer : EDF : 3, Iberdrola : 1, GDF Suez : 0. La stratégie d’EDF EN était la bonne et n’a laissé que peu de place aux autres*. www.cleantechrepublic.com, 24 avril 2010.

l'opposition de certaines collectivités, de pêcheurs ou d'une partie de la population. Ces craintes semblent d'ailleurs faire partie des raisons qui ont dissuadé les consortiums EDF/Dong/Alstom et Iberdrola/Eole-Res/Areva de se positionner sur la zone du Tréport (Haute-Normandie) lors de l'appel d'offres.

Ainsi, l'opposition à certains projets peut les faire échouer au dernier moment, alors que toutes les autres barrières ont été levées. C'est pourquoi les porteurs de projets sont de plus en plus soucieux de leur acceptabilité. Ainsi, acteurs privés et collectivités s'interrogent sur la meilleure manière d'organiser l'information et la concertation autour des projets et mettent en place des dispositifs appropriés en ce sens.

Chapitre 4

Aller plus loin dans l'appropriation collective

1.	La participation des différentes parties prenantes aux projets en Bretagne	92
1.1.	Au niveau régional, des objectifs partagés	92
1.1.1.	La Conférence bretonne de l'énergie	92
1.1.2.	La Conférence régionale de la mer et du littoral (CRML)	93
1.2.	Des concertations dans lesquelles la voix des acteurs locaux a été prise en compte	95
1.2.1.	Le site hydrolien de Paimpol-Bréhat : un projet exemplaire ?	95
1.2.2.	Le parc éolien en baie de Saint-Brieuc : un apprentissage de la concertation	96
2.	Une insuffisance d'information	98
3.	Les exigences de l'appropriation collective	100
3.1.	Un diagnostic et des objectifs partagés	100
3.2.	La planification nécessite du temps et exige une hiérarchisation des priorités	100
3.3.	Une conception exigeante de la concertation avec les parties prenantes	101
3.4.	Articuler la concertation avec les parties prenantes et la prise en compte des populations	102
3.5.	Maximiser les retombées locales	103

Parmi les avantages qu'ils prêtent aux énergies marines renouvelables, de nombreux observateurs citent le fait que l'acceptation des projets serait facilitée par l'éloignement des machines. Une éolienne en mer serait ainsi plus facilement acceptable qu'une éolienne à terre, et une éolienne flottante – implantée plus au large – le serait davantage encore qu'une éolienne posée à proximité des côtes.

Ce raisonnement peut toutefois conduire à une approche simplificatrice des enjeux.

D'une part, il tend à ignorer la multiplicité des usages de la mer: pêche professionnelle et de loisir, transport maritime, nautisme, baignade, activités touristiques, extraction de granulats, aquaculture... En outre, cet espace est également concerné par de nombreuses réglementations. Les développeurs le reconnaissent : aucun projet d'exploitation des énergies marines ne peut faire l'économie de la prise en compte de ces multiples dimensions, et la concertation avec les usagers constitue un élément essentiel de la solidité des projets.

D'autre part, le terme d'acceptabilité sociale lui-même n'est pas pertinent pour rendre compte des exigences du dialogue à propos des EMR. Ce terme participe en effet d'une vision descendante, selon laquelle le porteur de projet serait en position d'émetteur tandis que la société serait le récepteur. Une telle perspective ne correspond pas à la réalité des concertations autour de certains projets EMR, qui ont donné lieu à un véritable dialogue et parfois même à une co-construction des projets.

En supposant qu'il revient aux promoteurs de faire accepter leurs projets, cette approche ne tient pas non plus compte de la complexité des déterminants du soutien ou du rejet de ces projets. Ces deux attitudes, en effet, sont liées aux intérêts objectifs des acteurs, mais également à leurs représentations – lesquelles sont ancrées dans un contexte social et historique. Au Danemark, par exemple, une éolienne représente fréquemment la capacité du progrès technique à fournir des solutions permettant de concilier nos modes de vie avec l'impératif de protection de l'environnement. Dans d'autres contextes, c'est l'inverse et l'éolienne est davantage perçue comme le symbole d'une intrusion des activités industrielles dans la nature¹⁵⁹.

Les porteurs de projets ne peuvent donc être considérés comme les principaux responsables de la perception des projets par la société. Les questions posées par l'implantation d'un parc d'exploitation des énergies marines ne peuvent d'ailleurs pas toutes être abordées lors de la concertation. D'une part, ces questions concernent parfois des interlocuteurs qui ne sont pas concernés par la concertation. D'autre part, une approche simpliste peut conduire à opposer des enjeux qui ne se situent pas au même plan, comme le réchauffement climatique et la préservation des écosystèmes côtiers, par exemple, ou encore l'emploi industriel et la qualité paysagère des espaces marins.

¹⁵⁹ Intervention de Mme Laure BOURDIER, qui réalise une thèse sur l'acceptabilité des parcs éoliens en mer à l'Université de Caen lors du colloque « Les EMR et vous ? » à Caen, le 20 juin 2012.

Pour que les acteurs locaux comprennent les projets EMR et se mobilisent en faveur de leur réussite, ces questions doivent faire l'objet d'une appropriation collective par l'ensemble des acteurs du territoire concerné.

A travers les concertations menées en Bretagne, il apparaît que les parties prenantes¹⁶⁰ se trouvent sur la voie de cette appropriation collective (1), mais que celle-ci demeure encore insuffisante pour les citoyens (2). A partir de ces enseignements, le CESER souhaite alors définir les exigences de l'appropriation collective (3).

1. La participation des différentes parties prenantes aux projets en Bretagne

En Bretagne, plusieurs projets d'exploitation des énergies marines ont déjà donné lieu à des concertations dont il est possible de tirer quelques premiers enseignements.

1.1. Au niveau régional, des objectifs partagés

Deux instances régionales ont facilité l'instauration d'un dialogue entre l'État, les collectivités territoriales et les représentants de la société civile organisée autour des questions énergétiques et de la planification pour les énergies marines.

1.1.1. La Conférence bretonne de l'énergie

Le Conseil régional a lancé dès 2007 une réflexion sur un nouveau projet énergétique, avec un Plan Énergie pour la Bretagne qui a été salué par le CESER. Ce dernier a également souhaité une démarche plus exigeante. Dans un rapport de 2009 sur la politique énergétique¹⁶¹, il proposait :

- que la Région initie et anime le débat démocratique autour de la question énergétique ;
- que la Région se positionne en fédérateur des initiatives et actions menées sur son territoire (notamment par les collectivités) en matière de politique énergétique ;
- que l'action de la Région soit menée en lien avec les services de l'État. Il émettait le souhait, en particulier, que la Région puisse participer aux définitions des schémas d'approvisionnement, de transport et de stockage des énergies.

¹⁶⁰ Ce terme désigne ici l'ensemble des acteurs du territoire concernés par le projet : représentants de la pêche et du tourisme, collectivités territoriales, acteurs économiques, organisations représentatives des salariés, associations, etc.

¹⁶¹ Voir le rapport consacré à ce sujet : CESER de Bretagne, juin 2009. *Pour une approche concertée des politiques énergétiques en Bretagne*. Rapporteurs MM. Ange BRIERE et Alain LE MENN.

Pour mener à bien ces démarches, le rapport du CESER préconisait en 2009 que soit mise en œuvre une conférence régionale de l'énergie¹⁶².

Cette conférence existe depuis le 19 janvier 2010. Nommée Conférence bretonne de l'énergie, elle est co-animée par le Président du Conseil régional et le Préfet de région et réunit les différents acteurs du territoire concernés par ces questions, c'est-à-dire l'État, les élus locaux, les acteurs du monde économique, les syndicats ainsi que des représentants des réseaux associatifs. Si la politique énergétique reste de la responsabilité de l'État, cette conférence permet d'accroître le poids des acteurs régionaux et locaux dans ses orientations.

Les travaux menés en son sein ont conduit à la signature du Pacte électrique breton à la fin de l'année 2010, qui définit trois axes de travail :

- la maîtrise de la demande en électricité ;
- le déploiement massif de toutes les énergies renouvelables, y compris les EMR avec un objectif de puissance à l'horizon 2020 fixé à 1 000 MW pour l'éolien en mer et 10 MW pour l'hydrolien ;
- la sécurisation de l'approvisionnement électrique.

Le CESER a salué la nature collégiale de ces travaux et indiqué qu'il importait de les voir se poursuivre, le Pacte représentant « *une première étape dans l'approche globale de la politique énergétique bretonne* »¹⁶³.

1.1.2. La Conférence régionale de la mer et du littoral (CRML)

La planification du développement de l'éolien en mer en Bretagne a débuté en mars 2008, avec la mise en place par la Région d'une instance ad hoc au sein de laquelle l'État, les collectivités et les parties prenantes étaient représentés. Cette création intervenait dans un contexte où le manque de régulation semblait conduire les uns et les autres vers une perte de confiance dans le dialogue.

Un an plus tard, le Ministre de l'écologie demandait aux Préfets de région de mettre en place une instance de concertation et de planification rassemblant l'ensemble des parties prenantes, ayant pour mission d'identifier les zones propices au développement de l'éolien en mer.

Les autorités régionales ont fait converger ces deux dynamiques, en choisissant à la fin de l'année 2009 la Conférence régionale de la mer et du littoral comme instance de concertation pour la planification de l'éolien offshore. Cette instance avait été instituée par le Conseil régional pour la mise en œuvre de la Charte des espaces côtiers bretons. Co-présidée par le Préfet maritime, le Préfet de région et le Président du Conseil régional, elle réunit les acteurs du territoire concernés par les questions maritimes (collectivités locales, État, organisations socioprofessionnelles, associations, experts).

¹⁶² CESER de Bretagne, juin 2009. *Pour une approche concertée des politiques énergétiques en Bretagne*. Rapporteurs MM. Ange BRIERE et Alain LE MENN.

¹⁶³ Avis émis par le CESER de Bretagne lors de sa réunion du 24 janvier 2011.

Faire ce choix d’une convergence des différentes initiatives a permis à l’État et à la Région de dialoguer dans le respect des compétences de chacun et en concertation avec l’ensemble des acteurs.

La démarche a rencontré quelques difficultés méthodologiques. Pour rappel, le CESER indiquait en 2009 que la planification stratégique spatialisée exigeait :

- l’existence de données accessibles à tous permettant de fonder un diagnostic partagé ;
- une concertation menée en amont et animée de manière neutre, permettant la définition d’objectifs partagés¹⁶⁴.

Ces exigences n’ont pas été complètement remplies lors de la première phase de concertation menée au sein de la CRML, pour plusieurs raisons. Tout d’abord, la tâche confiée aux préfets au niveau national ne correspondait pas, en soi, à ce que le CESER avait appelé une planification stratégique spatialisée. Il s’agissait en réalité, dans un temps extrêmement contraint, de proposer des zones pour l’implantation des premiers parcs éoliens, c’est-à-dire de réaliser un zonage cartographique là où la planification stratégique demandait la construction plus large d’une vision partagée de l’avenir du territoire (voir, à ce sujet, le rapport du CESER de mars 2009). Les participants ont ensuite rencontré des difficultés liées à l’imprécision de la méthodologie, à certaines étapes de la réflexion, mais surtout aux délais, souvent jugés trop courts compte tenu des lacunes en termes de cartographie des usages de la mer¹⁶⁵.

Ces difficultés n’ont toutefois jamais conduit à une rupture des discussions. Les comités des pêches, en particulier, sont restés dans une posture prudente mais contributive, en tentant d’orienter les choix vers des sites de moindre impact pour les pratiques de pêche. Afin de faciliter cette démarche, quatre chargés de mission ont été recrutés par le Conseil régional afin de cartographier précisément les zones de travail des bateaux de moins de 15 mètres. Ce travail a permis de fonder les échanges sur une connaissance fine des lieux de pêches et de distinguer précisément les zones structurantes pour la pêche de celles qui pouvaient donner lieu à d’autres usages. De cette manière, la planification a également permis aux pêcheurs de se doter d’un outil cartographique, qui pourra être utilisé à d’autres fins¹⁶⁶.

Les discussions au sein de la Conférence régionale de la mer et du littoral ont permis d’identifier quatre zones, dont deux ont été présélectionnées (Saint-Malo et Saint-Brieuc). Après de nouveaux échanges, la première a été écartée tandis que la seconde a été proposée au Ministère dans sa version la plus étendue, faisant la synthèse entre la proposition de l’État (au sud de la Baie, là où la profondeur est moindre) et celle des pêcheurs (au nord, afin de minimiser les impacts pour la profession). Au final, la zone proposée pour la baie de Saint-Brieuc a été acceptée par l’ensemble des parties prenantes.

¹⁶⁴ CESER de Bretagne, mars 2009. *Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer !* Rapporteurs MM. Guy JOURDEN et Philippe MARCHAND.

¹⁶⁵ Auditions de M. Alain COUDRAY (CDPMEM 22) et Mme Violaine MERRIEN (CRPMEM), 5 avril 2012. Intervention de M. André LE BERRE, Président du CRPMEM lors de la Conférence régionale de la mer et du littoral du 26 janvier 2010.

¹⁶⁶ Le CRPMEM des Pays de la Loire a également engagé une démarche du même type.

Le CESER salue la volonté du Conseil régional de poursuivre la concertation afin de cartographier l'ensemble des zones propices à chacune des technologies¹⁶⁷. Une telle démarche prouve une nouvelle fois la volonté des acteurs bretons d'avancer collectivement pour la planification du développement des énergies marines sans attendre le lancement officiel de projets nationaux.

Cette Conférence doit désormais s'imposer comme le lieu de la concertation pour chacun des projets EMR en région.

1.2. Des concertations dans lesquelles la voix des acteurs locaux a été prise en compte

Au niveau local, les premières concertations se sont déroulées dans le cadre d'une relation directe entre le porteur de projet, les élus locaux, les pêcheurs et les autres usagers du littoral et de la mer.

1.2.1. Le site hydrolien de Paimpol-Bréhat : un projet exemplaire ?

Dans un article faisant le bilan de quatre ans de concertation menée par EDF autour du projet de Paimpol-Bréhat, Le Monde notait « *l'ensemble des acteurs concernés saluent la démarche adoptée : dialogue, concertation, ouverture* »¹⁶⁸. De fait, cette concertation a souvent été citée en exemple¹⁶⁹, dans la mesure où elle a permis à un projet inédit en France de se concrétiser avec le soutien des associations de protection de l'environnement, des pêcheurs professionnels et des élus locaux et régionaux.

Ce succès s'explique en premier lieu par le fait que le porteur du projet a laissé aux différents partenaires la possibilité d'influer sur des choix tels que :

- la technologie retenue. Alors qu'EDF s'orientait initialement vers une machine partiellement émergée, il est rapidement apparu que celle-ci ne convenait pas, et la machine finalement retenue est totalement immergée ;
- l'emplacement de l'hydrolienne : proposé par le Comité local des pêches, il est situé dans la zone de cantonnement à crustacés.

Cette démarche a permis de limiter au maximum les impacts négatifs pour les pêcheurs professionnels, qui ne travaillent que très peu dans cette zone, ainsi que pour les plaisanciers et les promeneurs. Les principales difficultés ont concerné deux entreprises ostréicoles, l'unique solution de raccordement trouvée consistant à faire passer le câble sur leurs concessions. Un accord à l'amiable a été trouvé avec l'un de

¹⁶⁷ Volonté affirmée par le Président du Conseil régional lors de la Conférence de la mer et du littoral du 2 février 2012 et réaffirmée par la Vice-présidente déléguée à la mer lors de la Conférence du 10 mai 2012.

¹⁶⁸ Le Monde, 2 septembre 2011. *Une hydrolienne va être immergée dans le nord de la Bretagne.*

¹⁶⁹ De son côté, Ouest-France présente ce projet comme « un modèle de concertation ». Ouest-France, 24 septembre 2010. *Vent portant pour les hydroliennes de Paimpol.*

ces professionnels mais n'a pas pu aboutir avec l'autre. *In fine*, le litige a été arbitré par les services de l'État¹⁷⁰.

Des mesures compensatoires ont été prévues pour limiter l'impact environnemental du projet, avec notamment le bouturage d'herbiers de zostères afin de compenser les destructions liées à l'ensouillage du câble. Quant aux effets à plus long terme, liés au fonctionnement de la machine, ils feront l'objet d'une étude approfondie.

Autre facteur de réussite, le temps accordé à la concertation. Un comité de liaison s'est réuni tous les deux mois durant quatre ans pour travailler sur le dossier. Ce travail a permis d'instaurer la confiance entre les différentes parties prenantes et de tenir compte des différents avis.

Dernier élément de ce succès, qui n'est pas le moindre : les compensations financières accordées par EDF aux différents acteurs, lesquelles permettront de réparer d'éventuels préjudices, mais surtout de financer des projets locaux. Ceux-ci sont mis en œuvre par la réserve naturelle de Paule-Lapicque (sentiers de randonnée), par l'association nautique Paimpol-Ploubazlanec (campagne d'information sur la pêche à pied), mais principalement par le Comité local des pêches (campagne de marquage des homards).

La concertation menée autour de ce projet est donc globalement positive. Néanmoins, la méthode retenue n'est probablement pas transférable à tous les projets, compte tenu de leur diversité. Le projet de Paimpol-Bréhat possède en effet plusieurs caractéristiques qui le rendent plus facilement acceptable que d'autres projets :

- la possibilité de recourir à une technologie sans impact paysager. Or, la défense des paysages est le principal motif d'opposition à l'éolien¹⁷¹ ;
- le statut et la taille du projet : il s'agit d'un site pilote couplé à un site d'essais, qui comptera huit machines au maximum. Il est sans aucun doute plus difficile de faire accepter, d'emblée, un parc commercial.

1.2.2. Le parc éolien en baie de Saint-Brieuc : un apprentissage de la concertation

Les premiers projets éoliens en baie de Saint-Brieuc ont donné lieu à des échanges bilatéraux entre les pêcheurs et les porteurs de projet qui n'ont pas permis d'aboutir à un accord sur l'implantation des parcs¹⁷². La publication du cahier des charges de l'appel d'offres et la délimitation d'une zone d'implantation par l'État dans le cadre de la CRML ont par la suite permis de structurer la concertation.

¹⁷⁰ Audition de M. Vincent DENBY-WILKES (EDF), 5 avril 2012.

¹⁷¹ Selon une étude réalisée en 2010 auprès de 1012 personnes pour le compte de l'ADEME, 74 % des Français sont favorables à l'installation d'éoliennes mais 67 % considèrent que l'esthétique représente un frein au développement lorsque les éoliennes se situent à moins d'un kilomètre de leur domicile. ADEME, 20 janvier 2011. *Les énergies renouvelables ont toujours la cote auprès des Français qui souhaitent leur développement*. Communiqué de presse.

¹⁷² Sur ce point, voir les pages 60 à 65 du rapport du CESER, mars 2009. *Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer !* Rapporteurs MM. Guy JOURDEN et Philippe MARCHAND.

D'une part, les porteurs de projets ont clarifié leurs objectifs par rapport au cahier des charges de l'appel d'offres. Celui-ci encadrait en effet la position du parc et le nombre d'éoliennes, avec une certaine souplesse quant à l'emplacement des machines et au prix de rachat de l'électricité. Sur ces nouvelles bases, les porteurs de projets ont organisé de nombreuses réunions et affiché une volonté de tenir compte de l'avis des pêcheurs, tant en termes de positionnement des éoliennes dans le champ que de compensations. En mai 2012, le consortium retenu affirmait ainsi avoir déjà mené 150 réunions de concertation et indiquait : *« ce travail va continuer et s'intensifier, en portant une attention particulière aux usagers de la mer et aux associations »*¹⁷³.

D'autre part, la position des représentants de la pêche professionnelle a évolué au cours du temps et des différentes étapes de concertation, mais surtout à la suite d'une visite de parcs éoliens danois, financée par l'entreprise Nass&Wind, au cours de laquelle la possibilité de naviguer au sein des parcs a été constatée. Ces représentants ont également pris conscience de la nécessité de ne pas rester en dehors des négociations, au risque de voir les projets aboutir sans leur avis.

Le Comité départemental des pêches des Côtes d'Armor a donc demandé à participer à l'élaboration des projets et s'est organisé dans ce but. Un groupe de travail rassemblant des représentants des différents métiers a été créé par le Comité pour définir les grands axes de la position du monde de la pêche professionnelle. Il a formulé les recommandations suivantes¹⁷⁴ :

1. Au sein de la zone définie, le parc doit être implanté le plus au nord possible ;
2. Les lignes d'éoliennes doivent être orientées parallèlement aux courants de marée dominants pour donner la possibilité aux pêcheurs de travailler au sein des parcs ;
3. Une étude de l'état initial de la ressource est nécessaire pour les différentes espèces commerciales, ainsi qu'un suivi ;
4. Des mesures d'accompagnement doivent être négociées avec les consortiums. Plusieurs projets sont proposés :
 - participation au programme de lutte contre la prolifération des crépidules ;
 - mise en place de viviers à homards réfrigérés ;
 - participation au financement des campagnes annuelles de prospection pour la coquille Saint-Jacques (campagnes indispensables à la gestion de la ressource) ;
 - participation à une opération de réensemencement de coquilles Saint-Jacques dans les zones reconquises sur la crépidule ;
 - financement d'un poste de chargé de mission au sein du CDPMEM, qui sera l'interlocuteur permanent du consortium retenu.

Chacun à leur manière, les trois consortiums se sont engagés sur ces différentes recommandations, ce qui a permis d'assurer au monde de la pêche des possibilités d'aménagement des pratiques. Pour Alain COUDRAY, Président du CDPMEM, en effet, deux points étaient essentiels pour lever les oppositions des pêcheurs :

- ne pas planter d'éoliennes au sud de la zone ;

¹⁷³ Présentation du projet lors de la Conférence régionale de la mer et du littoral du 10 mai 2012.

¹⁷⁴ Auditions de M. Alain COUDRAY (CDPMEM 22) et Mme Violaine MERRIEN (CRPMEM), 5 avril 2012.

- aller plus loin que la simple compensation des effets négatifs des éoliennes sur la pêche professionnelle. S'il n'y avait pas eu de mesures d'accompagnement collectif, les pêcheurs se seraient probablement opposés aux projets par principe de précaution.

Il convient de préciser que les mesures d'accompagnement en question ne seront pas financées par la taxe éolienne, mais directement par les consortiums. Cela permettra de démarrer certaines actions dès 2012 (à commencer par le financement d'un poste de chargé de mission au sein du CDPMEM). Cet accompagnement durera jusqu'à ce que l'installation du parc soit terminée. Son exploitant devra alors s'acquitter de la taxe éolienne, qui permettra de prolonger les dispositifs d'accompagnement selon d'autres modalités, la répartition du produit de cette taxe attribué aux pêcheurs n'étant pas négociée avec le porteur de projet éolien mais décidée au sein du Comité national des pêches et des élevages marins.

Après l'annonce des résultats de l'appel d'offres, Alain COUDRAY a indiqué que le projet de la société Ailes Marines convenait au Comité des pêches, mais que celui-ci resterait vigilant sur le respect de ses engagements¹⁷⁵.

Cette expérience de la baie de Saint-Brieuc illustre bien le nécessaire apprentissage de la concertation, les différents partenaires¹⁷⁶ ayant eu à modifier leurs positions mais également leurs méthodes et leurs approches au cours des discussions. En Bretagne comme dans toutes les régions où il a abouti à un accord sur les projets, ce processus a nécessité plusieurs années de travail.

La concertation va désormais se poursuivre sous une autre forme, au sein d'une instance départementale créée à cette fin et co-présidée par le Préfet du département des Côtes-d'Armor et le Président du Conseil général.

2. Une insuffisance d'information

L'information sur les énergies marines a globalement progressé. Les dernières années ont été marquées par une multiplication des sources d'information autour des EMR : rapports, colloques, salons professionnels, débats... Ces initiatives, organisées par les entreprises du secteur, ainsi que par les pouvoirs publics ou des universités, ont permis à nombre d'acteurs du territoire de se forger une culture commune autour des énergies marines. De plus, une vulgarisation scientifique commence à être proposée, grâce à des initiatives telles que la malle pédagogique développée par le CCSTI/Maison de la Mer à Lorient. Le succès croissant de cet outil montre qu'il existe dans la société une véritable curiosité autour des énergies marines. Enfin, cet intérêt a pu être renforcé par l'appel d'offres sur l'éolien en mer, qui a donné lieu à de très nombreux articles de presse.

¹⁷⁵ Intervention de M. Alain COUDRAY, Président du CDPMEM 22 lors de la Conférence régionale de la mer et du littoral du 10 mai 2012.

¹⁷⁶ En l'occurrence, il s'agit principalement de l'État, des collectivités, des consortiums, des représentants de la pêche professionnelle, des acteurs économiques ainsi que des associations de protection de l'environnement.

La procédure d'appel d'offres a toutefois eu des effets contradictoires en ce qui concerne l'information. Dans les phases de construction des projets et d'instruction des dossiers, les entreprises ont eu tendance à :

- délaisser le travail d'information des citoyens pour se concentrer sur leur réponse à l'appel d'offres, étant donné la brièveté des délais. A partir du lancement de l'appel d'offres, les réunions d'information organisées par les porteurs de projets à destination des populations locales ont cessé. Dans la période précédant les résultats de l'appel d'offres, les comités des pêches et les associations d'opposants étaient fréquemment les seuls acteurs présents sur le terrain pour informer les riverains, les promeneurs¹⁷⁷ et les élus locaux¹⁷⁸ ;
- rester discrètes sur le détail de leurs projets, et notamment sur les accords trouvés avec les différentes parties prenantes ;
- utiliser les médias pour mener des campagnes de communication.

Ce manque d'information n'aura été que passager : les opérations visant à informer les riverains ont en effet repris après la sélection du consortium Iberdrola/Eole-Res/Areva pour la baie de Saint-Brieuc. De plus, les études d'impacts, les enquêtes publiques et les débats publics devront démarrer avant la fin de la phase de levée des risques.

Le défaut d'information a néanmoins pu faire naître chez certaines personnes le sentiment d'être mises à l'écart des projets et mal informées sur leurs impacts. Or une telle impression favorise l'apparition et l'organisation d'oppositions. Le collectif d'associations opposées au projet de Saint-Brieuc reconnaît d'ailleurs que sa mobilisation (pétition en ligne, présence sur le terrain) est née d'une insatisfaction de ce type¹⁷⁹. La situation est alors paradoxale : ce sont les opposants qui informent les promeneurs sur les impacts des projets tout en reconnaissant souffrir d'un déficit d'information sur le sujet.

Par ailleurs, la procédure de l'appel d'offres ne facilite pas la diffusion des données produites pour élaborer les projets, et notamment des données concernant les aspects environnementaux. Celles-ci appartiennent aux porteurs de projets, qui ont financé leur production. Par sécurité, ces derniers font le choix de ne pas diffuser certaines d'entre elles avant d'avoir reçu confirmation définitive qu'ils pourront exploiter le site, à l'issue des 18 mois de levée des risques¹⁸⁰.

Une partie des données sera néanmoins mise à la disposition de toutes les personnes intéressées lors de l'enquête publique et de l'étude d'impact.

L'opacité est donc temporaire et relative. Néanmoins, cela peut suffire pour nourrir des critiques, alors que d'autres manières de gérer l'information pourraient être

¹⁷⁷ Intervention de Mme Marie-Paule ALAIN, représentante du Cape, lors d'un séminaire consacré à la concertation sur les projets éoliens offshore, le 2 avril 2012, à l'IEP de Rennes.

¹⁷⁸ Auditions de M. Alain COUDRAY (CDPMEM 22) et Mme Violaine MERRIEN (CRPMEM), 5 avril 2012.

¹⁷⁹ Intervention de Mme Marie-Paule ALAIN, représentante du Cape, lors d'un séminaire consacré à la concertation sur les projets éoliens offshore, le 2 avril 2012, à l'IEP de Rennes.

¹⁸⁰ Intervention de M. Remi CASTERAS, de la société WPD offshore qui participe au consortium mené par EDF pour le site de Courseulles-sur-Mer lors du colloque « Les EMR et vous ? » organisé à Caen le 20 juin 2012.

imaginées. Pour mémoire, le gouvernement britannique a choisi une approche innovante dans le cadre de son 3ème appel d’offres puisqu’il a lui-même financé les études préalables et mis une partie des données produites à disposition de tous sur internet¹⁸¹.

3. Les exigences de l’appropriation collective

Pour que les projets aient toutes les chances d’aboutir, leur mise en œuvre doit se faire dans des conditions permettant une véritable appropriation collective. Celle-ci a ses exigences, qui concernent la phase de concertation mais vont également au-delà.

3.1. Un diagnostic et des objectifs partagés

Si le choix du recours à l’éolien en mer semble faire consensus en Bretagne, c’est parce qu’il répond à des besoins identifiés collectivement au sein de la Conférence bretonne de l’énergie. Par ailleurs, le succès croissant du dispositif Ecowatt en Bretagne montre que les citoyens, les collectivités et les acteurs publics de la région ont de plus en plus conscience des enjeux électriques spécifiques à la Bretagne¹⁸².

Ces constats montrent tout l’intérêt d’objectifs partagés définis au niveau régional, mais les débats doivent aussi être menés nationalement.

Ces débats sont doublement nécessaires. D’une part, les objectifs énergétiques doivent être définis collectivement et partagés par le plus grand nombre, de manière à ce que chacun soit en mesure d’évaluer leurs impacts locaux au regard de leurs impacts globaux. D’autre part, la lutte contre le changement climatique suppose des évolutions qui nécessitent un véritable engagement des consommateurs, appelés à modifier leurs comportements mais aussi à accepter de nouvelles relations avec les gestionnaires de réseaux (compteurs intelligents...).

3.2. La planification nécessite du temps et exige une hiérarchisation des priorités

Le choix des sites d’implantation est un travail exigeant pour chacun des acteurs qui s’y impliquent, qui nécessite une grande disponibilité (pour les réunions de concertation) ainsi qu’un investissement significatif en temps et en argent (afin

¹⁸¹ *The Crown Estate répertorie 9 nouveaux sites éoliens offshore.* <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 10 septembre 2010.

¹⁸² Au cours de l’hiver 2011-2012, il y avait 45 000 abonnés aux alertes Ecowatt. 63 % d’entre eux sont des particuliers, mais RTE note également une progression de l’implication des entreprises et des collectivités. Les effets des gestes de ces personnes durant les vagues de froid ont permis de réduire les consommations de 2 à 3 % aux heures les plus chargées. RTE, mars 2012. *Bilan Ecowatt Bretagne 2011-2012.*

d'acquérir les données requises¹⁸³). Tous les acteurs ont intérêt à ce que cette démarche ne se fasse pas en ordre dispersé, mais plutôt avec une méthodologie claire et uniforme.

Pour produire et rassembler les données nécessaires comme pour structurer le dialogue entre les parties prenantes, il est indispensable de lancer le plus tôt possible les démarches de planification spatiale. Celle-ci doit se poursuivre pour l'éolien posé et débiter au plus vite pour les autres technologies, afin que la France n'accumule pas de retard sur les autres pays européens.

Elle ne peut aboutir à des résultats consensuels que si les acteurs concernés sont capables de trouver un accord sur la hiérarchisation des priorités. Par exemple, il convient d'accepter que certaines données socio-économiques puissent parfois constituer des facteurs de rejet des projets. *A contrario*, des zones ne doivent pas être écartées *a priori* pour des raisons politiques, réglementaires, voire paysagères.

Cette démarche appelle un dialogue continu et parfois long. Pour que l'État, les collectivités et les membres de la société civile organisée entretiennent un dialogue permanent sur le sujet, le CESER propose la création d'un groupe de travail thématique sur les EMR au sein de la Conférence régionale de la mer et du littoral ainsi qu'un renforcement de ses moyens.

3.3. Une conception exigeante de la concertation avec les parties prenantes

Le domaine public maritime ne peut faire l'objet d'une appropriation définitive au profit d'un acteur exclusif : il s'agit d'une *res communis*. Néanmoins, son occupation par des activités économiques peut temporairement être autorisée par l'État.

Toute création de parc d'exploitation des énergies marines doit alors donner lieu à concertation selon des procédures encadrées par la loi, auxquelles se surajoutent souvent d'autres procédures définies par le porteur de projet en fonction des situations locales.

Les exemples de projets déjà menés en Bretagne et ailleurs montrent que les différentes parties ont tout à gagner à trouver un accord sur une définition exigeante de la concertation.

Si les coûts de la concertation sont élevés pour le porteur de projet ainsi que pour les autres parties prenantes, le coût du refus de cette concertation l'est plus encore, tant pour le premier (risque de voir son projet échouer) que pour les secondes (risque de voir le projet aboutir dans sa version la plus défavorable aux usagers). De plus, il

¹⁸³ La réussite de la planification dépend dans une large mesure de la qualité des données, qui relèvent de la biologie marine, de la géophysique ou encore des aspects socio-économiques des usages de la mer. Or, les données socioéconomiques, en particulier, sont fréquemment insuffisantes comme le montre le rapport du programme Seanergy, consacré à la planification maritime. Source : *Delivering offshore electricity to the UE*, mai 2012.

existe également des bénéfices à la concertation : outre le fait qu’elle accroît les chances de réussite du projet, elle peut permettre au porteur de projet de bénéficier de l’expertise des acteurs locaux et à ces derniers de limiter les impacts négatifs et de maximiser les impacts positifs du projet.

Dans cette perspective, la concertation doit être précoce, large et ouverte. Sa réussite nécessite également :

- un investissement fort, non seulement de la part du porteur du projet, mais également de celle de ses interlocuteurs, car la concertation exige une expertise qui n’existe pas toujours *a priori* ;
- du temps, à la fois pour partager des éléments précis de diagnostic et pour permettre aux échanges de faire évoluer les positions.

3.4. Articuler la concertation avec les parties prenantes et la prise en compte des populations

L’appropriation collective des enjeux liés aux énergies marines par les populations revêt plusieurs aspects :

- L’information

Chacun doit pouvoir bénéficier d’une information contradictoire sur :

- les énergies marines renouvelables en général, ce qui inclut leur potentiel, leur contribution à la lutte contre le réchauffement climatique ainsi que les aspects industriels du dossier ;
- le coût de l’électricité en fonction des modes de production, en intégrant toutes les étapes de la vie de ces modes de production ;
- les caractéristiques des projets (technologie retenue, emplacement des machines, capacité de production, provenance des machines, etc.) ;
- la méthodologie et les résultats de la concertation menée avec les différentes parties prenantes. Il faut éviter que la dynamique de la concertation avec les parties prenantes et celle du débat public soient trop déconnectées ;
- les impacts environnementaux et socio-économiques des projets, sans occulter les incertitudes, les controverses scientifiques et les points restant à éclaircir.

Il existe souvent une information de qualité sur nombre de ces enjeux, mais celle-ci n’est pas toujours accessible aux populations. L’identification et la mise en valeur des sources d’information pertinentes constituent donc une nécessité. Ces démarches doivent s’accompagner d’un effort de vulgarisation scientifique.

- La consultation

Les porteurs de projet vont organiser une consultation des populations selon diverses procédures. La méthodologie est essentielle dans ces démarches, car la relation entre les citoyens et les porteurs de projets constitue un facteur-clé de l’acceptation.

Certaines oppositions ne découlent pas tant du rejet d'un projet que de la méfiance face à l'attitude de ses promoteurs, lorsque les acteurs locaux considèrent que leur discours est à sens unique¹⁸⁴.

En outre, la loi impose la saisine de la Commission nationale du débat public, laquelle a décidé en juillet 2012 d'organiser pour chaque projet de parc une consultation des citoyens via la procédure du débat public. L'exemple du débat mené en 2010 autour du projet de parc éolien en mer des deux Côtes (au large du Tréport) montre que cette procédure peut intéresser la population et faire évoluer les projets¹⁸⁵. Chacune des consultations doit donc intervenir à un moment où les projets ne sont pas entièrement définis.

- La participation directe des citoyens aux projets

Des projets éoliens peuvent également être financés pour tout ou partie par des particuliers ou des associations. Cette pratique est très ancrée au Danemark, où elle a même permis de financer des parcs éoliens en mer. En matière d'éolien terrestre, elle peut intervenir dans une part significative du total installé : 5,6 % aux États-Unis, 51 % en Allemagne, 80 % au Danemark¹⁸⁶. De tels projets apparaissent aussi en France. En Bretagne, par exemple, le Pays du Mené mène une politique visant à l'indépendance énergétique¹⁸⁷, tandis que l'association Éoliennes en Pays de Vilaine prévoit de créer le premier parc éolien citoyen sur le sol national¹⁸⁸.

Les systèmes d'exploitation des énergies marines étant très coûteux, il sera probablement plus difficile pour des citoyens de les financer en totalité. Néanmoins, il faut rappeler que certains parcs EMR de petite taille pourront s'avérer pertinents du point de vue économique (petit hydrolien, houlomoteur). De plus, il existe des dispositifs dont le but n'est pas de financer l'ensemble d'un projet mais, plus modestement, de favoriser l'actionnariat citoyen dans les énergies renouvelables, tel Énergie Partagée.

3.5. Maximiser les retombées locales

Les dispositifs d'exploitation des énergies marines, pour être acceptés, doivent bénéficier aux territoires au large desquels ils sont implantés. Les retombées locales attendues sont de plusieurs ordres :

- La taxe annuelle sur les installations de production d'électricité éolienne offshore

Cette taxe a été instaurée par la loi du 30 décembre 2005 et la répartition de son produit précisée par le décret du 27 janvier 2012. Son montant initial est fixé à

¹⁸⁴ Intervention de Mme Laure BOURDIER, doctorante travaillant sur la perception des EMR au sein du CERReV, lors du colloque « Les EMR et vous ? » organisé le 20 juin 2012 à Caen.

¹⁸⁵ CNDP, octobre 2010. *Bilan du débat public. Projet de parc éolien en mer des Deux Côtes*.

¹⁸⁶ *Community wind arrives stateside*. www.renewableenergyworld.com, 5 juillet 2012.

¹⁸⁷ Les Echos, 28 septembre 2011. *Ces territoires qui jouent l'autonomie en énergie*.

¹⁸⁸ Voir le site de l'association : <http://www.eolien-citoyen.fr>

14 113 euros par mégawatt installé, et variera ensuite en fonction de l'inflation. Pour le parc de Saint-Brieuc, son produit représentera 6 à 7 millions d'euros par an.

Ce produit reviendra :

- pour moitié aux communes littorales situées dans un rayon de 12 milles autour du parc et depuis lesquelles une éolienne au moins est visible. La liste des communes concernées et la répartition du produit de la taxe entre elles sont fixées par le préfet. L'usage de ces recettes n'est pas précisé ;
- la seconde moitié du produit de la taxe est affectée aux usagers de la mer. 35 % du produit de la taxe seront attribués au Comité national des pêches maritimes et des élevages marins qui utilisera cette somme pour financer des projets concourant à l'exploitation durable des ressources halieutiques. Les 15 % restants seront distribués par une commission d'attribution à des projets visant au développement durable des activités maritimes ou à maintenir le bon état écologique du milieu marin. Les subventions pourront alors bénéficier à la plaisance, aux sports et loisirs nautiques, à la pêche de loisir, à la navigation maritime, à l'extraction de granulats ou à l'aquaculture.

Il conviendra de s'assurer que le produit de cette taxe sera effectivement utilisé dans une perspective de développement durable du littoral et des activités maritimes, y compris au bénéfice de la recherche marine.

- L'accompagnement de projets locaux, au-delà de ce que prévoit la taxe

Pour son projet hydrolien de Paimpol-Bréhat, EDF n'est pas soumis à la taxe sur l'éolien en mer, mais la société subventionne tout de même plusieurs projets locaux portés par les différentes parties prenantes.

De même, les quatre projets éoliens en mer retenus dans le cadre de l'appel d'offres vont donner lieu à des mesures d'accompagnement négociées avec les pêcheurs et financées par les consortiums. Débutant dès 2012, ces dispositifs se poursuivront jusqu'à ce que les exploitants s'acquittent de la taxe sur l'éolien en mer.

- La connaissance

Les études de faisabilité, les études de suivi ainsi que tous les travaux menés par les différents acteurs au cours de la phase de concertation permettent d'accroître la connaissance des usages de la mer et du littoral, mais aussi des écosystèmes. Lors du colloque intitulé « Les EMR et vous », un représentant du Groupement ornithologique normand a ainsi souligné que les projets de parcs ont permis de financer des recherches sur les oiseaux, dont bien des aspects du comportement en mer restent méconnus¹⁸⁹.

¹⁸⁹ Intervention de M. James JEAN-BAPTISTE, responsable « études de terrain » du Groupement ornithologique normand, lors du colloque « Les EMR et vous ? » organisé le 20 juin 2012 à Caen.

- L'activité économique créée par les parcs

Le programme éolien français doit permettre de créer 7 000 à 10 000 emplois directs, principalement dans le Grand Ouest¹⁹⁰. Le CESER considère que ces retombées sont de première importance non seulement pour le développement économique de la Bretagne (voir seconde partie de l'étude) mais également pour l'appropriation collective des projets.

Il est par ailleurs possible de créer des synergies entre les parcs éoliens en mer et d'autres activités économiques déjà présentes sur les territoires, telles que le tourisme (cette forme de tourisme industriel existe déjà dans d'autres pays et des opérateurs se positionnent pour proposer des excursions autour des parcs français¹⁹¹) ou la pêche professionnelle (la direction des navires amenant les scientifiques et les experts sur site, par exemple, représente un petit surcroît d'activité que le comité des pêches s'emploie à répartir entre les pêcheurs¹⁹²). Autre exemple : certaines formes d'aquaculture pourraient se développer au sein des parcs si la pêche y est interdite.

- Prendre en compte la dimension sociale

Le CESER rappelle que « *la performance économique et la performance sociale sont indissociables dans une optique de développement durable* »¹⁹³. Les filières EMR peuvent permettre de créer des emplois industriels qualifiés, répondant à des objectifs de développement durable et pourraient même devenir un pilier économique de la région. Ces perspectives sont de nature à favoriser la mobilisation des salariés autour des projets, à condition que les emplois créés soient pérennes et de qualité¹⁹⁴.

¹⁹⁰ Ouest-France, 7-8 avril 2012. *Éolien offshore : plus de 7 000 emplois promis dans l'ouest*. Le Marin, 13 avril 2012. *Éolien en mer : trois champs sur cinq pour EDF*.

¹⁹¹ Auditions de MM. Thierry TROESCH et Christophe LE NANCQ (CCI 22), 5 avril 2012.

¹⁹² Auditions de M. Alain COUDRAY (CDPMEM 22) et Mme Violaine MERRIEN (CRPMEM), 5 avril 2012.

¹⁹³ CESER de Bretagne, janvier 2012. *Quels modes de développement économique pour la Bretagne de demain ?* Rapporteurs Mme Maryvonne GUIAVARC'H et M. Jean LE TRAON.

¹⁹⁴ Le CESER renvoie à la Charte bretonne de partenariat pour la qualité de l'emploi signée par le Conseil régional ainsi que par les entreprises qui bénéficient de son soutien.

Deuxième partie

Faire des énergies
marines un nouveau
pilier de l'industrie
régionale

Les énergies marines sont en mesure de contribuer significativement au bouquet renouvelable et à la réduction de la dépendance énergétique de certains pays européens. A certains égards, leur futur demeure toutefois incertain, dans la mesure où il est très dépendant de la continuité de choix politiques de long terme. De même, les retombées économiques restent incertaines, puisque les EMR offrent la perspective d'un nouveau souffle industriel... à condition que les pouvoirs publics soutiennent effectivement leur déploiement.

L'objet de cette seconde partie est alors d'analyser les conditions et les perspectives de développement économique ouvertes par les EMR : dans quelle mesure les énergies marines vont-elles permettre de créer de l'activité ? Pour quels secteurs économiques ? Sur quels territoires ? Quelles sont, alors, les retombées à attendre en Bretagne ?

Des perspectives de marché encourageantes permettent de supposer que les énergies marines vont durablement créer de l'activité industrielle dans les pays qui sauront se positionner à temps (chapitre 5). La filière de l'éolien offshore, en particulier, commence à se structurer dans plusieurs pays européens, y compris en France, avec toutefois un peu de retard sur l'Allemagne et le Danemark (chapitre 6). La Bretagne possède de nombreux atouts, qui doivent lui permettre de prendre part à cette dynamique (chapitre 7). En conséquence, le CESER appelle à une mobilisation coordonnée des acteurs autour d'une stratégie partagée (chapitre 8).

Chapitre 5

Les perspectives de développement industriel

1.	Éolien offshore posé : un marché en pleine expansion, tiré par les pays européens	115
2.	Hydrolien : les projets industriels s'accélèrent	116
3.	L'éolien flottant, à la fois concurrent et relais de croissance pour l'éolien posé	117
4.	Énergie houlomotrice : un potentiel important mais un développement incertain	118
5.	Énergie thermique des mers : des marchés concentrés en zone intertropicale	119
6.	La réduction des coûts, un enjeu majeur	119

La première technologie à être parvenue à maturité est le marémoteur. Ses perspectives de développement sont cependant faibles, car les sites propices à son installation sont peu nombreux, et les impacts environnementaux significatifs. Toutes les autres technologies, en revanche, représentent des marchés potentiels importants et devraient permettre de créer une activité industrielle soutenue en Europe au cours des prochaines décennies.

1. Éolien offshore posé : un marché en pleine expansion, tiré par les pays européens

En janvier 2012, 1 371 éoliennes offshore étaient raccordées aux réseaux européens tandis que des milliers d'autres devaient encore être construites et installées. Au cours des prochaines années, l'Europe restera donc le principal marché en ce domaine. Un exemple illustre bien cela : au début de l'année 2012, Gamesa a indiqué que son premier prototype d'éolienne offshore serait installé en Espagne, alors que la machine a été conçue aux États-Unis et devait y être testée. Le turbinier espagnol a finalement considéré que le marché nord-américain était trop instable pour qu'il puisse s'y implanter rapidement. Il va donc fermer son centre de recherche États-Unis et envisage d'ouvrir une usine au Royaume-Uni¹⁹⁵.

De fait, les installations importantes à venir sont surtout programmées au Royaume-Uni et en Allemagne, avec également des projets conséquents en France, au Danemark, aux Pays-Bas, en Pologne, en Belgique et en Suède¹⁹⁶. Hors de l'Europe, un seul pays a des projets importants en voie de concrétisation : la Chine.

Au niveau mondial, les investissements annuels dans le secteur ont dépassé les 5 milliards d'euros en 2010, et pourraient atteindre 15 milliards d'euros par an en 2015 et 20 milliards en 2020¹⁹⁷. La croissance se poursuivrait au moins jusqu'en 2025, avec un marché qui pourrait alors porter sur 40 milliards d'euros par an¹⁹⁸. L'EWEA prévoit qu'à partir de cette date, l'éolien offshore emploiera plus de personnes que l'éolien terrestre et continuera à créer des emplois¹⁹⁹.

L'activité se trouve en phase d'industrialisation massive. Siemens et Vestas, qui ont construit 90 % des machines installées à ce jour, disposent déjà de sites de production en série des nacelles, organisés sur le modèle de la filière automobile²⁰⁰. Si Vestas connaît actuellement des difficultés, Siemens a d'importantes perspectives de croissance, puisque l'entreprise allemande a construit 80 % des machines installées en mer au cours de l'année 2011 et annonce des commandes à hauteur de

¹⁹⁵ Gamesa, 7 mai 2012. *Gamesa alcanza un hito crítico en su estrategia offshore con la instalacion de su primer prototipo marino en Espana*. Communiqué de presse.

¹⁹⁶ Irena, juin 2012. *Renewable energy technologies : cost analysis series. Wind power*.

¹⁹⁷ Indicta, 2011. Rapport sur le modèle économique de la filière EMR.

¹⁹⁸ Selon le bureau d'études IHS Emerging Energy Research, cité dans l'article *China's first wind farm lull limits outlook for Sinovel*. www.renewableenergyworld.com, 26 juin 2012.

¹⁹⁹ GAUTIER G., décembre 2010. *Énergies marines renouvelables. Emplois, compétences, formation. Quelles perspectives d'avenir ?* Rapport au Premier Ministre.

²⁰⁰ L'Usine Nouvelle, 23 septembre 2010. *Chez Siemens, des éoliennes produites comme des voitures*.

800 à 1 000 machines d'ici 2014²⁰¹. Les principaux concurrents de ces deux entreprises sont les Allemands Repower et Bard, bientôt rejoints par Gamesa, Areva (qui a installé une première usine en Allemagne et projette d'en construire une seconde en France), Alstom, qui a également un projet d'usine en France.

Au-delà du marché des éoliennes, c'est l'ensemble de la filière qui est marquée par la prédominance des entreprises européennes, et particulièrement de celles qui sont implantées en Europe du Nord. Les firmes européennes sont présentes sur tous les segments de la chaîne d'activités, depuis la construction des fondations jusqu'à l'installation en mer en passant par la fourniture et la pose de câbles. Il s'agit en général d'acteurs de l'éolien terrestre ou de l'offshore pétrolier qui construisent leur position dominante sur les premiers marchés européens avant d'envisager un développement à plus grande échelle, sur les futurs marchés asiatiques ou américains.

Il existe également des ébauches de filières aux États-Unis (c'est une volonté partagée du gouvernement fédéral et des énergéticiens²⁰²), mais surtout en Asie où divers acteurs sont déjà engagés dans la conception de turbines multimégawatts ou la construction de navires de pose. Alors que la croissance du marché chinois de l'éolien terrestre semble en passe de ralentir, les turbiniers Goldwind et Sinovel développent actuellement des turbines de 6 à 10 MW destinées à l'offshore. Souvent jugés peu crédibles faute d'expérience, ces deux turbiniers devront faire leurs preuves sur le marché intérieur de l'éolien en mer s'ils souhaitent concurrencer les leaders européens²⁰³.

2. Hydrolien : les projets industriels s'accélèrent

La seconde technologie arrivant à maturité, après l'éolien offshore posé, est l'hydrolien, qui bénéficie du savoir-faire acquis dans le domaine de l'hydroélectricité.

Dans un premier temps, les investissements se concentrent sur les hydroliennes de forte puissance. Ces machines sont destinées à exploiter une ressource prédictible, abondante, mais relativement limitée et très localisée. Il s'agit toutefois du marché des énergies marines le plus attractif à court terme (hors éolien offshore). Les investissements annuels pourraient atteindre le milliard d'euros avant 2020 et 10 à 20 milliards d'euros en 2050²⁰⁴, pour un marché mondial qui, selon Alstom, pourrait porter sur 10 000 machines²⁰⁵.

Dans ces conditions, plusieurs groupes industriels se sont lancés dans une compétition en trois phases :

²⁰¹ Le Marin, 8 juin 2012. *Europe : 1371 éoliennes raccordées*.

²⁰² *Head of BOEM details offshore wind challenges, key strategies*. www.renewableenergyworld.com, 20 juin 2012.

²⁰³ *China's first wind farm lull limits outlook for Sinovel*. www.renewableenergyworld.com, 26 juin 2012.

²⁰⁴ Indicta, 2011. *Rapport sur le modèle économique de la filière EMR*.

²⁰⁵ Intervention de M. Erick ELLERIN, responsable produits énergies de la mer chez Alstom Hydro lors du salon Thetis EMR de Bordeaux, le 11 janvier 2012.

1. Depuis 2009, chacun des groupes intéressés par ce marché a sélectionné la technologie qui lui semblait la plus performante et investi dans la société qui l'avait initiée de manière à accélérer le développement, les essais et la fiabilisation des machines ;
2. Ces acteurs mènent des études et négocient avec les pouvoirs publics de manière à obtenir des autorisations pour implanter des parcs de taille moyenne (10 à 50 MW) d'ici 2015. Les premiers accords ont été signés ou sont en cours de discussions pour des zones situées dans le Raz Blanchard (Angleterre et France), en baie de Fundy (États-Unis et Canada) ou près des îles d'Anglesey (Pays de Galles), Islay (Écosse), et Ouessant (France)²⁰⁶ ;
3. Après quelques années de retour d'expérience, les investissements devraient s'accélérer dans le but d'implanter des parcs plus importants²⁰⁷. Quelques concessions ont déjà été attribuées à cette fin au Royaume-Uni, principalement en Écosse.

Pour chaque entreprise, l'enjeu est donc de figurer parmi les premiers capables de se positionner sur les gisements les plus importants. Quant aux territoires disposant de sites propices, ils se livrent une compétition pour attribuer des concessions en espérant bénéficier de l'installation des premières usines.

Aucun constructeur n'est encore capable de produire une hydrolienne en série mais un premier projet de site de construction a été annoncé au début de l'année par DCNS²⁰⁸.

3. L'éolien flottant, à la fois concurrent et relais de croissance pour l'éolien posé

L'éolien flottant constituera un relais de croissance de l'éolien posé, car il devrait parvenir à maturité peu avant 2020, à un moment où les sites propices au développement de l'éolien posé commenceront à être saturés. Cette technologie ouvrira alors de nouveaux marchés à l'éolien en mer. Étant donné les coûts de production estimés ainsi que le potentiel techniquement exploitable, un rapport du cabinet Indicta²⁰⁹ indique que « *l'éolien flottant représente ainsi le marché des énergies renouvelables (marines et autres) qui offre le plus grand potentiel de contribution à terme toutes technologies confondues* ». Et de préciser qu'« *en 2050, ce sont plusieurs centaines de GW qui seront exploités, représentant un investissement cumulé de l'ordre du millier de milliards d'euros* »²¹⁰.

²⁰⁶ Ces annonces concernent principalement les machines de type SeaGen, Hammerfest Strom, OpenHydro, Sabella et Voith Hydro. *Marine Current Turbines : vers un premier parc hydrolien de 10 MW.* <http://.energiesdelamer.blogspot.fr>, 28 mars 2011. *Hammerfest Strom : feu vert pour un parc hydrolien de 10 MW.* <http://.energiesdelamer.blogspot.fr>, 21 mars 2011. *DCNS et ARE veulent implanter des hydroliennes en Manche.* www.meretmarine.com, 20 février 2012. *Le Marin*, 22 juin 2012. *Hydrolien : GDF Suez pousse ses pions.*

²⁰⁷ Indicta, 2011. *Rapport sur le modèle économique de la filière EMR.*

²⁰⁸ DCNS veut créer une usine de production d'hydroliennes à Cherbourg. www.meretmarine.com, 15 mars 2012.

²⁰⁹ Indicta, 2011. *Rapport sur le modèle économique de la filière EMR.*

²¹⁰ *Ibid.*

A ce jour, les investissements se concentrent sur la démonstration des technologies. Certaines sociétés commencent à évoquer des projets de sites pilotes, notamment en France, au Portugal et aux États-Unis, mais aucun pays européen n'a annoncé avoir repéré précisément des sites propices au développement commercial de l'éolien flottant.

Cette absence de planification s'explique par le fait que l'éolien offshore posé se trouve au début de son développement. La priorité des États va à l'exploitation des gisements les plus facilement accessibles, à savoir ceux qui sont situés en eaux peu profondes. De leur côté, les leaders de la filière éolienne en mer sont aujourd'hui centrés sur les réponses aux divers appels d'offres ainsi que sur l'optimisation des machines et des process. Pour eux, l'urgence n'est pas de faire progresser les technologies de demain, mais plutôt de diminuer les coûts de la technologie qui est déjà disponible. Le moment venu, ils pourront réemployer ces acquis pour le développement de l'éolien flottant, qui bénéficiera également des infrastructures portuaires et industrielles mises en place pour l'éolien posé.

Dans ces conditions, le marché demeure accessible à de nouveaux entrants, qui développent des technologies innovantes. Relativement indépendantes des grands groupes de l'éolien offshore posé, ces entreprises visent souvent d'autres marchés. C'est pourquoi certaines commencent à évoquer la création de sites de production dans des territoires où la filière éolienne offshore posée est encore peu présente, à savoir la Bretagne (éolienne Winflo²¹¹), le Portugal (système Windfloat²¹²) ou les États-Unis²¹³.

Celles de ces technologies qui seront adaptées à des fonds de 50 ou 60 mètres pourraient constituer des concurrentes directes des éoliennes posées, notamment pour certaines zones du 3ème round britannique situées en eaux profondes et pour lesquelles les projets de parcs ne seront pas finalisés avant 2020.

4. Énergie houlomotrice : un potentiel important mais un développement incertain

Au vu du potentiel techniquement exploitable, le marché de l'exploitation de l'énergie des vagues apparaît comme un marché stratégique, à la fois immense et réparti sur un grand nombre de zones. Plusieurs centaines de GW pourraient ainsi être installés à l'horizon 2050, ce qui représente des investissements dépassant le millier de milliards d'euros²¹⁴.

Le développement commercial des systèmes à la côte débutera vraisemblablement dès 2015, mais l'essentiel du marché potentiel concerne les systèmes implantés près

²¹¹ Audition de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind), 26 avril 2012.

²¹² *Semi-submersible wind turbine is floating into the future*. www.rechargenews.com, 4 juillet 2012.

²¹³ *Why DOE-funded floating turbines may change future of offshore wind*. www.cleantechnica.com, 10 décembre 2011.

²¹⁴ Indicta, 2011. *Rapport sur le modèle économique de la filière EMR*.

des côtes et ceux installés au large. En ce domaine, les toutes premières autorisations ont déjà été accordées en 2009 et 2010 en Suède (pour 10 MW) et au Royaume-Uni, pour des projets portant sur 600 MW au total²¹⁵. Plusieurs projets australiens de taille conséquente, dont un parc de 19 MW, ont également reçu des aides de l'État. Dans ce pays, plusieurs porteurs de projets annoncent l'installation de sites pilotes pour 2014, mais semblent accumuler des retards, à cause notamment de la prudence des financeurs²¹⁶. Il apparaît alors que ces technologies ne connaîtront probablement pas de déploiement commercial avant 2020²¹⁷. Il demeure difficile de prévoir plus précisément la réalité de ce marché, étant donné les incertitudes qui subsistent sur les technologies, leurs performances, leurs coûts et leurs impacts socio-économiques et environnementaux.

5. Énergie thermique des mers : des marchés concentrés en zone intertropicale

Les centrales de production d'électricité à partir de l'énergie thermique des mers permettront une production de base, substituable à celle des centrales thermiques fossiles. Grâce à elle, des territoires insulaires situés en zone intertropicale pourront accéder à l'autonomie énergétique par des énergies renouvelables. Dans les îles où l'électricité est la plus chère, les toutes premières centrales ETM devraient déjà être compétitives. Par la suite, les coûts de production pourront être réduits, tandis que les coûts d'investissement resteront toujours élevés.

Les conditions semblent donc être réunies pour que l'ETM se développe rapidement dès lors que les technologies auront été éprouvées, probablement à partir de 2015 ou 2020.

Limité à certaines zones réunissant des conditions thermiques et bathymétriques précises, avec un prix de l'électricité élevé, ce marché ne devrait pas dépasser quelques milliards d'euros par an à l'horizon 2030. Il sera alors probablement limité aux deux ou trois industriels qui s'y sont déjà positionnés²¹⁸.

6. La réduction des coûts, un enjeu majeur

Le marché potentiel de chacune des différentes technologies est significatif mais incertain, car très lié aux progrès technologiques ainsi qu'à la stabilité des prix de rachat de l'électricité, deux enjeux très dépendants de la constance des politiques publiques.

²¹⁵ Scotland chosen to host UK's second marine energy park. www.rechargenews.com, 31 juillet 2012.

²¹⁶ OPT signs Lockheed to construct 19 MW wave project in Australia. <http://cleantechnica.com>, 16 juillet 2012.

²¹⁷ Audition de M. Alain CLEMENT (Ecole centrale de Nantes), 5 avril 2012.

²¹⁸ Indicta, 2011. *Rapport sur le modèle économique de la filière EMR*.

Pour être viables à long terme, les filières devront être en mesure de produire de l'électricité sans le soutien financier des pouvoirs publics et à un prix compétitif par rapport aux autres sources de production. Il leur faut pour cela réduire les coûts de production.

En 2012, l'éolien offshore coûte deux à trois fois plus cher que l'éolien terrestre, avec un potentiel de réduction des coûts important mais difficile à évaluer. Plusieurs facteurs de réduction ont été identifiés²¹⁹, qui sont liés :

- à l'optimisation des machines et des process d'installation ;
- au transfert de compétences et de technologies, notamment en provenance des industries pétrolière et gazière ;
- à des économies d'échelles ;
- à l'optimisation du transport de l'électricité ;
- à la réduction des risques, et notamment de ceux liés aux procédures d'autorisation ;
- à la diminution des coûts du financement et des assurances lorsque les projets seront jugés moins risqués.

L'éolien flottant pourrait permettre de produire en eaux profondes de l'électricité à un prix compétitif par rapport à celui de l'éolien posé. Légèrement plus coûteuses, les éoliennes flottantes seront en effet capables d'exploiter une ressource supérieure du fait de leur éloignement des côtes²²⁰.

Certains observateurs considèrent qu'à terme, l'éolien offshore (posé ou flottant) pourrait produire de l'électricité à un coût équivalent, voire inférieur à celui de l'éolien terrestre²²¹. Une étude britannique estime qu'au Royaume-Uni, le pas pourrait être franchi dès 2025²²². Néanmoins, la tendance à éloigner les projets des côtes, repérable au Royaume-Uni, est source de risques et de coûts supplémentaires. Dans ces conditions, le coût moyen de l'énergie produite par l'éolien posé sera réduit²²³ mais restera très variable selon les sites.

Les coûts des autres technologies sont plus difficiles à évaluer. Il existe des estimations, qui montrent que plusieurs technologies sont théoriquement capables d'atteindre des coûts de 150, voire 100 €/MWh²²⁴. Ces estimations présentent toutefois une grande marge d'incertitude.

A titre de comparaison, le coût de l'électricité nucléaire est estimé à 49,5 €/MWh par la Cour des Comptes ou 54,2 €/MWh selon le rapport du sénateur Jean DESSESSARD, qui souligne qu'en intégrant les coûts du démantèlement, ce chiffre

²¹⁹ Renewables UK, juin 2012. *Offshore wind cost reduction task force report*. The Crown Estate, juin 2012. *Offshore wind cost reduction pathways study. Turbine tech turn up : machines for an evolving market*. www.renewableenergyworld.com, 19 juin 2012. UpWind, mars 2011. *Design limits and solutions for very large wind turbines*. PWC, mai 2011. *Offshore proof*.

²²⁰ Audition de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind), 26 avril 2012.

²²¹ Marine Log, février 2012. *Wind at all costs ?*

²²² PWC, mai 2011. *Offshore Proof*.

²²³ L'International Energy Agency prévoit une diminution par deux à horizon 2035. International Energy Agency. *World Energy Outlook 2010*.

²²⁴ *Solaire à concentration et hydrolien, futures stars des EnR*. www.greenunivers.com, 23 avril 2012.

pourrait atteindre 75 €/MWh (mais la marge d'erreur est alors très importante)²²⁵. Quant aux coûts de l'électricité d'origine renouvelable, ils varient considérablement en fonction des sources d'énergie : de 69 à 82 €/MWh²²⁶ pour l'éolien terrestre, mais de 229 à 371 €/MWh pour le photovoltaïque²²⁷.

Tableau 4. Perspective d'évolution des coûts de production pour chaque technologie.

	Coût de l'électricité produite par les premières installations, en €/MWh	Coût de l'électricité à terme pour les meilleurs sites, en €/MWh
Éolien posé	150 à 170 (2011)	100 (2025)
Éolien flottant	180 à 200 (2015)	100 (2030)
Hydrolien	200 à 250 (2015)	150 (2020)
Houlomoteur	150 (2015-2030)	100
ETM	400 (2015-2020)	250 (2025)

Source : Indicta, 2011.

Tous les coûts indiqués dans ce tableau sont des coûts complets, c'est-à-dire qu'ils prennent en compte les coûts d'investissement et d'exploitation, le taux de charge des machines et leur durée de vie. Seul le coût du démantèlement n'a pas pu être intégré, à la différence de ce qui se pratique pour le calcul du coût de l'éolien terrestre. Il s'agit également de coûts moyens calculés sur la base de données provenant de différents pays. A ce titre, ils masquent les différences pouvant exister en fonction des sites de production. En France, la Commission de régulation de l'énergie (CRE) estime par exemple que le coût de l'électricité produite dans le cadre de l'appel d'offres s'établira autour de 220 €/MWh.

Ces coûts peuvent sembler élevés par rapport aux prix actuels du marché de l'électricité, mais ces derniers sont eux-mêmes appelés à augmenter au cours des prochaines décennies, sous l'effet de plusieurs dynamiques :

- la hausse des coûts des énergies fossiles ;
- l'augmentation des usages de l'électricité (liés aux différents usages de l'informatique et de l'électronique, mais également aux véhicules électriques) ;
- les exigences accrues en matière de sécurité des centrales nucléaires ;
- le coût du démantèlement des centrales nucléaires en fin de vie ;
- la prise en compte croissante des impacts environnementaux des activités humaines et la nécessité de remplacer les énergies émettrices de CO₂ par des énergies renouvelables, plus chères ;
- les investissements sur les réseaux électriques (maintenance, interconnexion et intégration d'électricité produite par des sources décentralisées et intermittentes).

²²⁵ La facture d'électricité des Français augmenterait de 50 % d'ici à 2020. www.lemonde.fr, 19 juillet 2012.

²²⁶ Le premier chiffre correspond à l'estimation de France Energie Eolienne, le second à celle de M. DESSESSARD.

²²⁷ Sénat, juillet 2012. *Rapport fait au nom de la Commission d'enquête sur le coût réel de l'électricité afin d'en déterminer l'imputation aux différents agents économiques*. Rapporteur : M. Jean DESSESSARD.

Au total, la facture d'électricité des ménages pourrait augmenter de 50 % d'ici 2020, selon le rapport parlementaire publié en juillet 2012²²⁸.

Dans ce contexte, les énergies marines constituent une alternative crédible, à telle enseigne que la plupart des grands énergéticiens européens, y compris ceux qui investissent dans le nucléaire, développent également des projets dans le domaine des EMR.

²²⁸ Sénat, juillet 2012. *Rapport fait au nom de la Commission d'enquête sur le coût réel de l'électricité afin d'en déterminer l'imputation aux différents agents économiques*. Rapporteur : M. Jean DESSESSARD.

Chapitre 6

Éolien offshore : la mise en place d'une filière industrielle en France

1.	Les différentes composantes d'une nouvelle filière industrielle	127
1.1.	Le montage du projet et les études préalables	128
1.2.	La fabrication des différents éléments du parc	129
1.3.	L'installation du parc	131
1.4.	L'exploitation et la maintenance du parc	134
2.	Trois exemples de structuration de la filière	134
2.1.	Au Danemark, le marché intérieur comme tremplin	135
2.2.	En Allemagne, la filière profite des acquis de l'éolien terrestre	135
2.3.	Au Royaume-Uni, une approche libérale	136
3.	En France : la volonté politique et les stratégies industrielles se rejoignent	137
3.1.	Le positionnement de grands industriels	137
3.2.	La prise de conscience du potentiel de l'industrie française	138
3.2.1.	L'initiative Windustry France : une volonté de développer l'industrie éolienne	138
3.2.2.	Le rapport PwC : « <i>Éolien offshore : vers la création d'une filière industrielle française ?</i> »	139
3.2.3.	Des rapports parlementaires qui soulignent le potentiel économique de l'éolien en mer	139
3.3.	Un appel d'offres orienté vers la création d'une filière	140
3.3.1.	Une activité cohérente avec l'approche retenue par la politique industrielle nationale	140
3.3.2.	Une clause industrielle dans l'appel d'offres pour l'éolien en mer	141
3.4.	L'implantation de maîtres d'œuvre industriels en France	142
3.5.	Des opportunités de partenariats et de sous-traitance	144
3.6.	L'enjeu de la pérennité des activités créées	144

Avec la multiplication des parcs éoliens offshore et la clarification des perspectives de marché, la filière des énergies marines s'est considérablement structurée depuis 2009. Elle devrait continuer à évoluer, mais il apparaît déjà qu'il s'agit d'une filière à part entière, avec une chaîne d'activité bien distincte de celle de l'éolien terrestre (1). Fortement liée aux modes d'intervention publique, sa structuration a emprunté différentes voies selon les pays (2). En France, elle apparaît aujourd'hui comme une opportunité majeure de développement industriel (3).

1. Les différentes composantes d'une nouvelle filière industrielle

Le coût des investissements nécessaires à l'installation d'un parc éolien est deux fois plus élevé en mer qu'à terre. Il s'explique en particulier par des coûts de connexion au réseau et de construction beaucoup plus élevés en mer qu'à terre, alors que le coût de l'éolienne en elle-même diffère peu. Ainsi, les coûts de connexion au réseau et de construction représentent chacun de 15 % à 30 % du total des coûts, tandis qu'à terre ils n'en représentent que 5 à 15 %. En conséquence, la part des éoliennes dans le coût total du parc ne représente plus que 30 % à 50 % des coûts, contre 64 % à 84 % dans l'éolien terrestre²²⁹. Rapportée au coût global d'un parc, la part des éoliennes est plus faible encore, dans la mesure où les coûts d'exploitation, de maintenance et de démantèlement représentent jusqu'à 30 % du total²³⁰.

Compte tenu de la variété et de la complexité des tâches nécessaires à l'installation d'un parc éolien, le rôle des turbiniers dans la chaîne d'activités se fait alors moins central que dans l'éolien terrestre, tandis que celui des développeurs (les entreprises qui conçoivent et coordonnent le projet) s'accroît²³¹. La filière compte ainsi deux pôles d'activité à forte valeur ajoutée : la fabrication de la nacelle, du rotor et des pales d'une part ; l'installation en mer et le raccordement d'autre part²³². Quant à l'exploitation et à la maintenance, elles permettent de créer des emplois pérennes, les parcs étant destinés à fonctionner durant 20 ans au moins.

Outre ces aspects industriels, la filière fait également intervenir des activités connexes. Il s'agit par exemple des études préliminaires menées sur les sites, des travaux de conception et d'ingénierie préalables à la construction, de la communication autour des projets, etc.

Les deux phases de fabrication et de d'installation des éléments du parc sont celles qui créent le plus d'emplois.

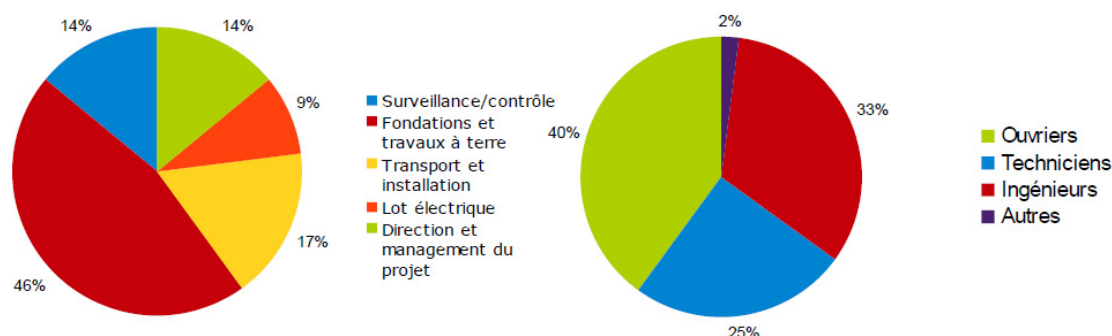
²²⁹ Irena, juin 2012. *Renewable energy technologies : cost analysis series. Wind power.*

²³⁰ Chambre de commerce et d'industrie des Côtes-d'Armor, 2011. *Éolien offshore : pour tout savoir sur le projet de parc en baie de Saint-Brieuc,*

²³¹ HARESKOV K., 2011. *Danish offshore wind industry. Supply chain offshore – change of the "focal point".*

²³² PWC, décembre 2010. *Éolien offshore : vers la création d'une filière industrielle française ?*

Figure 14. Répartition des emplois en phase de construction d'un parc éolien offshore.



Source : Nass&Wind.

1.1. Le montage du projet et les études préalables

La première phase d'un projet éolien ne crée pas beaucoup d'emplois en soi mais fait appel à des compétences extrêmement spécialisées, à tel point qu'il est nécessaire de faire intervenir de nombreux acteurs. En règle générale, le développeur se charge de l'instruction des dossiers, de la concertation ainsi que de la coordination des multiples composantes des études d'impacts, lesquelles sont menées par des PME (bureaux d'études), des organismes scientifiques (Ifremer) ou encore des associations (comme la LPO, par exemple)²³³.

Ces études permettent d'évaluer le potentiel de production et les coûts du parc ainsi que de fournir des éléments pour éclairer la décision sur des enjeux tels que le positionnement des machines ou le type de fondations.

Elles font intervenir des technologies de pointe, qui peuvent s'avérer extrêmement coûteuses. A titre d'exemple, l'étude des fonds marins comprend :

- une phase de cartographie des fonds qui nécessite des appareils de mesure acoustique ainsi que des opérations de prélèvements superficiels;
- une phase d'analyse du substrat en profondeur par carottage. Étant donné le coût de ces études (évalué à 300 000 euros par prélèvement), le porteur de projet se contente de quelques sondages dans un premier temps. Si le projet est confirmé, un carottage est ensuite réalisé à l'emplacement de chaque éolienne²³⁴.

²³³ Le Marin, 3 août 2012. *Éolien offshore et études d'impact : la mer passée à la loupe.*

²³⁴ Le Marin, 8 juin 2012. *De coûteux carottages mesurent la résistance du plancher marin.*

1.2. La fabrication des différents éléments du parc

- Les turbines

La turbine d'une éolienne se compose de plusieurs éléments, dont les principaux sont le rotor, l'arbre de transmission, la boîte de vitesses (qui tend à être supprimée sur les éoliennes offshore) et le générateur. Ce sont ordinairement des sous-traitants qui fabriquent la plupart de ces éléments.

Il s'agit de la partie la plus stratégique de l'éolienne : elle représente une valeur ajoutée importante et concentre le risque de pannes. Dès lors, l'assemblage des nacelles (partie de l'éolienne située en haut du mât, qui contient la turbine) est pris en charge par les turbiniers, qui sont responsables du taux de disponibilité des machines²³⁵. Les exigences de qualité pour ces opérations sont extrêmement fortes et nécessitent des compétences pointues²³⁶.

Les turbines sont le plus souvent transportées par voie maritime, c'est pourquoi les usines d'assemblage peuvent être éloignées des parcs mais sont toujours implantées à proximité d'un port.

Figure 15. Assemblage des nacelles à Bremerhaven.



Source : © Areva, Oelker Jan.

- Les pales

Fabriquées en matériaux composites, les pales sont constituées d'une ou de deux pièces. Chaque modèle d'éolienne offshore utilise généralement des pales qui ont été spécifiquement conçues à son intention. Étant donné leur longueur, leur poids et les contraintes auxquelles elles sont soumises, celles-ci doivent être d'une conception irréprochable. Plus longues que les pales destinées à l'éolien terrestre, elles peuvent être transportées par voie maritime, plus difficilement par voie terrestre. C'est

²³⁵ Scottish Enterprise, septembre 2011. *A guide to offshore wind*.

²³⁶ Chiffre cité dans l'article *China's first wind farm lull limits outlook for Sinovel*. www.renewableenergyworld.com, 26 juin 2012.

pourquoi les usines sont situées à proximité directe d'un port. Les fabricants de pales répondant à toutes ces exigences sont peu nombreux dans le monde.

- Les mâts

Les mâts des éoliennes offshore font l'objet du plus haut niveau de traitement contre la corrosion. Leur fabrication est sous-traitée à des entreprises spécialisées dans la métallurgie.

- Les fondations

Les compétences requises pour la construction des fondations varient en fonction de leur type. Les fondations monopieu, tripodes ou jacket font appel aux métiers de la chaudronnerie, de la soudure et de l'usinage. Il s'agit de compétences proches de celles des entreprises de la construction navale, à cette différence près que les tôles sont plus épaisses. La technologie particulière des fondations jacket est également bien maîtrisée par les acteurs de l'industrie pétrolière. En revanche, les fondations gravitaires, constituées de métal et de béton, nécessitent des compétences qui relèvent davantage du BTP.

Quel que soit le type de fondation retenu, la production en série représente un véritable défi²³⁷ :

- pour l'entreprise qui en aura la charge, et devra déployer un outil de production spécifique ;
- pour le port qui l'accueille: celui-ci devra disposer d'espaces de stockage suffisants ainsi que d'un quai lourd, particulièrement pour les fondations gravitaires. En raison de leur poids, la mise à l'eau de ces éléments est une tâche complexe, qui fait appel à des rampes, des formes de radoub ou des barges munies de fortes capacités de levage ;
- pour son hinterland, qui devra être en mesure de produire et acheminer de grandes quantités de matériaux.

Située entre la fondation et le mât, la pièce de transition est la partie la plus ouvragée des fondations et représente une importante valeur ajoutée.

Les fondations sont produites à proximité de l'endroit où elles seront installées, surtout s'il s'agit de fondations gravitaires. Dans certains cas, les emplois créés pourraient alors ne durer que le temps de la construction des fondations d'un seul parc.

- Les sous-stations

En règle générale, un parc éolien en mer ne compte qu'une sous-station électrique, posée sur le fond marin grâce à des fondations comparables à celles des éoliennes. Elle collecte l'électricité produite par les éoliennes et la transforme afin d'optimiser son transport et son injection dans le réseau. Sa construction requiert des

²³⁷ Audition de M. Jean-Jacques LENORMENT (Conseil régional de Bretagne), 9 février 2012.

compétences dans le domaine des constructions métalliques ainsi que dans celui de l'électronique de puissance.

Figure 16. Sous-station sur le parc d'Horns Rev 2.



Source : © Nass&Wind.

1.3. L'installation du parc

- L'installation des fondations

Les fondations sont transportées sur des navires ou remorquées depuis leur port de construction. Elles sont ensuite plantées (fondations monopieu), ancrées par des pieux (fondations jacket et tripode) ou posées sur les fonds marins (fondations gravitaires).

Selon le modèle de fondation retenu, ces tâches requièrent l'intervention de barges, de navires spécialisés ou de simples remorqueurs²³⁸.

- La pose du câble

Il existe deux types de câbles sur un parc : le premier relie les éoliennes entre elles et le second relie la sous-station électrique au poste d'atterrissage. Plus puissant, le second est également le plus coûteux. En règle générale, et dans la mesure du possible, il est ensouillé plus profondément.

La pose de ces câbles est une opération bien maîtrisée mais très onéreuse : le câble en lui-même est coûteux et son ensouillage l'est également. Pour le câble de raccordement à terre, chaque kilomètre coûte 500 000 à un million d'euros, le chiffre variant en fonction de la nature des fonds.

²³⁸ *Fondations d'éoliennes posées : base gravitaire, monopieu ou jackets ?* <http://energiesdelamer.blogspot.fr>, 1 juin 2011.

Figure 17. Câble servant à raccorder les parcs danois au réseau électrique.



Source : © Nass&Wind.

- L'assemblage des éoliennes à terre

Les différents éléments des éoliennes sont assemblés ou pré-assemblés à terre (en fonction des caractéristiques du navire de pose). Cette opération nécessite des espaces portuaires importants pour le stockage, ainsi que de grandes capacités logistiques. Elle est si possible réalisée à proximité du parc. Le montage d'un parc s'étalant sur une, deux ou trois années, il ne s'agit pas d'une activité pérenne, à moins que le port ne soit situé à proximité de plusieurs projets de parcs.

- L'installation des éoliennes en mer

Cette étape fait intervenir des barges ou des navires spécialisés, capables de travailler avec précision à des hauteurs importantes malgré le poids des machines et les états de mer. Ce dernier point est particulièrement important, car la location de ces navires, qui ne peuvent pas opérer par tous les temps, coûte cher²³⁹. Le coût des opérations de levage est alors cinq à dix fois plus important que pour des éoliennes terrestres²⁴⁰.

²³⁹ Pour le parc de London Array, par exemple, le prix de la location du navire autoélévateur est de 70 000 euros par jour. L'Usine Nouvelle, 14 avril 2011. *L'envol britannique*.

²⁴⁰ Scottish Enterprise, septembre 2011. *A guide to offshore wind*.

Figure 18. Installation des éoliennes sur le parc d'Alpha Ventus en Allemagne (2009).



Source : © Areva, Oelker Jan.

- Les navires de pose

Les navires répondant à ces exigences sont peu nombreux et donc très demandés. Au début de l'année 2012, 10 barges autoélevatrices et 10 navires spécifiquement dédiés à la pose d'éoliennes étaient en service. 12 navires supplémentaires doivent être livrés entre 2012 et 2014. Jusqu'à présent, ces navires de nouvelle génération ont été conçus en Europe du Nord mais construits en Asie²⁴¹.

Figure 19. Navire de pose sur le parc d'Alpha Ventus.



Source : © Areva, Oelker Jan.

²⁴¹ Le Marin, 8 juin 2012. *Navires de pose : plus gros et plus autonomes.*

- Le port logistique

L'installation en mer des différents éléments du parc nécessite des conditions météorologiques relativement clémentes. Il n'est donc pas toujours possible d'installer les éléments au rythme où ils sont fabriqués. C'est pourquoi ils sont pré-assemblés et stockés dans un port de base en attendant d'être installés en mer.

1.4. L'exploitation et la maintenance du parc

- La maintenance des éoliennes

Sur le champ danois de Nysted, chaque éolienne nécessite 6 à 10 interventions par an. Celles-ci sont habituellement réalisées par des techniciens ayant reçu une formation à la maintenance d'éoliennes à terre complétée par une spécialisation destinée à mariner leurs compétences. Pour les champs français, les opérateurs estiment qu'il sera nécessaire de créer l'équivalent d'un emploi par éolienne, en comptant les techniciens de maintenance, les pilotes et les équipes à terre.

Ces activités sont prises en charge par des entreprises spécialisées, des sociétés de l'offshore pétrolier ou encore par les énergéticiens eux-mêmes (c'est le parti-pris de Dong).

Le port de maintenance doit permettre le stockage de pièces de rechange, être le plus proche possible du parc et accessible à toute heure, 7 jours sur 7.

- Les navires de maintenance

Les équipes de maintenance utilisent des hélicoptères ainsi que des navires mesurant quinze à trente mètres, permettant de les transporter rapidement et dans de bonnes conditions même lorsque le temps est mauvais. Ces navires doivent également pouvoir embarquer certaines pièces des éoliennes pour procéder à leur remplacement. Chaque champ français nécessitera la construction de deux navires au moins tandis qu'à l'échelle européenne, un triplement du nombre de ces navires est attendu avant 2016²⁴². Il s'agit d'une possibilité de diversification pour des chantiers navals locaux.

2. Trois exemples de structuration de la filière

Les acteurs de la chaîne d'activités de l'éolien offshore sont majoritairement implantés dans trois pays, au sein desquels la structuration de la filière emprunte des voies différentes.

²⁴² Le Marin, 8 juin 2012. *Navires de pose : plus gros et plus autonomes.*

2.1. Au Danemark, le marché intérieur comme tremplin

Au Danemark, le développement de l'éolien en mer est planifié par l'État. Relativement étroit en comparaison avec les marchés britanniques ou allemands actuels, ce marché a toutefois été plus précoce (854 MW étaient déjà installés en juin 2011). C'est pourquoi il a permis aux entreprises danoises d'être les premières à développer une expertise, sur la base de leur savoir-faire dans l'éolien terrestre ainsi que dans l'offshore pétrolier.

Ces entreprises sont aujourd'hui parmi les plus compétitives en Europe, et présentes sur la plupart des segments du marché. Des deux turbiniers leaders de l'éolien offshore, l'un est danois (Vestas) et l'autre est un Allemand dont l'usine est installée au Danemark (Siemens, après rachat du danois Bonus). Les leaders sur le marché des pales (LM Wind power) ainsi que de l'installation en mer (A2Sea) et l'énergéticien exploitant le plus grand nombre de parcs en mer (Dong) sont également danois.

Ces atouts bénéficient en premier lieu au port d'Esbjerg. En investissant dans des infrastructures adaptées dès la fin des années 1990²⁴³, la ville est devenue un pivot de l'industrie éolienne européenne. En 2010, 2 000 personnes travaillaient pour l'industrie éolienne offshore dans ce port par lequel transitent les deux tiers des aérogénérateurs fabriqués au Danemark avant d'être installés dans toute l'Europe. En outre, la croissance du marché ainsi que de nouveaux investissements d'infrastructures vont permettre d'y créer des emplois supplémentaires²⁴⁴.

2.2. En Allemagne, la filière profite des acquis de l'éolien terrestre

Fin 2011, la puissance éolienne terrestre installée en Allemagne s'élevait à plus de 29 GW²⁴⁵, ce qui fait du pays le premier producteur européen d'énergie éolienne. Ce marché intérieur a permis aux entreprises allemandes de se positionner sur tous les aspects de la chaîne de valeur de l'éolien terrestre.

Seule une infime partie de l'électricité éolienne allemande est produite en mer, mais l'État fédéral et les Länder se sont fixé des objectifs ambitieux dans ce domaine : installer 10 GW d'éolien offshore en 2020, 25 GW en 2030 et 40 GW en 2050.

Alors même que ce nouveau secteur n'en est qu'à ses balbutiements en Allemagne, les entreprises allemandes sont déjà présentes sur le marché européen de l'éolien offshore, sur lequel leur expertise de l'éolien terrestre constitue un avantage comparatif. Elles bénéficient pour cela de l'appui des pouvoirs publics, qui favorisent le transfert de compétences, l'innovation et la structuration de la filière. Cette politique passe par un soutien à la recherche (avec notamment un site pilote : Alpha

²⁴³ *Voyage au pays de l'éolien offshore*. www.terraeco.net, 4 juin 2010.

²⁴⁴ La Gazette des Communes, 25 octobre 2010. *Esbjerg ancre au large son développement*.

²⁴⁵ EWEA, février 2012. *Wind in power. 2011 European statistics*.

Ventus) ainsi que par des investissements publics et privés dans les infrastructures portuaires, à hauteur de 500 millions d'euros pour la seule année 2010²⁴⁶.

Fortes de ce soutien, les entreprises allemandes figurent aujourd'hui parmi les leaders du secteur, grâce notamment aux turbiniéristes Siemens, Bard et Repower. En 2010, l'éolien en mer employait déjà 4 000 personnes dans le pays²⁴⁷. Ces emplois se situent principalement dans les ports de Bremerhaven, Cuxhaven et Emden, qui concentrent les activités de fabrication, d'assemblage et d'expédition des éoliennes.

2.3. Au Royaume-Uni, une approche libérale

Relativement limitées, les créations d'emplois dans le secteur de l'éolien en mer au Royaume-Uni ne sont pas révélatrices du dynamisme du marché. Alors que le pays exploitait plus de 2 000 MW en mer au début de l'année 2012 (dix fois plus que l'Allemagne) et prévoit encore de décupler ces capacités, la filière britannique représente 4 000 emplois au début de l'année 2012²⁴⁸, soit autant que la filière allemande deux ans auparavant. Cette situation s'explique par l'approche choisie par le gouvernement britannique : résolument libérale, celle-ci privilégie la réduction des coûts à la création d'emplois industriels locaux. Fidèles à ce parti-pris, les appels d'offres n'intègrent pas de clause industrielle. En revanche, le gouvernement britannique a fixé un objectif précis de réduction du coût de l'électricité éolienne : 30 % à l'horizon 2020²⁴⁹.

Quelques ports du Royaume-Uni, souvent privés, se positionnent pour accueillir les activités de fabrication, de logistique et de maintenance. Belfast, Leigh, Harwich et Great Yarmouth ont annoncé des investissements importants en ce sens ainsi que des accords avec des industriels du secteur, mais les projets sont parfois ralentis par la frilosité de ces derniers²⁵⁰. Et si les turbiniéristes allemands, danois, espagnols et japonais retenus pour les parcs ont promis de créer des milliers d'emplois en installant des usines sur le sol britannique, les décisions sont suspendues dans l'attente d'une plus grande visibilité politique²⁵¹.

Dans ces conditions, les éoliennes installées au Royaume-Uni n'y sont pas fabriquées et les industriels britanniques doivent se contenter d'activités de sous-traitance et d'assemblage.

Le projet de London Array, par exemple, est développé conjointement par une société danoise (Dong), une société allemande (E.ON) et une société d'Abu Dhabi (Masdar). La première tranche de ce parc devrait être terminée à la fin de l'année 2012. Son installation fait appel à des entreprises de nombreux pays, parmi

²⁴⁶ Présentation du Bureau de coordination énergies renouvelables *Les retombées économiques et sociales de l'éolien offshore en région*, lors des Assises de l'énergie, le 26 janvier 2012 à Dunkerque.

²⁴⁷ *Ibid.*

²⁴⁸ Le Marin, 29 juin 2012. *Éolien offshore : au Royaume-Uni, les Nordiques sont rois.*

²⁴⁹ Le Marin, 29 juin 2012. *Bruce Valpy : Le coût de l'électricité devra baisser de 30 %.*

²⁵⁰ The Guardian, 6 février 2012. *Offshore wind turbines set to benefit British industries. Vestas scraps UK wind-turbine plant as industry seeks clarity.* www.renewableenergyworld.com, 22 juin 2012.

²⁵¹ Le Marin, 8 juin 2012. *Royaume-Uni : le leader veut multiplier ses installations par dix.*

lesquelles les britanniques jouent un rôle de second plan : les fondations sont fabriquées en Allemagne, les sous-stations en Belgique, les câbles en Norvège, le navire de pose en Chine tandis que les éoliennes sont assemblées au Danemark²⁵².

En revanche, les entreprises britanniques spécialisées dans l'offshore pétrolier ou gazier sont très présentes, grâce à des compétences qui s'avèrent transférables à l'installation de parcs, à leur maintenance ainsi qu'à la conception et la fabrication des fondations ou des sous-stations. C'est par exemple une société spécialiste de l'offshore pétrolier qui a conçu les premières fondations jacket pour éoliennes, celles du parc démonstrateur de Beatrice (Écosse).

3. En France : la volonté politique et les stratégies industrielles se rejoignent

En 2009, le rapport du CESER était parmi les premiers à montrer le potentiel de développement industriel de la filière des énergies marines. Cet enjeu semble aujourd'hui faire aujourd'hui consensus, alors que trois dynamiques conjointes ont radicalement transformé la situation de l'industrie française.

3.1. Le positionnement de grands industriels

D'abord, plusieurs groupes français ont renforcé leurs positions sur le marché des EMR en achetant des technologies mises au point par des entreprises de l'hydrolien ou de l'éolien offshore. Sur ce dernier secteur, les deux opérations les plus importantes sont :

- Le rachat de Multibrid par Areva

Multibrid, fabricant allemand de grandes éoliennes destinées à l'offshore, a été acheté par Areva en deux étapes (2007 et 2010). Devenue Areva Wind, la société a mis au point une turbine de 5 MW, la M5000, testée depuis 2009 sur le site d'essais d'Alpha Ventus en Allemagne. Ces tests ont permis d'éprouver la machine, et Areva développe désormais à Bremerhaven son premier outil de production industrielle.

- Le rachat d'Ecotécnica par Alstom

Le rachat du turbinier espagnol Ecotécnica par Alstom en 2007 a permis au groupe français de prendre pied sur le marché de l'éolien et de mettre au point une éolienne offshore de grande puissance en quelques années seulement. Un premier prototype de l'Haliade 150 (6 MW) est testé à terre près de Saint-Nazaire depuis le début de l'année 2012.

²⁵² L'Usine Nouvelle, 14 avril 2011. *L'envol britannique*.

Ces deux acquisitions ont permis à deux groupes industriels français de se positionner directement sur une partie stratégique de la chaîne de valeur, mais pas de donner une impulsion directe à la filière en France.

Ne disposant ni de marché clair ni des mêmes compétences que le Danemark, ou l'Allemagne, la France de 2009 ou 2010 ne semblait en effet pas propice à l'installation de sites d'assemblage de turbines sur son sol. Il semblait alors difficile, pour les acteurs français, de se positionner sur ce marché - y compris en tant que sous-traitants. Parmi d'autres, l'Agence économique de Bretagne considérait par exemple que « *pour les machines, la filière est constituée. Il n'y a pas beaucoup de place* »²⁵³.

3.2. La prise de conscience du potentiel de l'industrie française

Quatre rapports publiés en 2010 ont montré que les acteurs français de l'éolien pouvaient tout de même avoir un rôle à jouer dans l'éolien en mer.

3.2.1. L'initiative Windustry France : une volonté de développer l'industrie éolienne

Lancée en 2009, l'initiative Windustry France avait pour but d'associer l'État et les industriels du secteur autour de la promotion de la filière éolienne française. Première étape de cette initiative, l'étude menée en 2009 par le cabinet Capgemini recensait les compétences présentes sur le territoire national et dressait un constat encourageant²⁵⁴ :

- si la France ne compte pas de grands turbiniers, les 140 entreprises de son industrie éolienne emploient tout de même 10 000 personnes ;
- plus de 150 entreprises françaises, appartenant à des secteurs industriels variés, ont manifesté leur intérêt pour la fabrication de composants d'éoliennes ;
- le marché mondial étant très dynamique, le moment est bien choisi pour renforcer la position des industriels français ;
- au vu des compétences présentes sur son territoire, la France pourrait jouer un rôle plus important dans la sous-traitance pour les leaders européens. Il est rappelé que 7 des 10 principaux turbiniers sont européens ;
- enfin, les objectifs du Grenelle de l'environnement permettent d'envisager la création d'une filière complète en France, comme cela s'est fait en Espagne et au Portugal.

Le rapport concluait qu'il existait une opportunité pour multiplier par six les emplois en France dans la filière d'ici 2020 et proposait une méthodologie de mobilisation des acteurs.

²⁵³ Le Marin, 26 novembre 2010. *Industrie française : il n'est pas encore trop tard.*

²⁵⁴ Capgemini Consulting, mars 2010. *Windustry France. L'éolien se tourne vers les savoir-faire industriels français.*

Cette initiative a permis de relativiser l'idée selon laquelle les industriels français de l'éolien seraient condamnés à se positionner en ordre dispersé sur des opérations de sous-traitance, tout en montrant la nécessité d'introduire une dynamique de filière.

3.2.2. Le rapport PwC : « *Éolien offshore : vers la création d'une filière industrielle française ?* »

Publié par le Cabinet PricewaterhouseCoopers France, un second rapport²⁵⁵ spécifiquement dédié à l'éolien en mer est parvenu à des conclusions comparables.

Après avoir rappelé que la France ne disposait pas de filière éolienne complète, il montrait que le pays disposait toutefois de compétences utiles sur le marché de l'éolien en mer – lequel se trouvait devant d'immenses perspectives de développement. Le rapport concluait que les conditions de marché ne permettaient pas d'envisager l'implantation d'une usine de turbines en France mais qu'il existait tout de même des opportunités de développement industriel. Pour renforcer cette dynamique, il préconisait de lancer un appel d'offres qui permettrait à la filière de se structurer et aux acteurs français de renforcer leur compétitivité face à leurs concurrents européens.

3.2.3. Des rapports parlementaires qui soulignent le potentiel économique de l'éolien en mer

Plusieurs travaux menés par des parlementaires ont encore renforcé cette idée selon laquelle l'éolien en mer offrirait d'importantes perspectives de développement industriel.

La sénatrice Gisèle GAUTIER a été chargée par le Premier Ministre d'une mission ministérielle sur le développement des compétences dans le secteur des énergies marines renouvelables. Son rapport²⁵⁶ indiquait qu'« *à la différence des énergies précédentes, les énergies marines sont une opportunité pour la France de développer une industrie exportatrice et créatrice d'emplois* ». La création d'une filière industrielle complète pour l'éolien offshore n'était toutefois pas envisagée, le rapport considérant que les turbines pouvaient être importées d'Allemagne ou du Danemark.

Alors que ses conclusions ont souvent été jugées défavorables à l'industrie éolienne²⁵⁷, le rapport de la mission d'information parlementaire sur l'énergie éolienne²⁵⁸ était optimiste en ce qui concernait l'éolien en mer. Il recommandait en effet « *une forte présence de la recherche et de l'industrie dans le domaine des ressources marines et notamment de l'éolien offshore afin de fédérer ce qui devra constituer, à terme, une filière française compétitive* ».

²⁵⁵ PwC, décembre 2010. *Éolien offshore : vers la création d'une filière industrielle française ?*

²⁵⁶ GAUTIER G., décembre 2010. *Rapport Énergies Marines Renouvelables. Emplois, compétences, formation, quelles perspectives d'avenir ?*

²⁵⁷ *Le rapport qui relance la polémique sur l'éolien*. www.latribune.fr, 2 avril 2010 ; *Rapport Ollier : vouloir limiter l'éolien est absurde, selon Marc Vergnet*. www.industrie.com, 1 avril 2010.

²⁵⁸ REYNIER F., mars 2010. *Rapport d'Information de la mission d'information commune sur l'énergie éolienne*.

Ces travaux témoignent d'un changement de perception. Suite à leur publication, il apparaît clairement désormais que les entreprises françaises peuvent jouer un rôle dans le marché de l'éolien offshore, à condition de s'organiser efficacement dans ce domaine.

3.3. Un appel d'offres orienté vers la création d'une filière

Au niveau gouvernemental, les années 2009, 2010 et 2011 ont été marquées par la convergence entre politique énergétique et politique industrielle, laquelle a permis une structuration très rapide de la filière éolienne offshore.

3.3.1. Une activité cohérente avec l'approche retenue par la politique industrielle nationale

Dans la plupart des pays développés, la politique industrielle nationale a connu un renouveau au cours des dernières années. En France également, une nouvelle approche s'est imposée, dont les grandes orientations sont :

- Une politique attentive aux externalités de l'industrie

Les grands pays développés portent une attention croissante aux externalités de l'activité économique, c'est pourquoi le soutien à l'économie se tourne de plus en plus vers les technologies « vertes ». En France, les Investissements d'avenir ont pour but de favoriser la transition vers un modèle de développement plus durable, dont les deux piliers seraient l'économie de la connaissance et l'économie décarbonée.

- La priorité donnée à l'innovation

Selon le Centre d'analyse stratégique, « *la politique industrielle s'apparente de plus en plus à une politique d'innovation ciblée* »²⁵⁹. Dans ce cadre, nombre de ses outils visent à soutenir directement la recherche privée (Crédit Impôt Recherche) ainsi qu'à favoriser des synergies entre recherches publique et privée et entre disciplines (Pôles de compétitivité, Investissements d'avenir).

- L'État comme catalyseur

L'action de l'État en matière industrielle est moins descendante que par le passé : désormais, il joue davantage un rôle de coordinateur entre des acteurs hétérogènes par leur statut, leur taille ou leur secteur d'appartenance. Il s'agit alors de favoriser des « écosystèmes » économiques. Dans cette perspective, les outils de la politique industrielle sont conçus comme des catalyseurs devant favoriser la mise en mouvement des acteurs et créer des synergies entre eux : appels d'offres pour la

²⁵⁹ Centre d'analyse stratégique, septembre 2011. *Investissements d'avenir et politique industrielle en Europe : quel ciblage et quelle sélection des projets innovants ?*

répartition des Investissements d'avenir, pour l'octroi de crédits via les Pôles de compétitivité...

Les énergies marines renouvelables entrent parfaitement dans ce cadre :

- il apparaît désormais clairement que les progrès technologiques dans ce secteur permettront de créer de l'activité industrielle tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et la dépendance énergétique de la Nation;
- il s'agit d'un secteur fortement innovant, dans lequel les pays développés possèdent une avance indéniable, tant en termes de connaissances que de savoir-faire. La France ne fait pas exception, puisque son retard dans le domaine de l'éolien offshore semble pouvoir être comblé tandis que les acteurs français des autres EMR sont bien placés ;
- ces conditions peuvent permettre de créer en France des industries exportatrices ;
- pour tirer parti de ces opportunités, il est indispensable d'adopter une approche de filière à même de créer des synergies entre les différents acteurs ;
- cette approche de filière n'est toutefois pas suffisante pour rendre compte de la complexité d'un tel système productif. Le champ des EMR faisant appel à des nombreux domaines tels que les TIC, les matériaux, l'électronique, les sciences de la mer, il ne peut se développer que dans le cadre d'échanges avec les autres secteurs d'activité.

Dans ces conditions, l'action de l'État en faveur des EMR n'intervient pas seulement en réponse à des objectifs énergétiques et environnementaux : il s'agit également d'un acte de politique industrielle, comme l'a indiqué le Président de la République dans un discours sur la politique maritime du pays²⁶⁰.

3.3.2. Une clause industrielle dans l'appel d'offres pour l'éolien en mer

Les industriels du secteur des énergies renouvelables ainsi que les énergéticiens ont souvent répété que leurs investissements en France étaient freinés par le manque de planification ainsi que par le flou régnant autour des conditions de rachat de l'électricité.

La possibilité de créer en France une filière éolienne offshore en France ne peut se concrétiser qu'à la faveur d'un marché intérieur²⁶¹. L'appel d'offres lancé en juillet 2011 visait précisément à en définir les contours.

²⁶⁰ « Nous devons en particulier tout miser sur les technologies émergentes, les technologies de rupture, où la France pourra faire la différence. Je pense aux éoliennes offshore [...]. Je pense à l'énergie de la houle et des courants. Je pense à l'énergie thermique des mers, si bien adaptée à nos vastes eaux tropicales et équatoriales d'outremer. Je pense aussi à la biomasse marine [...] Nous devons appuyer cette stratégie d'équipement en énergies renouvelables, issue du Grenelle de l'Environnement, sur une véritable politique industrielle, pour développer à partir de nos besoins nationaux des filières performantes qui exporteront ensuite nos technologies dans le monde entier. » Discours de M. le Président de la République sur la politique maritime de la France, prononcé au Havre le 16 juillet 2009.

²⁶¹ Intervention de M. Philippe COCHET, de l'entreprise Alstom Power, lors de la table ronde consacrée aux EMR dans le cadre des 6^e assises de l'Économie de la Mer, les 30 novembre et 1^{er} décembre 2010 à Toulon.

Le cahier des charges de l'appel d'offres a permis à l'État d'aller plus loin, en intégrant une clause industrielle. En vertu de ce document, les réponses des candidats ont été évaluées en tenant compte du prix de vente de l'électricité (40 % de la note), du programme industriel (40 % de la note) ainsi que de la prise en compte des usages de la mer et des impacts environnementaux (20 % de la note).

Le dossier étant noté sur 100 points, 40 concernaient donc la partie industrielle, répartis comme suit :

- maîtrise des risques techniques et financiers : 22 points ;
- fiabilité des capacités de production : 14 points ;
- impact des activités industrielles : 2 points ;
- recherche et développement : 2 points.

Le but affiché de ce volet industriel consistait à s'assurer que les projets étaient robustes et cohérents, avec des risques maîtrisés et des filières d'approvisionnement sécurisées autant que possible.

Le cahier des charges n'imposait pas l'implantation d'usines en France. Lors de sa présentation, il a toutefois été précisé que : *« l'État attend avant tout des projets favorisant « l'effet filière ». C'est le souhait clairement affiché dans tous les appels d'offres. Contrairement aux dispositifs de R&D, où seul le projet compte, les projets retenus doivent engendrer une dynamique impliquant des leaders et des sous-traitants. Ces projets sont coopératifs et amènent à un partage des savoir-faire. L'objectif est de mieux positionner la filière française sur les marchés »*²⁶².

L'existence de cette clause industrielle a été critiquée par plusieurs observateurs étrangers, et notamment par la fédération des machines-outils allemande (VDMA), qui a mis en garde le gouvernement contre un possible favoritisme dans l'attribution des zones²⁶³.

Elle semble avoir favorisé la mobilisation des énergéticiens et industriels français qui, de fait, a été extrêmement rapide.

3.4. L'implantation de maîtres d'œuvre industriels en France

L'appel d'offres a impulsé une dynamique de filière avec, en premier lieu, la création de consortiums rassemblant :

- un ou plusieurs énergéticiens, qu'il s'agisse de géants nationaux comme EDF, Iberdrola, GDF-Suez ou encore d'entreprises plus petites mais ayant une longue expérience du terrain pour avoir porté des projets avant le lancement de l'appel d'offres : Nass&Wind, wpd Offshore, La Compagnie du Vent, Eole-Res ou Powéo ;

²⁶² Présentation du soutien industriel à la filière éolienne en mer lors de la Conférence sur le lancement de l'éolien offshore par M. Yves ROBIN, chef du service industrie de la DGCIS, 12 juillet 2011.

²⁶³ L'Usine Nouvelle, 16 février 2012. *Areva-Alstom : partage des eaux dans l'éolien. Futurs parcs d'éoliennes en mer : remise des offres des candidats et polémique sur le favoritisme national.* www.lagazette.fr, 12 janvier 2012.

- un développeur spécialisé dans l'offshore (Technip) ou les infrastructures maritimes (Vinci) ;
- un turbinier : Areva, Alstom ou Siemens.

En outre, le marché a été jugé suffisamment important par les deux turbiniers français de l'éolien offshore pour permettre l'implantation d'usines en France. Quelques jours après la publication du cahier des charges, Areva s'engageait à installer un site d'assemblage de son éolienne au Havre s'il remportait au moins deux parcs²⁶⁴. Moins de deux mois plus tard, Alstom précisait ses intentions et indiquait sa volonté d'implanter des usines à Saint-Nazaire et Cherbourg, à condition de se voir attribuer un marché correspondant au minimum à 1 000 MW²⁶⁵.

Alors que la Commission de régulation de l'énergie (CRE) proposait d'attribuer 4 parcs au consortium EDF/Dong/Alstom et de refuser le seul projet proposé pour la zone du Tréport, l'État a finalement choisi d'attribuer un parc au consortium Iberdrola/Eole-Res/Areva. Le Ministre de l'énergie justifiait ce choix en indiquant : *« nous avons la conviction qu'une filière industrielle pérenne doit s'appuyer sur plusieurs acteurs structurants, permettant de répartir l'effort industriel et donc le risque associé. Ce choix permet aussi de garantir la sécurité de l'approvisionnement et de bénéficier de l'expérience d'opérateurs étrangers dans ce domaine »*²⁶⁶.

Bien que n'ayant qu'un seul champ à approvisionner, Areva a confirmé l'installation de son usine au Havre en précisant que son association avec Iberdrola permettrait d'ouvrir des débouchés à l'export pour les éoliennes fabriquées en France, le groupe espagnol s'étant vu attribuer des sites dans le cadre des appels d'offres britanniques²⁶⁷.

Les réponses et les résultats de l'appel d'offres montrent que si l'on ne peut pas parler de protectionnisme (les groupes Dong et Iberdrola étant appelés à jouer un rôle-clé dans l'éolien en mer français), il existe une grande convergence entre la stratégie industrielle de l'État et celles des deux turbiniers français. Dans la rédaction du cahier des charges, le gouvernement a d'ailleurs été attentif à ce que la temporalité de l'appel d'offres soit compatible avec celle du développement industriel²⁶⁸.

Cette convergence entre la politique énergétique et les stratégies industrielles semble également de mise dans le domaine de l'hydrolien, comme en témoigne le fait que l'appel d'offres pour la filière ait été annoncé par le Ministre de l'énergie depuis le siège parisien de DCNS. Cette entreprise entend en effet être la première à produire en série des hydroliennes, tant pour le marché français que pour l'export²⁶⁹.

²⁶⁴ Les Echos, 29 septembre 2011. *Areva choisit Le Havre pour sa future usine d'éoliennes.*

²⁶⁵ Ouest-France, 4 novembre 2011. *Alstom ancre l'éolien à Saint-Nazaire et Cherbourg.*

²⁶⁶ Le Marin, 13 avril 2012. *Éolien en mer : trois champs sur cinq pour EDF.*

²⁶⁷ Le Figaro Magazine, 22 juin 2012. *Paimpol-Goëlo. Une porte verte vers les énergies bleues.*

²⁶⁸ SER Magazine, octobre 2011. *Une procédure donnant toutes les chances d'aboutir aux projets sélectionnés.*

²⁶⁹ *Hydrolien : la France ne veut pas répéter l'erreur de l'éolien offshore.* www.actu-environnement.com, 20 mars 2012.

3.5. Des opportunités de partenariats et de sous-traitance

Alors que le cahier des charges encourageait déjà le recours à des compétences françaises pour les diverses opérations intervenant dans l'installation d'un parc, les annonces d'Areva et d'Alstom permettent d'envisager en sus des retombées en termes de sous-traitance pour les turbiniers.

A ce stade, les entreprises françaises sont largement absentes de la chaîne de valeur, et seul un petit nombre d'entreprises sont positionnées sur des aspects stratégiques de la filière : Areva, Alstom, Nexans, Converteam, Rollix Defontaine, Leroy Somer, etc.

Mais les consortiums sont très attentifs à leur image, dans un domaine où les risques d'oppositions demeurent élevés. C'est pourquoi ils ont souvent annoncé qu'ils privilégieraient le recours à des entreprises et à des travailleurs locaux. Areva annonce ainsi que 80 % des composants des nacelles assemblées au Havre seraient sous-traités. De son côté, Alstom évoque le chiffre de 200 sous-traitants impliqués dans ses projets liés à l'éolien en mer.

L'implantation de sites de production de turbines, pales, mâts et fondations en France fournira alors un supplément d'activités à de nombreuses entreprises françaises, sous-traitantes ou fournisseurs.

Ces entreprises peuvent également se positionner sur d'autres aspects de la filière : travaux maritimes, études océanographiques, construction de navires, etc. Le secteur de la construction navale, par exemple, peut y trouver une source de diversification lui permettant de faire face aux incertitudes de la période actuelle.

Dès lors, l'accompagnement des acteurs économiques vers la filière éolienne offshore ne doit pas se limiter aux turbiniers et à leurs sous-traitants mais prendre en compte le système productif dans toute sa diversité.

3.6. L'enjeu de la pérennité des activités créées

Le premier appel d'offres a permis d'impulser une structuration très rapide du système productif. Celle-ci reste aujourd'hui à concrétiser. Pour que cette dynamique se pérennise, deux stratégies doivent être menées de front, à deux échelles différentes :

- l'ouverture d'un second appel d'offres pour donner aux investisseurs une meilleure visibilité sur le marché national ;
- la mobilisation de tous les acteurs de manière à maximiser les retombées pour les territoires.

Si cette filière trouve sur le marché intérieur des conditions favorables à sa structuration, elle ne peut être viable qu'en visant, à terme, le développement à l'export. Sa compétitivité à l'export nécessitera d'importants investissements, tant publics (infrastructures portuaires, recherche...) que privés (les outils de production étant parfois très spécifiques).

Il convient de replacer cette dynamique industrielle dans une perspective de plus long terme, en ayant dès à présent une réflexion sur l'hydrolien, l'éolien flottant et le houlomoteur, qui pourraient constituer des relais de croissance pour nombre d'acteurs de l'éolien posé et pérenniser les emplois créés.

Une étude du GICAN (Groupement des industries de construction et des activités navales) montre d'ailleurs que les industriels français sont présents sur toutes les technologies des EMR et estime que si l'éolien offshore posé peut mener à la création de 10 000 emplois en France, l'éolien flottant, l'hydrolien, le houlomoteur et l'ETM réunis permettraient d'en créer 11 000 supplémentaires²⁷⁰.

Parmi les groupes industriels français déjà positionnés sur les marchés internationaux des énergies marines (hors éolien posé), les plus actifs sont :

- DCNS, notamment par le biais de sa participation au capital d'OpenHydro. La société irlandaise participe par exemple à un consortium qui s'est vu attribuer un site pour un projet hydrolien de 200 MW dans le détroit de Pentland Firth (Écosse). DCNS possède également des projets houlomoteurs et ETM sur plusieurs continents ;
- Alstom, engagé sur des projets houlomoteurs et hydroliens au Royaume-Uni, et en France ;
- Technip, spécialiste de l'offshore pétrolier qui est déjà engagé dans l'éolien offshore flottant (participation aux projets HyWind et Vertiwind) ;
- Nexans, fournisseur de câbles engagé sur de nombreux projets, dont HyWind.

Le CESER rappelle alors l'importance de **ne pas focaliser le soutien au développement industriel des EMR sur la seule filière de l'éolien offshore posé. D'autres technologies sont en capacité de passer prochainement au stade industriel, et il est nécessaire de les soutenir de manière à ce qu'elles créent de l'activité en France.** Il faut rappeler en effet que plusieurs pays ont annoncé des politiques de rachat très attractives (Royaume-Uni, Irlande) ou des subventions importantes (Australie) dans l'espoir d'attirer les premiers parcs, mais également les premiers sites de production industrielle pour les EMR.

²⁷⁰ Intervention de M. Pierre MONTFORT, directeur de l'Institut des Métiers DCNS lors des entretiens énergies de la mer, le 27 juin 2012 à Brest.

Chapitre 7

La Bretagne a un rôle-clé à jouer dans la filière des énergies marines

1.	La Bretagne : une région qui compte dans le déploiement des énergies marines	151
1.1.	La proximité de la ressource	151
1.2.	Recherche, développement et innovation : des compétences reconnues	154
1.3.	Des infrastructures portuaires adaptées	154
1.4.	De nombreuses compétences industrielles	156
2.	De multiples projets structurants en prévision	158
2.1.	Éolien offshore posé : des opportunités à saisir rapidement	158
2.2.	Hydrolien : des atouts mais pas encore de projets industriels	160
2.3.	Éolien flottant : un projet industriel majeur	161
3.	Une filière industrielle qui se structure à l'échelle du Grand Ouest	163
3.1.	La mobilisation des territoires	163
3.1.1.	Le recensement et la promotion des compétences	163
3.1.2.	La sensibilisation des acteurs économiques	164
3.1.3.	Les investissements dans les infrastructures portuaires	165
3.2.	Des retombées industrielles dans plusieurs régions	167

Suite au lancement de l'appel d'offres pour l'éolien posé, les pouvoirs publics comme les maîtres d'œuvre industriels ont multiplié les annonces concernant les retombées industrielles sur les territoires. Ces annonces dessinent une carte des principales implantations industrielles à venir, mais nombre d'entre elles restent à préciser ou à confirmer. Afin de montrer les liens entre ces différents projets et d'évaluer le réel potentiel de développement économique porté par les énergies marines en Bretagne, il convient de replacer ces évolutions dans un contexte plus large :

- d'un point de vue temporel, le passage au stade industriel d'autres technologies va conduire à l'apparition de nouvelles activités d'ici à 2020, ce qui se traduira par l'ouverture de nouveaux sites de production et/ou la pérennisation d'activités liées à l'éolien offshore posé;
- d'un point de vue spatial, l'éolien offshore posé et plus généralement la filière des énergies marines en général vont nécessairement faire appel à la complémentarité des territoires en termes de compétences, d'infrastructures portuaires et d'espaces disponibles.

Le déploiement industriel des énergies marines se fait donc par étapes, sur plusieurs territoires à la fois. Dans ce contexte, il apparaît que la Bretagne possède des atouts lui permettant de jouer un rôle-clé : elle dispose d'importantes ressources naturelles, d'un grand potentiel de recherche et d'innovation, ainsi que d'entreprises compétentes et d'infrastructures adaptées (1). De nombreux projets s'y développent aujourd'hui, qui seront structurants pour l'avenir de la Région (2) dans la mesure où ils peuvent permettre de l'inscrire pleinement dans une filière industrielle qui se développe à l'échelle du Grand Ouest (3).

1. La Bretagne : une région qui compte dans le déploiement des énergies marines

La Bretagne fait partie des régions avec lesquelles il faut compter pour le déploiement des énergies marines, et ce grâce à la complémentarité de ses atouts.

1.1. La proximité de la ressource

Située à l'entrée de la Manche, la Bretagne a la chance d'être exposée à la fois :

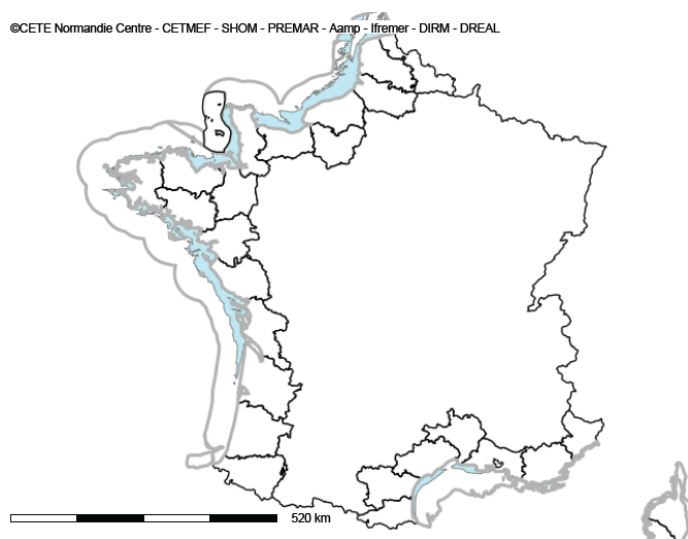
- aux régimes de vents type Mer du Nord ;
- à de forts courants marins ;
- à une houle régulière caractéristique de la façade atlantique.

- Ressource en vent

En Europe, la ressource éolienne exploitable par les technologies actuelles est très largement concentrée dans la Mer du Nord ainsi que dans la Manche, la Baltique et, dans une moindre mesure, l'Atlantique et la Mer d'Irlande. En France, la ressource est principalement située entre le Nord-Pas-de-Calais et les Pays de la Loire ainsi que dans le Golfe du Lion, où les fonds sont plus importants et nécessiteront l'installation d'éoliennes flottantes. Les côtes de Bretagne sont bien exposées aux différents

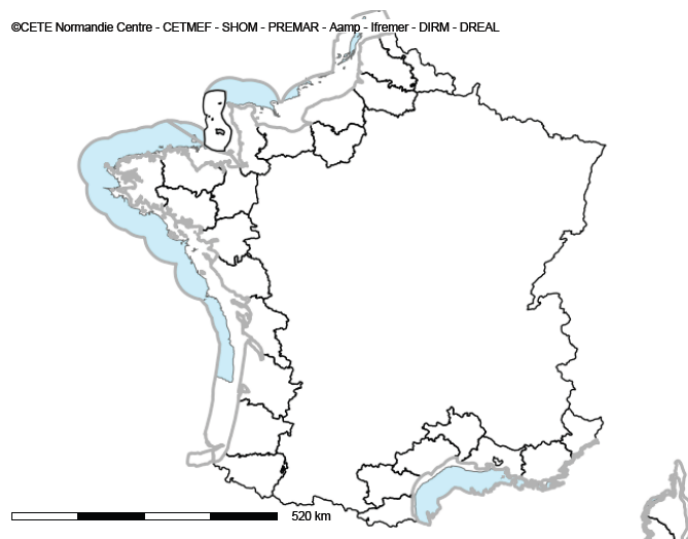
régimes de vents. Outre quelques zones propices à l'éolien posé, la Bretagne compte d'importantes zones favorables à l'éolien flottant.

Figure 20. Potentiel technique pour l'éolien posé en France métropolitaine.



Source : Géolittoral.

Figure 21. Potentiel technique pour l'éolien flottant en France métropolitaine.



Source : Géolittoral.

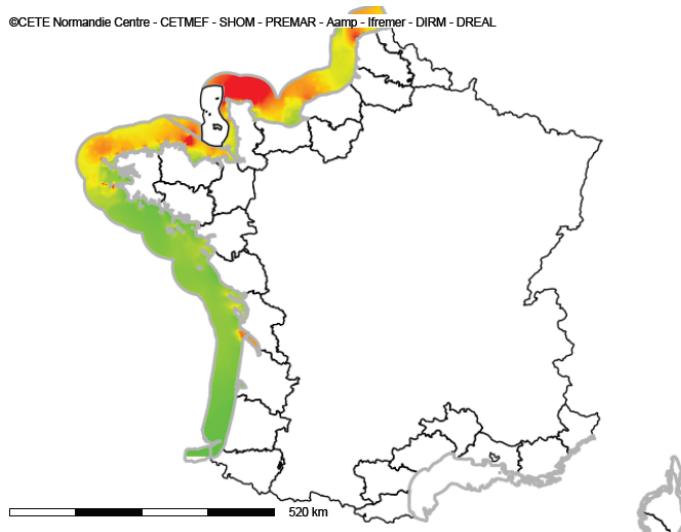
- Ressource en courants

La ressource hydrolienne en Europe concerne en majorité la Manche, la Mer d'Irlande, la Mer du Nord et l'Atlantique (de la pointe de la Bretagne à l'Écosse). 75 % du potentiel européen est situé au Royaume-Uni et 20 % en France²⁷¹. Les

²⁷¹ Présentation par EDF du projet de Paimpol-Bréhat lors des Rencontres internationales du Havre sur l'éolien en mer, 3 et 4 novembre 2009.

principaux gisements français se situent au niveau de la presqu'île du Cotentin (Raz Blanchard et Raz de Barfleur) et de la pointe bretonne (passage du Fromveur). La Bretagne dispose ainsi du deuxième potentiel de France pour l'exploitation de cette source d'énergie extrêmement localisée.

Figure 22. Vitesse des courants en France métropolitaine.

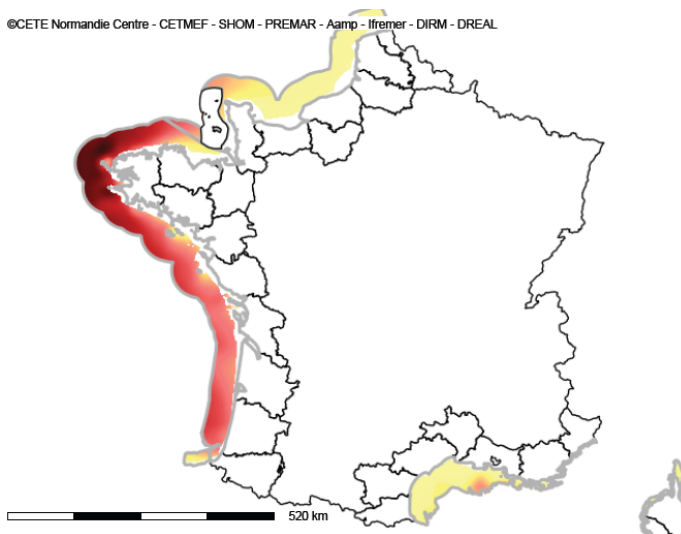


Source : Géolittoral.

- Ressource en vagues

Enfin, la ressource techniquement exploitable en Europe pour la récupération de l'énergie des vagues est principalement concentrée sur la façade atlantique. En France, les territoires concernés vont du nord de la Bretagne jusqu'aux Landes.

Figure 23. Puissance des vagues en France métropolitaine.



Source : Géolittoral

1.2. Recherche, développement et innovation : des compétences reconnues

En 2009, le CESER notait que « *la Bretagne dispose d'atouts certains dans le domaine de la mer et du littoral, ainsi que dans les actions de R&D* »²⁷². Ce constat renvoyait à la forte concentration, à Brest notamment, d'équipes de recherche dédiées aux sciences et technologies de la mer.

Depuis la parution du premier rapport du CESER sur les énergies marines, plusieurs acteurs bretons ont confirmé leur statut de pionniers dans la recherche française sur les énergies marines, grâce notamment à l'action du Pôle Mer Bretagne. Différents projets labellisés par le Pôle ont en effet commencé à se concrétiser (Sabella, EDF-Paimpol) tandis que d'autres verront le jour prochainement (Blustream, Winflo, Orca...). Dans quelques années, la région devrait ainsi compter trois sites pilotes (deux pour l'hydrolien, un pour l'éolien flottant), deux sites d'essais (pour l'hydrolien et l'éolien flottant) ainsi que plusieurs démonstrateurs.

Les équipes de recherche, publiques comme privées, se sont sensiblement renforcées. Brest accueille depuis décembre 2009 l'incubateur EMR de DCNS, qui emploie une soixantaine de personnes. La création d'une plateforme de recherche sur les énergies marines, souhaitée par le CESER en 2009, s'est concrétisée avec la mise en place de France Énergies Marines, qui conforte le poids de la Bretagne dans le champ très dynamique de la recherche sur les EMR. En effet, cette structure implantée à Brest a vocation à coordonner des travaux au niveau national et bénéficiera d'une visibilité internationale. A terme, elle devrait employer une centaine de personnes, qui seront principalement basées à Brest. Il s'agira alors probablement de la plus importante équipe de recherche entièrement dédiée aux EMR en Europe²⁷³.

1.3. Des infrastructures portuaires adaptées

Les exigences de la filière des énergies marines en termes d'infrastructures et d'espaces disponibles sont élevées. Par exemple, un port logistique doit permettre de stocker 25 % des éoliennes d'un parc, ce qui nécessite une surface minimale de 15 hectares. Les espaces nécessaires à la construction des fondations ou des mâts sont du même ordre. Ces terrains doivent, en outre, être situés bord à quai et accessibles en permanence.

En Grande-Bretagne, les ports susceptibles d'accueillir des sites de production ou même d'assemblage d'éoliennes sont extrêmement rares sur les côtes Sud et Est, faute d'infrastructures adaptées. Cette situation est liée au statut privé des ports. Il est souvent difficile pour les propriétaires d'investir dans des projets d'infrastructures onéreux, dont la rentabilité s'évalue sur le long terme.

²⁷² CESER de Bretagne, mars 2009. Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer ! Rapporteurs MM. Guy JOURDEN et Philippe MARCHAND.

²⁷³ Audition de M. Yann-Hervé DE ROECK (Ifremer), 8 mars 2012.

A contrario, les façades Manche et Atlantique de la France comptent plusieurs ports en eaux profondes qui possèdent certains atouts tels que :

- des infrastructures : quais lourds, grues, formes de radoub, etc. ;
- des espaces disponibles bord à quai, à condition parfois de déplacer certaines activités ou de réaliser des travaux d'aménagement ;
- des compétences liées à la présence d'activités de construction et de réparation navales.

Saint-Nazaire, Le Havre, Cherbourg et Brest se sont positionnés pour accueillir des activités liées à l'exploitation des énergies marines.

Brest possède en effet des caractéristiques favorables à l'accueil d'activités industrielles lourdes liées aux EMR :

- une rade protégée, avec une bathymétrie suffisante pour permettre l'accès des navires spécialisés ;
- la proximité de plusieurs sites français et britanniques propices pour le développement de l'éolien posé ainsi que des sites potentiels pour l'hydrolien, le houlomoteur et l'éolien flottant (en France, au Royaume-Uni, en Irlande et en Espagne) ;
- des compétences dans la construction et la réparation navales ;
- un polder de 50 hectares, directement accessible par voie routière et ferroviaire.

Pour valoriser ces atouts, le Conseil régional de Bretagne s'est engagé dans un programme d'investissements d'un montant total de 134 millions d'euros, pour lequel un chef de projet a été nommé. L'éolien en mer, posé et flottant, est au cœur de ce projet en trois phases :

1. création d'un quai lourd et stabilisation d'une partie du polder d'une part, dragage du chenal d'accès d'autre part (horizon 2015). Ces travaux permettront notamment d'implanter des activités logistiques et industrielles liées à l'éolien posé ;
2. stabilisation du reste du polder, construction d'un nouveau quai lourd et d'un terre-plein (horizon 2017), qui seront principalement destinés aux activités industrielles liées au projet Winflo ;
3. construction d'une digue, de nouveaux terre-pleins et dragage complémentaire des accès maritimes au polder (horizon 2020).

Figure 24. Le projet d'aménagement du polder du port de Brest.



Source : Région Bretagne.

Deux autres ports, en Bretagne, pourraient aussi servir de supports à certaines productions industrielles liées aux EMR :

- Lorient, où les chantiers STX ont déjà réalisé la barge destinée aux hydroliennes de Paimpol-Bréhat et pourraient produire des navires de maintenance pour les éoliennes, par exemple. A court terme, les espaces disponibles sont trop fragmentés pour envisager l'implantation de nouveaux sites de production liés à l'éolien offshore posé. A plus long terme et à condition de dépasser cette difficulté, les acteurs industriels lorientais pourraient envisager de se positionner comme fournisseurs pour le consortium Winacelles ;
- Saint-Malo, où des consortiums envisagent d'effectuer certaines activités logistiques liées aux câbles des parcs éoliens.

Propriétaire de ces trois ports, le Conseil régional développe une stratégie portuaire axée sur la complémentarité et les synergies entre les différentes places portuaires. Ainsi, Brest, Lorient et Saint-Malo font partie d'une même offre portuaire bretonne pour l'accueil des activités liées aux EMR.

1.4. De nombreuses compétences industrielles

Cinquième région industrielle de France, la Bretagne compte de nombreuses compétences utiles à la filière. Les entreprises concernées sont régulièrement

recensées par Bretagne Pôle Naval. Son annuaire 2012²⁷⁴ montre la diversité des compétences présentes sur les territoires.

Une centaine d'entreprises ont été identifiées, certaines pouvant se positionner sur un segment de la filière (par exemple les fondations gravitaires), tandis que d'autres sont plus polyvalentes (navires de servitude et fondations métalliques pour les chantiers Socarenam et STX Lorient, par exemple). Tous les maillons de la chaîne de valeur sont concernés, mais il apparaît que les entreprises bretonnes sont très présentes sur les aspects non industriels du système productif de l'éolien en mer (études, ingénierie...) ainsi que sur les activités de métallurgie et de construction navale. Ces deux segments d'activité ne sont pas propres à l'éolien offshore posé et peuvent trouver des applications au service de chacune des énergies marines.

Tableau 5. Identification des compétences bretonnes pouvant être utiles à la filière éolienne offshore.

Activités	Nombre de sociétés concernées
Ingénierie, études, contrôle et mesures physiques	37
Fabrication d'éléments de la turbine	13
Conception ou fabrication de sous-stations	14
Conception ou fabrication de fondations gravitaires	4
Conception ou fabrication de fondations métalliques	25
Transport, manutention, services portuaires	19
Assemblage à quai des turbines	10
Câblage et raccordement électrique	16
Installation en mer	7
Construction et exploitation des navires de servitude	25
Maintenance	35
Formation	7

Source : Bretagne Pôle Naval, 2011.

Cette initiative de recensement des compétences bretonnes s'est accompagnée de la commande d'un rapport sur la capacité des entreprises bretonnes à répondre aux besoins²⁷⁵. Ce rapport a été présenté en avril 2011, à l'occasion d'un colloque organisé par Bretagne Pôle Naval et la CCI de Brest. Cet événement a rassemblé plus de 300 participants, signe de l'intérêt des entreprises pour la filière,

En complément, la CCI des Côtes d'Armor a créé un groupe de travail sur l'éolien offshore et recruté un chargé de mission sur cette question, conjointement avec le Conseil général. Alors que nombre d'acteurs économiques doutaient de la capacité des entreprises costarmoricaines à réaliser d'autres activités que la maintenance, ces travaux ont montré qu'elles avaient la possibilité de produire des éléments tels que les pièces de transition, l'accastillage et les pieux²⁷⁶.

²⁷⁴ Bretagne Pôle Naval, octobre 2011. *Les entreprises de l'industrie éolienne offshore en Bretagne. Annuaire 2012.*

²⁷⁵ GL Garrad Hassan, 2011. *Éolien offshore posé. Besoins industriels des donneurs d'ordres et offre des entreprises de la région Bretagne.*

²⁷⁶ Auditions de MM. Thierry TROESCH et Christophe LE NANCQ (CCI 22), 5 avril 2012.

2. De multiples projets structurants en prévision

Plusieurs technologies d'exploitation des énergies marines sont susceptibles de créer de l'activité à moyen ou long terme en Bretagne, selon des modalités qui certes demeurent difficiles à anticiper, mais laissent entrevoir des retombées importantes.

2.1. Éolien offshore posé : des opportunités à saisir rapidement

La filière de l'éolien offshore posé a déjà commencé à se structurer. Après avoir annoncé que leurs usines seraient implantées à Saint-Nazaire, Cherbourg et Le Havre, les maîtres d'œuvre sont désormais en recherche de partenariats dans les territoires du Grand Ouest.

Dans cette période charnière, où les opportunités sont nombreuses, la stratégie industrielle bretonne se doit d'être réaliste, c'est-à-dire ni idéaliste ni défaitiste. A ce stade, aucun ensemble n'a annoncé d'implantation en Bretagne, mais la filière n'est pas encore totalement structurée.

Un chantier de construction de fondations destinées au parc de Saint-Brieuc pourrait ainsi être implanté en Bretagne, ce qui représenterait une activité considérable.

De nombreuses autres activités, ponctuelles ou pérennes, pourraient également être réalisées en Bretagne. Le niveau d'activité créée dépendra alors de choix d'implantation faits par les consortiums d'une part, de la capacité d'adaptation et de la compétitivité des entreprises régionales d'autre part.

Plusieurs d'entre elles ont construit des offres de biens (éléments des éoliennes, navires...) ou de services (travaux maritimes, études...) à destination des grands maîtres d'œuvre européens de l'éolien offshore. D'autres se préparent également pour tirer profit des retombées indirectes liées à l'implantation du parc de Saint-Brieuc. C'est ainsi qu'une société réfléchit par exemple à une offre de tourisme industriel (croisières dans les parcs)²⁷⁷.

Les membres du consortium Iberdrola/Eole-Res/Areva ont par ailleurs indiqué à plusieurs reprises leur volonté de recourir autant que possible aux compétences locales pour toutes les tâches qui seront sous-traitées.

De son côté, le consortium EDF/Dong/Alstom devrait également créer de l'activité en Bretagne, notamment pour le parc de Guérande. Les ports de Saint-Nazaire et Cherbourg risquent en effet d'être rapidement saturés, et le consortium pourrait faire appel à Brest, notamment pour des activités lourdes telles que la construction des fondations.

²⁷⁷ Auditions de M. Jacques DUBOST (Bretagne Pôle Naval), 26 avril 2012 et de MM. Thierry TROESCH et Christophe LE NANCQ (CCI 22), 5 avril 2012.

De manière plus précise, la répartition du travail pour les parcs de Saint-Brieuc et Guérande devrait être la suivante :

- les études préliminaires sont coordonnées par les développeurs Neoen (parc de Saint-Brieuc) et Nass&Wind (parc de Guérande). De plus, les études environnementales pour le parc de Saint-Brieuc ont été confiées à un bureau d'études breton ;
- les fondations jacket du parc de Saint-Brieuc pourraient être fabriquées par STX Saint-Nazaire et/ou par Eiffage, qui s'installerait alors probablement à Brest ou à Cherbourg. Cette activité représenterait 500 emplois industriels sur la durée du chantier (2 à 3 ans) ;
- les fondations monopieu du parc de Guérande pourraient être fabriquées à Brest mais aussi importées ;
- les mâts, les pales et les turbines seraient construits ou assemblés sur les ports de Saint-Nazaire, Cherbourg et Le Havre puis acheminés jusqu'au port logistique ;
- Areva estime à 160 les emplois qui pourraient être créés en Bretagne par les sous-traitants de sa future usine d'assemblage d'éoliennes. Il s'agit d'emplois plus pérennes que ceux liés à la construction des parcs, dans la mesure où l'usine pourrait approvisionner également les marchés britannique et polonais, entre autres ;
- les sous-stations des deux parcs pourraient être construites par STX Saint-Nazaire ;
- STX pourrait également fournir des navires de pose, notamment pour le consortium EDF/Dong/Alstom ;
- plusieurs chantiers bretons pourraient construire des navires pour la maintenance ;
- des entreprises de travaux maritimes et de remorquage sont présentes dans chacune des régions. Pour le parc de Saint-Brieuc, tous les travaux en mer seraient assurés ou coordonnés par Technip, qui prévoit 300 emplois, dont 200 en Bretagne. Ces activités s'étaleraient sur deux ans ;
- Brest est le port logistique privilégié par Iberdrola (qui n'exclut pas, toutefois, de se tourner vers le port de Cherbourg). Il pourrait également servir de port logistique pour le parc de Guérande, en fonction de la disponibilité des infrastructures nazairiennes. Les activités liées à l'assemblage et l'expédition des machines pourraient représenter jusqu'à 500 emplois directs ;
- la maintenance du parc de Saint-Brieuc devrait créer 100 à 140 emplois pérennes dans les ports des Côtes d'Armor (le consortium n'a pas encore choisi entre Saint-Quay-Portrieux, Saint-Cast-le-Guildo et Erquy).

Au final, le nombre d'emplois directement ou indirectement concernés par la filière en Bretagne reste difficile à évaluer. Le potentiel de créations d'emplois se situerait autour de 2 000 pour toute la région²⁷⁸.

Les acteurs bretons doivent se mobiliser pour maximiser les créations d'emplois. De plus, la succession dans le temps de l'éolien posé, de l'hydrolien, du houlomoteur et

²⁷⁸ D'après un représentant de la CCI régionale. Le Télégramme, 30 mai 2012. *Éolien offshore. Des emplois pour la Bretagne.*

de l'éolien flottant offrira des opportunités de pérennisation et d'amplification des activités des entreprises initialement positionnées sur le segment de l'éolien posé.

2.2. Hydrolien : des atouts mais pas encore de projets industriels

En France, les principaux projets d'exploitation à grande échelle de gisements hydroliens concernent le Raz Blanchard, pour lequel un appel d'offres a été annoncé.

Le secteur français de l'hydrolien compte déjà plusieurs maîtres d'œuvre potentiels, à savoir deux énergéticiens (EDF et GDF Suez) et plusieurs constructeurs de machines, parmi lesquels figurent plusieurs entreprises implantées en Bretagne.

Deux groupes industriels implantés en Bretagne ont déjà acquis une première expérience dans le domaine de l'hydrolien : DCNS (prestation de services pour Sabella, assemblage de la première machine OpenHydro et construction de son socle à Brest, fabrication des pales à Lorient) et STX Lorient (construction d'une barge pour l'hydrolienne). Ces projets ont également impliqué des techniciens et des chercheurs dans les groupes concernés (EDF EN, DCNS et Sabella) ainsi que dans des bureaux d'études privés.

Plusieurs autres projets significatifs vont encore être développés en Bretagne :

- le site de Paimpol-Bréhat, déjà opérationnel et qui, outre les quatre hydroliennes OpenHydro, accueillera d'autres machines en phase de tests, et notamment l'hydrolienne Orca d'Alstom ;
- la démonstration de l'hydrolienne Sabella D10 dans le passage du Fromveur, en vue de la mise en place d'un site pilote ;
- le test d'un prototype pour l'hydrolienne Blustream, projet porté par le groupe LGI ainsi que par l'entreprise brestoise Guinard Énergies et qui devrait être testée en ria d'Étel.

Figure 25. Immersion du prototype Sabella D03 dans l'Odet.



Source : © Sabella.

Ces projets sont tous axés sur la R&D, mais leur but final est bien de permettre le passage des technologies au stade commercial. Les tests permettront en outre de renforcer l'expérience des entreprises bretonnes dans le domaine de l'hydrolien. Une expérience qui pourra être valorisée au démarrage de la filière en France, c'est-à-dire lorsqu'un appel d'offres sera lancé par l'État.

Aucune usine n'existe encore à ce jour, et il est probable que les premières seront créées à proximité des premiers gisements attribués par les États. Alors que le Royaume-Uni est très actif en ce domaine, l'enjeu est d'importance, car ces usines pourront ensuite fonctionner de manière pérenne et approvisionner des sites plus lointains. Le passage du Fromveur, *a priori* exclu du premier appel d'offres, doit donc pouvoir être exploité rapidement, non seulement pour réduire la dépendance énergétique de la Bretagne, mais surtout pour y créer des activités économiques.

2.3. Éolien flottant : un projet industriel majeur

Grâce au projet Winflo, la Bretagne a l'opportunité d'accueillir un grand ensemblier et, par conséquent, de se trouver au centre d'une filière industrielle.

Le projet associe de nombreux partenaires :

- Nass&Wind, développeur de parcs éoliens terrestres puis offshore, basé à Lorient ;
- DCNS, qui possède une grande expérience de la construction, l'intégration et la maintenance de systèmes navals complexes ;
- Vergnet, constructeur français de turbines adaptées aux conditions difficiles des zones tropicales ;
- Saipem, groupe français regroupant les différents métiers de l'exploitation gazière et pétrolière offshore ;
- In vivo environnement, bureau d'études en environnement marin et océanographie ;
- Ifremer et l'ENSTA Bretagne accompagnent les travaux de R&D, notamment sur les questions concernant l'hydrodynamique et le comportement des matériaux en mer.

Le projet se trouve actuellement en phase de développement : plusieurs séries de tests en bassin ont déjà été réalisées et la première éolienne sera testée à partir de 2013. Pour autant, il ne se limite pas à la démonstration de la machine et c'est d'ailleurs à un programme industriel complet que travaillent les porteurs du projet. Grâce à la complémentarité entre les partenaires, le consortium devrait être capable de prendre en charge les étapes les plus sensibles de la construction des éoliennes, à savoir la fabrication des flotteurs, du mât et l'assemblage de la nacelle²⁷⁹.

²⁷⁹ Audition de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind), 26 avril 2012.

Figure 26. Représentation d'un parc composé d'éoliennes Winflo.



Source : Nass&Wind.

L'assemblage des éoliennes du site pilote de Groix devrait être testé à Brest en 2016 et 2017. Ce sont ensuite 100 éoliennes flottantes qui pourraient être construites annuellement sur différents sites (Brest, Lorient...) et assemblées dans le port finistérien.

Ce choix d'implantation reposerait notamment sur des considérations géographiques. Une fois assemblées, les éoliennes flottantes pourraient être stockées en rade puis remorquées vers des sites d'exploitation situés à un, voire deux jours de mer. La situation de la pointe bretonne permettrait alors d'envisager la production et l'expédition de machines vers un grand nombre de sites potentiels en Bretagne, en Mer d'Irlande ou dans le Golfe de Gascogne. Si les pays de la façade atlantique de l'Europe décident de soutenir le développement de l'éolien flottant, ce marché serait suffisant pour faire fonctionner durablement une usine de production en série.

Winflo n'est encore qu'un programme et ne pourra être mené à bien que si un site pilote est implanté rapidement (*a priori* à Groix). Autre enjeu : la disponibilité des espaces portuaires à Brest. Celle-ci ne devrait toutefois pas constituer un frein, dans la mesure où le déploiement de l'éolien flottant fera probablement suite aux activités liées à l'éolien offshore posé. De plus, le projet de développement du port de Brest a été conçu par les collectivités de manière à coïncider avec les besoins et la temporalité du programme Winflo. Celui-ci est d'ailleurs présenté comme le principal bénéficiaire de la seconde phase du projet du port de Brest²⁸⁰.

²⁸⁰ Région Bretagne, 22 novembre 2011. *Port de commerce de Brest. La Région précise ses engagements d'ici à 2015-2020*. Communiqué de presse.

3. Une filière industrielle qui se structure à l'échelle du Grand Ouest

Les atouts bretons doivent être positionnés dans une perspective Grand Ouest, la filière se structurant à cette échelle. Les moteurs de cette dynamique sont de deux ordres.

Ils relèvent, d'une part, des choix des maîtres d'œuvre industriels, qui portent généralement sur plusieurs régions. Alstom a ainsi choisi de s'implanter dans deux ports, ce qui était probablement indispensable pour trouver les espaces, les compétences et les infrastructures nécessaires à son activité. De même, Areva, bien qu'implanté au Havre, est en contact étroit avec les acteurs bretons pour la mise en place de partenariats, notamment autour du projet de Saint-Brieuc. Enfin, DCNS, qui développe quatre technologies (éolien flottant, hydrolien, houlomoteur et ETM), répartira ses productions industrielles sur plusieurs sites.

L'autre déterminant de la localisation géographique des activités concerne les stratégies des collectivités et des acteurs économiques. Souvent concurrentes, parfois complémentaires, ces stratégies ont en commun un même volontarisme.

3.1. La mobilisation des territoires

Dans les différentes régions et agglomérations concernées, collectivités et acteurs économiques s'organisent pour développer des stratégies de marketing territorial. Ces démarches visent à définir et valoriser le positionnement de chaque territoire, par le recensement des compétences, la construction d'un projet partagé, la structuration du tissu industriel, la recherche d'attractivité et la communication.

3.1.1. Le recensement et la promotion des compétences

Deux initiatives nationales de recensement des compétences sont à signaler : la cartographie de la filière EMR réalisée par le Groupement des industries de construction et activités navales (GICAN)²⁸¹, et l'initiative Windustry, qui se trouve désormais dans une seconde phase, orientée sur la structuration de la filière. Portée par France Énergie Éolienne, cette dernière initiative concerne toute la filière éolienne, et non uniquement l'éolien offshore. Elle bénéficie du soutien de l'État ainsi que de celui de huit Régions, comprenant toutes celles qui sont concernées par l'éolien en mer.

Malgré ces démarches, toutes les entreprises susceptibles de participer à la filière n'avaient probablement pas été repérées. Dans plusieurs régions, des groupements d'acteurs économiques (clusters, chambres consulaires, agences de développement)

²⁸¹ Cette cartographie a été présentée par M. René LE VOURCH, membre de la commission EMR du GICAN, à l'occasion des entretiens « Énergies de la mer », à Brest le 27 juin 2012.

ont donc procédé à un recensement des entreprises pouvant jouer un rôle dans le développement des EMR : Le Havre Développement (Haute-Normandie), Bretagne Pôle Naval, Neopolia (Pays de la Loire), la Région Pays de la Loire et la MIRIADE (Basse-Normandie).

3.1.2. La sensibilisation des acteurs économiques

Ces mêmes groupements d'acteurs économiques réalisent également des actions de sensibilisation des acteurs économiques aux réalités industrielles de l'éolien offshore. Cela recouvre deux aspects.

Il s'agit en premier lieu d'informer les entreprises sur les perspectives de développement qu'elles peuvent attendre de l'éolien offshore, pour les inciter à s'engager.

L'autre objectif est de les aider à s'organiser pour être compétitives. Selon Jacques DUBOST, Président de Bretagne Pôle Naval, l'éolien offshore ne doit pas être perçu en tant que simple opportunité de diversification, comme certaines entreprises ont pu le croire. Il s'agit au contraire d'une nouvelle filière, avec des exigences fortes pour les entreprises qui s'y engagent²⁸².

Certains aspects représentent des défis considérables, notamment pour les fournisseurs d'éléments complexes ou de grande taille, comme les fondations. Par exemple, une seule structure jacket nécessite 3 000 à 5 000 heures de travail. En outre, le lancement de leur production requiert un effort de recherche et de formation, les techniques employées n'étant pas tout à fait les mêmes que pour la construction navale. Si STX parvient à produire en série des jackets conformément à ses projets, c'est-à-dire à un rythme de 50 pièces par an²⁸³, cette activité conduirait alors à une modification substantielle de son fonctionnement habituel. De tels enjeux doivent être anticipés.

Autre exemple, à une autre échelle : le chantier vendéen Naval, jusqu'ici spécialisé dans les navires conchylicoles, a décidé de se lancer dans la construction de catamarans de services pour les champs éoliens offshore. Cette nouvelle orientation a nécessité le recrutement d'un commercial pour l'international ainsi que d'un architecte naval. L'entreprise ayant décroché deux premières commandes au Royaume-Uni va désormais doubler ses effectifs et agrandir ses locaux. Dans cet exemple, le choix de l'éolien se traduit à la fois par un changement d'échelle et un bouleversement des pratiques, l'entreprise ayant dû apprendre, à la fois, à construire de nouveaux bateaux et à travailler pour l'export²⁸⁴.

Bien que nombre d'éléments sous-traités ne soient pas réellement spécifiques, les entreprises doivent être conscientes des efforts à fournir pour devenir compétitives

²⁸² Audition de M. Jacques DUBOST (Bretagne Pôle Naval), 26 avril 2012.

²⁸³ Le Marin, 18 novembre 2011. *Les fondations en série : un marché tout neuf à conquérir*. Le Marin, 16 décembre 2011. *Éoliennes en mer : le chantier naval STX réalise un prototype de jacket*.

²⁸⁴ Le Marin, 6 avril 2012. *Diversification réussie pour le chantier vendéen Naval*.

dans ce secteur, où la France se lance avec retard. Dans certains domaines, les PME françaises devront nouer des accords entre elles pour atteindre une taille critique²⁸⁵, mais également avec des entreprises étrangères, afin de bénéficier de leur expérience de l'éolien offshore. C'est par exemple le choix de la société de remorquage TSM (Rouen), qui s'est associée au leader européen du secteur pour investir conjointement dans de nouveaux navires répondant aux besoins des futurs parcs éoliens en mer²⁸⁶. Dans d'autres domaines, un transfert de technologies est nécessaire. Ainsi, STX a fait appel à un bureau d'études norvégien pour construire sa première fondation jacket²⁸⁷.

Des dispositifs doivent donc être mis en place afin d'aider les entreprises françaises à construire une offre à la hauteur des enjeux. Dans cette perspective, Le Havre Développement propose par exemple un audit aux entreprises qui le souhaitent pour les aider à se positionner sur la filière²⁸⁸.

3.1.3. Les investissements dans les infrastructures portuaires

La construction et l'installation des différents éléments des parcs s'appuient sur un ensemble d'activités diversifiées. C'est tout un écosystème industriel qui devra se mettre en place. Pour attirer ces activités, et notamment les plus pérennes d'entre elles, les collectivités et les gestionnaires des ports élaborent des projets, qui vont de la mise en œuvre d'infrastructures jusqu'à la valorisation des compétences, en passant par les conditions économiques d'implantation. Les investissements dans les infrastructures portuaires tiennent une place centrale dans ces projets.

Lors de la phase d'appel d'offres, les responsables portuaires ont souvent construit plusieurs projets pour répondre aux attentes des différents candidats. Certains consortiums ont pris des engagements forts vis-à-vis des ports. Les lauréats sont désormais connus, mais les projets d'investissements ne sont pas tous finalisés. Il est néanmoins possible d'en présenter les grandes lignes.

- Le Havre

Le port autonome du Havre se trouve dans une phase d'expansion et de diversification, et l'éolien offshore fait partie des axes de développement identifiés. En ce domaine, il pourrait jouer un rôle aussi bien logistique qu'industriel. Cette stratégie se fonde sur la position centrale du port, situé à proximité directe des trois projets de parcs français de la Manche (Courseulles-sur-Mer et Fécamp retenus suite au premier appel d'offres, Le Tréport, qui pourrait être intégré dans le prochain) et de nombreux parcs britanniques.

²⁸⁵ Audition de M. Jacques DUBOST (Bretagne Pôle Naval), 26 avril 2012.

²⁸⁶ Le Marin, 27 avril 2012. *L'attrait de l'éolien offshore*.

²⁸⁷ Le Marin, 16 décembre 2011. *Éoliennes en mer : le chantier naval STX réalise un prototype de jacket*.

²⁸⁸ *Système Solaires*, 2011. *Le port du Havre se met en quatre*. Hors-série Le Journal de l'éolien n°9.

Les investissements portent sur :

- la création d'une plateforme logistique d'une vingtaine d'hectares, qui va nécessiter la consolidation des quais ainsi que du substrat, pour que les navires autoélévateurs puissent y prendre appui ;
- une ou plusieurs zones industrielles destinées à accueillir des unités de production d'Areva et de ses sous-traitants ;
- Eco Wind Park, une zone dédiée aux éco-industries, qui accueillerait notamment le projet WIN (recherche et tests sur les éoliennes offshore).

- Saint-Nazaire

L'éolien offshore est apparu comme un relais de croissance intéressant pour ce port spécialisé dans les produits énergétiques et la construction navale, d'autant plus qu'il est situé à proximité de deux importants sites de développement de l'éolien en mer, celui de Guérande (750 MW à horizon 2017) et l'autre au large de l'Île d'Yeu, qui pourrait être intégré dans un second appel d'offres.

Le projet stratégique du port autonome de Nantes – Saint-Nazaire a donc été modifié pour intégrer cette nouvelle filière et favoriser le développement des projets portés par STX, Alstom et Neopolia (cluster rassemblant 145 entreprises industrielles). Des investissements importants seront donc réalisés pour :

- aménager à Saint-Nazaire un espace logistique utilisable par les développeurs de parcs éoliens au large des Pays de la Loire ;
- permettre l'émergence à Montoir de Bretagne d'un pôle industriel dédié à l'assemblage des turbines par Alstom. Ce pôle nécessitera une modification de l'utilisation des surfaces, le prolongement d'un quai, voire même le remblaiement d'un secteur de plusieurs dizaines d'hectares ;
- créer une zone dédiée à la R&D et aux tests de prototypes plus en amont de la Loire (site du Carnet), là où est déjà testée l'Haliade 150 d'Alstom.

- Cherbourg

Alors qu'elle constitue un handicap pour un port de commerce, la situation péninsulaire de Cherbourg pourrait devenir un atout grâce aux EMR. La ville se trouve en effet à proximité des principaux sites français et britanniques de l'éolien offshore. Le port est aussi le plus proche de l'un des principaux gisements hydroliens d'Europe : le Raz Blanchard. La présence de la rade, de quais lourds et d'espaces disponibles permet alors d'envisager de faire de Cherbourg une place importante de l'industrie des EMR.

Pour ce port à l'hinterland très réduit, les EMR représentent donc une possibilité majeure de développement. Afin d'accueillir les sites de production de pales et de mâts annoncés par le consortium EDF/Dong/Alstom, des espaces vont être libérés et un quai prolongé. Par ailleurs, d'autres espaces ont été réservés par DCNS pour l'implantation d'une usine de production d'hydroliennes. Enfin, le syndicat mixte Ports Normands Associés prévoit de réaliser une extension de 35 hectares sur la grande rade pour permettre l'installation d'autres projets EMR.

- Brest

Les énergies marines, et notamment l'éolien offshore posé et flottant, se trouvent au cœur d'un important projet d'aménagement du port (voir à ce sujet la première partie du chapitre).

3.2. Des retombées industrielles dans plusieurs régions

D'après les pouvoirs publics, les acteurs économiques et les consortiums retenus dans le cadre de l'appel d'offres, le programme éolien en mer français devrait permettre la création de 7 000 à 10 000 emplois au niveau national.

Il convient toutefois de rappeler que les retombées effectives sont susceptibles d'évoluer sensiblement. L'appréciation du volume, de la nature, de la pérennité et de la localisation des emplois pourra connaître de larges variations dans les prochaines années, et tout particulièrement à l'issue des dix-huit mois de la période de levée des risques. Il est peu probable que cette phase conduise à l'abandon de projets. En revanche, certains choix technologiques majeurs, comme celui des fondations par exemple, pourraient être revus suite à la conduite de nouvelles études. Or, les différents types de fondations font appel à des compétences distinctes. De plus, les navires et les infrastructures nécessaires à leur installation sont différents.

Malgré ces incertitudes, il est possible de donner une première estimation des activités qui se seront vraisemblablement développées dans chacun des territoires. Ces activités seront concentrées dans les ports, sans s'y limiter toutefois. Et si plusieurs ports peuvent d'ores et déjà afficher d'importantes perspectives de création d'emplois, il faut rappeler que la plupart des grands ports des façades Manche et Atlantique auront un rôle à jouer, étant donné l'étendue des besoins de la filière²⁸⁹.

- Haute-Normandie : le rôle central d'Areva

L'usine du Havre sera la seconde du turbinier Areva. Pour optimiser la logistique, l'ensemble des activités (assemblage et test des nacelles, construction des pales, zone logistique, activités administratives...) seront regroupées sur un site de 30 hectares, avec un accès direct à un quai lourd. Alors que son usine allemande emploie déjà 650 salariés et possède un carnet de commandes portant sur 120 turbines à horizon 2014, Areva ambitionne d'employer jusqu'à 700 personnes au Havre²⁹⁰, pour la fabrication d'éoliennes qui seront dans un premier temps destinées aux marchés français et britannique. Plusieurs dizaines d'entreprises de la région ont pris contact avec Areva dans l'espoir d'être référencées comme fournisseurs. Certaines pourraient avoir besoin d'investir dans de nouveaux outils de production et il n'est pas exclu que quelques-unes s'installent sur le port du Havre.

²⁸⁹ Auditions de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Conseil régional de Bretagne), 9 février 2012 et de M. Jacques DUBOST (Bretagne Pôle Naval), 26 avril 2012.

²⁹⁰ Le Marin, 3 août 2012. *Le Havre : Areva veut faire encore mieux.*

Par ailleurs, certaines activités du consortium EDF/Dong/Alstom pourraient également être accueillies sur le port du Havre, mais pour un temps plus limité puisque seuls l'assemblage final des éoliennes et la construction des fondations pour les sites de la Manche sont envisagés. En revanche, les 100 à 150 emplois que ce même consortium prévoit de créer sur le port de Fécamp seront plus pérennes, puisqu'ils concernent la maintenance des éoliennes du parc haut-normand.

- Pays de la Loire et Basse-Normandie : plusieurs maîtres d'œuvre

Les projets des Pays de la Loire et de la Basse-Normandie sont fortement liés, dans la mesure où ils ont été largement construits autour du programme industriel d'Alstom. Celui-ci prévoit la construction de deux usines à Saint-Nazaire, auxquelles s'ajoutent deux usines sous-traitantes pour les pales et les mâts à Cherbourg. Des pré-séries pourraient être produites dès 2013 tandis que la production en série démarrerait véritablement à partir de 2014. A terme, ces 500 emplois directs devraient être créés dans chacune des deux villes concernées, auxquels s'ajouteraient les emplois liés à la sous-traitance, qui ne seront pas nécessairement situés à proximité des ports mais pourraient concerner sur chaque site 1 500 à 2 000 emplois. Plusieurs centaines d'entreprises des deux régions sont en capacité de devenir sous-traitantes ou fournisseurs pour des pièces mécaniques, métalliques, électroniques ou encore la peinture ou les traitements anticorrosion²⁹¹. Enfin, 200 personnes supplémentaires seraient employées dans un centre d'ingénierie installé en Pays de la Loire²⁹².

STX développe par ailleurs trois projets complémentaires en lien avec Neopolia : un navire de pose (Poséole), des fondations (Fondéole) et une sous-station électrique pour les champs éoliens en mer (Wattéole). Le groupe pourrait également construire des navires de maintenance. Ces nouvelles activités permettraient de combler les creux de charge, tant dans les bureaux d'études que dans les chantiers de Saint-Nazaire et Lorient (dont le cœur de métier resterait la construction navale). Plusieurs centaines d'emplois sont en jeu.

L'usine d'hydroliennes de DCNS doit permettre de donner une nouvelle impulsion aux activités EMR sur le port de Cherbourg dès 2018, date à partir de laquelle il est prévu que cette usine atteigne son rythme de croisière (100 machines par an). Si l'appel d'offres pour l'hydrolien est lancé rapidement et que l'un des lauréats fait appel aux turbines de DCNS, l'activité du site pourrait démarrer dès 2014²⁹³.

Enfin, 100 à 150 emplois seront créés sur les ports de Ouistreham et La Turballe pour la maintenance des parcs du consortium EDF/Dong/Alstom. La maintenance des futures hydroliennes du Raz Blanchard se fera probablement depuis Cherbourg.

²⁹¹ Le Marin, 4 mai 2012. *EMR : une ambition régionale*.

²⁹² Ouest-France, 7-8 avril 2012. *Éolien offshore : plus de 7 000 emplois promis dans l'ouest. Éolien offshore : près de 10 000 emplois pourraient être créés en France*. www.meretmarine.com, 10 avril 2012. Ouest-France, 4 novembre 2011. *Alstom ancre l'éolien à Saint-Nazaire et Cherbourg*.

²⁹³ DCNS veut créer une usine de production d'hydroliennes à Cherbourg. www.meretmarine.com, 15 mars 2012.

- Aquitaine : des éoliennes pour l'exportation

Bien que n'étant pas impliqué dans les consortiums ayant répondu à l'appel d'offres, un troisième turbinier projette d'ouvrir une usine en France. Il s'agit de l'Allemand Bard, qui prévoit de produire les éoliennes les plus puissantes du monde (6,5 MW) via sa filiale PMVE sur le site du Verdon, à l'embouchure de la Garonne. Des fondations pourraient également être construites sur le même site, dont l'activité débiterait en 2015.

En outre, l'entreprise EADS Astrium, qui fabrique déjà des pales de taille moyenne (30 à 50 mètres), souhaite produire des pales de plus grande taille (60 à 80 mètres) pour l'éolien offshore d'ici 2015.

Étant donné son ampleur, la filière des énergies marines mobilisera nécessairement les atouts de différentes régions, parmi lesquelles la Bretagne est en mesure de jouer un rôle important. Il s'agit d'une opportunité de développement majeure, qui est désormais perçue comme telle par un nombre croissant d'acteurs bretons. Il convient de s'organiser au plus vite pour maximiser les retombées industrielles qui peuvent découler de ces ambitions.

Chapitre 8

Organiser collectivement la filière des énergies marines en Bretagne

1.	Vers une coordination renforcée des initiatives	175
1.1.	L'enjeu de la coordination régionale	175
1.2.	Une nécessité : porter la réflexion au niveau interrégional	177
1.3.	Formation et compétences : anticiper les besoins	178
2.	Pour une stratégie régionale offensive	181
2.1.	La force d'une stratégie qui prend en compte les différents aspects des énergies marines	181
2.2.	Une urgence : structurer la filière	182
2.3.	Consolider la volonté partagée	183
2.4.	Pour une gouvernance renouvelée	183

Dans cette période charnière, où la filière se structure et alors que l'on envisage de plus en plus sérieusement les perspectives de développement de l'hydrolien, de l'éolien flottant et du houlomoteur, il convient de s'interroger sur la meilleure stratégie pour générer des retombées industrielles conséquentes et pérennes en Bretagne.

Pour valoriser les atouts régionaux, le premier enjeu à considérer est celui de la coordination des mobilisations (1), c'est pourquoi, lors de la définition d'une stratégie régionale, l'accent doit être mis sur la gouvernance (2).

1. Vers une coordination renforcée des initiatives

État, collectivités territoriales, Chambres de commerces, entreprises, agences de développement économique, organismes de formation, autorités portuaires... Les acteurs impliqués dans des stratégies de marketing territorial sont aussi nombreux qu'hétérogènes. Leur capacité à se coordonner constitue alors l'une des clés de la réussite de ces démarches.

1.1. L'enjeu de la coordination régionale

Pour organiser une telle coordination, l'échelon régional apparaît pertinent à plusieurs titres :

- c'est l'échelle qui a été retenue pour la concertation menée par les Préfets autour du choix des zones d'implantation. Il existe donc une habitude de travail sur les questions EMR à ce niveau ;
- dans les territoires concernés, des collectivités de tous niveaux sont fortement mobilisées, et notamment les Régions, qui possèdent un rôle important en matière de développement économique, d'aménagement du territoire ou de formation professionnelle ;
- l'échelon régional a pris un poids croissant lors de la réorganisation des réseaux de Chambres consulaires, de même que dans celle des Comités des pêches ;
- les périmètres des clusters concernés sont davantage régionaux que départementaux, même s'ils ne correspondent pas strictement aux limites administratives des Régions.

Il faut rappeler toutefois que les Régions n'exercent pas de tutelle sur les autres collectivités. Dès lors, la mise en mouvement des acteurs se fait sur le mode d'une coopération qui prend des formes différentes selon les régions, certaines ayant mis e place des modes de gouvernance innovants.

- Haute-Normandie : le rôle essentiel de l'agence Le Havre Développement

En Haute-Normandie, c'est Le Havre Développement qui se charge de la structuration de l'offre économique, en lien avec le port autonome du Havre, les CCI du Havre et de Fécamp, les agglomérations, la Région et le département de Seine Maritime.

- Pays de la Loire : deux niveaux de gouvernance

Au niveau stratégique, un Comité régional des énergies marines renouvelables, co-présidé par le Préfet de région et le Président du Conseil régional, permet de faire dialoguer l'ensemble des parties prenantes sur les grandes orientations stratégiques : État, Région, agglomérations de Nantes et Saint-Nazaire, Technocampus EMC2, CCIR, port de Nantes-Saint-Nazaire, STX et Neopolia.

Au niveau opérationnel, la mobilisation autour des EMR est coordonnée par la CCI de Nantes-Saint-Nazaire et la CARENE (Communauté d'agglomération de la région nazairienne et de l'estuaire). 6 axes prioritaires ont été identifiés, dont l'un, consacré à la chaîne de valeur industrielle, est animé par Neopolia et STX. Leurs travaux ont conduit à la création d'une filière EMR au sein de Neopolia en avril 2011. Le but de cette initiative est de structurer l'offre des entreprises régionales en réponse aux enjeux internationaux de compétitivité²⁹⁴. Trois thématiques ont été jugées prioritaires : la fourniture de composants et d'équipements pour les aérogénérateurs, la réalisation d'équipements pour l'installation des champs d'éoliennes offshore et l'offre de maintenance aux EMR²⁹⁵.

- Basse-Normandie : une société publique locale dédiée aux EMR

C'est probablement en Basse-Normandie que la gouvernance est la plus claire, dans la mesure où la structuration et la valorisation de l'offre territoriale sont confiées à deux structures bien identifiées, dont l'une est entièrement dédiée à la question des EMR.

D'une part, la Mission régionale pour l'innovation et l'action de développement économique (MIRIADE) accompagne la filière, en lien avec les acteurs économiques régionaux et l'initiative nationale Windustry.

D'autre part, la Région Basse-Normandie, le Conseil général de la Manche et la Communauté urbaine de Cherbourg ont nommé un « Délégué général aux énergies marines renouvelables », chargé d'organiser et de valoriser les atouts du territoire. Une société publique locale a ensuite été créée : Ouest Normandie Énergies Marines. Il s'agit de la seule structure publique dotée de moyens propres et entièrement dédiée à la structuration d'une filière EMR en France.

- Bretagne : une coordination réelle mais faiblement institutionnalisée

En Bretagne, la coordination des acteurs est moins institutionnalisée. Dans le domaine stratégique, elle est assurée par un comité dont la mise en place a été décidée au sein de la Conférence régionale de la mer et du littoral et qui rassemble notamment l'État, la Région, et les acteurs économiques. Ce comité s'appuie notamment sur Bretagne Développement Innovation, chargé de concevoir la stratégie régionale.

²⁹⁴ Neopolia, 14 avril 2011. *Neopolia lance sa 5^{ème} filière consacrée aux énergies marines renouvelables.*

²⁹⁵ Neopolia. *Rapport d'activité 2011.*

Sur un plan plus opérationnel, ce comité a délégué les actions relevant de la structuration de la filière à Bretagne Pôle Naval, appuyé par le réseau des Chambres de commerce et d'industrie.

1.2. Une nécessité : porter la réflexion au niveau interrégional

Le niveau régional est pertinent pour organiser la mobilisation de la plupart des acteurs. Néanmoins, il convient parfois de dépasser ce mode d'organisation afin que certains enjeux, non réductibles aux frontières régionales, ne soient pas laissés de côté du fait de la concurrence entre territoires. Plusieurs éléments de dialogue interrégional existent déjà.

Dans le domaine de la recherche, de nombreuses collaborations ont été mises en place au cours des dernières années (voir chapitre 2).

En ce qui concerne les infrastructures, une recherche de complémentarité entre les différentes offres portuaires est nécessaire pour améliorer la compétitivité de l'offre nationale.

Alors que le tissu des entreprises concernées par les EMR s'étend sur plusieurs régions, il importe que les stratégies industrielles bretonne, ligérienne et normande ne soient pas déconnectées les unes des autres²⁹⁶. Depuis peu, la dynamique de filière bénéficie d'initiatives interrégionales ou nationales. Outre Windustry, il convient de mentionner le projet EMeRgence, déposé par Neopolia en réponse à l'appel à projets pour le renforcement de la compétitivité des PME-ETI de la filière des EMR. Les autres acteurs impliqués dans ce dossier, en effet, ne sont pas tous ligériens, puisqu'il s'agit de DCNS, STX France, le GICAN, le pôle EMC2, le Pôle Mer Bretagne et le Pôle Mer PACA. Cinq objectifs majeurs structurent ce projet :

- fédérer et faire connaître la filière ;
- organiser des coopérations afin de structurer cette filière et assurer sa compétitivité ;
- créer des emplois ;
- positionner les entreprises en pointe sur un secteur d'avenir et potentiellement exportateur ;
- contribuer à l'indépendance technologique de la France.

Cette démarche est à saluer, car l'échelle interrégionale semble souvent pertinente pour créer des synergies et rendre les entreprises françaises réellement compétitives par rapport à leurs concurrentes européennes, dont certaines disposent déjà d'une expérience significative de l'éolien offshore.

En matière politique et économique, il existe par ailleurs des échanges plus informels au niveau interrégional, par exemple entre la Bretagne et l'Aquitaine, entre acteurs économiques ligériens et havrais, etc.

²⁹⁶ Audition de M. Marc BŒUF (DCNS), 8 mars 2012.

Enfin, une dernière initiative est à mentionner, qui concerne les régions Pays de la Loire et Basse-Normandie. Six collectivités (deux Régions, deux départements et deux agglomérations) ont signé en 2012 un protocole de coopération qui identifie trois enjeux²⁹⁷ :

- l'enjeu industriel. Il s'agit de fédérer les compétences des entreprises sous-traitantes autour du projet du consortium EDF/Dong/Alstom ;
- l'enjeu de R&D. L'accord doit notamment permettre de renforcer la dynamique autour de la recherche sur les matériaux, dans laquelle l'IRT Jules Verne joue un rôle-clé ;
- l'enjeu de formation, puisque l'accord doit permettre l'élaboration d'une carte de formation à l'échelle interrégionale, en cohérence avec les besoins de la filière.

Très liée au projet industriel d'Alstom, cette coopération porte donc sur des champs variés. Néanmoins, l'approche bilatérale retenue pourrait s'avérer insuffisante en ce qui concerne les enjeux de formation.

1.3. Formation et compétences : anticiper les besoins

Selon la Maison de l'emploi et de la formation du Cotentin²⁹⁸, la filière de l'éolien offshore recouvre 80 métiers, dont la grande majorité existe déjà dans les domaines du génie civil, des constructions métalliques, de l'électronique, des composites, ainsi que dans les industries pétrolière et éolienne.

Il convient, dès aujourd'hui, d'adopter une démarche anticipatrice en termes de formation et de gestion des compétences.

- Un enjeu déjà pris en compte, tant par les acteurs de l'enseignement supérieur...

De nombreuses formations existantes peuvent dispenser des enseignements pertinents pour la filière. Il existe par exemple plusieurs formations d'ingénieurs axées sur les énergies renouvelables ou le génie de l'environnement (CNAM de Bastia et Nancy, École des Mines), l'électronique ou l'électrotechnique (Polytech Nantes, ENSEEIH Toulouse, ESIEE Amiens) ou encore les enjeux maritimes (École centrale de Marseille). L'ADEME propose également des formations à la conduite de projets éoliens.

De plus, quelques grandes écoles proposent d'ores et déjà des formations contenant une part significative d'enseignements sur les EMR, à Paris (Polytechnique) et Caen (ESIX et ESTIC).

Le premier Master uniquement dédié aux énergies marines renouvelables est ouvert depuis la rentrée 2010 à Brest (collaboration ENSTA/Telecom Bretagne/École

²⁹⁷ Six territoires bas-normands et ligériens signent pour développer les énergies marines renouvelables. www.lagazette.fr, 19 mars 2012. EMR : Basse-Normandie et Pays de la Loire unissent leurs forces. www.meretmarine.com, 12 mars 2012.

navale). Pluridisciplinaire, la formation couvre les aspects technologiques, énergétiques, environnementaux, économiques et sociaux des énergies marines.

Enfin, les IUT de Lannion et de La Réunion envisagent de créer des formations spécifiques aux énergies marines.

- ... que par ceux de la formation professionnelle et continue

Il existe également plusieurs formations de technicien de maintenance d'éoliennes, dont quatre correspondent au standard international BZEE²⁹⁹ : le Greta du Mans et les lycées techniques de Charleville-Mézières, Montmorillon et Nîmes.

Nombre d'instituts de formation prévoient également de créer de nouvelles formations portant pour tout ou partie sur les énergies marines, comme le CFAI des Côtes d'Armor, par exemple.

Enfin, plusieurs formations entièrement axées sur les énergies marines sont en projet. Celle proposée par le Greta du Mans formera à la maintenance des éoliennes offshore et le CEFCM de Concarneau proposera à partir de 2014 des formations destinées à mariner les compétences des techniciens de l'éolien terrestre (3 à 4 semaines), ainsi qu'à former des marins brevetés au travail sur les navires de maintenance (6 semaines).

- Le temps de la prospective

Une réflexion prospective est nécessaire, afin de cerner précisément quels sont les besoins de formation et à quelles échéances. Ce travail d'identification des besoins doit être mené en lien avec les entreprises du secteur. Son but : analyser les différents aspects des projets, et notamment la succession des phases d'activité dans le temps, pour répondre aux questions suivantes : les parcs éoliens offshore seront-ils installés en même temps ? La maturité industrielle de l'éolien flottant ou de l'hydrolien sera-t-elle atteinte avant que l'installation des parcs éoliens posés ne soit terminée ? Le nombre de personnels à former dépend en partie des réponses à ces questions.

En Bretagne, cet enjeu de la réflexion prospective a été intégré dans le Contrat de plan régional de développement des formations (CPRDF) et réaffirmé par le Président du Conseil régional³⁰⁰, qui a demandé aux organismes de formation d'attendre que se tiennent les réunions rassemblant les différents partenaires sur le sujet (à partir de septembre 2012) avant de mettre en place de nouveaux dispositifs. Il apparaît en effet important de ne pas agir dans la précipitation, de manière à ne pas créer des formations redondantes, ou décalées par rapport aux besoins réels de la filière.

²⁹⁹ Le certificat IHK/BZEE est délivré par le BZEE, institut de formation aux métiers des EMR basé à Husum en Allemagne. Cette certification est reconnue dans le monde entier par les professionnels de l'éolien et fréquemment exigée pour la maintenance des parcs offshore.

³⁰⁰ Intervention du Président du Conseil régional de Bretagne lors de la Conférence régionale de la mer et du littoral du 10 mai 2012.

- Construire une véritable GPEC territoriale

Une gestion prévisionnelle des emplois et des compétences est nécessaire pour trois raisons :

- certains secteurs sont déjà en tension. Ainsi, les entreprises de la construction et la réparation navales ont parfois des difficultés à recruter des soudeurs ou des chaudronniers et font régulièrement appel à des sous-traitants étrangers³⁰¹. Ces difficultés s'expliquent moins par l'insuffisance de l'offre de formation que par la faible attractivité de ces secteurs. Or, non seulement l'éolien offshore aura également besoin de ces compétences, mais la filière semble en outre plus attractive pour les jeunes³⁰². Dans ces conditions, il convient de faire en sorte que son développement ne se fasse pas au détriment de la construction navale ;
- certains emplois liés à l'éolien offshore ne seront pas pérennes, notamment ceux qui concernent la construction d'éléments difficilement exportables, comme les fondations. Il convient donc de créer des passerelles entre les filières grâce à une GPEC territoriale, mais également de permettre aux travailleurs qui le souhaitent d'être mobiles. Cela suppose que les compétences acquises en formation et sur le terrain soient reconnues, valorisées et transférables à d'autres projets, y compris pour d'autres technologies EMR et dans d'autres pays. Dans la mesure du possible, les formations les plus spécialisées doivent alors se conformer aux standards internationaux (comme le BZEE dans le domaine de la maintenance des éoliennes) et intégrer des langues étrangères (et notamment l'anglais) ;
- en fonction des réalités locales, une GPEC territoriale menée précocement peut également permettre d'orienter vers l'éolien offshore des travailleurs issus de filières en déclin ou employés sur de grands chantiers temporaires, comme celui de l'EPR par exemple.

- Penser l'offre de formation aux niveaux régional et interrégional

Les besoins de compétences de la filière EMR auront des répercussions sur d'autres filières, ce qui implique d'associer l'ensemble des acteurs économiques concernés aux réflexions sur les formations. Le niveau régional est le plus indiqué pour faire dialoguer sur ces questions les pouvoirs publics, les organismes et les établissements en charge de la formation (qu'il s'agisse d'enseignement supérieur, de formation professionnelle ou de formation continue), ainsi que les acteurs économiques. C'est également au niveau régional que pourront être mises en œuvre des actions de valorisation et de promotion des métiers des énergies marines auprès des jeunes.

Néanmoins, les enjeux de formation dépassent l'espace régional. Les travailleurs les plus spécialisés connaîtront probablement des mobilités importantes, sur un marché du travail qui n'est ni régional ni national mais plutôt européen. Dans ces conditions, un dialogue interrégional paraît indispensable, afin d'éviter la création de viviers de professionnels trop importants en certains domaines.

³⁰¹ L'Usine Nouvelle, 15 avril 2012. *Les chantiers bretons font dans la réparation.*

³⁰² Audition de M. Jacques DUBOST (Bretagne Pôle Naval), 26 avril 2012.

2. Pour une stratégie régionale offensive

Dans une étude sur les industries éoliennes³⁰³, l'Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France distingue cinq conditions d'émergence des clusters :

- une volonté politique avec un soutien de l'ensemble des acteurs locaux ;
- une stratégie claire et affichée ;
- des moyens humains, mais aussi financiers, voire fonciers et immobiliers ;
- une étroite collaboration avec le monde industriel et, si possible, le soutien à un chef de file industriel qui pourra jouer un rôle de fédérateur ;
- la mise en place d'une structure d'animation dédiée.

Par extrapolation, il est possible de considérer que les mêmes conditions président à la réussite d'une filière industrielle centrée sur les EMR. Comment faire en sorte que toutes ces conditions soient réunies en Bretagne pour le déploiement industriel des énergies marines ?

2.1. La force d'une stratégie qui prend en compte les différents aspects des énergies marines

Il n'existe pas en Bretagne de document unique définissant une stratégie de développement des EMR, mais un ensemble d'initiatives prises par différents acteurs, à différents niveaux. Il est toutefois possible de dessiner les grands axes de la stratégie des acteurs régionaux à partir du Pacte électrique, du projet de développement du port de Brest et des différentes actions de soutien à la recherche ainsi qu'à la filière industrielle. Il apparaît ainsi que la stratégie régionale s'appuie sur trois axes :

- un soutien à la recherche. L'ambition est de faire de Brest la place de référence dans la R&D sur les énergies marines et d'inciter à la mise en place de démonstrateurs en Bretagne ;
- des objectifs de production d'énergie précisés dans le Pacte électrique breton ;
- des objectifs industriels. Dans un premier temps, il s'agit de développer des activités logistiques et industrielles pour l'éolien offshore posé (à partir de 2014-2015). A plus long terme, l'objectif est de placer Brest au cœur d'une activité industrielle liée à l'éolien flottant (à partir de 2017).

Il s'agit donc d'une stratégie relativement complète, dans la mesure où elle intègre des objectifs énergétiques, industriels et de recherche. Il faut également souligner la cohérence temporelle d'une telle stratégie. Le volet R&D, initié depuis plusieurs années déjà précède le volet industriel, lequel comporte deux dimensions qui se succéderont dans le temps. Ce point est essentiel, car étant donné l'absence de maîtres d'œuvre de l'éolien posé, il paraît indispensable qu'une place importante soit accordée aux autres technologies dans la stratégie bretonne. Le projet de développement du port de Brest prévoit donc un calendrier en deux temps, avec des activités liées à l'éolien posé de 2015 à 2018, puis à l'éolien flottant à partir de 2017-

³⁰³ IAU-IDF, mai 2011. *Les industries des ENR en Île-de-France : quel potentiel de développement ? 2. L'industrie éolienne.*

2018. De cette manière, une grande partie des emplois liés à la construction des parcs les plus proches pourrait être maintenue une fois ce travail terminé. Pour le CESER, les technologies sont en effet complémentaires du point de vue énergétique, mais aussi du point de vue de l'activité qu'elles peuvent créer. Pour pérenniser l'activité liée aux EMR, il faut que les acteurs industriels bretons puissent se positionner sur plusieurs technologies d'avenir au moment de leur démarrage industriel, et notamment l'éolien flottant et l'hydrolien.

En revanche, la stratégie régionale peut apparaître fragile sur sa dimension de court-terme.

Si les initiatives visant à soutenir les filières industrielles de demain (éolien flottant, hydrolien) doivent être lancées dès à présent, il est également indispensable que les entreprises bretonnes prennent une part significative au système productif qui se met en place pour l'éolien offshore posé.

Des emplois sont en jeu, mais pas uniquement : il en va également de la crédibilité de la stratégie dans son ensemble. Car au moment où l'hydrolien, l'éolien flottant, et le houlomoteur atteindront le stade commercial, d'autres territoires seront probablement en recherche de diversification de leurs activités EMR. L'expérience de l'éolien posé et les infrastructures liées constitueront alors des facteurs d'attractivité importants.

2.2. Une urgence : structurer la filière

Capacités de recherche et d'innovation, compétences industrielles... : les acteurs économiques bretons possèdent des atouts utiles à la filière des énergies marines. Néanmoins, le tissu industriel breton présente également quelques faiblesses structurelles.

D'abord, la région ne compte aucun maître d'œuvre industriel pour la filière de l'éolien posé. Deux groupes ont l'ambition de devenir des acteurs importants de la filière : DCNS, qui est probablement la seule entreprise en Europe à développer quatre technologies EMR à la fois, et Winacelles, qui pourrait s'imposer comme un acteur important de l'éolien flottant. Néanmoins, ces entreprises n'en sont pas au stade des projets industriels. De plus, DCNS est implanté dans de nombreux ports. Bien que son incubateur EMR soit situé à Brest, rien n'indique que le groupe privilégiera la Bretagne pour ses implantations industrielles, comme en témoigne le choix de Cherbourg pour son usine d'hydroliennes. Or, la présence d'un maître d'œuvre agit comme un catalyseur. Dans les Pays de la Loire, par exemple, la structuration de la filière est conjointement assurée par Neopolia et STX, qui possède une influence et des moyens conséquents.

De plus, sur certains segments, les coûts d'entrée dans la filière peuvent être très élevés et parfois supérieurs aux capacités d'investissements des PMI bretonnes.

Les entreprises bretonnes courent alors le double risque d'être mal identifiées ou de n'être pas suffisamment compétitives.

Dans ces conditions, l'étude commandée par BPN concluait à la nécessité d'une préparation, pour structurer l'offre des entreprises bretonnes sur les plans technique et commercial. Les travaux menés par la CCI des Côtes-d'Armor ont également mis en lumière la nécessité d'organiser les entreprises pour créer localement les compétences intéressant les grands ensembliers³⁰⁴.

Pour que les atouts des acteurs économiques bretons se transforment en avantages comparatifs à l'heure où l'on assiste au démarrage industriel des énergies marines en France, il est donc urgent de structurer la filière au niveau régional.

2.3. Consolider la volonté partagée

Grâce aux réflexions menées par les groupements d'acteurs économiques, cet enjeu fait désormais consensus en Bretagne, et de nombreuses initiatives sont menées dans le but de mobiliser les entreprises, construire une offre cohérente et la valoriser. Outre les initiatives de recensement des compétences déjà citées, deux types d'actions sont à distinguer.

Le premier vise à mettre en lien les entreprises intéressées et les maîtres d'œuvre industriels, qui sont en recherche de partenaires depuis 2011. De nombreuses rencontres ont déjà été organisées, notamment par Bretagne Pôle Naval et les Chambres de commerce. Celles-ci permettent aux premiers de présenter leurs projets, leurs besoins et aux seconds de prendre un premier contact en vue d'une éventuelle qualification en tant que fournisseurs.

Le second vise à accroître la visibilité globale des atouts bretons, qu'ils soient portuaires, géographiques ou industriels. Cet enjeu est notamment pris en charge par Bretagne Développement Innovation, qui a organisé la présence coordonnée des acteurs régionaux lors des salons Thetis EMR (en janvier 2012 à Bordeaux) et EWEA (en avril 2012 à Copenhague). BDI poursuit son travail en vue de la préparation des futurs événements de ce type. Il faut également signaler que l'édition 2013 du salon Thetis, qui rassemble tous les principaux industriels français du secteur ainsi que des groupes étrangers, aura lieu à Brest.

Ces différentes initiatives témoignent du volontarisme des acteurs économiques bretons et des organismes concernés, de plus en plus mobilisés autour de la construction d'une réponse collective aux défis de la filière EMR.

2.4. Pour une gouvernance renouvelée

Les auditions ont toutefois révélé que si les acteurs se mobilisent pour un même but, leurs initiatives sont parfois mal connectées entre elles.

³⁰⁴ Auditions de MM. Thierry TROESCH et Christophe LE NANCQ (CCI 22), 5 avril 2012.

- La mobilisation des acteurs économiques

Les différents acteurs ayant mené des actions de recensement et mobilisation des entreprises ne sont pas tous structurés ni organisés de la même manière. Il existe donc plusieurs niveaux de coopération : locale à Brest, départementale dans les Côtes d'Armor, régionale pour certaines actions. L'enjeu est aujourd'hui d'assurer la mise en cohérence de ces initiatives.

Un premier pas, très important, a été franchi avec la délégation faite à Bretagne Pôle Naval de la mission d'animation de la filière. **Étant donné les caractéristiques du tissu industriel breton, un leadership clair est en effet nécessaire afin de faciliter les rapprochements et les coopérations entre sociétés.**

Par ailleurs, la nouvelle organisation, à l'échelle régionale, du réseau des Chambres de commerce et d'industrie, permet de renforcer la coordination entre les actions menées par chacune des CCI territoriales.

- Le pilotage stratégique

La stratégie bretonne semble relativement floue à nombre d'observateurs. Cela est probablement lié à une insuffisance de l'information, tant sur les atouts de la Bretagne que sur les actions en cours et leur valorisation.

La prise en charge au niveau politique de la stratégie de développement des énergies marines revient actuellement à six Vice-président(e)s du Conseil régional. Ainsi, toutes les dimensions de cette nouvelle filière sont prises en compte : le développement économique, l'enseignement supérieur et la recherche, la formation, la mer, les infrastructures, le climat et l'énergie... les responsables politiques sont tous fortement impliqués sur ce thème. *A contrario*, cela réduit la lisibilité de la stratégie régionale pour les acteurs extérieurs.

De plus, l'appropriation collective exige que toutes les parties prenantes puissent être informées et consultées sur l'ensemble des enjeux : nouveaux projets, aspects économiques et sociaux des projets sur lesquels la concertation a déjà eu lieu, formation, etc. Cette exigence concerne les acteurs socio-économiques, ainsi que les représentants des salariés et les associations de protection de l'environnement.

Il convient alors de pérenniser la capacité de réflexion et de mobilisation collective dont les acteurs ont fait preuve lors de la planification sur l'éolien en mer, en l'appuyant par la mise en place d'un leadership clair, tant dans la dynamique industrielle que dans le pilotage stratégique.

Conclusion :
pour une feuille de route
offensive, qui réaffirme
le rôle du niveau régional

La planification de l'éolien en mer, qui constitue en soi une avancée majeure, a trouvé un terrain particulièrement favorable en Bretagne. Cette réussite s'explique par une conscience partagée des enjeux énergétiques de la région ainsi que par un important travail impliquant de nombreux acteurs lors de la phase de concertation.

En Bretagne comme partout en France, les acteurs sont d'autant plus disposés à se mobiliser pour les projets qu'ils en attendent des retombées significatives. Sur ce point, les dernières années ont été décisives, et les énergies marines sont aujourd'hui plus que jamais vues par le prisme du développement économique. Région industrielle et pionnière du développement des EMR, la Bretagne possède des atouts pour jouer un rôle majeur dans cette dynamique.

Pour que les retombées soient à la hauteur des atouts, l'enjeu n'est donc plus de convaincre les acteurs mais de faire en sorte qu'ils s'organisent de manière efficiente. Il convient, ici, d'instaurer des instruments de gouvernance à la fois efficaces et largement ouverts, à l'image de ce qui s'est fait lors de la planification sur l'éolien en mer.

Pour que la Bretagne tire pleinement parti des retombées énergétiques et économiques des énergies marines, il est nécessaire de coordonner les initiatives des différents acteurs bretons, dans le cadre d'objectifs partagés, préalablement définis.

Il convient, ainsi, de décliner les grandes orientations régionales partagées entre autres dans le Pacte électrique, en **objectifs opérationnels** et en **moyens associés**. Il s'agit non seulement de valoriser et d'organiser les initiatives existantes, mais aussi d'en impulser de nouvelles pour permettre :

- de **repérer précisément les sites exploitables**. Une initiative de planification en ce sens a été lancée par le Conseil régional en 2012. Elle concerne toutes les technologies ;
- de **soutenir l'installation en Bretagne de sites pilotes** pour l'éolien flottant et l'hydrolien ;
- d'**accélérer la structuration de la filière**. A cette fin, il est essentiel d'en **clarifier la gouvernance**, en nommant un chef de projet ou en instaurant un leadership accepté et reconnu par les différents organismes qui se mobilisent en faveur du développement des énergies marines ;
- d'**anticiper les besoins et de structurer l'offre régionale de formation**. Là encore, la Région a annoncé la mise en place d'une instance visant à mettre en cohérence l'action des différents acteurs de la formation initiale, professionnelle et continue ;
- de **mettre en place une gestion prévisionnelle des emplois et des compétences territoriale**, afin de s'adapter à l'évolution des technologies et des activités ;
- de **poursuivre les efforts en matière de concertation** au niveau régional comme au niveau local, nécessaires à l'acceptation des projets par les populations locales et les usagers de la mer ;
- de maintenir un dialogue permanent pour **l'appropriation collective** des enjeux du développement des énergies marines. La Conférence régionale de la mer et du littoral peut constituer un lieu pertinent pour structurer ces échanges en y intégrant l'ensemble des parties prenantes. La **création** en son

sein **d'un groupe de travail permanent sur les énergies marines** est donc proposée, ainsi qu'un renforcement de ses moyens ;

- **d'impulser des coopérations** sur des enjeux tels que la formation ou la recherche, qui doivent être appréhendés à l'échelon interrégional.

L'engagement de tous est nécessaire. L'État, la Région, les collectivités, les chambres consulaires, les industriels et l'ensemble des acteurs socio-économiques doivent **participer à la définition de ces objectifs et s'engager, chacun à son niveau, dans leur mise en œuvre**. Au sein de chacun de ces organismes, il importe de clarifier au maximum les responsabilités afin de faciliter l'identification de personnes ressources et de faciliter le dialogue entre elles.

Seule une telle feuille de route, précise, offensive, partagée par tous mais clairement pilotée par un interlocuteur identifié et reconnu, permettra de concrétiser la filière des énergies marines en Bretagne.

Auditions

Nous remercions toutes les personnes auditionnées par la section Mer Littoral du CESER de février à avril 2012 (*les titres et mandats correspondent à la situation au moment de l'audition*) :

Frank BELLION	Président de la CCI de Brest
Marc BŒUF	Responsable partenariats énergies marines à DCNS
Alain CLEMENT	Chercheur à l'École centrale de Nantes
Alain COUDRAY	Président du CDPMEM des Côtes d'Armor
Yann-Hervé DE ROECK	Coordinateur du projet France Énergies Marines
Vincent DENBY-WILKES	Délégué régional d'EDF en Bretagne
Jacques DUBOST	Président de Bretagne Pôle Naval
Thierry GUEZENNEC	Directeur du développement économique à la CCI de Brest
Stéphane JEDREC	Directeur de la Stratégie du Groupe Nass&Wind
Christophe LE NANCQ	Directeur du développement à la CCI des Côtes d'Armor
Jean-Jacques LE NORMENT	Adjoint au directeur en charge de la conduite de projet de développement du port de Brest, Direction de la mobilité et des transports, Conseil régional de Bretagne
Violaine MERRIEN	Chargée de mission pêche, aires marines protégées, énergies marines au CRPMEM
Thierry TROESCH	Vice-président de la CCI des Côtes d'Armor chargé de l'industrie, Président de la commission industrie-agroalimentaire

Nous remercions également, pour les informations et documents fournis :

Antoine CARLIER	Chercheur à l'Ifremer
Xavier FERREY	Directeur de la communication du groupe Nass&Wind
Bernard MULTON	Professeur à l'ENS Cachan
Paul-André PINCEMIN	Directeur défense, navale, nautisme, EMR à Bretagne Développement Innovation

Tables

Sigles et abréviations

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AMI	Appel à manifestation d'intérêt
BDI	Bretagne Développement Innovation
BPN	Bretagne Pôle Naval
CCI	Chambre de commerce et d'industrie
CCSTI	Centre de culture scientifique, technique et industrielle
CDPMEM	Comité départemental des pêches maritimes et des élevages marins
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CNDP	Commission nationale du débat public
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CPRDF	Contrat de plan régional de développement des formations
CRE	Commission de régulation de l'énergie
CRML	Conférence régionale de la mer et du littoral
CRPMEM	Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins
EERA	Alliance européenne de la recherche sur l'énergie
EMEC	European Marine Energy Centre
EMR	Énergies marines renouvelables
ENSTA	École nationale supérieure de techniques avancées
EOEA	Association européenne pour l'énergie des océans
EPR	European Pressurized Reactor (centrale nucléaire de nouvelle génération)
ETM	Énergie thermique des mers
EWEA	European Wind Energy Association
FEM	France Énergies Marines
GPEC	Gestion prévisionnelle des emplois et des compétences
GICAN	Groupement des industries de construction et des activités navales
GW	Gigawatt
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
IEED	Institut d'excellence en énergies décarbonées
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
INRA	Institut national de la recherche agronomique
IRT	Institut de recherche technologique

kW	Kilowatt
LPO	Ligue de Protection des Oiseaux
MIRIADE	Mission régionale pour l'innovation et l'action de développement économique (Basse-Normandie)
MW	Mégawatt
PAC	Pile à combustible
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PCRD	Programmes-cadres pour la recherche et le développement
PPI	Programmation pluriannuelle des investissements d'électricité
R&D	Recherche et développement
RTE	Réseau de transport de l'électricité
SEM-REV	Site d'expérimentation en mer pour la récupération de l'énergie des vagues
SEENEOH	Site expérimental estuarien national pour l'essai et l'optimisation d'hydroliennes
SRCAE	Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie
STEP	Station de transfert de l'énergie par pompage
TWh	Térawatt heure
ZDE	Zone de développement de l'éolien

Liste des tableaux et figures

Tableau 1.	Objectifs définis pour les énergies marines dans le Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables.	16
Tableau 2.	Objectifs pour les énergies marines tels que définis par l'ADEME.	16
Tableau 3.	Capacités éoliennes offshore installées en Europe en juin 2011.	25
Tableau 4.	Perspective d'évolution des coûts de production pour chaque technologie.	121
Tableau 5.	Identification des compétences bretonnes pouvant être utiles à la filière éolienne offshore.	157
Figure 1.	L'interconnexion des parcs éoliens en mer à l'horizon 2030, une proposition de l'EWEA.	15
Figure 2.	Production d'électricité éolienne onshore et offshore en Europe.	21
Figure 3.	Sites pilotes en projet en France.	28
Figure 4.	Projets industriels d'exploitation des énergies marines en France.	28
Figure 5.	Parc de quatre hydroliennes OpenHydro.	29
Figure 6.	Zone du parc de Saint-Brieuc.	31
Figure 7.	Représentation de l'hydrolienne Sabella D10.	32
Figure 8.	Les projets de sites d'essais en France.	44
Figure 9.	L'éolienne Haliade 150 d'Alstom sur le site du Carnet, à Saint-Nazaire.	46
Figure 10.	La nacelle de l'éolienne M5000 d'Areva.	47
Figure 11.	Navire jack up ayant servi à l'installation du danois de Horns Rev 2.	49
Figure 12.	La première hydrolienne de Paimpol-Bréhat sur sa barge.	53
Figure 13.	Charges de service public de l'électricité concernées par la CSPE en 2012 (montants prévisionnels).	81
Figure 14.	Répartition des emplois en phase de construction d'un parc éolien offshore.	128
Figure 15.	Assemblage des nacelles à Bremerhaven.	129
Figure 16.	Sous-station sur le parc d'Horns Rev 2.	131
Figure 17.	Câble servant à raccorder les parcs danois au réseau électrique.	132
Figure 18.	Installation des éoliennes sur le parc d'Alpha Ventus en Allemagne (2009).	133
Figure 19.	Navire de pose sur le parc d'Alpha Ventus.	133
Figure 20.	Potentiel technique pour l'éolien posé en France métropolitaine.	152
Figure 21.	Potentiel technique pour l'éolien flottant en France métropolitaine.	152
Figure 22.	Vitesse des courants en France métropolitaine.	153
Figure 23.	Puissance des vagues en France métropolitaine.	153
Figure 24.	Le projet d'aménagement du polder du port de Brest.	156
Figure 25.	Immersion du prototype Sabella D03 dans l'Odet.	160
Figure 26.	Représentation d'un parc composé d'éoliennes Winflo.	162

Table des matières

Introduction	1
---------------------	----------

Première partie	
Maintenir le cap pour atteindre les objectifs fixés	5

Chapitre 1	
Des objectifs convergents et des projets qui se concrétisent	9

1.	Les énergies marines entrent dans les programmations énergétiques	13
1.1.	La politique énergétique européenne	13
1.2.	La politique énergétique nationale	15
1.3.	En Bretagne	17
1.4.	Demain, des objectifs plus ambitieux ?	17
1.5.	Prendre toute la mesure du potentiel de production des énergies marines	19
2.	Un développement rapide des EMR sur les côtes européennes... et bientôt en France	20
2.1.	Le Danemark : un pionnier de l'éolien offshore toujours actif	21
2.2.	Le Royaume-Uni et l'Irlande : tirer le meilleur profit de potentiels exceptionnels	22
2.2.1.	L'Irlande : un développement en collaboration avec le Royaume-Uni	22
2.2.2.	Le Royaume-Uni, locomotive de l'éolien offshore	23
2.2.3.	L'Écosse : le cas particulier d'une région qui vise l'indépendance énergétique	24
2.3.	Ailleurs dans le monde	24
2.4.	En France : enfin des projets qui se concrétisent !	26
2.5.	Des projets qui se confirment en Bretagne	29
2.5.1.	Un site pilote hydrolien à Paimpol-Bréhat	29
2.5.2.	Un parc éolien en baie de Saint-Brieuc	30
2.5.3.	Un démonstrateur et un projet de parc hydrolien dans le passage du Fromveur	32
2.5.4.	Un parc pilote pour l'éolien flottant à Groix	32

Chapitre 2	
Des progrès continus en matière de recherche et développement	35

1.	Une dynamique collaborative dans laquelle les acteurs bretons sont très présents	39
1.1.	Des projets de recherche collaboratifs	40
1.1.1.	Les outils européens	40
1.1.2.	En France : les Instituts d'excellence en énergies décarbonées (IEED)	40
1.2.	Démonstrateurs et sites d'essais	42
1.2.1.	Des appels à projets pour soutenir la démonstration	42
1.2.2.	Des sites d'essais en France	43
2.	Des progrès technologiques rapides	45
2.1.	Éolien offshore posé : des éoliennes de plus en plus marinisées	45
2.1.1.	La course au gigantisme	46

2.1.2.	La recherche de la fiabilité	48
2.1.3.	Les autres innovations technologiques	48
2.2.	Hydrolien : une technologie proche de la phase industrielle	50
2.2.1.	Des progrès technologiques mais pas d'innovation radicale	50
2.2.2.	Des investissements significatifs	53
2.3.	Éolien flottant : des technologies prometteuses, qui doivent encore faire leurs preuves	54
2.3.1.	Première tendance : des technologies extrapolées d'autres secteurs d'activité	54
2.3.2.	Deuxième tendance : l'innovation radicale	55
2.3.3.	Troisième tendance : une conception intégrée	56
2.4.	Exploitation de l'énergie des vagues : le jeu reste ouvert	57
2.4.1.	Les systèmes à la côte	57
2.4.2.	Les systèmes installés près des côtes	58
2.4.3.	Les systèmes installés au large	58
2.5.	La production de carburants à partir d'algues	59
2.6.	Énergie thermique des mers : des investissements considérables en perspective	60
2.7.	Gradients de salinité : les recherches se poursuivent en Norvège	61
2.8.	Une nouveauté : les « îles d'énergie »	62
3.	Des avancées qui concernent également les champs de recherche complémentaires	62
3.1.	Étude des impacts environnementaux : un nouveau champ de recherche	62
3.2.	La recherche sur les réseaux intelligents	67
3.3.	Le stockage de l'énergie	67

Chapitre 3

Des incertitudes pouvant freiner le déploiement des énergies marines 71

1.	Une planification qui n'en est qu'à ses débuts	75
2.	Malgré des améliorations, la réglementation reste complexe	77
3.	Des signaux parfois contradictoires sur le soutien aux projets	79
3.1.	Le passage du démonstrateur à la machine commerciale : une étape délicate	79
3.2.	Financement des parcs : vers des difficultés croissantes ?	80
3.2.1.	Le tarif de rachat : une garantie pour l'exploitant	80
3.2.2.	Des financeurs plus nombreux, mais demandeurs d'une stabilité accrue	81
4.	Des difficultés apparaissant au moment de la mise en œuvre des projets	83
4.1.	Le raccordement au réseau	83
4.2.	La disponibilité des navires spécialisés, des câbles et des espaces portuaires	84
4.3.	Des projets abandonnés	85

Chapitre 4

Aller plus loin dans l'appropriation collective 87

1.	La participation des différentes parties prenantes aux projets en Bretagne	92
1.1.	Au niveau régional, des objectifs partagés	92
1.1.1.	La Conférence bretonne de l'énergie	92
1.1.2.	La Conférence régionale de la mer et du littoral (CRML)	93
1.2.	Des concertations dans lesquelles la voix des acteurs locaux a été prise en compte	95
1.2.1.	Le site hydrolien de Paimpol-Bréhat : un projet exemplaire ?	95
1.2.2.	Le parc éolien en baie de Saint-Brieuc : un apprentissage de la concertation	96

2.	Une insuffisance d'information	98
3.	Les exigences de l'appropriation collective	100
3.1.	Un diagnostic et des objectifs partagés	100
3.2.	La planification nécessite du temps et exige une hiérarchisation des priorités	100
3.3.	Une conception exigeante de la concertation avec les parties prenantes	101
3.4.	Articuler la concertation avec les parties prenantes et la prise en compte des populations	102
3.5.	Maximiser les retombées locales	103

Deuxième partie	
Faire des énergies marines un nouveau pilier de l'industrie régionale	107

Chapitre 5	
Les perspectives de développement industriel	111

1.	Éolien offshore posé : un marché en pleine expansion, tiré par les pays européens	115
2.	Hydrolien : les projets industriels s'accélèrent	116
3.	L'éolien flottant, à la fois concurrent et relais de croissance pour l'éolien posé	117
4.	Énergie houlomotrice : un potentiel important mais un développement incertain	118
5.	Énergie thermique des mers : des marchés concentrés en zone intertropicale	119
6.	La réduction des coûts, un enjeu majeur	119

Chapitre 6	
Éolien offshore : la mise en place d'une filière industrielle en France	123

1.	Les différentes composantes d'une nouvelle filière industrielle	127
1.1.	Le montage du projet et les études préalables	128
1.2.	La fabrication des différents éléments du parc	129
1.3.	L'installation du parc	131
1.4.	L'exploitation et la maintenance du parc	134
2.	Trois exemples de structuration de la filière	134
2.1.	Au Danemark, le marché intérieur comme tremplin	135
2.2.	En Allemagne, la filière profite des acquis de l'éolien terrestre	135
2.3.	Au Royaume-Uni, une approche libérale	136
3.	En France : la volonté politique et les stratégies industrielles se rejoignent	137
3.1.	Le positionnement de grands industriels	137
3.2.	La prise de conscience du potentiel de l'industrie française	138
3.2.1.	L'initiative Windustry France : une volonté de développer l'industrie éolienne	138
3.2.2.	Le rapport PwC : « Éolien offshore : vers la création d'une filière industrielle française ? »	139
3.2.3.	Des rapports parlementaires qui soulignent le potentiel économique de l'éolien en mer	139
3.3.	Un appel d'offres orienté vers la création d'une filière	140
3.3.1.	Une activité cohérente avec l'approche retenue par la politique industrielle nationale	140
3.3.2.	Une clause industrielle dans l'appel d'offres pour l'éolien en mer	141
3.4.	L'implantation de maîtres d'œuvre industriels en France	142
3.5.	Des opportunités de partenariats et de sous-traitance	144
3.6.	L'enjeu de la pérennité des activités créées	144

Chapitre 7

La Bretagne a un rôle-clé à jouer dans la filière des énergies marines 147

1.	La Bretagne : une région qui compte dans le déploiement des énergies marines	151
1.1.	La proximité de la ressource	151
1.2.	Recherche, développement et innovation : des compétences reconnues	154
1.3.	Des infrastructures portuaires adaptées	154
1.4.	De nombreuses compétences industrielles	156
2.	De multiples projets structurants en prévision	158
2.1.	Éolien offshore posé : des opportunités à saisir rapidement	158
2.2.	Hydrolien : des atouts mais pas encore de projets industriels	160
2.3.	Éolien flottant : un projet industriel majeur	161
3.	Une filière industrielle qui se structure à l'échelle du Grand Ouest	163
3.1.	La mobilisation des territoires	163
3.1.1.	Le recensement et la promotion des compétences	163
3.1.2.	La sensibilisation des acteurs économiques	164
3.1.3.	Les investissements dans les infrastructures portuaires	165
3.2.	Des retombées industrielles dans plusieurs régions	167

Chapitre 8

Organiser collectivement la filière des énergies marines en Bretagne 171

1.	Vers une coordination renforcée des initiatives	175
1.1.	L'enjeu de la coordination régionale	175
1.2.	Une nécessité : porter la réflexion au niveau interrégional	177
1.3.	Formation et compétences : anticiper les besoins	178
2.	Pour une stratégie régionale offensive	181
2.1.	La force d'une stratégie qui prend en compte les différents aspects des énergies marines	181
2.2.	Une urgence : structurer la filière	182
2.3.	Consolider la volonté partagée	183
2.4.	Pour une gouvernance renouvelée	183

Conclusion : pour une feuille de route offensive, qui réaffirme le rôle du niveau régional	185
---	------------

Auditions	189
Tables	193
Sigles et abréviations	195
Liste des tableaux et figures	197
Table des matières	199

Copyright © Région Bretagne –
Conseil économique, social et environnemental de Bretagne
 7 rue du Général Guillaudot – CS 26918 - 35069 Rennes Cedex

Les rapports du CESER peuvent faire l'objet d'une présentation orale publique par les rapporteurs.
 Les demandes doivent être adressées au Président du Conseil économique, social et
 environnemental de Bretagne.

Pour mieux connaître le fonctionnement et les activités du CESER,
 visitez le site www.ceser-bretagne.fr

Dans son rapport de 2009 « Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer ! », le Conseil économique, social et environnemental régional de Bretagne attirait l'attention sur le formidable potentiel des énergies marines. Le rapport faisait bien sûr référence à leur place dans le bouquet énergétique renouvelable, mais il allait plus loin et innovait en insistant sur les enjeux économiques et industriels de la filière.

Depuis cette date, de nombreux pays européens ont installé des parcs éoliens en mer et poursuivi les tests visant à amener les hydroliennes, les dispositifs houlomoteurs et les éoliennes flottantes vers la maturité commerciale.

Mais le principal bouleversement concerne les enjeux industriels. En France, les énergies marines sont désormais largement vues par le prisme du développement économique, ce qui offre des perspectives nouvelles. L'État, les collectivités et les acteurs économiques se mobilisent ainsi pour créer les conditions d'émergence d'une filière industrielle exportatrice.

Alors que les énergies marines se trouvent à un moment-clé de leur déploiement où tout est encore possible, le CESER de Bretagne souhaite ici renouveler son appel à la mobilisation, afin que les ambitions et les atouts des acteurs régionaux se concrétisent et que le développement des énergies marines soit créateur d'activités pérennes en Bretagne.

En complétant son précédent rapport, le CESER souhaite ainsi proposer une information actualisée sur la réalité des évolutions intervenues depuis 2009, mais aussi et surtout apporter des éclairages nouveaux aux décisions à venir, cruciales pour l'avenir industriel de la région.

Photo de couverture : *assemblage par DCNS, à Brest, de la première hydrolienne EDF OpenHydro du site de Paimpol-Bréhat.*

Les rapports du CESER peuvent être :

- Téléchargés sur le site Internet : www.ceser-bretagne.fr
- Envoyés gratuitement sur demande
- Présentés publiquement sur demande



Conseil économique, social
et environnemental