

Des énergies marines en
Bretagne : à nous de jouer !

Copyright © Région Bretagne – Conseil économique et social de Bretagne
7 rue du Général Guillaudot – 35069 Rennes Cedex

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

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

Mars 2009

Avant-propos

Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer ! Ce « nous » collectif interpelle l'ensemble des acteurs bretons, qui peuvent saisir une opportunité majeure de développement pour leur région.

Le paysage énergétique est en pleine mutation. La concomitance de la prise de conscience du changement climatique et de la raréfaction des ressources fossiles impose d'anticiper la diversification du bouquet énergétique vers les énergies renouvelables. L'Europe s'est fixé un objectif ambitieux de 20% d'énergies renouvelables d'ici 2020. En France, la loi Grenelle 1 affirme l'objectif de produire 23% de notre énergie à partir de sources renouvelables d'ici 2020, soit 12 points supplémentaires à gagner en 12 ans.

Pour satisfaire cet objectif très ambitieux, il va donc falloir « changer de braquet » et diversifier notre bouquet énergétique en s'intéressant de plus près aux ressources renouvelables : soleil, vent, biomasse, géothermie, hydraulique... et énergies marines. Les énergies marines sont diverses : l'éolien offshore, les marées, les vagues, les courants, la biomasse, la chaleur, la salinité. Leur niveau de développement est très variable, allant du stade industriel à l'expérience de laboratoire. Un immense champ de recherche et développement et une opportunité de faire naître une nouvelle filière industrielle s'ouvrent, qui deviennent une cause nationale pour certains de nos voisins comme la Grande-Bretagne et l'Allemagne.

La Bretagne dispose d'une importante ressource en énergie marine, aujourd'hui inexploitée à l'exception notable de l'usine de la Rance. Qu'il s'agisse de la houle, des courants, du vent, de la marée, il y a là de quoi répondre significativement aux besoins énergétiques bretons. Le défi énergétique est d'autant plus aigu que la Bretagne ne produit que 7,4 % de l'électricité qu'elle consomme.

L'objectif de cette autosaisine de la section Mer Littoral est de contribuer aux travaux du CESR sur la politique énergétique de la Bretagne (*à paraître en 2009*), mais aussi plus globalement à l'ensemble des initiatives prises en faveur des énergies marines, en dressant un panorama complet du sujet et en proposant des pistes de réflexions et d'actions en réponse aux trois défis :

- d'exploiter les énergies marines en Bretagne ;
- de définir une stratégie de déploiement industriel ;
- de créer un groupement de recherche d'envergure internationale.

Au-delà des forces économiques et des décideurs politiques, c'est l'ensemble de la société civile qui est concernée par cette mobilisation et qui doit être associée à la gouvernance des énergies marines selon des modalités appropriées. Et puisque l'une des clés du développement des énergies marines réside dans leur appropriation

collective, nous vous proposons, en fin de rapport, de jouer au « grand jeu des énergies marines » !

Cette contribution a été facilitée par la qualité des auditions que nous avons menées pendant près d'un an. Que toutes les personnes auditionnées soient ici remerciées, ainsi que Stéphanie VINCENT, secrétaire de la section Mer Littoral, et tout particulièrement notre conseillère technique, Fanny TARTARIN, qui a su mettre en forme une matière première particulièrement riche.

Les rapporteurs, MM. Guy JOURDEN et Philippe MARCHAND.

La section Mer Littoral

Deuxième assemblée de la Région Bretagne, le Conseil économique et social régional (CESR) a une fonction d'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 et social de la Bretagne, représentant tous les courants de la société civile. Ce travail a été réalisé par la section Mer Littoral du CESR, composée de conseillers économiques et sociaux et de personnalités extérieures.

Rapporteurs : MM. Guy JOURDEN et Philippe MARCHAND

1. Membres de la section Mer Littoral

- M. Jean-Yves LABBE
- M. François LE FOLL
- M. Marcel LE MOAL
- M. Pierre EUZENES
- M. Bernard GUILLEMOT
- M. Jean-Paul GUYOMARC'H
- M. Pierre JAMET
- M. Guy JOURDEN
- M. André LE BERRE
- M. Yves LE GOURRIEREC
- M. Philippe MARCHAND

2. Personnalités extérieures

- M. Jean-Claude BODERE
- M. Cyriaque GARAPIN
- M. Alain GOURMELEN
- M. Hervé MOULINIER
- M. Yves PERRAUDEAU
- Mme Dominique PETIT

3. Assistance technique

- Mme Fanny TARTARIN, conseillère technique
- Mme Stéphanie VINCENT, secrétaire

Les précédents rapports de la section Mer Littoral

- Bretagne, région transfrontalière (1999)
- La mer et le littoral en Bretagne, pour une ambition régionale (2001)
- Pour une gestion concertée du littoral en Bretagne (2004)
- Pour une stratégie portuaire dans une région maritime (2006)
- Pour une politique maritime en Bretagne (2007)

Sommaire

Synthèse

Introduction générale Pourquoi les énergies marines en Bretagne ?	1
--	----------

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | Le défi énergétique et climatique :
les énergies marines, une réponse à des enjeux planétaires | 3 |
| 2. | Le défi industriel, le défi pour la recherche :
les énergies marines, une opportunité de développement pour la Bretagne | 5 |
| 3. | Une opportunité majeure pour la Bretagne | 6 |

Première partie De l'émergence des concepts... vers la maturité technologique	9
--	----------

- | | | |
|--|--|----|
| Chapitre 1
Un foisonnement de technologies en développement | 13 | |
| 1. | Des stades de développement disparates | 17 |
| 2. | Des évolutions technologiques sensibles mais inabouties | 19 |
| 3. | L'installation et la maintenance, étapes-clés vers le déploiement industriel | 43 |
| 4. | Le stockage de l'énergie | 49 |
| 5. | La production d' « algo-carburants » à partir de la biomasse algale | 51 |

- | | | |
|--|---|----|
| Chapitre 2
La Bretagne en effervescence | 57 | |
| 1. | Des projets au stade industriel | 61 |
| 2. | Un projet pré-industriel de démonstration | 65 |
| 3. | Des prototypes à l'essai | 68 |
| 4. | Des projets en R&D | 72 |
| 5. | Et chez nos voisins... | 75 |

- | | | |
|---|---|-----|
| Chapitre 3
Panorama des technologies et des développements | 79 | |
| 1. | L'exploitation de l'énergie éolienne offshore | 84 |
| 2. | L'exploitation de l'énergie des courants | 86 |
| 3. | L'exploitation de l'énergie des vagues | 94 |
| 4. | Panorama des développements en Europe | 100 |

Deuxième partie Un nouvel entrant dans un paysage complexe	105
---	------------

- | | | |
|---|---|-----|
| Chapitre 4
Des enjeux énergétiques | 109 | |
| 1. | Des engagements chiffrés face à l'urgence climatique | 113 |
| 2. | Des mutations énergétiques à anticiper | 117 |
| 3. | La contribution des énergies marines au bouquet énergétique | 117 |
| 4. | Un défi énergétique pour la Bretagne | 122 |

Chapitre 5	
Des enjeux économiques et industriels	125
1. L'économie des énergies marines	129
2. Les emplois et les métiers des énergies marines	153
Chapitre 6	
Des enjeux de recherche, développement et démonstration	163
1. Un cadre national établi par la loi : la stratégie nationale de recherche énergétique	167
2. Dans les faits, un axe de recherche en construction	169
Chapitre 7	
Des enjeux maritimes et côtiers	193
1. Un critère exclusif : les ressources disponibles	197
2. Les critères de faisabilité technique	201
3. Les critères d'intégration et d'acceptabilité	206
4. Vers une stratégie de planification ?	233
Troisième partie	
Les énergies marines, un nouveau pilier de l'économie bretonne	241
Chapitre 8	
Un rappel : économiser l'énergie	245
1. A court terme, une évolution des techniques et des comportements	249
2. Des innovations pour le moyen et le long termes	269
3. Les îles bretonnes, territoires maritimes « tests » pour la maîtrise de la demande en énergie	273
Chapitre 9	
Un objectif ambitieux... et des dangers sur la route	275
1. Des atouts et des opportunités pour définir un objectif ambitieux	279
2. Des dangers sur la route : complexité, incertitude, acceptabilité et prise de risques	280
Chapitre 10	
Trois défis pour une feuille de route	283
1. Exploiter les énergies marines en Bretagne	287
2. Définir une stratégie de déploiement industriel	302
3. Créer un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale	305
Chapitre 11	
Un bon équipage et des relais à terre pour accompagner le changement	311
1. Le développement des énergies marines en tant qu'innovation sociale : les apports de la sociologie de l'innovation	315
2. Un enjeu : la pérennité de l'intérêt porté aux énergies marines	328
Conclusion	331
Auditions	335
Tables	339
A vous de jouer !	
Le grand jeu des énergies marines	

Synthèse

Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer ! Ce « nous » collectif interpelle l'ensemble des acteurs bretons, qui peuvent saisir une opportunité majeure de développement pour leur région. Pour la première fois depuis longtemps, l'occasion nous est donnée d'envisager une nouvelle forme d'exploitation des ressources de la mer. La Bretagne dispose en effet de nombreux atouts pour devenir actrice du développement des énergies marines : des ressources exceptionnelles, des compétences et des moyens scientifiques, technologiques et industriels. C'est sans doute la raison pour laquelle apparaissent, le long des côtes bretonnes, les premiers projets d'implantation d'équipements dédiés à ces énergies.

La possibilité d'exploiter le formidable potentiel énergétique de la mer nous oblige cependant à définir ensemble de nouveaux cadres de pensée et d'action car nous ne savons encore que peu de choses des perspectives qu'offre cette nouvelle activité. La médiatisation sans précédent des énergies marines nous apporte son lot d'informations mais contribue assez peu à instaurer un vrai débat, pourtant indispensable.

1. Les énergies marines : de quoi parlons-nous ?

Le terme d'énergies marines est utilisé ici pour désigner toutes les formes possibles d'exploitation des ressources renouvelables de la mer : vents, vagues, courants, marées, chaleur, salinité, biomasse. Ce terme exclut donc les ressources pétrolières et gazières offshore.

Vents. Les éoliennes offshore, implantées au large des côtes, permettent d'exploiter des vents marins plus soutenus et plus réguliers qu'à terre. Extrapolées de la technologie terrestre, elles sont aujourd'hui la seule technologie mature, en fort développement dans les pays nordiques. La Bretagne dispose de régimes de vents soutenus et plusieurs projets éoliens ont émergé sur ses côtes. Il est probable que des ruptures technologiques conduiront à développer dans l'avenir des éoliennes flottantes, pouvant être installées au large. Deux projets d'éoliennes flottantes ont été labellisés par le Pôle Mer Bretagne.

Marées. Les moulins à marée autrefois, les très rares usines marémotrices comme celle de la Rance aujourd'hui, exploitent l'énergie potentielle de la marée, c'est-à-dire l'énergie liée à la différence de niveau entre deux masses d'eau. Les impacts de telles installations à la côte conduisent à imaginer des lagons artificiels offshore fonctionnant sur le même principe.

Courants. A l'image des éoliennes pour le vent, les hydroliennes exploitent l'énergie liée à la vitesse des courants de marée. Il existe une grande diversité de concepts, mais quelques prototypes seulement sont en phase de démonstration. L'énergie des courants présente l'intérêt d'être prédictible, mais elle est très localisée. La Bretagne dispose de quelques-uns des sites les plus attractifs de France, et des projets de recherche amont et d'essais en mer sont déjà en cours.

Vagues. Il existe là encore une très grande diversité de technologies pour exploiter l'énergie des vagues. Comme le vent, l'énergie de la houle est aléatoire. Certains systèmes exploitent, à la côte, le déferlement des vagues tandis que d'autres, plus nombreux, exploitent l'ondulation des vagues en pleine mer. Dans cette dernière

catégorie, un seul parc houlomoteur a vu le jour au Portugal. De nombreux autres concepts sont encore au stade du prototype. La région des Pays de la Loire verra prochainement la création d'un site d'essais en mer et la démonstration d'un système de récupération de l'énergie des vagues.

Chaleur. L'énergie thermique des mers consiste à exploiter la différence de température entre le fond et la surface de l'océan en zone intertropicale afin de produire de l'électricité, de l'eau douce ou du froid pour la climatisation. Par ailleurs, le gisement d'eau à température stable des côtes métropolitaines peut permettre d'envisager des installations de type « pompe à chaleur ».

Biomasse. Les macroalgues peuvent être utilisées pour produire du bioéthanol ou du méthane. En Bretagne, une entreprise projette d'utiliser des algues vertes pour produire du biogaz. Les recherches portent aujourd'hui plus particulièrement sur les microalgues, dont la richesse en lipides permet de produire des « algo-carburants » avec des rendements très supérieurs à ceux des plantes terrestres. Ce domaine de recherche suscite la convoitise de grands groupes pétroliers et fait l'objet de nombreuses annonces, mais il n'y a pas encore d'application industrielle. Le Pôle Mer Bretagne a labellisé un projet de culture de microalgues en Bretagne.

Salinité. La différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce génère une différence de pression, que l'on peut exploiter et transformer en électricité par un système de membranes. L'exploitation de cette source d'énergie ne fait l'objet que d'un concept développé en Norvège.

Les objectifs chiffrés avancés dans les textes de programmation énergétique et les différents scénarios prospectifs de développement des énergies marines en France laissent penser que la part des énergies marines dans le bouquet énergétique pourrait devenir significative et, en tout état de cause, participer à la diversification de ce bouquet. Bénéficiant de ressources naturelles exceptionnelles et reconnues en vents, vagues et courants, la Bretagne semble particulièrement bien située pour jouer la carte des énergies marines.

2. Les énergies marines : un nouvel entrant dans un paysage complexe

D'après un récent sondage, 80% des Bretons sont favorables ou très favorables au développement d'éoliennes en mer¹. Mais les énergies marines sont un nouvel entrant dans un paysage complexe et leur développement pose de nombreuses questions auxquelles on a encore peu de réponses, faute d'un cadre d'action approprié.

Une incertitude sur les ressources. La plupart des énergies marines sont diffuses et irrégulières, et il est difficile de faire la part des choses entre les ressources théoriques, les ressources potentiellement exploitables et les ressources objectivement exploitables.

¹ Sondage TMO Régions pour la Région Bretagne, réalisé auprès de 1200 personnes en octobre 2008.

Une incertitude sur les technologies. Les développements technologiques sont le fruit d'initiatives dispersées et cloisonnées, prises par des acteurs aux statuts et aux moyens hétérogènes. Le banc d'essais que constitue cette multitude de projets d'intérêt inégal n'a pas encore permis de dégager les technologies dominantes.

Une incertitude sur les enjeux maritimes et côtiers. La concrétisation des projets en zone côtière pose un grand nombre de questions liées à l'insertion d'une activité nouvelle dans une zone côtière déjà densément utilisée, et met au cœur des enjeux la notion d'acceptabilité sociale des énergies marines.

Une incertitude sur les enjeux économiques et industriels. Il est difficile aujourd'hui de connaître un marché des énergies marines qui ne fait qu'émerger dans les pays les plus volontaires et pour lequel les effets d'annonce sont monnaie courante. De nombreuses incertitudes demeurent sur les modèles économiques, la mobilisation possible des industriels, l'accès à des marchés mondiaux, les retombées en termes d'emplois, etc. Les désordres économiques et financiers actuels accentuent ces incertitudes.

Une incertitude sur la capacité à faire converger les opinions et sur la gouvernance d'une politique des énergies marines. L'arrivée d'une activité nouvelle nécessite une adaptation du cadre habituel de gestion, voire de gouvernance. La transposition de règles ou d'habitudes prises pour d'autres activités fait intervenir une multitude de parties prenantes dont les rôles et les attentes sont peu lisibles, parfois contradictoires. A défaut d'une sensibilisation et d'une mobilisation cohérente de tous, le risque est de provoquer le désengagement des acteurs concernés et de voir d'autres régions et d'autres pays saisir cette opportunité.

La prise de risques (juridique, financier, technique, humain, environnemental...) est au centre des enjeux liés au développement des énergies marines et concerne toutes les parties prenantes. La question est de savoir si l'on accepte collectivement de prendre ces risques, et comment on les partage. Parmi les choix qui seront faits, beaucoup relèvent d'une stratégie européenne et nationale. Mais dans un contexte peu structuré et peu lisible, la Bretagne a vocation à jouer un rôle de tout premier plan, volontariste et structurant.

3. Les énergies marines, un nouveau pilier de l'économie bretonne

La feuille de route à construire devra offrir un cadre propice à l'émergence et à l'accompagnement de projets, dans les trois défis que la Bretagne peut relever grâce à ses ressources, à ses compétences et à ses savoir-faire :

- **exploiter les énergies marines en Bretagne** pour relever le défi énergétique et participer au respect des engagements de la France en matière d'énergies renouvelables tout en bénéficiant des retombées locales ;
- **définir une stratégie de déploiement industriel** s'appuyant sur la mise en place et l'accompagnement d'une filière industrielle pour développer une nouvelle économie maritime source de richesses et d'emplois ;
- **créer un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale**, et faire de la Bretagne une référence en la matière.

3.1. Exploiter les énergies marines en Bretagne

Faute d'une politique d'ensemble, c'est aujourd'hui à chaque porteur de projet qu'il revient de prospecter pour identifier les sites qui lui paraissent favorables. Face à ces initiatives dispersées, il nous semble important de construire collectivement un cadre de référence définissant une stratégie de connaissance des potentiels et de valorisation des ressources de la Bretagne dans le but de maximiser les retombées pour le territoire. A ce titre, l'initiative de la Région Bretagne d'animer un processus de concertation pour la planification du développement des énergies marines mérite d'être saluée car elle est le signe d'une volonté politique forte de fédérer des initiatives et des acteurs dispersés.

3.1.1. Une évaluation stratégique des ressources et des potentiels de production

L'évaluation stratégique part du postulat que si l'on offre en amont le maximum de données partagées et objectives sur les milieux maritimes et côtiers, les projets n'en seront que mieux calibrés, plus adaptés et donc plus pertinents. L'initiative la plus significative dans ce sens est l'étude de zonage commandée par le CIADT de septembre 2004 à l'ADEME et à l'Ifremer, qui vise non seulement à évaluer les ressources, mais aussi à développer un outil d'aide à la décision. La diffusion de cette étude de zonage est très attendue car elle devrait être d'un grand intérêt pour l'émergence des projets et leur appropriation collective. La capacité d'entraînement d'une telle démarche, au-delà des frontières françaises, ne doit pas être sous-estimée.

Les résultats de cette étude de zonage doivent en conséquence être rendus publics et présentés non pas uniquement comme un outil d'aide à la décision, mais aussi comme la base d'une réflexion collective qui viendrait l'enrichir et la faire évoluer. Sa déclinaison régionale serait un apport précieux à la réflexion qui s'engage en Bretagne.

3.1.2. Une planification stratégique spatialisée

Si les possibilités techniques de développer les énergies marines sont incontestables, si leur intérêt économique est indiscutable, l'acceptabilité des énergies marines est au cœur d'enjeux sociétaux qui détermineront l'avenir de cette activité émergente.

- Des objectifs partagés

La planification stratégique spatialisée ne se résume pas à une analyse spatiale qui aboutirait à un simple zonage cartographique. La démarche donne plus d'importance au processus d'élaboration de la planification qu'à la planification elle-même. L'enjeu est d'animer en amont, et de façon neutre et objective, un processus de concertation visant à associer l'ensemble des parties prenantes dans la définition d'objectifs partagés et des moyens de les atteindre. En fait, la planification stratégique revient à développer le présent vers un futur choisi ensemble.

La planification stratégique repose sur une analyse multicritères de scénarios d'implantation des énergies marines qui restent à imaginer. Cette analyse doit prendre en compte les critères propres au développement des énergies marines, mais aussi l'ensemble des critères liés au contexte dans lequel cette activité s'insère. C'est la pondération de tous ces critères qui permettra d'identifier, parmi différentes

hypothèses, celle qui offrira le maximum de retombées économiques, sociales et environnementales, tout en minimisant les coûts, les impacts sur l'environnement et sur les autres usages.

- Une intégration des projets dans l'existant

L'exercice de planification stratégique devra considérer tous les enjeux exprimés par les acteurs qui se sentent les plus menacés, dans la pratique de leur activité, par l'implantation de parcs en mer. Il est donc nécessaire de connaître les activités présentes, et même d'anticiper leurs développements futurs, afin d'appréhender leur sensibilité à l'arrivée d'une nouvelle activité et le degré de conflit potentiel. La concertation entre les différentes parties prenantes doit permettre d'envisager des compromis de la part des uns et des autres, et de définir ensemble les solutions pour une bonne cohabitation, voire pour des synergies entre activités : éloignement des zones de pêche, ensouillage des câbles, limitation de l'emprise spatiale, signalisation des machines, choix de machines immergées, couplage avec de nouvelles pratiques de pêche ou d'aquaculture, éloignement des bassins de navigation les plus significatifs...

- Une clarification de la réglementation

La réglementation qui s'applique actuellement aux projets d'exploitation des énergies marines est un empilement de mesures transposées du domaine terrestre et inadaptées au milieu marin. La complexité des procédures peut être un frein à l'émergence des projets. La clarification de la réglementation au niveau national est donc indispensable. Elle doit prévoir le cadre particulier de l'installation en mer des systèmes d'exploitation de l'énergie des vents, des vagues et des courants.

Dans ce contexte national peu lisible, l'élaboration par les services de l'Etat en région Bretagne d'un guide à l'attention des porteurs de projets doit être soulignée. Ce guide a vocation à clarifier l'ensemble des démarches relevant de l'instruction administrative. Il faut espérer que cette démarche initiée en Bretagne aboutisse au niveau central à l'uniformisation des recommandations de l'Etat aux porteurs de projets. Il importe également que la complémentarité initialement recherchée entre cette démarche des services de l'Etat en région et la démarche du Conseil régional de Bretagne d'élaborer un plan de développement des énergies marines soit clarifiée et dépourvue d'ambiguïtés.

- Une optimisation des projets

L'optimisation technique des projets doit chercher à valoriser au mieux le potentiel de chaque site, en cherchant notamment les technologies les plus adaptées, les complémentarités entre technologies et entre sites, ainsi que les possibilités de mutualisation de certaines infrastructures. La réversibilité, l'évolutivité et l'adaptabilité des installations sont des paramètres importants à considérer prioritairement.

La dimension logistique est importante à prendre en compte. En tant que propriétaire des ports de Lorient, Brest et Saint-Malo, le Conseil régional de Bretagne devrait mener une évaluation de la capacité des ports à accueillir des activités d'assemblage et/ou de construction des éoliennes offshore dans un premier temps, des autres technologies à moyen terme et, si besoin, envisager des mesures d'aménagement portuaire. La même démarche devrait être menée dans les ports départementaux.

Les possibilités de coopération avec les ports des régions voisines pourront être envisagées.

- Une approche globale de la production électrique

La planification stratégique spatialisée doit prendre en compte très tôt la problématique du réseau de transport d'électricité et lui donner toute sa place dans le débat, car son développement et son renforcement, indispensables pour atteindre les objectifs fixés, s'inscrivent dans un temps long. A l'image de ce qu'a entrepris l'Allemagne pour anticiper le déploiement de l'éolien offshore, il pourrait y avoir au niveau national une optimisation des infrastructures se traduisant par l'installation et la prise en charge financière de câbles desservant plusieurs parcs en mer.

Le stockage de grande ampleur de l'électricité n'est certes pas maîtrisé, mais les recherches scientifiques et techniques sur cette problématique doivent converger avec les recherches dédiées à la production d'électricité en mer, pour permettre une appréhension globale de la qualité de la production électrique.

- Une démarche évolutive

La planification stratégique est par définition une démarche évolutive. Elle devra suivre les évolutions du contexte économique et social, les évolutions technologiques, les évolutions réglementaires. Ses propres effets sur l'émergence des projets, l'acceptabilité sociale, l'implication des parties prenantes dans le processus, modifieront le contexte dans lequel elle devra évoluer.

3.1.3. Un soutien à l'émergence des projets

La fixation d'un tarif de rachat unique pour l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants ne prend pas en compte la phase transitoire qui précède la pleine exploitation. Bien qu'issu d'un décret récent, et signe d'une volonté de l'Etat d'encourager le développement des énergies marines, ce tarif de rachat devrait être revu à la hausse et modulé en fonction du degré de maturité technologique.

Les fonds de capital-risque régionaux ne se sont pas encore intéressés aux entreprises impliquées dans le développement des énergies marines. La Région Bretagne devrait initier la mise en place d'un fonds régional spécifique au développement des énergies renouvelables, tel qu'elle l'avait proposé dans le Plan Energie pour la Bretagne, en y intégrant les énergies marines.

3.1.4. Des objectifs ambitieux pour une activité créatrice de richesses

L'exploitation des énergies marines contribuera à créer des richesses dans les territoires, par des retombées financières directes, des retombées en termes de création d'emplois, mais aussi des retombées en termes d'image et de comportement citoyen. Il nous apparaît donc que les objectifs du Plan Energie pour la Bretagne doivent être revus à la hausse, en particulier pour ce qui concerne l'énergie des vagues et des courants. Le processus de planification stratégique devra permettre d'affiner et de s'approprier collectivement des objectifs plus ambitieux.

3.2. Définir une stratégie de déploiement industriel

Les acteurs industriels français n'ont pas su se mobiliser sur le segment de l'éolien terrestre et, par extension, sur celui de l'éolien offshore classique. Mais grâce à leurs

compétences dans l'offshore, le naval, le nautisme, les TIC, les industriels bretons doivent faire le pari de la rupture qui leur permettra de se positionner sur le marché émergent des autres technologies, développées spécifiquement pour le milieu marin.

Les énergies marines doivent être considérées comme une opportunité majeure de développement dans un contexte où, à des degrés divers, les piliers de l'industrie bretonne sont confrontés à des difficultés pouvant remettre en cause leur importance et fragiliser l'économie régionale.

3.2.1. Une ambition et une visibilité à l'international

Le déploiement industriel ne doit pas s'envisager seulement au regard du potentiel de production en Bretagne, mais aussi au regard du marché mondial de l'exploitation des énergies de la mer. Seule cette projection à l'export permettra de créer une filière industrielle pérenne. Les atouts de la Bretagne doivent donc être valorisés à l'international, sur tous les pans constitutifs de la filière : une R&D performante et valorisée par le Pôle Mer Bretagne, des compétences dans les études amont, les savoir-faire des industriels, une main-d'œuvre qualifiée, des infrastructures disponibles pour accueillir toute la chaîne logistique, et aussi, ne l'oublions pas, l'attrait de la qualité de vie en Bretagne pour les travailleurs, une forte identité maritime, et une volonté politique régionale affirmée.

La veille économique conduite par l'Agence économique de Bretagne sur l'éolien offshore doit se poursuivre et s'élargir aux autres énergies marines en temps voulu, afin de capter les industriels qui cherchent à s'implanter près des sites d'exploitation potentiels. La promotion et l'accompagnement des entreprises bretonnes à l'international doivent intégrer pleinement la thématique des énergies marines.

Par ailleurs, la Bretagne pourrait faire connaître et faire valoir le thème des énergies marines dans les réseaux interrégionaux et internationaux auxquels elle appartient comme la Conférence des régions périphériques maritimes et l'Arc Atlantique, l'Arc Manche, le groupe de travail Aquamarina² ou le réseau NRG4SD³.

3.2.2. Une définition et une anticipation des besoins

La disponibilité d'une main-d'œuvre qualifiée pour ce secteur nouveau doit être anticipée, dans tous les domaines de compétences nécessaires. La Région Bretagne a un rôle à jouer dans l'adaptation de la formation initiale et continue à ce domaine, y compris dans l'enseignement supérieur où il devient urgent d'étoffer les formations existantes, de les diversifier et de mieux les structurer. Il est indispensable d'amorcer une politique volontariste de développement des équipes pédagogiques et des laboratoires consacrés aux énergies marines. Il est désormais essentiel d'agrèger les forces des établissements bretons et de les dynamiser, en y associant celles de Loire-Atlantique. La Région Bretagne pourrait soutenir une impulsion donnée au

² Aquamarina : groupe permanent créé au sein de la CRPM pour le suivi de la mise en œuvre de la politique maritime européenne, présidé par la Région Bretagne.

³ NRG4SD : Network of Regional Governments for Sustainable Development (Association de Régions pour le développement durable), composé de 250 régions des 5 continents.

départ par l'Université Européenne de Bretagne (UEB) et/ou par le Réseau des Universités de l'Ouest Atlantique (RUOA).

3.3. Créer un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale

Susciter la concrétisation de projets dans un domaine émergent comme l'est celui des énergies marines impose de s'appuyer sur une R&D performante capable d'innover dans les technologies, de valider les modèles économiques, d'appréhender l'acceptabilité des projets en explorant un champ très large de disciplines.

3.3.1. Un renforcement significatif des forces de R&D

Il est nécessaire de replacer les forces de recherche actuelles dans le secteur dédié aux énergies renouvelables, et plus globalement à l'énergie. Il y a manifestement aujourd'hui un fossé entre les volontés politiques de développer les énergies marines et les moyens réellement mis en œuvre dans la R&D publique. Or le développement d'une recherche de pointe, innovante dans le domaine des énergies marines, ne pourra se faire que par la mobilisation de réels moyens et la constitution d'équipes de chercheurs plus étoffées.

Engagé dans une politique de soutien à l'émergence des activités et à la construction de stratégies de filière, le Conseil régional de Bretagne possède certains leviers d'action pour financer la recherche dans le domaine des énergies marines, stimuler l'innovation, développer « l'économie de la connaissance », et soutenir les pôles de compétitivité, en particulier le Pôle Mer Bretagne qui s'est clairement positionné sur le développement des énergies marines.

3.3.2. Vers un groupement de recherche et d'expertise en Bretagne

La Bretagne dispose d'atouts certains dans le domaine des sciences de la mer et du littoral, ainsi que dans les actions de R&D. L'enjeu est fort, pour la région, de développer autour du Pôle Mer Bretagne un réseau de compétences dans ce domaine, avec des moyens humains et financiers à la hauteur des enjeux, et de créer le noyau d'un groupement de recherche et d'expertise d'envergure nationale et internationale. La très grande majorité des réflexions récentes menées sur les énergies marines met l'accent sur le développement technologique. Or de nombreuses autres disciplines, également indispensables, entrent en jeu dans le montage de projets. De grands axes de recherche transversaux pourraient être ainsi définis.

Le Conseil régional de Bretagne s'est fortement mobilisé pour la création d'un centre de recherche et d'essais sur les énergies marines. Ces réflexions doivent se poursuivre en lien avec les acteurs concernés, afin de préciser les modalités et les conditions nécessaires au regroupement (physique ou non) des équipes de recherche.

3.3.3. Une politique de démonstration

La démonstration en mer est le seul moyen de valider en conditions réelles des machines qui ont été modélisées et testées en bassin. Elle est le lien indispensable

entre la R&D et le déploiement industriel. Par l'attraction qu'elle peut susciter auprès des chercheurs, des industriels et des décideurs, une véritable politique de démonstration permet d'affirmer le rôle moteur d'un pays ou d'une région.

Afin d'affirmer son positionnement dans l'exploitation des énergies marines, et au vu de ses importantes ressources en courants, la Bretagne doit se donner tous les moyens pour créer un site d'essais en mer pour les hydroliennes, s'appuyant sur l'expérience prochaine de Paimpol-Bréhat, complémentaire à celui du Croisic pour les systèmes houlomoteurs, et en lien avec les moyens d'essais européens, notamment britanniques. Le fonds démonstrateur de l'ADEME pourrait être utilement mobilisé à cette fin. La labellisation de projets de R&D sur l'éolien flottant impose également d'envisager la faisabilité d'un site d'essais en mer dédié à cette nouvelle technologie.

4. Accompagner le changement

Accompagner le changement pour faire évoluer l'ensemble des parties prenantes d'une légitime méfiance vers une appropriation collective sera un élément-clé de la feuille de route à construire.

Le domaine des énergies marines émerge et dans cette phase pionnière il est encore difficile d'appréhender l'articulation entre les différentes initiatives qui sont en cours de formalisation au niveau national et au niveau régional. Au-delà de la décision du CESR de Bretagne de réaliser la présente étude, rappelons les quelques initiatives suivantes :

- l'étude de zonage ADEME/Ifremer, présentée comme un outil d'aide à la décision mais pas encore publiée ;
- l'étude prospective menée par l'Ifremer, visant à esquisser des scénarios d'implantation des énergies marines à l'horizon 2030 ;
- la publication du Plan Energie pour la Bretagne et de la charte des espaces côtiers bretons, dans lesquels le déploiement des énergies marines est annoncé comme une priorité ;
- la contribution des acteurs bretons au Grenelle de l'environnement, en faveur d'un centre de recherche et d'essais sur les énergies marines ;
- les travaux du comité opérationnel n°10 du Grenelle de l'environnement, qui a proposé des objectifs chiffrés concernant les énergies marines, ceux-ci n'ayant pas été repris dans les textes de loi ;
- le plan national de développement des énergies renouvelables, qui prévoit une planification à l'échelle des façades maritimes ;
- la loi Grenelle 2 en projet, qui confirme l'échelle des façades maritimes pour la mise en œuvre de la stratégie nationale pour la mer mais exclut toutefois les énergies marines des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie ;
- l'initiative conjointe entre le Président du Conseil régional de Bretagne, le Préfet de région et le Préfet maritime d'élaborer un guide à l'attention des porteurs de projets ;
- l'initiative nationale IPANEMA, dans laquelle les signataires s'engagent collectivement à favoriser l'émergence des énergies marines.

La thématique des énergies marines a donc gagné tant des sphères d'actions volontaires, partenariales ou de consultation que des sphères juridiques et réglementaires, donnant plus ou moins d'espace à la concertation.

4.1. Un enjeu : bien poser le problème

La question des énergies marines a, globalement, trouvé son origine dans les engagements européens et nationaux dits « des trois 20 » imposant un recours accru aux énergies renouvelables dans la lutte contre le changement climatique. Compte tenu du gisement potentiel considérable qu'elles représentent, les énergies marines sont vues comme pouvant apporter une contribution significative à la diversification du bouquet énergétique. Au-delà du strict enjeu de la production d'électricité, qui prend en Bretagne une dimension particulière du fait de son profil énergétique, le développement des énergies marines offre une opportunité de déploiement d'une filière industrielle s'appuyant sur le renforcement d'une recherche d'excellence dans ce domaine.

L'objectif que nous nous fixons est, au total, beaucoup plus ambitieux que la seule problématique énergétique : il s'agit d'éveiller l'intérêt de tous et de susciter l'émergence de projets pour faire des énergies marines un nouveau pilier de l'économie bretonne, de faire en sorte aussi que l'image de la Bretagne et celle, dynamique, des énergies marines en devenir se superposent et se renforcent mutuellement.

4.2. De la gouvernance des énergies marines

Aujourd'hui, la multiplicité des parties prenantes rend difficile la compréhension du rôle et de l'implication de chacun. Seul un pilotage en amont, et dans la concertation, permettra une définition collective des objectifs et des moyens de les atteindre. Deux initiatives progressent en parallèle pour l'animation de cette démarche : celle de l'Etat et de ses services déconcentrés dans l'élaboration d'une planification à l'échelle de la façade maritime ; celle du Conseil régional de Bretagne dans l'élaboration d'un plan de développement des énergies marines.

L'Etat a toute légitimité à intervenir pour encadrer et réguler l'implantation d'installations sur le domaine public maritime. Ce sont les préfets qui prendront, *in fine*, la décision d'autoriser ou non l'implantation des parcs. Par ses missions régaliennes, comme celle récemment confiée au Préfet maritime et aux préfets de départements de créer une instance de concertation et de planification à l'échelle de la façade maritime, le rôle de l'Etat reste essentiel.

Il nous semble aussi que le débat sur les énergies marines va bien au-delà de la seule production d'énergie en mer et qu'il pose des questions qui concernent directement les territoires, la gestion intégrée de la zone côtière, le développement économique, la recherche et l'innovation, la formation, domaines dans lesquels le Conseil régional de Bretagne a toute légitimité à intervenir.

Les textes récents indiquent que les énergies renouvelables terrestres feront l'objet d'un schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie tandis que les énergies renouvelables marines feront l'objet d'une planification menée à l'échelle de la façade maritime. On peut craindre que cette double échelle rende plus difficile l'appréhension de la dimension territoriale de la gestion de la zone côtière. L'interaction entre terre et mer est pourtant l'un des fondements du concept de gestion intégrée de la zone côtière (GIZC), qui offre un cadre de référence pour l'action en zone côtière. Plusieurs projets de GIZC ont été labellisés en Bretagne,

dont la charte des espaces côtiers bretons. Ces projets ont créé des habitudes de travail fondées sur la concertation, et cela renforce la légitimité de la Région à intervenir pour initier la construction collective d'un projet de développement des énergies marines.

Il nous semble donc indispensable de repenser le rapport au territoire dans le développement des énergies marines. A cet effet, le rôle des collectivités territoriales dans une démarche de planification stratégique spatialisée est essentiel. Les initiatives prises par l'Etat et par le Conseil régional de Bretagne doivent donc converger dans une approche globale et proactive des enjeux posés par le développement des énergies marines, dans toutes ses dimensions.

La coopération interrégionale devra être encouragée afin de chercher une cohérence entre l'action des Régions et l'approche menée par l'Etat à l'échelle des façades maritimes.

4.3. Une appropriation collective par la population et les acteurs de la zone côtière

Le terme d'acceptabilité sociale est souvent utilisé lorsque l'on parle des énergies marines, et semble parfois être l'ultime but à atteindre. Ce terme ne nous paraît pas exact au sens où il est restreint aux conflits d'usage potentiels créés par l'implantation de machines en mer côtière. Il nous semble plus exact de parler d'un enjeu d'appropriation collective car, au-delà de l'acceptabilité, c'est bien l'appropriation de cette nouvelle activité qui enclenchera une dynamique territoriale de création de richesses, de création d'emplois, de diversification de l'économie bretonne vers un domaine porteur.

4.3.1. Un rappel : les économies d'énergie

Le Conseil régional de Bretagne a engagé des actions volontaristes pour la maîtrise de la demande en énergie dans les activités maritimes, notamment dans la pêche mais aussi dans le domaine du nautisme et de l'éco-navigation. Ces actions doivent être pérennisées, en lien avec le Pôle Mer Bretagne.

4.3.2. Une éducation aux énergies marines

Les énergies marines sont peu connues du grand public. Si les innovations technologiques sont très médiatisées, les dimensions économiques, sociales et environnementales le sont beaucoup moins. En particulier, les retombées possibles de l'exploitation des énergies marines sur les territoires sont très peu mises en avant alors qu'elles seront un pas important vers une appropriation collective.

Des moyens d'information et de diffusion des connaissances, des progrès réalisés, des enjeux du développement des énergies marines pour les territoires sont donc à mettre en œuvre tant en direction des publics scolarisés que du public adulte. A ce titre, les énergies marines devront être intégrées dans tous les outils d'information sur les énergies renouvelables, et notamment dans l'observatoire régional de l'énergie prévu dans le Plan Energie pour la Bretagne.

4.3.3. Une mobilisation des différents secteurs d'activités autour des énergies marines

La question des énergies marines progresse, mais reste relativement cantonnée aux sphères des « initiés ». Or le déploiement industriel ou la constitution d'un pôle de recherche et d'expertise d'envergure internationale nécessitent de mobiliser des acteurs dans de nombreux domaines. Si le thème des énergies marines devient suffisamment visible, les différents secteurs d'activités sauront se mobiliser.

4.4. Une volonté politique des décideurs

2020, c'est demain. Les décideurs, à quelque niveau qu'ils se situent, doivent s'emparer de la question des énergies marines car ils ont en main des leviers pour agir au nom de la collectivité et des générations futures. Ils doivent en conséquence être sensibilisés, voire même imprégnés des enjeux du développement des énergies marines pour les territoires : les décideurs politiques nationaux et régionaux qui porteront ou non dans le temps les réflexions amorcées, mais aussi les élus locaux, les représentants professionnels, les dirigeants d'entreprises, les directions des organismes de recherche et des établissements d'enseignement secondaire et supérieur...

5. Un enjeu : la pérennité de l'intérêt porté aux énergies marines

L'intérêt pour les énergies marines n'est pas nouveau. Il y a eu par le passé des réflexions et des projets dont l'intensité était proportionnelle au prix du baril de pétrole. Les choses ont un peu changé aujourd'hui du fait de la prise de conscience du défi climatique et énergétique, ainsi que des engagements européens et nationaux en faveur des énergies renouvelables, qui expliquent l'intérêt porté aux énergies marines. Mais le prix du baril de pétrole, qui a atteint des sommets en 2008, n'y est pas étranger.

La pérennité de l'intérêt porté aux énergies marines est l'une des clés de leur succès. Soutenue par une couverture médiatique renouvelée, celle-ci dépendra essentiellement d'une volonté politique constamment réaffirmée. L'objectif est d'inscrire les démarches dans la durée et de veiller à la continuité des décisions. Il en résultera un renforcement de la recherche, une extension des formations, une consolidation de la filière industrielle et, à terme, une multiplication et une diversification des emplois.

L'enjeu de la démarche est de savoir combiner une vision stratégique de long terme et des actions de court terme, de savoir articuler le temps court des marchés économiques et le temps long des innovations technologiques, les préoccupations immédiates des porteurs de projets et le temps long de l'instruction administrative, le temps court des décideurs et le temps long de la concertation et de l'appropriation collective...

Nul doute que la forte identité maritime de la Bretagne garantira la pérennité de cet intérêt porté aux énergies marines.

Introduction générale

Pourquoi les énergies
marines en Bretagne ?

Pourquoi les énergies marines en Bretagne ?

Cette question révèle plusieurs défis. Le défi énergétique et climatique, bien sûr, avec la contribution des énergies marines au « bouquet renouvelable ». Mais aussi un défi industriel, avec le déploiement d'une filière des énergies marines en Bretagne. Un défi pour la recherche, enfin, avec le développement d'une expertise dans le domaine. Il s'agit bien là de défis fondamentalement différents qui n'en sont pas moins complémentaires et intimement liés.

Il nous semble donc important, dans cette introduction générale, de replacer au cœur du débat non seulement la réponse que peuvent apporter les énergies marines aux enjeux énergétiques et climatiques mondiaux (1), mais aussi le rôle moteur qu'auront les énergies marines dans le développement de la Bretagne (2), avant d'explicitier l'opportunité que représente ce défi pour la Bretagne (3).

1. Le défi énergétique et climatique : les énergies marines, une réponse à des enjeux planétaires

La question énergétique est d'envergure mondiale. Elle prend aujourd'hui une acuité particulière avec l'arrivée, dans le circuit des échanges, de pays très peuplés comme la Chine, l'Inde, l'Indonésie, très fortement demandeurs. Dans ce contexte, la raréfaction des ressources fossiles non renouvelables, leur inégale répartition géographique et les tensions qui en résultent sur les prix font de la question énergétique un enjeu de développement majeur. A ces considérations géopolitiques et économiques s'ajoute désormais la reconnaissance de l'impact des activités humaines sur le changement climatique, et notamment des modes de production et de consommation d'énergies fossiles, fortement émetteurs de gaz à effet de serre. Le changement climatique semble d'ailleurs dominer la politique énergétique et devient désormais le fondement principal de la réflexion, de l'analyse et de l'action¹.

De ce constat résulte un certain nombre d'enjeux stratégiques : maîtrise de la demande en énergie, diversification du bouquet énergétique, développement des énergies renouvelables, réduction des émissions de gaz à effet de serre...

C'est dans le cadre de la diversification du bouquet énergétique qu'une réflexion sur les énergies marines prend tout son sens. Le soleil, le vent, le bois, la biomasse, la géothermie ou l'hydraulique sont souvent cités dans la liste des ressources renouvelables. Ne pas citer les vagues, les courants ou les marées, ce serait oublier que la planète est recouverte à 70% par les océans. Or les océans recèlent des quantités d'énergie bien supérieures aux besoins énergétiques de l'humanité. Ces ressources en énergie sont de deux origines : l'énergie solaire, à l'origine des vents, de la houle, des grands courants marins, des différences de température, et les variations de la gravitation dues à la position de la Terre, de la Lune et du Soleil, à l'origine des marées et des courants de marée.

¹ Centre d'analyse stratégique, septembre 2007. *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050*.

Les énergies marines : de quoi parle-t-on ?

Le terme d'énergies marines est utilisé dans ce rapport pour désigner toutes les formes possibles d'exploitation des ressources renouvelables de la mer : vent, vagues, courants, marées, chaleur, salinité, biomasse. Ce terme exclut donc les ressources pétrolières et gazières offshore.

Il faut noter ici que certains auteurs ne considèrent pas l'énergie éolienne offshore comme une énergie à proprement parler « marine ». Il nous semble pourtant qu'elle en fait partie, eu égard non seulement aux caractéristiques propres des vents marins, mais aussi à l'ensemble des questions liées au développement des parcs éoliens en mer qui, si elles peuvent appeler des réponses différentes, sont les mêmes que pour les autres sources d'énergie.

Vents. Les éoliennes offshore, implantées au large des côtes, permettent d'exploiter des vents marins plus soutenus et plus réguliers qu'à terre. Ce sont aujourd'hui des éoliennes dérivées des éoliennes terrestres et adaptées au milieu marin. Il est probable que des ruptures technologiques conduiront à développer des éoliennes spécifiques au milieu marin.

Marées. Les moulins à marée autrefois, les très rares usines marémotrices aujourd'hui, exploitent l'énergie potentielle de la marée, c'est-à-dire l'énergie liée à la différence de niveau entre deux masses d'eau. Les impacts de telles installations à la côte conduisent à imaginer des lagons artificiels offshore.

Courants. A l'image des éoliennes pour le vent, les hydroliennes exploitent l'énergie cinétique des courants de marée, c'est-à-dire l'énergie liée à la vitesse des courants. Il existe une grande diversité de concepts, mais quelques prototypes seulement sont en phase de démonstration.

Vagues. Il existe également une très grande diversité de concepts pour exploiter l'énergie des vagues : certains exploitent, à la côte, le déferlement des vagues tandis que d'autres, plus nombreux, exploitent l'ondulation des vagues en pleine mer.

Chaleur. L'énergie thermique des mers consiste à exploiter la différence de température entre le fond et la surface de l'océan en zone intertropicale afin de produire de l'électricité, de l'eau douce ou du froid pour la climatisation. Par ailleurs, le gisement d'eau à température stable des côtes métropolitaines peut permettre d'envisager des installations de type « pompe à chaleur ».

Biomasse. Les macroalgues peuvent être utilisées pour produire du bioéthanol ou du méthane. Les recherches portent aujourd'hui plus particulièrement sur les microalgues, dont la richesse en lipides permet de produire des « alogo-carburants » avec des rendements très supérieurs à ceux des plantes terrestres.

Salinité. La différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce génère une différence de pression, que l'on peut exploiter et transformer en électricité par un système de membranes.

Même si ces énergies sont des énergies transformées et donc « diluées » par rapport à l'énergie solaire incidente, le réservoir est considérable et les gisements exploitables, que certains nomment la « houille bleue »², sont significatifs.

Depuis la construction de l'usine marémotrice de la Rance, en 1966, ou les expérimentations de récupération de l'énergie thermique des mers à Tahiti dans les années 80, on n'a que très peu parlé des énergies de la mer. Même si le Danemark s'est lancé dans l'éolien offshore dès 1991, l'intérêt pour les énergies marines (ou le regain d'intérêt pour certaines) est un phénomène très récent.

Les derniers mois ont d'ailleurs vu se multiplier les annonces de développement de parcs exploitant les énergies marines. Le blog des énergies de la mer³, en particulier, fait état presque chaque jour du lancement de parcs éoliens de grande envergure, de nouveaux sites de démonstration pour des technologies innovantes, ou encore d'annonces politiques en tous genres, par exemple dans le domaine des algo-carburants. Même si des effets d'annonce sont bien évidemment recherchés, l'intérêt suscité par les énergies marines est une opportunité à saisir pour initier une réflexion de fond.

Si la Bretagne, comme l'ensemble de la planète, est confrontée à des enjeux climatiques et énergétiques d'envergure mondiale, elle présente cependant des particularités qui font de la question énergétique une préoccupation forte pour la région. Malgré une compétence limitée en matière de politique énergétique, la Région Bretagne a donc souhaité contribuer à relever le défi énergétique et climatique avec une stratégie ambitieuse de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de développement des énergies renouvelables et de sécurisation de l'approvisionnement. Dans le plan Energie pour la Bretagne, adopté en juillet 2007, elle s'engage ainsi dans la trajectoire décidée au niveau européen et au niveau national, avec la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050, une économie d'énergie de l'ordre de 15 à 20% d'ici 2020, et une consommation énergétique issue à 20% de ressources renouvelables. Le déploiement des énergies marines constitue l'une des priorités de la Région pour les années à venir⁴.

2. Le défi industriel, le défi pour la recherche : les énergies marines, une opportunité de développement pour la Bretagne

A l'enjeu climatique global, au défi énergétique qui se pose plus spécifiquement à la Bretagne, s'ajoute un défi que la région peut relever : le défi industriel, c'est-à-dire la constitution d'une véritable filière des énergies marines.

² La Tribune, 20 mai 2008. *La houille bleue voit son avenir en rose.*

³ Le blog des énergies de la mer <http://energiesdelamer.blogspot.com>

⁴ Région Bretagne, juillet 2007. *Plan Energie pour la Bretagne : une ambition et une stratégie pour relever le défi énergétique et climatique.*

La Bretagne dispose en effet de compétences et de moyens scientifiques, technologiques et industriels. De nombreux acteurs se sont positionnés sur le développement des énergies marines, et particulièrement en 2007-2008 : des acteurs économiques, ancrés ou non en Bretagne, des acteurs de la recherche, des collectivités.

Du fait des premiers projets qui se dessinent le long des côtes bretonnes, les acteurs socioprofessionnels et les élus locaux sont d'ores et déjà très directement concernés par le développement des énergies marines, et ont commencé à s'exprimer, à faire part de leurs interrogations, à prendre position et à s'impliquer. Dans l'ensemble, leurs initiatives restent dispersées, d'inégale ampleur et parfois contradictoires. C'est pourquoi il paraît indispensable d'initier une réflexion globale sur le développement des énergies marines en Bretagne.

La Bretagne est ainsi très présente dans les engagements récents pris en faveur du développement des énergies marines. Dans le prolongement du plan Energie pour la Bretagne et de la charte des espaces côtiers bretons, adoptés en 2007, la Région Bretagne a souhaité approfondir sa démarche d'animation d'une réflexion régionale sur le développement des énergies marines. Elle a ainsi annoncé, en mars 2008, la réalisation d'un plan de développement des énergies marines, qui devra s'appuyer sur la réalisation de scénarios contrastés à l'horizon 2020.

La Région Bretagne a par ailleurs initié, au début de l'année 2008, une démarche visant à fédérer les acteurs du développement des énergies marines. Ainsi, le MEEDDAT, l'ADEME, l'Ifremer, DNCS, EDF, et les Régions Bretagne, Basse-Normandie, Haute-Normandie, Pays de la Loire, Rhône-Alpes, PACA et Réunion ont signé le 17 octobre 2008 une déclaration d'intention nommée IPANEMA pour « Initiative partenariale nationale pour l'émergence des énergies marines ».

A travers cette initiative, les signataires reconnaissent la question du développement des énergies marines comme un enjeu d'envergure nationale, et s'engagent, dans une approche partagée et ouverte, à favoriser l'émergence d'une filière industrielle et scientifique. Ils appellent l'ensemble des acteurs reconnaissant ces besoins et prêts à s'engager à rejoindre cette initiative.

3. Une opportunité majeure pour la Bretagne

Dans quelle mesure et de quelle façon le développement des énergies marines en Bretagne va-t-il offrir une réponse originale et performante aux besoins du développement régional ? Tel est l'objet de cette étude.

Le développement des énergies marines en Bretagne peut, à la lumière de ce qui vient d'être exposé, être appréhendé de plusieurs façons et pose la question d'un choix fondamental à opérer entre ces différentes positions :

- participer au respect des engagements de la France en matière d'énergies renouvelables par l'implantation à court terme de parcs en mer, avec des

technologies qui seront majoritairement importées, et ainsi **répondre au défi énergétique et climatique** ;

- s'appuyer sur les compétences bretonnes pour développer, sur le moyen et le long termes, une filière de construction de technologies performantes, reconnues et exportables, et ainsi **répondre au défi industriel** ;
- participer au respect des engagements de la France en matière d'énergies renouvelables par l'implantation à court terme de parcs en mer, et, à moyen et long termes, définir une stratégie de déploiement industriel s'appuyant sur tous les maillons de la filière des énergies marines, de la recherche amont jusqu'à l'exploitation sur site. Dans ce dernier cas, il s'agit alors de **saisir le défi énergétique et climatique pour répondre au défi industriel, en s'appuyant sur une recherche performante.**

La Bretagne dispose de nombreux atouts pour s'engager dans cette dernière voie, devenir actrice du développement des énergies marines et en faire un pilier de son économie. Elle concentre en effet sur son territoire des ressources naturelles exceptionnelles, ainsi que des compétences et des moyens scientifiques, technologiques et industriels permettant de les exploiter.

Alors que des pays voisins se lancent dans le développement des énergies marines (pays nordiques, Royaume-Uni, Espagne, Portugal), la pointe de Bretagne ne saurait demeurer un no man's land dans un tel domaine, porteur scientifiquement et industriellement, dans lequel elle a vocation à jouer un rôle de tout premier plan.

Première partie

De l'émergence des
concepts... vers la maturité
technologique

L'exploitation des énergies marines ne repose que sur quelques grandes familles de technologies, mais dans lesquelles il existe, et c'est une originalité, une multitude de concepts. Cette originalité nous impose de porter un regard différencié sur des technologies qui n'en sont pas au même stade de développement : si certaines ont atteint le stade de la maturité technique, d'autres sont en phase de démonstration et nombreuses enfin sont celles qui en sont au stade de la recherche « amont » (chapitre 1).

Quelques projets d'exploitation des énergies marines concernent très directement la Bretagne, qui a ainsi la particularité et l'avantage de rassembler sur son territoire l'ensemble des stades de développement, de la recherche amont au stade industriel (chapitre 2).

Il convient donc d'aborder cette partie non pas dans l'objectif de « sélectionner » une technologie plutôt qu'une autre, mais plutôt en s'interrogeant sur les objectifs poursuivis et sur les technologies permettant d'atteindre ces objectifs. Les effets d'annonce sont monnaie courante dans ce domaine : il convient donc de rester prudent sur ces annonces, et de s'appuyer sur quelques critères tels que la taille, la puissance, la production, la densité énergétique pour mieux comprendre les atouts et les faiblesses des différentes technologies, et identifier les technologies prometteuses pour une région donnée (chapitre 3).

Chapitre 1

Un foisonnement de technologies en développement

1.	Des stades de développement disparates	17
2.	Des évolutions technologiques sensibles mais inabouties	19
2.1.	L'exploitation de l'énergie éolienne offshore	19
2.1.1.	La ressource éolienne	20
2.1.2.	Les évolutions technologiques	21
2.1.3.	La production éolienne offshore	28
2.2.	L'exploitation de l'énergie de la marée	30
2.2.1.	La ressource	30
2.2.2.	Les évolutions technologiques	30
2.3.	L'exploitation de l'énergie des courants	32
2.3.1.	La ressource hydrolienne	32
2.3.2.	Les évolutions technologiques	33
2.3.3.	La production hydrolienne	36
2.4.	L'exploitation de l'énergie des vagues	37
2.4.1.	La ressource	37
2.4.2.	Les évolutions technologiques	38
2.4.3.	La production houlomotrice	41
2.5.	L'exploitation de l'énergie thermique des mers	41
2.5.1.	La production d'électricité	41
2.5.2.	La mer, source froide	42
2.6.	L'exploitation des gradients de salinité	42
3.	L'installation et la maintenance, étapes-clés vers le déploiement industriel	43
3.1.	L'installation et la maintenance d'un parc éolien offshore	44
3.1.1.	Les fondations	44
3.1.2.	Le montage de l'éolienne	45
3.1.3.	L'ensouillage et le raccordement	46
3.1.4.	La maintenance	46
3.2.	L'installation et la maintenance d'un parc hydrolien	48
3.3.	L'installation et la maintenance d'un parc houlomoteur	49
4.	Le stockage de l'énergie	49
4.1.	Le stockage thermique	49
4.2.	Le stockage hydrogène	50
5.	La production d' « algo-carburants » à partir de la biomasse algale	51

Exploiter l'énergie de la mer n'est pas une chose nouvelle. Déjà au Moyen-âge, plus d'une centaine de moulins à marée parsemaient le littoral français, et tout particulièrement la Bretagne. Les moulins à marée de la Vicomté sur Rance, de Bréhat, d'Arz, de Trégastel, de Ploumanac'h ou du Golfe du Morbihan sont les témoins de cet intérêt pour l'énergie de la mer, ensuite oublié, remis au goût du jour avec la construction de la centrale marémotrice de la Rance en 1966, puis enfin replacé au cœur du débat sur les énergies renouvelables.

Figure 1. Le moulin à marée du Birlot, à Bréhat.

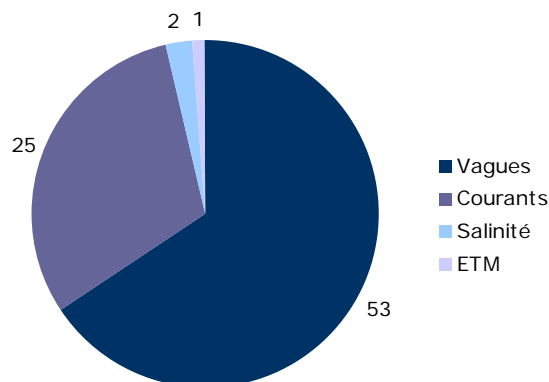


Mais les technologies ont bien évolué depuis le Moyen-âge, et particulièrement dans les dix dernières années qui ont vu se multiplier les concepts. Nous allons, dans ce chapitre, mettre en évidence les évolutions des différentes technologies permettant d'exploiter les énergies marines, afin de répondre le plus précisément possible à la question suivante : où en est-on aujourd'hui, et que peut-on attendre des énergies marines ?

1. Des stades de développement disparates

Une étude menée pour le compte de l'Agence internationale de l'énergie (IEA) à la fin de l'année 2006 faisait état de 81 concepts en développement (hors éolien) : 53 concepts pour la récupération de l'énergie des vagues, 25 pour les courants, deux pour la salinité et un pour l'énergie thermique des mers.

Figure 2. Nombre de concepts en développement en 2006 (hors éolien).



Source : IEA-OES, 2006.

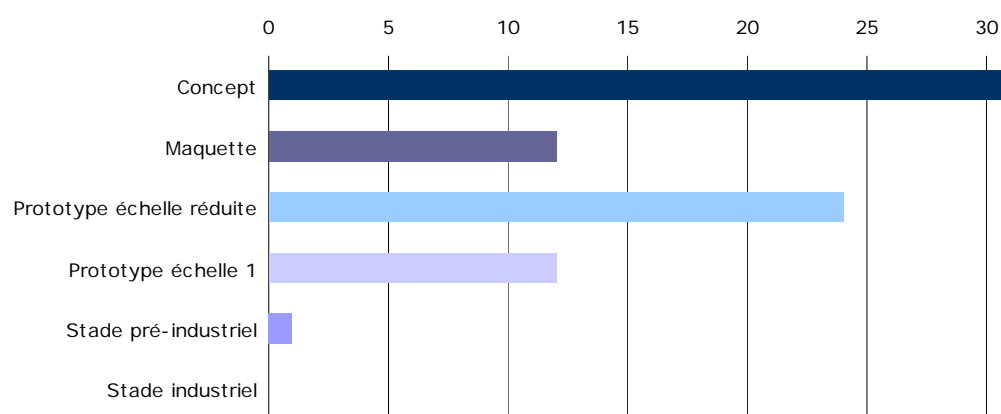
L'EMEC (European Marine Energy Centre), en Ecosse, compte de son côté plus de 50 concepts de récupération de l'énergie des courants en développement, et plus de 90 pour l'énergie des vagues.

Le terme de « développement » cache en réalité des situations très différentes d'un concept à l'autre. L'éolien offshore classique sur fondations est la seule technologie mature aujourd'hui, dont le déploiement peut s'envisager à l'échelle industrielle. Parmi les technologies de récupération de l'énergie des vagues ou des courants, la plupart des concepts sont encore au stade de la recherche amont, quelques-uns sont au stade de la démonstration et un seul concept, le Pelamis, en est au stade industriel. Ce constat révèle bien le caractère émergent des énergies marines.

Tableau 1. Stades de développement.

Stade	Technologie (équivalent anglais)	Site	
Recherche amont	Concept (Concept design)	-	<i>Le concept est élaboré, modélisé, amélioré.</i>
	Maquette (Part-scale)	Bassin d'essais en laboratoire	<i>Une maquette est testée dans un bassin simulant les états de mer.</i>
Développement	Prototype échelle réduite (Part-scale)	Site d'essais en mer	<i>Le concept est validé à la mer, en site abrité.</i>
	Prototype échelle 1 (Full-scale)	Site d'essais en mer	<i>La première machine construite est testée en conditions réelles.</i>
Démonstration			<i>Un premier parc est installé en mer, afin de tester le comportement de chacune des machines mais aussi d'appréhender l'effet parc.</i>
	Pré-industriel (Pre-commercial)	Site de démonstration	
Exploitation	Industriel (Commercial)	Site exploité	<i>Le parc est installé en mer dans l'unique but de produire et de vendre de l'électricité.</i>

Figure 3. Nombre de technologies par stade de développement en 2006 (hors éolien).



Source : IEA-OES, 2006.

2. Des évolutions technologiques sensibles mais inabouties ⁵

Si elles sont encore inabouties et si de nouveaux concepts voient régulièrement le jour, les évolutions technologiques des dernières années sont cependant sensibles pour chacune des ressources marines.

Définitions et ordres de grandeur

Pour mémoire, la **puissance électrique** d'un appareil est exprimée en **Watt (W)**. La puissance représente la quantité maximale d'électricité que peut produire ou consommer instantanément une installation. L'unité la plus souvent utilisée dans ce chapitre sera le MW, c'est-à-dire 1000 kW, ou 1 million de W. Les ordres de grandeur des installations de production d'énergie sont les suivants :

- un prototype d'hydrolienne : 0,5 à 1 MW
- une éolienne offshore récente : 5 MW
- l'usine marémotrice de la Rance : 240 MW
- un réacteur nucléaire de Flamanville : 1 300 MW

L'**énergie électrique** représente la quantité d'électricité que produit ou consomme cette installation pendant une durée précise, exprimée en heures. L'énergie est ainsi exprimée en **Wattheure (Wh et non W/h)**. Ainsi, une éolienne de 5 MW fonctionnant à pleine puissance pendant 3000 heures produit une énergie de $5 \times 3000 = 15\ 000$ MWh = 15 GWh. Les ordres de grandeur des installations de production d'énergies sont les suivants :

- un prototype d'hydrolienne de 1 MW : 3 GWh
- une éolienne offshore de 5 MW : 16 GWh
- l'usine marémotrice de la Rance de 240 MW : 550 GWh
- un réacteur nucléaire de Flamanville : 9 600 GWh

A titre de comparaison, la consommation électrique annuelle de la Bretagne était de 19,6 TWh en 2007, et celle de la France 450 TWh, soit respectivement 19 600 et 450 000 GWh.

1 TWh = 1 000 GWh = 1 000 000 MWh = 1 000 000 000 kWh = 1 000 000 000 000 Wh

Source : Schéma régional éolien, Région Bretagne, 2006.

2.1. L'exploitation de l'énergie éolienne offshore

C'est la plus « terrestre » des énergies marines, et parfois elle n'est d'ailleurs pas considérée comme telle. Les éoliennes offshore, c'est-à-dire implantées au large des côtes, permettent d'exploiter l'énergie cinétique du vent en mer. Ce sont aujourd'hui des éoliennes dérivées des éoliennes terrestres et adaptées au milieu marin. Leur forme est celle des éoliennes terrestres, avec un rotor à trois pales, mesurant jusqu'à 180 m de haut et 126 m de diamètre pour les plus puissantes.

L'éolien offshore est la seule technologie considérée comme mature. C'est d'ailleurs la seule des énergies marines qui peut permettre, à court terme, d'atteindre les

⁵ Ce paragraphe s'appuie en partie sur l'audition de M. Michel PAILLARD (Ifremer) le 10 janvier 2008.

objectifs fixés au niveau européen et au niveau national d'une contribution des énergies renouvelables au bouquet énergétique à hauteur respectivement de 20% et 23%.

Cette maturité s'explique par le fait qu'il s'agit, au moins au départ, de la simple transposition d'une technologie terrestre à des zones marines peu profondes, proches du littoral : on sait installer des parcs éoliens en mer depuis 1991. Mais depuis cette date, les évolutions technologiques vont bon train et c'est même de rupture technologique dont on parle aujourd'hui.

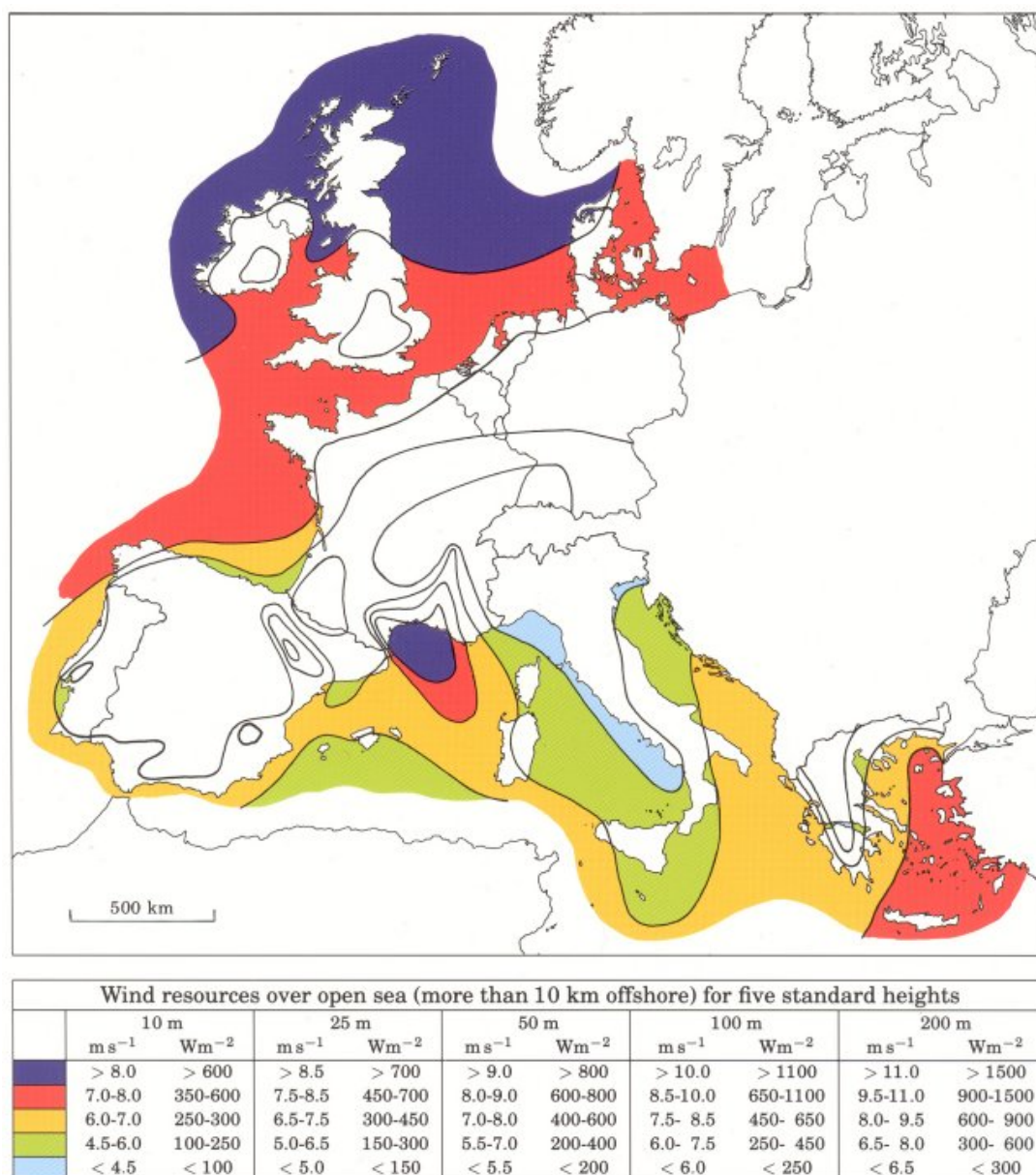
2.1.1. La ressource éolienne

En raison de la faible rugosité de la surface de la mer, les conditions de vent y sont plus favorables qu'à terre : les vents sont plus soutenus, plus réguliers, moins turbulents, ce qui permet un gain de production, des contraintes sur l'éolienne moins fortes qu'à terre, et une durée de vie plus grande. Le cisaillement du vent est lui aussi très bas, ce qui signifie que l'on n'obtiendra pas, comme c'est le cas sur la terre ferme, une augmentation significative de la vitesse du vent en accroissant la hauteur du moyeu. Cela permet donc d'avoir des éoliennes moins grandes pour exploiter la même vitesse de vent.

En revanche, la plus grande stabilité des régimes de vents rend le sillage turbulent produit par les éoliennes moins facile à dissiper, et les éoliennes devront être écartées les unes des autres en conséquence. L'effet « abri » de la côte ne doit pas non plus être négligé et, de ce fait, les conditions paraissent beaucoup plus favorables si les sites sont suffisamment éloignés de la côte.

L'Europe du Nord est particulièrement bien dotée pour l'exploitation de l'énergie éolienne offshore, avec des vitesses de vent supérieures à 8 m/s à 50 m de hauteur, soit une densité de puissance supérieure à 600 W/m².

Figure 4. Estimation de la ressource éolienne en mer, au-delà de 10 km des côtes, pour 5 hauteurs (10, 25, 50, 100 et 200 m).



Source: *European Wind Atlas*, 1989.

2.1.2. Les évolutions technologiques

L'éolien terrestre a émergé au Danemark en 1973, au moment du premier choc pétrolier. Le berceau géographique de l'éolien offshore se résume, lui, à trois pays : le Danemark, les Pays-Bas et la Suède. Est-ce, comme le disent certains, parce que ces pays sont avant-gardistes en matière environnementale ? Ou parce que le pic pétrolier de la Mer du Nord est derrière nous ?⁶ Toujours est-il que le développement de l'éolien offshore dans ces pays vient d'abord d'une volonté politique forte, mais

⁶ La Tribune, 20 mai 2008. *La houille bleue voit son avenir en rose.*

aussi de conditions propices à l'installation d'éoliennes en mer avec des plateaux continentaux étendus et peu profonds. Aujourd'hui, le Royaume-Uni et l'Allemagne se lancent à leur tour dans l'éolien offshore à grande échelle.

- Une technologie issue du domaine terrestre

Le premier parc éolien offshore a été installé au Danemark en 1991, sur le site de Vindeby à 2,5 km de la côte, dans des eaux ne dépassant pas 5 m de profondeur. Les 11 éoliennes installées, d'une puissance unitaire de 450 kW (0,45 MW), n'ont été que très légèrement modifiées par rapport à leurs homologues terrestres avec l'installation d'un transformateur à haute tension à l'intérieur des tours, et une porte d'entrée située un peu plus haut que la normale.

Figure 5. Le parc de Vindeby, au Danemark, premier parc éolien offshore.



Source : Danish Wind Industry Association.

Le même type d'éoliennes a été utilisé dans le parc de Tunø Knob quelques années plus tard. Cette fois, les éoliennes de 500 kW ont été dotées de grues électriques permettant le remplacement de composants sans avoir à utiliser de grue flottante, et les multiplicateurs ont été conçus de façon à accroître la vitesse de rotation de 10% par rapport à la version terrestre.

Ces parcs pionniers ont permis de mieux connaître les conditions éoliennes en mer et de développer progressivement des machines spécifiques.

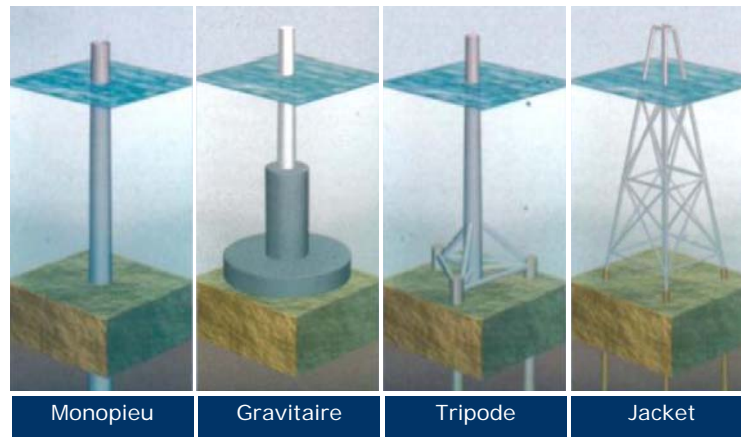
- Une évolution vers la « marinisation »

L'exploitation éolienne dans un environnement offshore implique des paris importants en termes d'ingénierie. L'éolienne doit résister non seulement aux vents extrêmes et aux tempêtes, mais aussi aux efforts créés par une masse d'eau en perpétuel mouvement (vagues et courants). Un effort particulier doit donc être porté sur la conception des fondations.

L'ancrage des éoliennes est l'un des points-clés du développement de parcs éoliens en mer. Il existe aujourd'hui plusieurs types de fondations :

- la fondation monopieu ;
- la fondation gravitaire béton ou acier ;
- la fondation tripode ou quadripode ;
- la fondation jacket.

Figure 6. Les différents types de fondations.



Chacun a des avantages et des inconvénients, et il faut savoir que le type de fondation dépend toujours des conditions locales (qualité du sol, profondeur d'eau)⁷.

Les fondations utilisées pour les premiers parcs danois, au début des années 90, sont des fondations gravitaires : il s'agit de blocs béton, construits en bassins de radoub puis remorqués et lestés, utilisant la simple gravité pour maintenir l'éolienne. Ce type de fondation, traditionnel et très simple, est toujours utilisé aujourd'hui, y compris pour les éoliennes les plus grandes : les éoliennes de 5 MW du parc du Thorntonbank, en Belgique, sont installées sur ce type de fondations.

La fondation de type jacket laisse entrevoir de nouvelles possibilités d'installation d'éoliennes en eaux profondes. Deux éoliennes de 5 MW ont été installées à proximité de la plateforme pétrolière Beatrice, à 25 km de la côte écossaise, à une profondeur supérieure à 40 m.

Figure 7. Une éolienne de 5 MW sur une structure jacket : le projet Beatrice.



Source : REpower.

⁷ Audition de M. Jacques RUER (Saipem s.a.) le 10 janvier 2008.

La durée de vie des fondations est plus importante que celle des éoliennes. Il peut donc être intéressant de surdimensionner les fondations, de façon à ce qu'au terme de la concession, les éoliennes puissent être remplacées par des éoliennes plus puissantes ancrées sur les mêmes fondations.

- La course au gigantisme

Avec le parc de Middelgrunden, le Danemark inaugure en 2001 le plus grand parc éolien offshore et une nouvelle génération d'éoliennes. Ces éoliennes de 2 MW, de type Bonus, sont spécialement conçues pour résister à la corrosion, avec des peintures répondant aux normes requises pour les installations offshore de la mer du Nord, et possèdent des capteurs spécifiques pour un contrôle accru. La nacelle et la tour sont équipées de systèmes de contrôle et de régulation de l'humidité et de la température pour éviter tout risque de corrosion interne. La nacelle est équipée de deux grues hydrauliques permettant la manutention d'outils et de pièces de rechange en tout point de l'éolienne, ou permettant d'installer une grue plus grande pour les interventions sur les pales, la boîte de vitesse ou la génératrice.

Les 20 éoliennes de 2 MW sont distantes de 180 m et sont disposées en un arc de cercle de 3,4 km de long.

Figure 8. Le parc de Middelgrunden au Danemark.

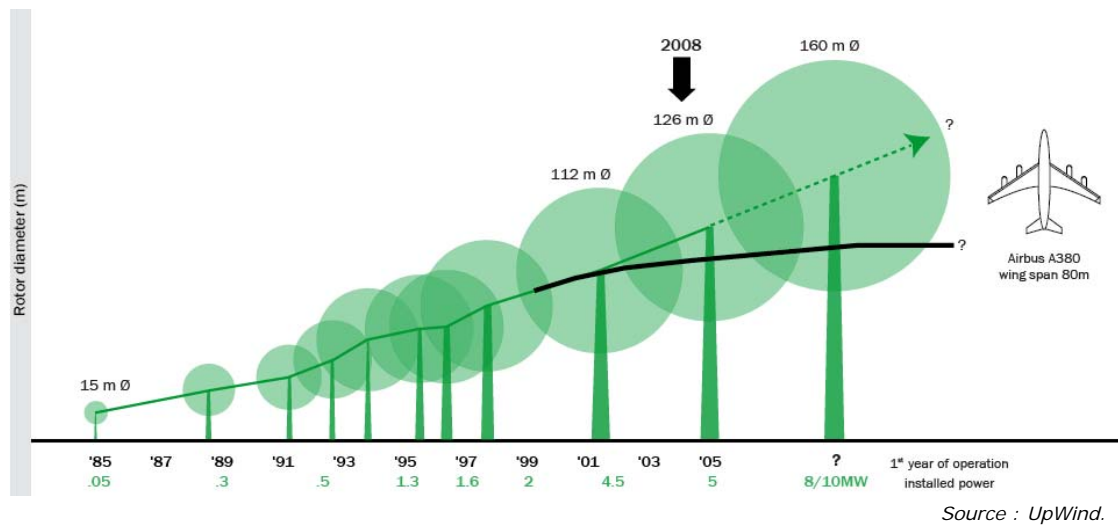


Source : Middelgrunden Cooperative.

Les machines se sont petit à petit « marinisées », c'est-à-dire adaptées à la mer. Les développements technologiques actuels, et en particulier l'évolution attendue des machines en taille et en puissance, sont d'ailleurs spécifiques au milieu marin. Alors que le parc de Thorntonbank, installé en 2008 au large d'Ostende, en Belgique, utilise des turbines de 5 MW, et que le Crown Estate, au Royaume-Uni, a décidé d'acquérir un prototype de 7,5 MW développé par Clipper Windpower, on évoque déjà des tendances à 8 ou 10 MW offshore⁸.

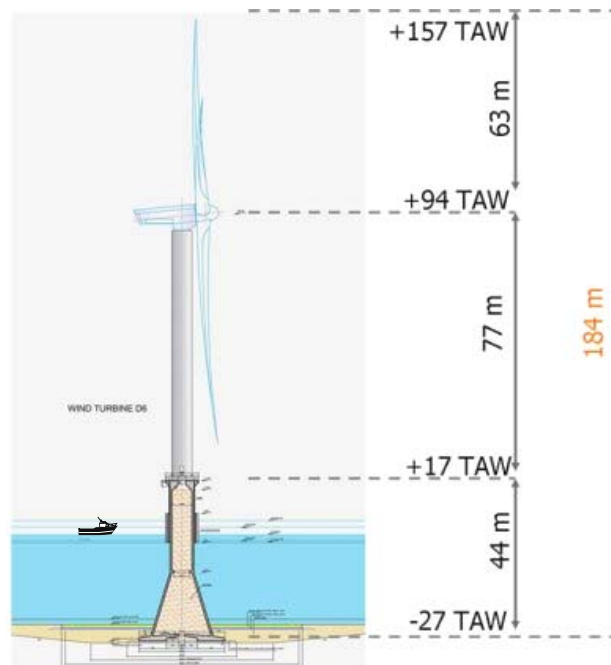
⁸ Projet européen UpWind.

Figure 9. Evolution de la taille des éoliennes en 20 ans.



Le dimensionnement de ces turbines est tel qu'elles ne pourront probablement pas être installées à terre : l'éolienne de 5 MW de REpower mesure plus de 180 m de haut et culmine à plus de 160 m au-dessus du niveau de l'eau, c'est-à-dire au niveau du deuxième étage de la Tour Eiffel.

Figure 10. L'éolienne REpower de 5 MW, et un ligneur de 9 m à l'échelle (TAW : par rapport au niveau de l'eau).



Source : REpower.

L'augmentation de la taille des éoliennes est un facteur déterminant pour la rentabilité des parcs : elle permet de diminuer les coûts fixes (campagnes de mesures, études préalables, études d'impact, raccordement, etc.), mais aussi

certains coûts variables qui n'augmentent pas en proportion avec la taille de l'éolienne : mobilisation de moyens pour l'installation, coût des fondations, etc.

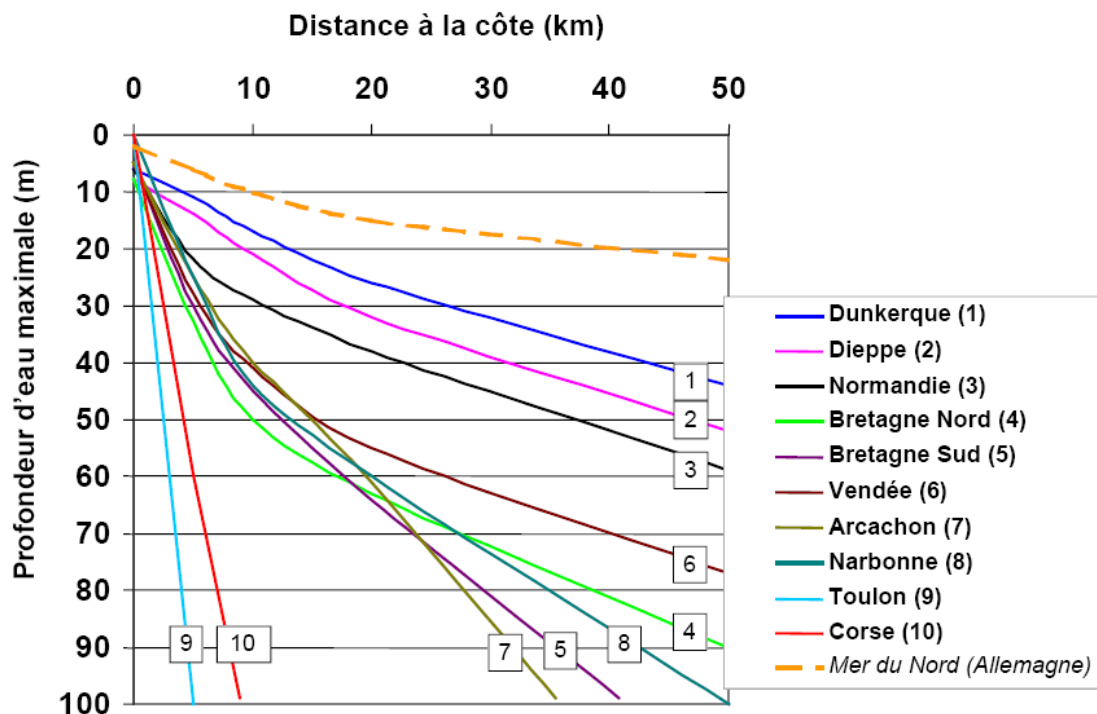
Les nouveaux constructeurs entrant sur le marché de l'éolien offshore ont progressé très vite sur la taille des machines. Aujourd'hui, ils souhaitent plutôt observer un pallier dans cette évolution, afin de gagner en fiabilité⁹.

- Vers une rupture technologique : l'éolien flottant

Jusqu'à présent, les projets éoliens offshore consistent à transposer en mer une technologie éprouvée à terre. Cette transposition presque directe a eu l'avantage de pouvoir fournir rapidement des machines exploitables à l'échelle industrielle. Mais cette approche a rapidement montré certaines limites, et notamment celles de la profondeur à laquelle les éoliennes peuvent être installées : on parle aujourd'hui de 40 m maximum. En outre, plus la profondeur augmente, plus la quantité et donc le coût des matériaux nécessaires aux fondations (acier et béton) sont importants.

S'affranchir de la contrainte de la profondeur est donc une piste séduisante, surtout en France où les profondeurs d'eau dépassent rapidement les 40 m. Alors que la Mer du Nord offre de vastes plateaux avec de faibles profondeurs d'eau, même les cas les plus intéressants en France, sur les côtes de la Manche, offrent des conditions nettement moins favorables.

Figure 11. Evolution de la profondeur d'eau en fonction de l'éloignement de la côte : comparaison entre le littoral français et le littoral allemand.



Source : Saipem s.a., 2004.

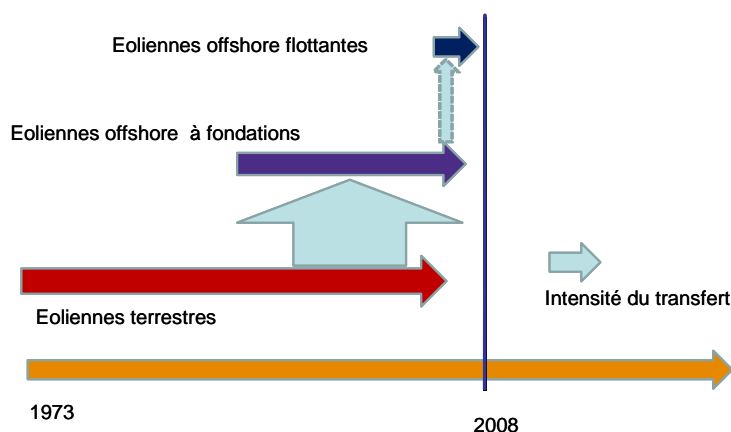
⁹ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

L'avenir de l'éolien en mer passe peut-être par de nouveaux concepts non extrapolés de l'éolien terrestre. Il faut utiliser les spécificités du milieu marin plutôt que d'essayer de s'en affranchir. Les constructeurs d'éoliennes terrestres sont prisonniers d'une technologie : les innovations viendront de marins qui oseront faire des éoliennes différentes¹⁰.

C'est donc un vrai changement de regard sur la technologie que proposent les porteurs de projets d'éoliennes flottantes, ouvrant la voie vers l'éolien farshore¹¹, éloigné de plusieurs dizaines de km des côtes, à des profondeurs supérieures à 50 m d'eau.

Alors que le transfert technologique est important entre l'éolien terrestre et l'éolien nearshore, qui sont dans la même gamme de produits et qui sont portés par les mêmes acteurs, il y a une rupture technologique à envisager pour aller vers l'éolien offshore flottant. Cette rupture va permettre à de nouveaux entrants d'arriver sur le marché, et notamment des acteurs venant de l'offshore pétrolier¹².

Figure 12. Intensité du transfert technologique entre les différents champs éoliens.



Source : Agence économique de Bretagne, 2008.

Plusieurs systèmes sont actuellement étudiés. Le concept Hywind de StatoilHydro, en Norvège, repose sur un flotteur de type spar en béton et acier de 200 m, dont la moitié sous l'eau, retenu par trois lignes d'ancrage. La turbine de 2,3 MW se situe classiquement face au vent. La phase d'essais en bassin est terminée, et le premier prototype doit être installé en mer en 2009.

Plutôt que d'essayer de reproduire en mer des structures stables permettant de maintenir l'éolienne face au vent, il semble pertinent de profiter du fait de flotter pour faciliter l'orientation de l'éolienne sous le vent. Ceci permet d'alléger les structures. C'est l'exemple du projet norvégien Sway : l'éolienne se tourne

¹⁰ Audition de M. Michel PAILLARD (Ifremer) le 10 janvier 2008.

¹¹ Farshore : éloigné des côtes, en opposition à nearshore, près des côtes.

¹² Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

spontanément dos au vent, la nacelle est fixe par rapport au mât. Le support flottant permet de recevoir des éoliennes de 5 MW, à des profondeurs d'eau allant de 80 à 300 m de profondeur. En revanche, l'ancrage est sensible aux variations de profondeur (marées). Un prototype de 5 MW devrait voir le jour en 2010, pour une commercialisation en 2012.

Le concept Windsea, de la société norvégienne Statkraft, repose sur une plateforme flottante semi-submersible, équipée de trois éoliennes, l'ensemble ayant une puissance de 10 MW. Deux éoliennes sont face au vent, l'autre est sous le vent et provoque l'orientation du flotteur. Le projet est en phase d'essais en bassin. Un prototype pourrait être installé en 2011.

Figure 13. Concepts de turbines Hywind, Sway et Windsea.



Source : StatoilHydro, Sway, Statkraft.

A l'occasion de la deuxième conférence internationale sur les énergies de la mer, qui s'est tenue à Brest du 15 au 17 octobre 2008, deux projets d'éoliennes flottantes ont été présentés par leurs concepteurs : les projets Diwet, dont un prototype a été testé en Italie, et Winflo (voir chapitre 2).

Un autre projet, Deepwater Turbine, a depuis été sélectionné par l'Institut pour les technologies de l'énergie au Royaume-Uni.

2.1.3. La production éolienne offshore

- Les puissances installées

Les éoliennes sont regroupées en parcs éoliens offshore, qui permettent d'atteindre la masse critique de rentabilité et de réduire les coûts fixes.

De quelques éoliennes dans les premiers parcs (11 éoliennes à Vindeby), on est rapidement passé à des parcs de plusieurs dizaines d'éoliennes (80 éoliennes à Horns Rev). Aujourd'hui, un parc éolien offshore comporte en moyenne entre 20 et 50 éoliennes de 2 à 5 MW, pour une puissance installée de 60 à 160 MW. Les profondeurs auxquelles les parcs sont installés ne dépassent pas 30 m.

Les parcs en projet en mer du Nord franchiront rapidement un nouveau cap avec des parcs de plusieurs centaines d'éoliennes : c'est le cas, entre autres, du projet Kriegers Flak qui comptera près de 300 éoliennes pour une puissance installée de 1 500 MW.

La densité énergétique d'un parc éolien offshore, c'est-à-dire la puissance installée sur 1 km² de surface de mer, permet d'appréhender la productivité potentielle d'un site. Elle est de l'ordre de 8 MW/km² en moyenne, et peut atteindre 15 à 20 MW/km² dans des sites très ventés.

Tableau 2. Quelques exemples de densité énergétique.

Parc	Densité énergétique approximative (MW/km ²)
Nordsee 1 (Allemagne)	6,5
Nysted (Danemark)	7
Veulettes-sur-Mer (France)	7
Horns Rev (Danemark)	8
Thanet (Royaume-Uni)	8,5
Princess Amalia (Pays-Bas)	8,5
Burbo Bank (Royaume-Uni)	9
Sheringham Shoal (Royaume-Uni)	9
Alpha Ventus (Allemagne)	15
Thorntonbank (Belgique)	21

- La production

Une éolienne offshore commence à fonctionner par un vent de 2 Beaufort (environ 10 km/h ou 3 m/s), atteint sa vitesse de croisière à 6 Beaufort (45 km/h, 12 m/s), et doit être arrêtée à 11 Beaufort (110 km/h, 30 m/s).

Le rapport entre le nombre d'heures de fonctionnement en équivalent pleine puissance et le nombre d'heures de fonctionnement théorique dans l'année (8760 h) est appelé facteur de charge.

La communication faite autour des projets éoliens offshore mentionne des facteurs de charge bien supérieurs à celui des éoliennes terrestres ; certains évoquent même des facteurs de charge deux fois supérieurs en mer. En fait, si l'on analyse les données de l'ensemble des parcs offshore du Danemark¹³, on voit que le facteur de charge moyen se situe autour de 35%, tandis que les éoliennes terrestres ont un facteur de charge moyen plutôt compris entre 25 et 30%¹⁴. Ainsi, on peut raisonnablement espérer que, sur les côtes françaises, une éolienne offshore fonctionnera au minimum 3000 heures par an en équivalent pleine puissance.

Par ailleurs, il est probable que l'éolien offshore ouvre des perspectives encore plus intéressantes : le vent du large est plus régulier, plus soutenu, et l'effet d'abri dû à la

¹³ Offshore Center Danmark www.offshorecenter.dk

¹⁴ Renewable Energy Foundation, juin 2008. *UK Renewable Energy Data, Issue 6.*

proximité de la côte ne joue plus. Ainsi, le parc du Thorntonbank, en Belgique, à 28 km de la côte, affiche un facteur de charge de 38% (3300 h) et le parc Horns Rev, au Danemark, à 20 km de la côte, un facteur de charge de 42% (3750 h).

Il est donc probable que l'éolien flottant permette d'atteindre des facteurs de charge sensiblement supérieurs à ce qui existe aujourd'hui, dépassant les 45% (4000 h).

La Bretagne dispose de régimes de vents soutenus et plusieurs projets de parcs éoliens offshore (classiques, avec fondations) sont envisagés sur la côte Nord comme sur la côte Sud. Le Pôle Mer Bretagne a par ailleurs labellisé deux projets d'éoliennes flottantes, Diwet et Winflo.

2.2. L'exploitation de l'énergie de la marée

C'est la forme la plus ancienne de l'exploitation de l'énergie de la mer. Elle consiste à exploiter l'énergie potentielle de la marée, c'est-à-dire l'énergie liée à la différence de niveau entre deux masses d'eau. Les formes les plus connues sont les moulins à marée et les rares usines marémotrices telles que la Rance. Le principe de fonctionnement de ces installations est désormais repris dans des projets de lagons artificiels offshore.

2.2.1. La ressource

Les marnages ont l'avantage d'être parfaitement prédictibles. La ressource mondiale exploitable (estuaires avec un marnage supérieur à 5 m), est estimée à 380 TWh pour une puissance crête de 160 GW (pour mémoire, la production électrique française est de 500 TWh). En France, les marnages sont particulièrement importants sur la côte Nord de la Bretagne et en baie du Mont Saint-Michel où ils peuvent atteindre 14 m.

2.2.2. Les évolutions technologiques

- Les usines marémotrices à la côte

On ne compte actuellement que trois usines marémotrices en fonctionnement dans le monde, pour une capacité installée de 265 MW. L'usine de la Rance est de loin la plus importante, avec une puissance de 240 MW et une production annuelle de 550 GWh. Les autres usines se trouvent au Canada (20 MW) et en Chine (5 MW).

Le gouvernement britannique a lancé, au début de l'année 2008, une étude de faisabilité d'un vaste système d'exploitation de l'énergie de la marée dans l'estuaire de la Severn (voir figure 14). Au mois de juillet 2008, une première liste de 10 projets (barrages et lagons couplés à des usines marémotrices) a été publiée. Cette étude de faisabilité vise à évaluer les coûts et les bénéfices des projets, mais aussi leurs conséquences sur l'environnement.

Il existe également un projet à Sihwa, en Corée du Sud, qui consiste à valoriser une digue existante de 12 km de long en y installant 10 turbines de 25,4 MW, pour une puissance totale de 254 MW susceptible de générer 553 GWh par an.

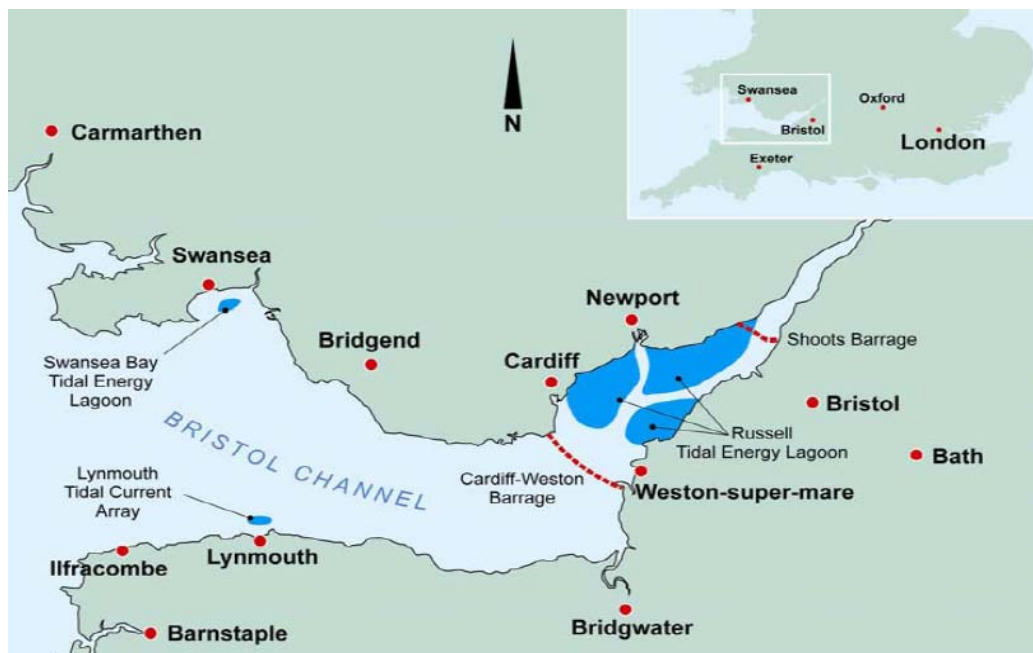
- Les projets de lagons offshore

Il est peu probable que des projets de barrages couplés à des usines marémotrices de grande envergure voient le jour, eu égard à leurs impacts paysagers et environnementaux sur le littoral. C'est pourquoi le concept est désormais repris dans une configuration offshore, avec le projet de construire des lagons artificiels fonctionnant sur le cycle Bélidor qui permet une production régulière en exploitant la chute créée entre deux retenues en lagon. Dans ce concept :

- un bassin haut est rempli à chaque marée haute ;
- un bassin bas est vidé à chaque marée basse ;
- c'est la différence de niveau entre les deux bassins, toujours positive, qui est exploitée.

Ce projet est en cours d'étude sur plusieurs sites au Pays de Galles : dans la baie de Swansea (voir figure 14), avec un lagon de 5 km² alimentant une turbine de 30 MW, à Rhyl avec 432 MW, ainsi qu'en Chine avec le site de Yalu situé à 1 km au large, avec une puissance de 300 MW. Tidal Electric Ltd estime à 6 000 MW le potentiel au Royaume-Uni, et à 2 000 MW en France.

Figure 14. Barrages (en rouge) et lagons (en bleu) en projet dans l'estuaire de la Severn.



Source : BERR, 2008.

Avec le barrage de la Rance, la Bretagne possède l'usine marémotrice la plus puissante au monde. Mais les impacts environnementaux et paysagers de tels projets rendent très peu probables d'autres réalisations similaires.

2.3. L'exploitation de l'énergie des courants

Il s'agit, cette fois, de l'exploitation de l'énergie cinétique des courants de marée par des turbines appelées hydroliennes.

2.3.1. La ressource hydrolienne

Le gros avantage de cette source d'énergie est qu'elle est prédictible. La ressource mondiale est estimée à 450 TWh/an. Les marées sont amplifiées dans la Manche, ce qui en fait l'une des régions les plus favorisées dans le monde pour l'exploitation des courants de marée. Ainsi, le Royaume-Uni et le nord de la France représentent plus de 80% de la ressource potentielle européenne.

Le potentiel hydrolien est estimé à 5 à 6 GW au Royaume-Uni (pour une production de 13 à 23 TWh), et 2,5 à 3,5 GW en France (pour une production de 5 à 14 TWh). Le potentiel du reste de l'Europe est estimé à 0,7 GW pour une production de 3 TWh¹⁵.

Cette ressource est prédictible, indépendante de la météo, mais intermittente car liée aux marées. Il s'agit d'une ressource très localisée sur des sites où la géomorphologie entraîne une augmentation des vitesses des courants (caps, détroits, goulets), mais à fort potentiel local.

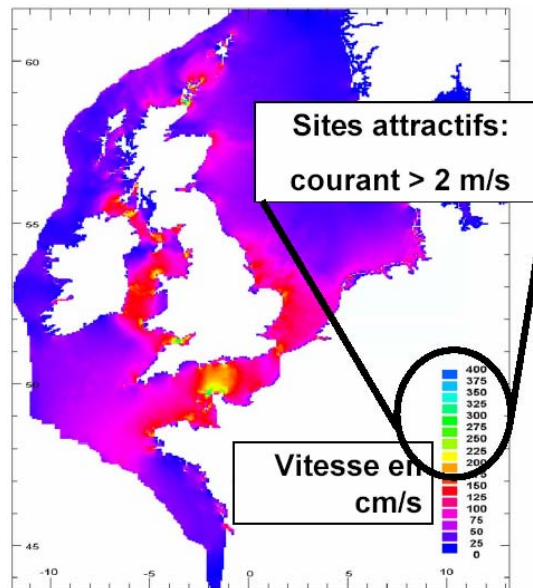
Figure 15. Les « spots » de courants de marée dans le monde.



Les sites attractifs sont ceux dont la vitesse des courants de marée dépasse 2 m/s. Le raz de Sein, Ouessant, Paimpol-Bréhat, le raz Blanchard, le raz de Barfleur sont les zones les plus intéressantes en France.

¹⁵ Audition de MM. Cyrille ABONNEL et Philippe GUILLAUMEUX (EDF) le 15 mai 2008.

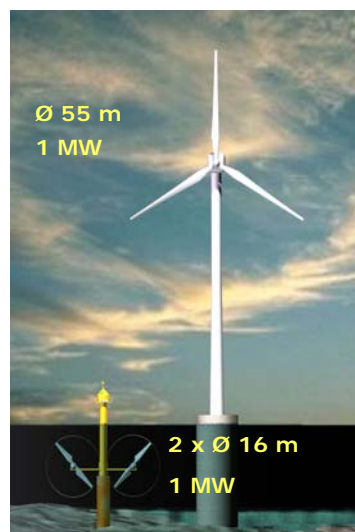
Figure 16. Carte des courants de marée.



2.3.2. Les évolutions technologiques

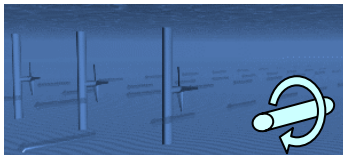
Il existe un foisonnement de concepts autour de l'exploitation de l'énergie des courants de marée : l'EMEC en recense plus de 50 en 2008, alors que l'IEA-OES n'en comptait que 5 en 2003. La forme des machines est variée mais il s'agit presque toujours d'hélices entraînées par les courants, fonctionnant sur le même principe qu'une éolienne avec le vent. La densité de l'eau est un facteur important à prendre en compte pour appréhender le dimensionnement des machines. Ainsi, pour une puissance installée équivalente, une hydrolienne est beaucoup plus petite qu'une éolienne.

Figure 17. Comparaison de la taille d'une éolienne et d'une hydrolienne de même puissance.

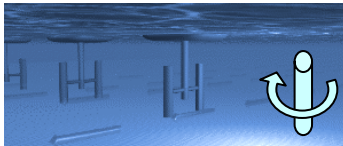


Source : Marine Current Turbines.

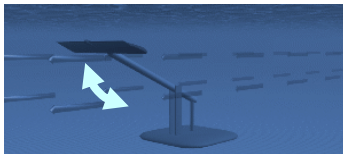
Il existe quatre grandes familles d'hydroliennes¹⁶ :



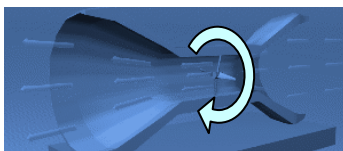
1) Les hydroliennes à axe horizontal, qui fonctionnent à l'image d'une éolienne ;



2) Les hydroliennes à axe vertical ;



3) Les systèmes à hydrofoils ;



4) Les hydroliennes qui exploitent « l'effet Venturi », c'est-à-dire l'accélération d'un fluide dans une conduite dont le diamètre se rétrécit.

On peut également distinguer les hydroliennes selon leur système de fixation et leur positionnement dans la colonne d'eau. Aucune technologie ne s'est réellement imposée pour atteindre le stade industriel, mais les quelques-unes que nous présentons ici sont les plus avancées et des prototypes ont été validés en mer.

- Les hydroliennes sur fondation monopieu

A l'image d'une éolienne offshore, il s'agit d'une hélice fixée sur un pieu, lui-même ancré au fond de la mer et émergent en surface. Le principal avantage de ce concept, utilisé par la société Marine Current Turbines (MCT), est de pouvoir relever les hélices pour la maintenance.

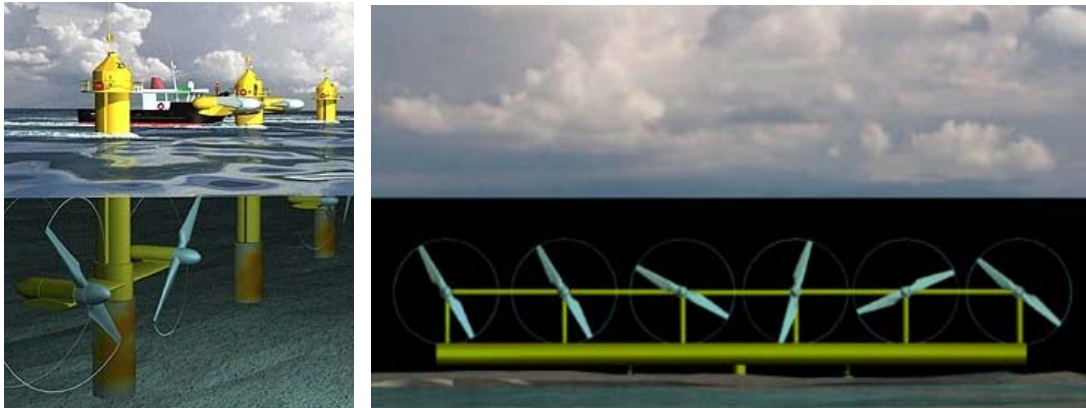
Le premier prototype mis au point par cette société est le prototype Seaflow, une hydrolienne à simple rotor de 300 kW installée dans le détroit de Bristol. Le produit commercial sera basé sur le prototype Seagen, une hydrolienne à double rotor de 2 x 600 kW. Les deux rotors de 16 m de diamètre sont indépendants et balayent une surface de 402 m². Le prototype à l'échelle 1 a été installé à Stanford Lough, en Irlande du Nord, le 15 mai 2008.

Les hydroliennes MCT de deuxième génération seront plus grandes (20 m de diamètre) et disposées en écran sur une structure totalement immergée. Elles balaieront une surface de 1500 m² et délivreront une puissance de 5 MW¹⁷.

¹⁶ EMEC www.emec.org.uk

¹⁷ Intervention de M. Fraenkel PETER lors de la conférence ICOE, le 15 octobre 2008 à Brest.

Figure 18. Vue d'artiste du prototype Seagen et du concept multi-rotors immergé.



Source : MCT.

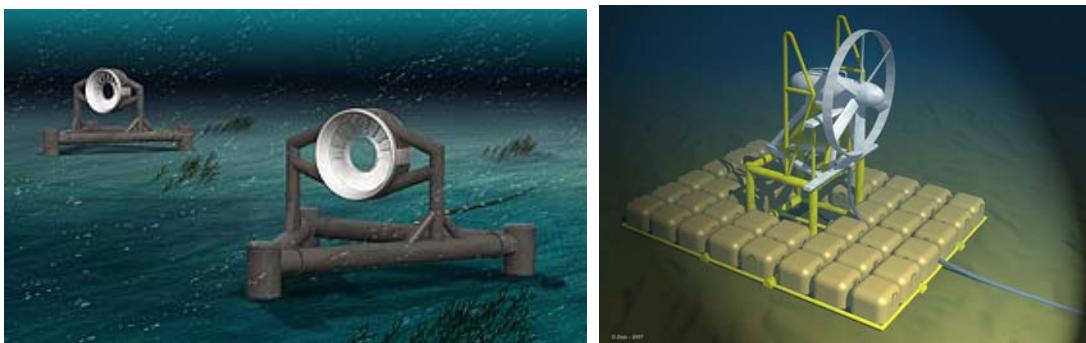
- Les hydroliennes immergées

Il s'agit cette fois de turbines fixées au fond de la mer et totalement immergées. Le principal avantage de ce concept est que les hydroliennes sont invisibles depuis la surface et autorisent la navigation. En revanche, la vitesse des courants est moindre lorsque l'on se rapproche du fond.

Les concepts développés avec ce type d'hydroliennes sont nombreux :

- le concept OpenHydro, développé par une société irlandaise, avec une hydrolienne de 500 kW ouverte au centre qui permet aux poissons et mammifères marins de passer : le prototype a été validé en mer et la première turbine industrielle devrait être livrée en 2009 ;
- le concept Sabella, développé par la société française HydroHelix Energies, avec une hydrolienne qui devrait à terme atteindre 200 kW, dont un prototype à échelle réduite de 10 kW a été testé en mer ;
- le concept Hammerfest Strom ;
- le concept Lunar Energy, qui exploite l'effet Venturi dans un conduit de 15 m de diamètre et de 19 m de long par une turbine de 1 MW ;
- etc.

Figure 19. Les concepts OpenHydro et Sabella.



Source : OpenHydro et HydroHelix.

Figure 20. Les concepts Hammerfest Strom et Lunar Energy.

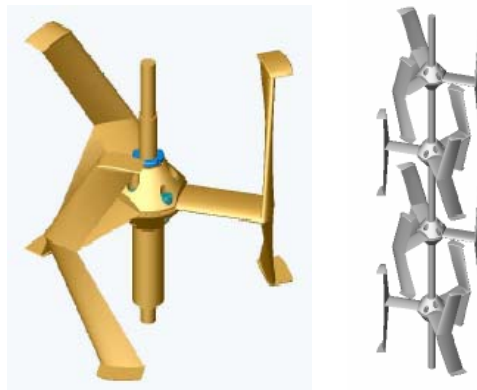


Source : Hammerfest Strom et Lunar Energy.

- Les hydroliennes à axe vertical ¹⁸

Les hydroliennes à axe vertical sont dérivées des concepts de turbines DARRIEUS et GORLOV. L'hydrolienne ACHARD, développée par le LEGI (Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels de Grenoble), est une hydrolienne à axe vertical modulaire pouvant être empilée.

Figure 21. Le concept de turbine à axe vertical.



Source : HARVEST.

Ce concept a été développé pour le domaine fluvial, ce qui représente un marché important dans les pays émergents. La « marinsation » interviendra dans une deuxième étape. Ce projet est financé par l'ANR et mené en partenariat avec EDF R&D et Areva.

2.3.3. La production hydrolienne

La prédictibilité des courants de marée offre la possibilité d'une production de base, mais intermittente. La densité énergétique d'un parc d'hydroliennes offshore est de

¹⁸ Audition de M. Jean-Luc ACHARD (LEGI) le 15 mai 2008.

l'ordre de 20 à 30 MW par km² dans les sites favorables, à comparer aux 8 à 10 MW/km² pour l'éolien offshore. Les hydroliennes sont susceptibles de fonctionner 2 500 à 3 000 heures en équivalent pleine puissance.

La Bretagne dispose de quelques-uns des sites les plus attractifs en matière de courants de marée. Un projet pré-industriel de démonstration de 2 MW est d'ailleurs prévu à Paimpol-Bréhat, tandis que deux prototypes d'hydroliennes sont au stade des essais en mer. Le Pôle Mer Bretagne a notamment labellisé le projet Marénergie, dont le prototype Sabella D03 a été immergé dans l'Odet pour une campagne de tests.

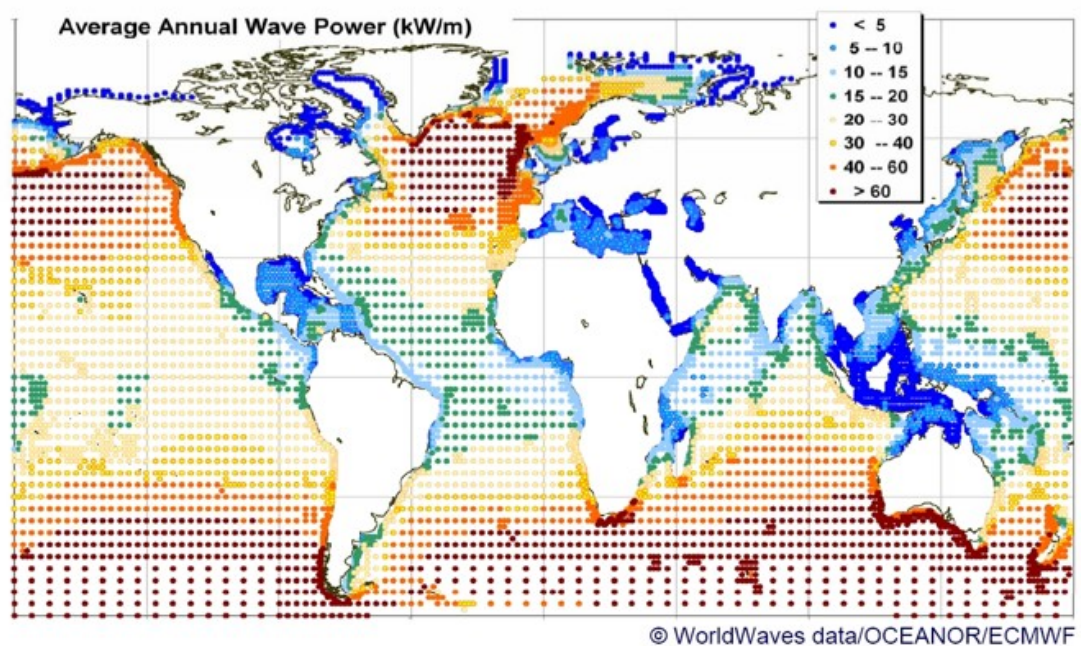
2.4. L'exploitation de l'énergie des vagues

La récupération de l'énergie des vagues est une idée ancienne, puisque dès 1882, on a eu l'idée d'une machine utilisant les mouvements de la mer pour élever l'eau à une certaine hauteur et la turbiner.

2.4.1. La ressource

La houle est caractérisée par deux paramètres, la hauteur et la période des vagues, qui donnent une puissance (en kW) par mètre linéaire de crête de vague. La ressource potentielle est exprimée en moyenne sur l'année. Sur la carte suivante, chaque point représente une moyenne annuelle de la puissance qui passe dans un mètre de largeur de mer.

Figure 22. Puissance annuelle moyenne exprimée en kW/m.



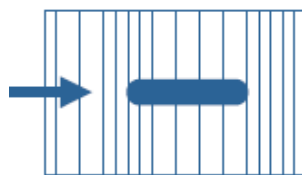
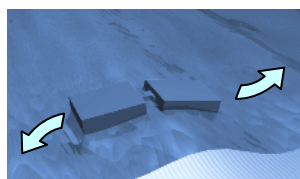
La façade atlantique métropolitaine est particulièrement bien exposée, avec une puissance moyenne de 45 kW/m, une ressource théorique estimée à 400 TWh/an (la production électrique française est de 500 TWh/an) et un potentiel techniquement exploitable estimé à 40 TWh/an. Le potentiel mondial techniquement exploitable est, quant à lui, estimé à 1 400 TWh/an.

2.4.2. Les évolutions technologiques

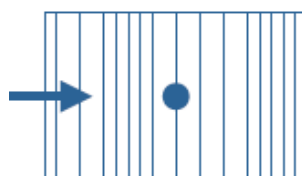
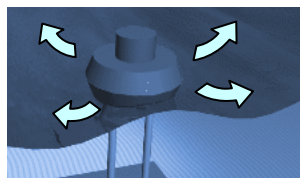
C'est sans doute dans l'exploitation de l'énergie des vagues qu'il existe la plus grande diversité de concepts : l'EMEC en recense plus de 90. Certains systèmes exploitent, à la côte, le déferlement des vagues tandis que d'autres exploitent, en pleine mer, l'ondulation des vagues.

On peut regrouper ces systèmes en quatre grandes familles¹⁹ :

- les systèmes à déferlement : les vagues viennent déferler sur un plan incliné à l'arrière duquel se trouve un bassin en hauteur. Lorsque l'eau de ce bassin retourne à la mer, elle actionne une turbine ;
- les systèmes à colonne d'eau oscillante : la surface de l'eau agit comme un piston qui chasse l'air dans un cylindre ;
- les flotteurs :



1) de type « atténuateur » : il s'agit d'un flotteur perpendiculaire à la direction des vagues

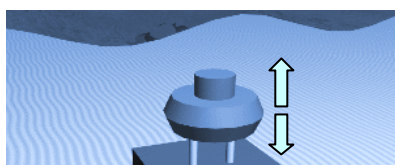


2) de type « absorbeur » : il s'agit d'un flotteur capable d'absorber l'énergie dans toutes les directions

- les systèmes immergés :



1) de type « oscillateur » : un volet monté sur un bras articulé oscille avec les vagues



2) de type « pompe » : la différence du niveau de la mer provoque une différence de pression dans un piston.

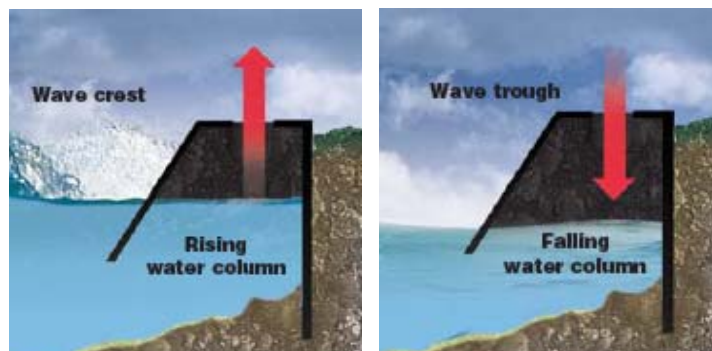
¹⁹ EMEC www.emec.org.uk

- Les installations de première génération, à la côte

Les premiers systèmes de récupération de l'énergie des vagues sont des installations fixes, à la côte, qui exploitent le déferlement des vagues ou le principe de la colonne d'eau oscillante.

L'une des premières réalisations utilisant le principe de la colonne d'eau oscillante est le projet Limpet (Land Installed Marine Powered Energy Transformer), de 500 kW, installé en 2000 sur l'île Islay, sur la côte ouest de l'Ecosse.

Figure 23. Principe de la colonne d'eau oscillante.



Source : Wavegen.

L'impact environnemental et paysager de ce type d'installation est certain. De surcroît, il y a moins de puissance à la côte qu'au large, et des risques d'ensablement ou d'érosion existent. Ces technologies n'ont sans doute pas beaucoup d'avenir.

- Les installations de deuxième génération, au large

De multiples concepts dits de « deuxième génération » ont été développés pour exploiter l'énergie des vagues non plus à la côte mais en offshore.

Le projet le plus abouti est le projet développé par la société Ocean Power Delivery Ltd, devenue Pelamis Wave Power Ltd en 2007. Le Pelamis est un flotteur de type « atténuateur », composé d'un tube d'acier articulé de 140 m de long, de 3,5 m de diamètre, pesant 350 tonnes avant ballastage, développant une puissance de 750 kW.

C'est le seul système d'exploitation de l'énergie des vagues qui en est au stade industriel. Le premier parc houlomoteur au monde, composé de trois Pelamis, a été installé à Aguçadoura, au Portugal et a délivré ses premiers MWh le 15 juillet 2008. Ce parc de 2,25 MW devrait dans l'avenir s'agrandir pour atteindre 20 MW.

Le concept Pelamis vise à répondre à quatre défis :

- la survivabilité : la forme du Pelamis permet d'absorber les pics d'énergie. La section qui absorbe la vague est réduite. La puissance absorbée est automatiquement limitée ;
- la fiabilité : tous les composants du Pelamis sont des composants standards, éprouvés par ailleurs ;

- la maintenance : le Pelamis étant encombrant et lourd, il convient d'éviter au maximum le travail à terre. L'entretien est donc fait sur site, à partir de petits navires courants ;
- l'efficacité : les coûts d'investissement pour les premières unités sont bien placés par rapport à d'autres technologies innovantes.

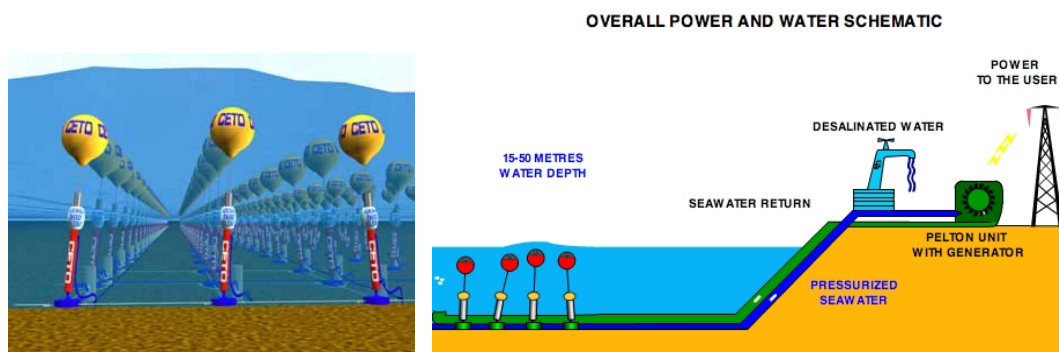
Figure 24. Le parc d'Aguçadoura, au Portugal.



Source : Pelamis Wave Power Ltd.

Le système électrique autonome de récupération de l'énergie des vagues (Searev) est un autre concept de flotteur développé par l'Ecole centrale de Nantes depuis 2003. Il s'agit d'une capsule flottante, non articulée, entièrement close, qui contient un système pendulaire (roue lestée de béton de 9 m de diamètre et de 400 tonnes) qui entre en oscillation avec le mouvement des vagues, active un système hydraulique qui active à son tour la génératrice électrique (voir chapitre 2).

Le projet Ceto, porté par le britannique Renewable Energy Holdings (REH) et démarré en 1999, vise à produire de l'eau douce, à terre, à partir de l'énergie des vagues. Des flotteurs sont ancrés au fond de la mer et sont mus par les mouvements des vagues. Le concept a été validé entre 2003 et 2006 (Ceto I), le prototype pré-commercial entre 2006 et 2008 (Ceto II) et le développement industriel est envisagé dans une troisième phase du projet (Ceto III). La phase de production est prévue entre 2009 et 2011. Ce projet est soutenu par EDF Energies nouvelles. L'accord entre REH et EDF Energies nouvelles donne à ce dernier un droit exclusif d'utilisation de cette technologie dans l'hémisphère nord et à La Réunion.



Source : CETO.

2.4.3. La production houlomotrice

La densité énergétique d'un parc houlomoteur est de l'ordre de 20 à 30 MW par km². Les machines sont susceptibles de fonctionner jusqu'à 4 000 heures par an en équivalent pleine puissance. La houle est un phénomène aléatoire dépendant de l'état de la mer et donc des conditions météorologiques. Elle est 10 fois plus forte en hiver qu'en été, corrélativement à la consommation électrique qui est elle aussi plus importante en hiver. La ressource en vagues est prédictible à 3 ou 4 jours.

La Bretagne est exposée à une houle ordinairement puissante. Il n'y a pas aujourd'hui de développement technologique dans ce domaine en Bretagne, mais la région voisine des Pays de la Loire verra prochainement la création d'un site d'essais en mer et la démonstration du prototype Searev.

2.5. L'exploitation de l'énergie thermique des mers

Les océans sont à la fois un vaste capteur et un immense réservoir d'énergie solaire, stockée sous forme de chaleur dans les couches de surface des mers et des océans tropicaux. Sous les hautes latitudes, le refroidissement des couches de surface entraîne la plongée de l'eau froide, plus dense, vers le fond des grands bassins océaniques. Ce phénomène de circulation explique les différences de température en zone tropicale, où la température de l'eau peut dépasser 28°C en surface alors qu'à 1 000 mètres de profondeur elle reste uniformément voisine de 4°C.

C'est cette différence de température entre le fond et la surface, appelée énergie thermique des mers (ETM) ou Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) qui peut être exploitée pour produire de l'électricité. L'eau profonde est également riche en substances nutritives, peu polluée et pauvre en germes pathogènes pour les organismes vivant dans les eaux de surface. Ces propriétés peuvent être utilisées dans une multitude d'applications - associées ou non à l'ETM - et notamment au conditionnement d'air et à la réfrigération, à la production d'eau douce, à l'aquaculture marine, etc. C'est surtout aux Etats-Unis et au Japon que ces applications sont étudiées.

2.5.1. La production d'électricité

La possibilité de produire de l'électricité à partir d'une source froide et d'une source chaude a été imaginée dès la fin du XIX^e siècle, mais c'est Georges CLAUDE qui en a démontré la faisabilité technique à Cuba dans les années 30. La France était alors pionnière dans ces expérimentations, qui ont pris une autre dimension à la faveur du choc pétrolier de 1973, aux Etats-Unis et au Japon notamment. C'est dans ce contexte qu'en 1982 l'Ifremer a proposé, avec un groupement d'industriels, la construction d'une centrale pilote de 5 MW à Tahiti. Les études préalables, menées jusqu'en 1985, ont montré qu'une telle centrale aurait pu fournir 15% de l'énergie consommée par l'île de Tahiti, à un prix intéressant s'agissant d'une première installation. Entre 1985 et 1986, l'effondrement des cours du pétrole entraîna l'arrêt de cet avant-projet.

Aujourd'hui, des projets sont en cours au Japon, aux Etats-Unis (à Hawaï notamment), et la France s'y intéresse de nouveau, à la Réunion et en Polynésie française.

2.5.2. La mer, source froide

L'eau profonde froide peut être directement utilisée comme réfrigérant pour des machines thermiques ou comme conditionneur d'air. Actuellement, un hôtel de Bora-Bora utilise l'eau froide des profondeurs (- 866 m) comme fluide de climatisation. Un projet similaire est en cours pour l'hôpital de Papeete.

Cette technique n'est pas strictement réservée aux zones intertropicales : on peut tout à fait imaginer en métropole le développement de réseaux de chaleur fonctionnant à partir d'eau de mer. Ainsi, à la Seyne-sur-Mer, de nouveaux bâtiments publics et privés, construits sur les anciens chantiers navals, seront chauffés et climatisés avec un réseau d'eau de mer tempérée. Cette solution s'inspire d'installations similaires déployées à Monaco sur un ensemble de bureaux et, à plus petite échelle, sur le port autonome de Fos-sur-Mer, ainsi qu'au Théâtre de la Criée à Marseille. L'opération consiste à réaliser un captage à cinq mètres de profondeur, dans les anciennes darses du port, où la température de l'eau est stabilisée à 12-13°C en hiver et 15°C en été. Trois échangeurs thermiques en titane de 1,6 MW chacun vont réchauffer de l'eau douce qui transitera dans un réseau de canalisations de 1 000 mètres alimentant les bâtiments²⁰. Aux Pays-Bas, l'eau de la Mer du Nord chauffera un ensemble de logements de La Haye équipés d'un double système de pompes à chaleur, l'un faisant monter la température à 11°C, l'autre de 11 à 65°C²¹.

L'intérêt majeur de l'exploitation de l'énergie thermique des mers réside dans la zone intertropicale, où le gradient thermique est élevé. Toutefois, le gisement d'eau à température stable des côtes métropolitaines peut permettre d'envisager des installations de type « pompe à chaleur ».

2.6. L'exploitation des gradients de salinité

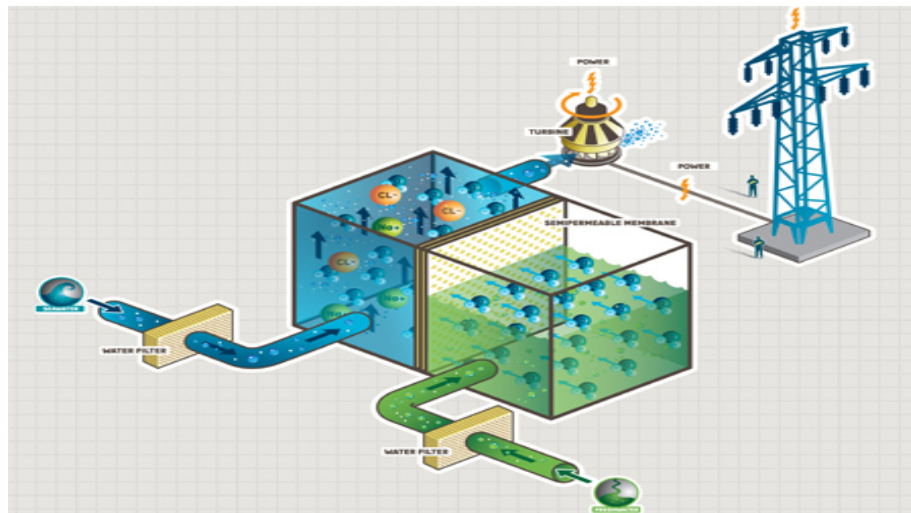
Lorsque deux masses d'eau de concentration différente sont en contact, l'eau a naturellement tendance à passer du compartiment le moins concentré vers le compartiment le plus concentré, de façon à rétablir l'équilibre des concentrations.

Si un compartiment d'eau de mer, concentrée en sel, et un compartiment d'eau douce sont mis en contact à travers une membrane semi-perméable, l'eau va naturellement franchir cette membrane vers le compartiment d'eau de mer, y créant une surpression équivalente à une colonne d'eau de 240 m. En limitant cette surpression à 120 m, on crée un débit d'eau qui alimente une génératrice électrique.

²⁰ Voir le site de la ville de la Seyne-sur-mer www.la-seyne-sur-mer.fr

²¹ Bulletins électroniques Pays-Bas, 28 avril 2008. *Chaleur issue de l'eau de mer.*

Figure 25. Principe de fonctionnement d'une centrale osmotique.



Source : Statkraft.

Le principe de fonctionnement est relativement simple mais requiert des membranes très élaborées, dont les performances ont été sensiblement améliorées depuis une dizaine d'années. La société Statkraft, en Norvège, mène des recherches sur cette technologie et prévoit des tests commerciaux pour 2009. La première centrale pourrait voir le jour en 2015 : une telle centrale devra comporter plus de 5 millions de m² de membranes disposés en spirales.

De telles centrales devront être implantées à proximité immédiate des estuaires, où eau douce et eau salée sont disponibles en grande quantité. La société Statkraft estime le potentiel mondial à 1 600 TWh.

La recherche sur l'énergie des gradients de salinité est encore très confidentielle et ne concerne pas directement la Bretagne.

3. L'installation et la maintenance, étapes-clés vers le déploiement industriel

Les conditions du milieu marin imposent d'anticiper très en amont les procédés d'installation et de maintenance des machines en mer. Si l'agressivité du milieu marin, en termes de corrosion notamment, est un paramètre connu et maîtrisable, il n'en est pas de même pour les conditions hydrodynamiques comme la force des courants et de la houle, par définition importante dans les zones convoitées. De même, l'installation en mer ne doit pas faire oublier les nécessaires étapes terrestres de la chaîne d'assemblage, et sans doute de la maintenance lourde, de machines dimensionnées pour l'exploitation offshore.

Les parcs éoliens offshore sont les seuls exploités à un stade industriel, et il est donc possible de décrire les conditions d'installation et de maintenance des machines en mer. Même si elles ne sont pas encore connues pour le moment, les conditions d'installation de parcs hydroliens s'en rapprocheront probablement. En revanche, les

conditions d'installation de machines flottantes, ainsi que les conditions de maintenance de parcs hydroliens ou houlomoteurs restent à préciser.

3.1. L'installation et la maintenance d'un parc éolien offshore

Nous prendrons ici l'exemple de l'installation du parc éolien de Thorntonbank, en Belgique, qui s'est déroulée pendant l'été 2008²².

3.1.1. Les fondations



Les six premières fondations gravitaires, d'une hauteur de 45 m et d'un poids de 3 000 tonnes, sont construites sur le port d'Ostende, sur une zone dédiée de 1,5 ha.



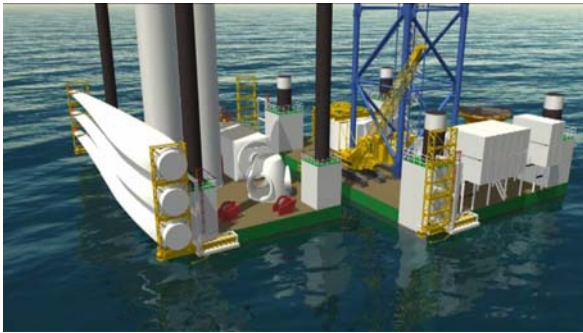
La barge Rambiz peut soulever 3300 tonnes. Elle transporte, une à une, les fondations à demi immergées vers le site d'exploitation en mer.



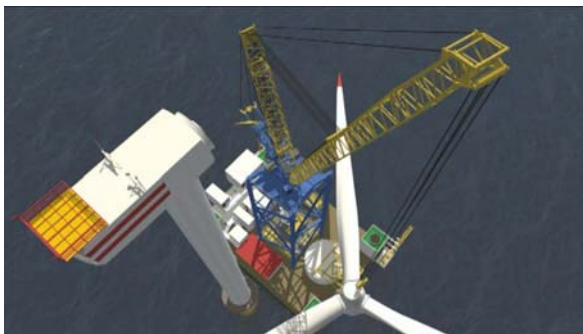
En mer, un ensemble de navires spécialisés prépare une souille de 45 x 100 m, empierrée, sur laquelle la fondation est déposée. Les matériaux extraits pour la préparation du support sont remis en place autour de la fondation, de façon à limiter l'érosion de la base.

²² D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

3.1.2. Le montage de l'éolienne



Sur le parc du Thorntonbank, les éoliennes sont amenées sur place en pièces détachées par des barges auto-élevatrices : le mât de 120 tonnes en deux pièces, la nacelle de 315 tonnes, les 3 pales de 18 tonnes.



Le mât, la nacelle puis l'ensemble pales/rotor sont assemblés.



L'assemblage de l'éolienne dure 23 h dans de bonnes conditions météorologiques.



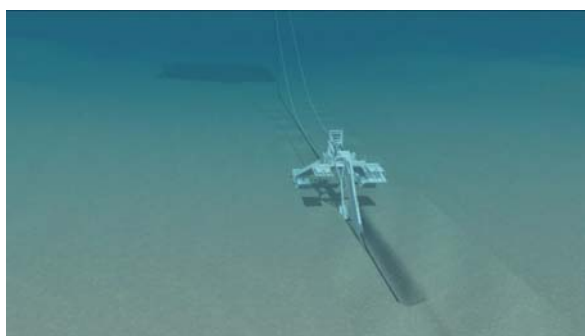
Dans certains cas, les éoliennes peuvent être pré-montées à terre. Dans ce cas, leur transport fait de nouveau appel à un navire spécialisé.

La taille et le poids des fondations imposent le recours à des moyens navals spécialisés. Il n'existe que quelques barges spécialisées capables d'intervenir pour l'installation de fondations gravitaires, et leur disponibilité constitue aujourd'hui un goulot d'étranglement incontournable :

- Eide 5 (74 x 27 m, soulève 3 000 tonnes)
- Rambiz (85 x 44 m, soulève 3 600 tonnes)
- Sea Jack A2SEA (91 x 33 m, soulève 4 000 tonnes)²³.

3.1.3. L'ensouillage et le raccordement

Toutes les installations de production d'énergie en mer sont raccordées au réseau électrique par un câble sous-marin, ensouillé dans la mesure du possible, c'est-à-dire enfoui de 1 à 2 m dans les fonds marins.



Le câble utilisé dans le cas du parc de Thorntonbank est un câble de 22 cm de diamètre et de 30 km de long, en aluminium, comprenant deux câbles électriques et un câble de fibre de verre pour la transmission des informations de contrôle. Ce câble pèse plus de 80 kg au mètre linéaire.

Un tronçon « de secours » d'un km est enfoui sur le site, de façon à intervenir sur le câble principal en cas d'avarie sans interruption de la production.

L'ensouillage a plusieurs avantages : il protège le câble, permet de remettre en état le fond de la mer, et ne gêne pas la pratique de la pêche (arts traînants). Sur les fonds durs, où l'ensouillage est impossible, le câble peut être protégé par des empierrements.

3.1.4. La maintenance

L'intervention en milieu marin est difficile, risquée et soumise aux aléas climatiques. La maintenance est impossible par mauvais temps et, du fait de la puissance des machines, la perte de production en cas d'avarie peut être importante. Une attention particulière est donc apportée à la fiabilisation des machines et au suivi par ordinateur 24 h/24.

L'accès à des éoliennes fixes est particulièrement difficile et ne peut se faire que lorsque les creux des vagues sont inférieurs à 1 m. Les risques humains sont importants, si bien que l'un des meilleurs moyens d'accès restera l'hélicoptère.

²³ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

Les photos ci-dessous montrent des traces noires sur le mât de l'éolienne, dues aux frottements de la coque des petits navires de maintenance qui tentent de se stabiliser au droit de l'éolienne, ainsi que le système d'aide à la maintenance Ampelmann, qui compense la houle pour faciliter l'intervention.

Figure 26. Exemples d'intervention sur des éoliennes fixes.



Source : Agence économique de Bretagne, 2008.

Les projets d'éoliennes flottantes peuvent permettre d'envisager de nouveaux modes d'intervention, avec la possible accroche du navire sur la plateforme flottante pour la maintenance légère, ou même le remorquage de la plateforme pour une maintenance plus lourde au port.

Figure 27. Concept d'éolienne flottante permettant l'amarrage du navire de maintenance.



Source : Saipem, 2008.

3.2. L'installation et la maintenance d'un parc hydrolien

Les retours d'expérience dans ce domaine ne concernent pour l'instant que l'installation de prototypes en mer.

Les hydroliennes fixées sur fondation monopieu, à l'image du concept Seagen de MCT, ont été conçues de façon à pouvoir relever les rotors pour faciliter leur inspection et leur maintenance hors de l'eau. C'est leur principal avantage, car elles sont en revanche difficiles à installer dans des zones à fort courant. L'implantation du prototype Seagen à Stanford Lough a ainsi connu quelques difficultés liées d'abord à l'indisponibilité de la barge spécialisée, puis à la casse des deux pales de l'un des rotors.

Les tests du prototype OpenHydro ont mis en évidence la difficulté de l'installation sous-marine de telles machines et ont conduit la société à développer sa propre barge de déploiement, qui permet l'installation d'une machine en une marée de 6h. Cette barge est construite en Ecosse.

Figure 28. Barge d'installation OpenHydro.



Source : OpenHydro.

Le concept Sabella a, quant à lui, été conçu dès le départ en lien avec le robot sous-marin qui mettra l'hélice en place sur le socle, et la retirera pour la maintenance.

Aujourd'hui, les informations fournies par les constructeurs identifient des opérations de maintenance après 3 ou 4 ans de fonctionnement. Le principe est celui de la maintenance tournante, à savoir la mise en place d'une machine de remplacement pour une production continue.

3.3. L'installation et la maintenance d'un parc houlomoteur

Les difficultés liées à l'installation des systèmes de récupération de l'énergie des vagues sont très différentes selon qu'ils sont installés à la côte, flottants ou ancrés au fond.

C'est pour les systèmes flottants que l'installation est la plus délicate car, s'ils flottent, ils n'en sont pas moins reliés au fond non seulement par les ancrages, mais aussi par le câble qui exporte l'électricité. Ce sont donc des ancrages dynamiques qui doivent maintenir le flotteur tout en lui permettant d'osciller, et ce avec 4 millions de vagues par an pendant 20 ans...²⁴ L'une des difficultés rencontrées lors de l'installation du premier parc de Pelamis au Portugal est venue justement des ancrages dynamiques, qui ont dû être corrigés.

Les flotteurs sont conçus pour que la maintenance soit la plus réduite possible. Si des modules tels que le Searev peuvent être remorqués facilement, ce n'est pas le cas pour les Pelamis dont la maintenance doit être effectuée in situ.

4. Le stockage de l'énergie

Du fait de la nature même des ressources en vents, vagues et courants, la production d'électricité à partir des énergies marines est une production intermittente. Or les gestionnaires du réseau électrique doivent équilibrer, à chaque instant, l'approvisionnement et la demande, de façon à maintenir la tension et la fréquence du réseau. C'est pourquoi il est tout à fait pertinent d'appréhender de façon conjointe les évolutions technologiques des systèmes de récupération de l'énergie de la mer et des procédés de stockage de l'électricité à grande échelle, ce qui est habituellement peu le cas.

Aujourd'hui, les seules formes de stockage à grande échelle de l'électricité sont les retenues de grande capacité, alimentées de façon gravitaire ou par pompage. Les retenues gravitaires sont appelées, selon leur capacité, à faire face à des fluctuations de la demande saisonnière, hebdomadaire ou journalière. Les stations de pompage entre deux retenues d'eau de niveau différent sont dimensionnées pour les variations journalières, exceptionnellement hebdomadaires. Cette technologie correspond à une capacité de stockage cumulée de 6 300 MW en France.

4.1. Le stockage thermique

La société Saipem s.a. a développé un nouveau procédé de stockage thermique, appelé THESE (Thermal Energy Storage of Electricity)²⁵. Ce procédé consiste à stocker l'électricité sous forme d'énergie thermique dans deux enceintes isolées

²⁴ Intervention de M. Jacques RUER aux entretiens Science et éthique les 18 et 19 octobre 2007 à Brest.

²⁵ Saipem s.a., 2008. *Un nouveau procédé de stockage de l'électricité à grande échelle.*

thermiquement et contenant des matériaux réfractaires poreux dans lesquels circule un gaz. Durant la phase de stockage, l'électricité est utilisée pour entraîner une pompe à chaleur qui transfère la chaleur d'une enceinte à basse température vers l'enceinte à haute température. Durant la phase de déstockage, les deux enceintes sont utilisées comme source chaude et source froide d'un ensemble turbine-compresseur qui alimente une génératrice et restitue l'énergie électrique. Une telle installation pourrait être envisagée pour stocker des dizaines de milliers de MWh et ainsi lisser l'énergie produite par des sources intermittentes.

4.2. Le stockage hydrogène

L'hydrogène est très utilisé aujourd'hui dans ses applications industrielles : chimie, pétrochimie, agroalimentaire. Il existe, à cette fin, des réseaux de distribution d'hydrogène, comme celui qu'exploite Air Liquide dans le Nord de la France, la Belgique et les Pays-Bas. L'hydrogène est presque exclusivement produit à partir de composés carbonés fossiles. La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, plus coûteuse, est réservée à un marché de niche, pour une production de très haute pureté²⁶.

L'hydrogène est en revanche encore peu utilisé dans ses applications énergétiques. Présent en grande quantité à la surface de la terre mais sous forme combinée uniquement, il doit être produit à partir d'une source d'énergie. Il peut ensuite être stocké, transporté et utilisé, par combustion interne ou par conversion en électricité dans une pile à combustible, qui ne rejette que de l'eau. Cette possibilité de stockage puis de conversion en électricité offre des applications nombreuses dans la filière électrique mobile et dans l'exploitation des énergies renouvelables intermittentes. Il existe déjà des projets expérimentaux de couplage entre énergie éolienne et stockage hydrogène qui, à terme, pourraient permettre de contourner l'intermittence de la production, vue comme le principal inconvénient de la production d'origine éolienne.

Les recherches françaises sur la filière hydrogène sont essentiellement adossées au CEA, et s'organisent autour d'une approche globale de la filière, de la production à la distribution, avec des recherches plus approfondies sur le stockage (stockage gazeux à haute pression, stockage en phase solide) et sur l'amélioration des piles à combustible²⁷. La filière hydrogène et pile à combustible est également l'un des axes de recherche du Pôle de compétitivité Tenerddis, en région Rhône-Alpes. 25 projets ont été labellisés sur ce thème, et disposeront de la plateforme PACLAB dont la vocation est de devenir un centre d'excellence européen pour le développement des piles à combustible et des technologies de l'hydrogène, pour deux marchés :

- à court et moyen terme, le marché des piles à combustible portables, pour remplacer les traditionnelles batteries des objets portables communicants (PC, téléphone mobile...) ;

²⁶ Clefs CEA n°50-51, hiver 2004-2005. *La filière hydrogène*.

²⁷ CEA, 28 octobre 2008. *Produire de l'énergie sans gaz à effet de serre*.

- à plus long terme, le marché des applications stationnaires (dans le bâtiment) et mobiles (pour les transports)²⁸.

L'effort croissant des sociétés françaises dans le domaine de l'hydrogène s'est traduit en France en 2005 par la création du Plan d'action national sur l'hydrogène, programme-clé de l'Agence nationale de la recherche.

Afin d'atteindre le plus rapidement possible la commercialisation des applications de l'hydrogène et des piles à combustible, l'Europe a lancé, en octobre 2007, un partenariat de recherche sans précédent, une « Initiative technologique conjointe », financée dans le cadre du 7^{ème} PCRD, à hauteur de 940 millions d'euros. L'Initiative technologique conjointe est un nouveau dispositif européen qui a pour but de réduire le délai d'introduction sur le marché des nouvelles technologies. Les 50 centres de recherche ayant rejoint pour l'heure cette initiative représentent plus de 1 700 chercheurs couvrant tous les domaines de recherche, développement et innovation de la filière hydrogène et piles à combustible²⁹.

Au point d'atterrissage des câbles des parcs éoliens offshore, hydroliens ou houlomoteurs, le stockage (et déstockage) de l'énergie pourrait être une solution aux variations de la production et à une meilleure valorisation de l'énergie produite.

5. La production d' « algo-carburants » à partir de la biomasse algale ³⁰

Le vent, la marée, les courants, les vagues permettent de produire uniquement de l'électricité et ne répondent donc qu'en partie à la demande en énergie. Il existe pourtant une autre ressource, en mer, permettant de produire du carburant ou du biogaz : la biomasse algale. Le principe consiste à utiliser ou à cultiver des macro ou des microalgues, pour en extraire respectivement les sucres et les huiles.

Un projet pilote au Japon vise à cultiver des macroalgues brunes en offshore pour produire, par fermentation, du bioéthanol, mais le plus fort potentiel vient de la production de biocarburants à partir de microalgues. Les microalgues sont d'une extrême diversité (rouges, vertes, brunes, diatomées, dinophycées...) : on connaît 200 000 espèces, mais il y en a peut-être un million. Elles se développent partout, y compris dans des conditions extrêmes (déserts, geysers, icebergs...). Certaines microalgues peuvent contenir jusqu'à 50% de leur poids sec en acides gras, voire 70% en cas de stress métabolique, ce qui confère un rendement à l'hectare 10 fois supérieur aux meilleures espèces oléagineuses terrestres.

Les « algo-carburants », déjà qualifiés de biocarburants de troisième génération, présentent l'avantage majeur de ne pas entrer en compétition avec l'usage

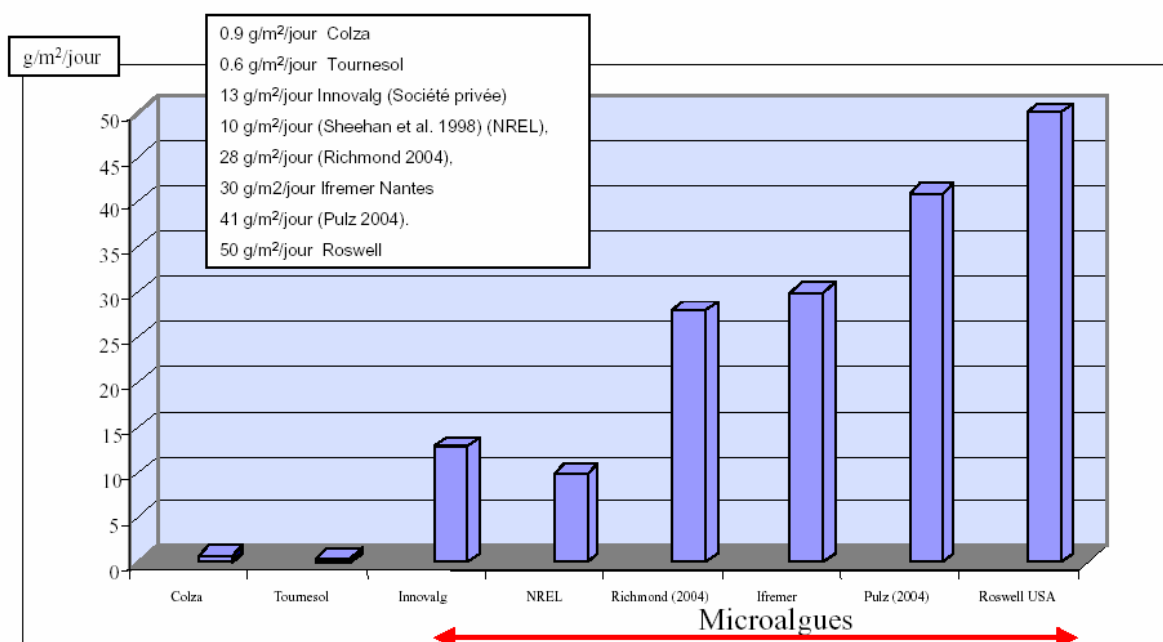
²⁸ Pôle de compétitivité Tenerddis.

²⁹ CEA, 28 octobre 2008. *Produire de l'énergie sans gaz à effet de serre.*

³⁰ Ce paragraphe s'appuie sur l'audition de M. Jean-Paul CADORET (Ifremer) le 13 mars 2008.

alimentaire et les ressources en eau douce. Le meilleur rendement photosynthétique des microalgues et leur multiplication rapide et continue permettent d'obtenir des rendements en matière végétale très supérieurs à ceux des plantes terrestres. Les rendements du colza et du tournesol sont de 1 g/m²/jour. La société Innovalg, en Vendée, a fourni le chiffre de 13 g/m²/jour pour une installation à l'air libre ; l'Ifremer, celui de 30 g/m²/jour en photobioréacteur contrôlé.

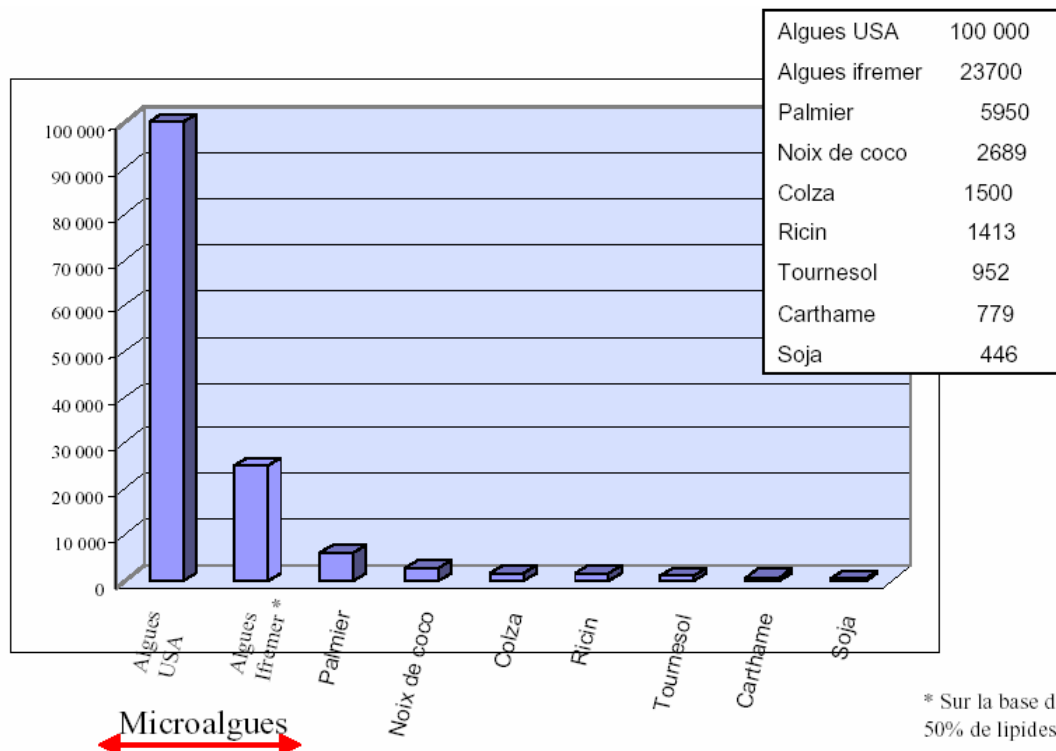
Figure 29. Rendements en g/m²/jour.



Source : audition de M. Jean-Paul CADORET (Ifremer), 2008.

C'est le rendement en litres d'huile à l'hectare qu'il importe d'appréhender pour la production de carburant. Le meilleur palmier fournit 6 000 l/ha. Le rendement des microalgues en litres d'huile par ha repose sur des estimations mais, sur la base de 50% de lipides, les microalgues pourraient produire 24 000 l/ha. Le chiffre de 100 000 l/ha annoncé par le laboratoire américain semble très exagéré.

Figure 30. Rendements en litres d'huile par ha et par an.



Source : Source : audition de M. Jean-Paul CADORET (Ifremer), 2008.

La culture des microalgues en conditions contrôlées peut être continue sur l'année, ce qui en fait un autre avantage par rapport aux cultures terrestres. Elle est exploitable dans les pays en voie de développement.

Les champs d'application de la culture des microalgues sont très variés et vont au-delà des algo-carburants. Ces champs relèvent de :

- l'alimentation humaine (la spiruline)
- l'alimentation animale (huîtres, poissons, crustacés, volailles, porcs)
- la nutraceutique (acides gras polyinsaturés, DHA, EPA...)
- la cosmétique
- la santé (antiradicalaires, anticoagulants, antiproliférateurs, antiviraux...)
- l'industrie (colorants, enzymes, adhésifs, filtration)
- ...

L'élément important dans ces champs d'application est leur caractère intégratif. Une solution pour réduire les coûts de production des algo-carburants réside ainsi dans une « boucle intégrative », c'est-à-dire dans la valorisation de co-produits à haute valeur ajoutée. Les microalgues peuvent par exemple être cultivées à partir des effluents de stations d'épuration, ce qui permet de les traiter. La biomasse ainsi produite peut servir à l'extraction de telle ou telle molécule. Les différents champs d'application doivent ainsi s'appréhender les uns en complément des autres.

Les microalgues étant consommatrices de CO₂, les cultures peuvent être couplées à une source de CO₂ industrielle. Les champs d'application liés au captage du carbone, à la dépollution et à l'environnement semblent d'ailleurs attiser les convoitises de grands groupes, en particulier pétroliers.

L'inconvénient majeur de la culture des microalgues vient de la surface nécessaire aux cultures, qui posera des problèmes de conflits d'usages dans les zones densément utilisées³¹. La culture en vertical est possible mais limitée, et se fait alors obligatoirement en photobioréacteurs, qui coûtent très cher. Des questions restent donc en suspens quant à la concrétisation à l'échelle industrielle de la production de carburant à partir de microalgues :

- quelles sont les surfaces nécessaires ?
- quelles sont les surfaces disponibles ?
- comment concilier la proximité d'une station d'épuration, d'une centrale émettrice de CO₂, de bassins d'eau de mer ?
- comment mesurer l'impact de milliers d'hectares de culture d'algues sur la géographie des zones humides ?
- quelle sera la stabilité des teneurs en lipides ?
- quel sera le coût des oligoéléments ?
- quels seront les risques de contamination ?
- ...

Certains affirment que les algocarburants pourraient être produits à grande échelle d'ici trois à six ans. Mais si le potentiel des microalgues est effectivement important, la production à grande échelle ne se fera pas avant cinq ans, et plus vraisemblablement 10³².

Il reste donc des efforts de recherche à réaliser, entre autres pour faire baisser les coûts. Il faut trouver des algues performantes. Le projet Shamash, porté par l'Inria, le CNRS, le CEA et l'Ifremer vise à sélectionner les souches fortement productrices de lipides. De grands groupes comme Veolia, Areva, Suez, Total, ont manifesté leur intérêt pour ce projet. L'objectif est de sélectionner les microalgues les plus performantes, et de produire en fin de projet 50 litres de biocarburant, tout en conservant des perspectives à plus long terme d'une production d'algues à grande échelle.

60 sociétés dans le monde disent aujourd'hui travailler sur les microalgues et les biocarburants. On peut citer les projets suivants :

- Solix Biofuels, aux Etats-Unis, prévoit de construire une usine pilote de 4 ha pour une culture en photobioréacteurs ;
- Aquaflo Bionomic, en Nouvelle-Zélande, prévoit de construire des usines en plein air et d'utiliser les émissions de CO₂ de centrales électriques ;
- HR Biopetroleum, à Hawaï, poursuit le même objectif de séquestration de CO₂ ;
- Petrosun cultive déjà 445 ha au Texas, prévoit de mettre en culture 1 100 ha d'étangs et a des projets au Mexique, au Brésil et en Australie ;
- Algatech, en Israël, cultive déjà des microalgues à des fins pharmaceutiques et collabore avec la société américaine GreenFuel pour développer des carburants ;

³¹ CESR de Bretagne, juin 2004. *Pour une gestion concertée du littoral en Bretagne*. Rapporteurs : MM. Pierre EUZENES et François LE FOLL.

³² Le Monde, 23 octobre 2008. *Des microalgues pour les biocarburants du futur*.

- Solazyme, aux Etats-Unis, développe un mode de culture de microalgues modifiées à partir de sucre et de fermentation et non à partir de la photosynthèse ;
- Sapphire Energy, soutenue par Bill Gates, a fait homologuer un algo-carburant à indice d'octane 91 et prévoit de produire d'ici 3 à 5 ans 10 000 barils par jour ;
- Algenol Biofuels, aux Etats-Unis, prévoit de cultiver des cyanobactéries pour produire du bioéthanol.

Figure 31. Vue d'artiste d'une usine de production d'algo-carburants aux Etats-Unis.



Source : Solix Biofuels.

Le Pôle Mer Bretagne a labellisé le projet Safe Oil, qui vise à mettre en place une unité de production de microalgues à vocation énergétique dans les carrières de kaolin de Ploemeur.

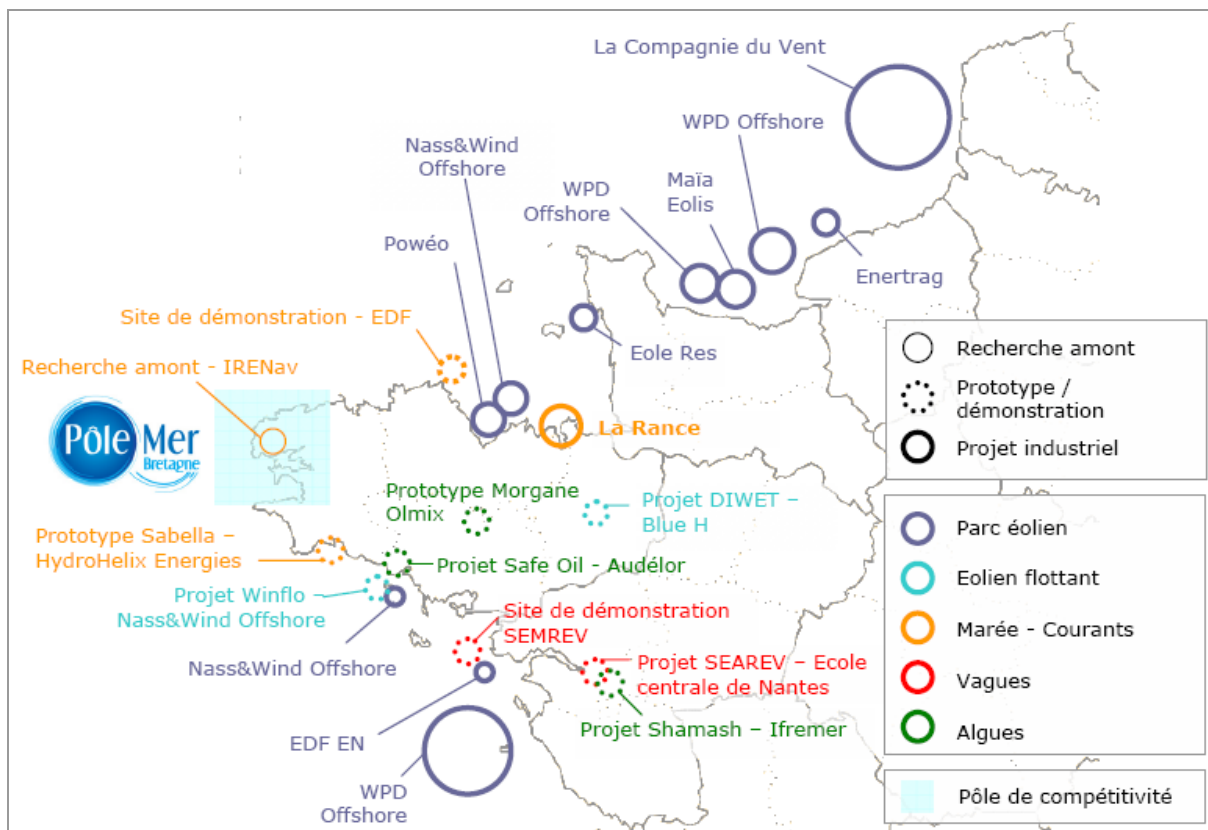
Chapitre 2

La Bretagne en effervescence

1.	Des projets au stade industriel	61
1.1.	Le projet éolien de Powéo en baie de Saint-Brieuc	61
1.2.	Les projets éoliens de Nass&Wind Offshore	64
1.3.	Les projets éoliens de Direct Energie - Neoen	65
2.	Un projet pré-industriel de démonstration	65
3.	Des prototypes à l'essai	68
3.1.	Le projet Marénergie et le prototype Sabella	68
3.2.	Le prototype Hydro-Gen	70
3.3.	Le prototype Morgane de production de biogaz	70
4.	Des projets en R&D	72
4.1.	Vers l'éolien flottant	72
4.2.	Le projet Safe Oil	73
4.3.	Les recherches amont de l'IRENav	73
5.	Et chez nos voisins...	75
5.1.	Des projets de parcs éoliens dans la Manche et l'Atlantique	75
5.2.	Le projet houlomoteur Searev à Nantes	76
5.3.	Des projets de recherche sur les microalgues	77

Parmi les nombreux développements technologiques exposés dans le premier chapitre, la Bretagne présente la particularité d'en compter un échantillonnage représentatif, avec tous les stades de développement : des projets au stade industriel, des projets de démonstration, des projets de recherche amont... Cette diversité est un atout certain, d'autant que, dans les régions voisines, d'autres projets laissent entrevoir d'intéressantes synergies.

Figure 32. Les projets « énergies marines » en Bretagne et dans les régions voisines.



1. Des projets au stade industriel

1.1. Le projet éolien de Powéo en baie de Saint-Brieuc ³³

Powéo est un opérateur intégré d'électricité et de gaz en France et déploie son activité aussi bien en amont qu'en aval de la chaîne énergétique. A cet effet, le plan industriel du groupe s'appuie sur le développement de centrales thermiques et de centrales électriques d'origine renouvelable : éolien, biomasse, solaire et petite hydraulique.

Powéo projette le développement de 1 240 MW d'énergies renouvelables :

³³ Audition de MM. Christophe JURCZAK et Grégoire DURAND (Powéo/EED) le 10 avril 2008.

- 500 MW d'éolien terrestre ;
- 500 MW d'éolien offshore, dont 150 MW en baie de Saint-Brieuc ;
- 120 MW pour la biomasse ;
- 20 MW pour la petite hydraulique ;
- 100 MW pour le solaire.

Sur ces 1 240 MW, et au vu des processus d'instruction administrative, 500 à 600 MW seront installés avec certitude. Il faut en moyenne 4 ans pour développer un projet éolien terrestre, et encore plus pour un projet offshore. Les projets et les horizons temporels sont les suivants :

- projet de 150 MW en baie de Saint-Brieuc (2011-2012) ;
- prospection en Manche-Atlantique pour 200 à 500 MW (2012-2013) ;
- veille sur les technologies flottantes (2015).

Les projets éoliens, à terre comme en mer, sont menés avec la société Espace Eolien Développement, qui a rejoint le groupe Powéo en 2007, et dont l'antenne Ouest est implantée depuis 12 ans en Bretagne.

Powéo n'a pas les moyens d'investir dans la recherche amont ; de ce fait, il s'intéresse aux technologies matures comme l'éolien offshore, et maintient une veille sur les technologies en développement (vagues, courants, éolien flottant). Le groupe souhaite développer en Bretagne une approche globale des énergies marines, car il estime qu'il y a de réelles perspectives pour des sites pilotes à l'horizon 2010, et des réalisations industrielles de plus grande échelle à l'horizon 2010-2015.

Powéo a identifié le site de la baie de Saint-Brieuc en s'appuyant sur une analyse multicritères, prenant en compte les activités humaines, la sécurité maritime, le gisement de vent, les infrastructures portuaires, la profondeur, la protection de l'environnement, la distance à la côte, la nature des fonds, le réseau électrique. Une seule zone, en baie de Saint-Brieuc, répond à tous ces critères et est donc propice à l'implantation d'un parc éolien en mer dans des conditions techniques similaires à celles des parcs actuellement en exploitation dans le monde.

Le projet de la baie de Saint-Brieuc est le premier projet éolien offshore concernant la région. L'étude interne à Powéo sur ce projet a été finalisée en juin 2006. Le projet de 150 MW comporte 30 éoliennes de 5 MW, susceptibles de fonctionner 3 500 h par an en équivalent pleine puissance, pour une production annuelle de 550 GWh, l'équivalent de la Rance. Le choix de ces éoliennes s'appuie sur leur capacité de production unitaire, et sur l'expérience acquise sur ces machines dans d'autres parcs.

Le parc serait installé à 10 km au moins des côtes, à une profondeur de 16 à 26 m par rapport au zéro des cartes marines. Les éoliennes pourraient être disposées en deux lignes distantes de 1 200 m, les éoliennes étant distantes de 600 m sur une même ligne. Le type de fondation le plus probable pour le site de la baie de Saint-Brieuc est la fondation monopieu. Le câble serait ensouillé et l'atterrissage se ferait le long d'un câble existant, au niveau de la plage des Rosaires sur la commune de Plérin. Le raccordement au réseau a été réservé auprès de RTE.

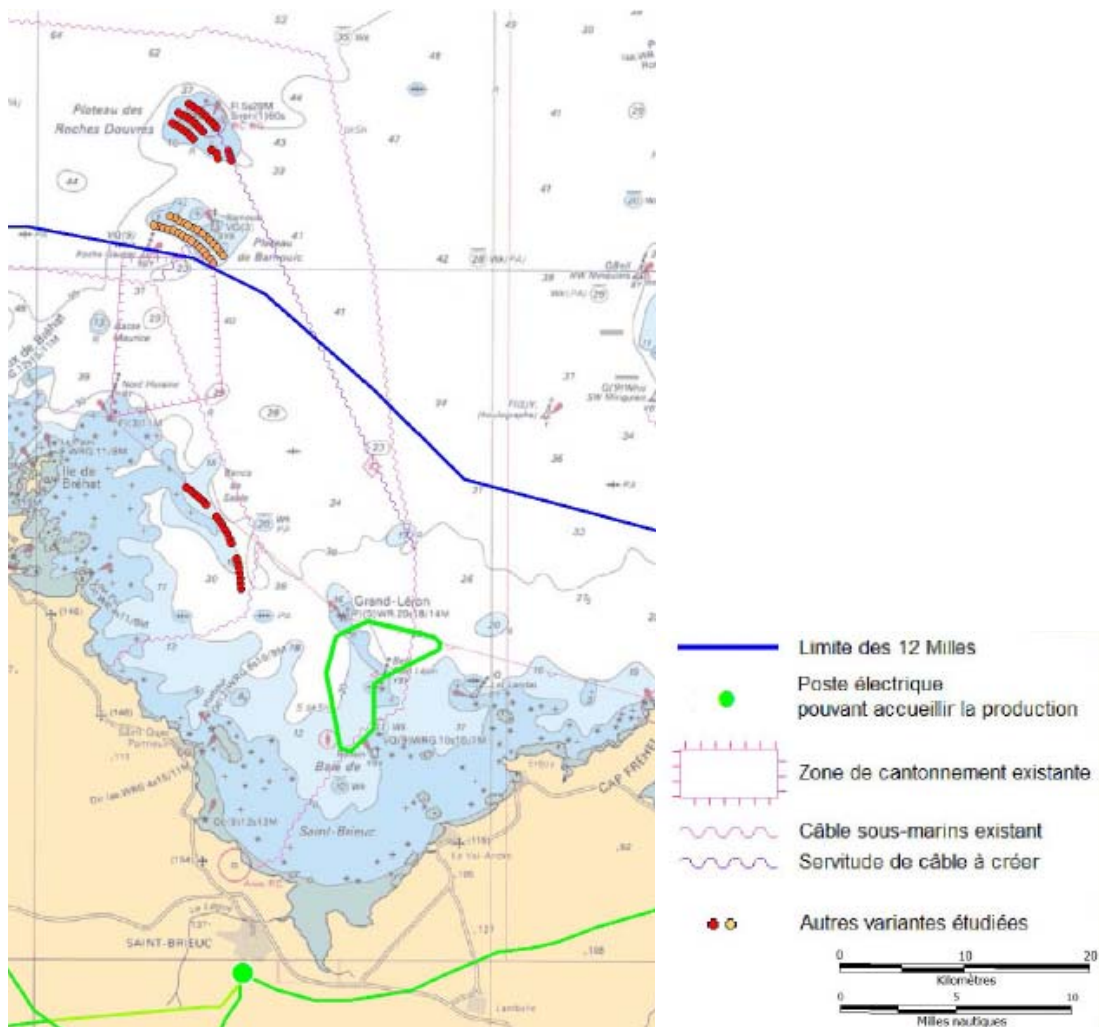
Le coût d'investissement est estimé à 500 millions d'euros pour 150 MW. Le coût est réparti à peu près comme suit :

- 50% pour l'achat de la machine et du câble, l'installation ;
- 35 à 40% pour les fondations ;
- 10 à 15% pour le raccordement.

L'installation pourrait durer une ou deux belles saisons ; cela dépend des conditions météorologiques et surtout de la disponibilité des barges.

Afin de développer son projet en concertation avec les acteurs locaux, Powéo a entrepris un certain nombre de rencontres bilatérales avec les pêcheurs, les collectivités et les services de l'Etat, en 2007 et 2008. Les rencontres avec les pêcheurs ont porté principalement sur les interactions entre le parc éolien et le gisement exploité de coquilles Saint-Jacques de la baie de Saint-Brieuc, et ont abouti à la proposition, par les pêcheurs, d'autres zones d'implantation que les variantes initialement proposées. Mais ces zones, plus éloignées de la côte et dans des eaux plus profondes, n'ont pas été jugées acceptables par le porteur de projet, notamment en termes de coûts de raccordement.

Figure 33. Projet d'implantation des éoliennes en baie de Saint-Brieuc (en vert) et variantes proposées par les pêcheurs (en orange et rouge).



Source : Powéo/EED, 2008.

Le choix de la zone d'implantation reste donc une étape critique de ce projet, puisque les pêcheurs n'acceptent pas la localisation actuellement proposée par l'opérateur, qui se situe au sein même de la pêcherie. Ils restent inquiets, en outre, quant à possibilité de pratiquer la pêche à proximité immédiate des éoliennes, car on ne connaît encore ni la réglementation en la matière, ni les éventuelles perturbations des appareils de navigation par les éoliennes³⁴.

Tout en lançant une campagne de mesures *in situ*, Powéo a récemment réexprimé sa volonté de concertation en transmettant à l'ensemble des acteurs concernés un « porter à connaissance » dans lequel il rappelle le contexte de développement de l'éolien en mer, présente le projet de la baie de Saint-Brieuc, et propose un cadrage de la future étude d'impact.

Le Comité local des pêches de Saint-Brieuc, souhaitant suivre l'intégralité des étapes du projet, a accepté de participer à la mise en œuvre des différentes investigations réalisées dans le cadre des études préalables (campagnes de prélèvement du benthos, campagnes de mesure de la qualité des eaux, vidéos tractées, pose et relevage d'un courantomètre, observation des oiseaux)³⁵.

1.2. Les projets éoliens de Nass&Wind Offshore ³⁶

Le groupe lorientais Nass&Wind, créé en 2001, a développé une vingtaine de parcs éoliens, notamment en Bretagne et en Champagne-Ardenne. Lors de la cession de sa filiale dédiée à l'éolien terrestre en février 2008³⁷, celle-ci exploitait une capacité installée de 34 MW et disposait d'une autorisation de construction de 150 MW à court terme.

Le groupe Nass&Wind est aujourd'hui composé des structures suivantes :

- Nass&Wind Offshore, dédiée au développement de l'éolien offshore ;
- Nass&Wind Energies Nouvelles, dédiée à l'énergie photovoltaïque et à la biomasse ;
- Nass&Wind Industrie, dont l'objectif est de développer une filière industrielle régionale dédiée à la conception et à la fabrication d'éoliennes offshore flottantes.

Les activités éoliennes de Nass&Wind en Bretagne concernent :

- deux projets de parcs éoliens offshore classiques (avec fondations) de 200 MW en baie de Saint-Brieuc et 100 MW au large de Lorient ;
- d'autres parcs en cours de pré-étude technique ;
- le développement d'une filière industrielle dédiée à l'éolien flottant ;
- le développement de parcs éoliens flottants.

³⁴ Audition de M. Alain COUDRAY (CLP Saint-Brieuc) le 15 mai 2008.

³⁵ CLP Saint-Brieuc, septembre 2008.

³⁶ Contribution de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind Offshore) le 20 février 2009.

³⁷ La filiale Nass&Wind Technologie a été cédée à Gaz de France en février 2008.

Le parc éolien de la baie de Saint-Brieuc serait constitué de 40 éoliennes de 5 MW, pour une puissance totale de 200 MW. Il serait situé à 12 km d'Erquy et 28 km de Saint-Brieuc.

La zone de Lorient ferait quant à elle l'objet d'un projet englobant, à terme, de l'éolien offshore classique et de l'éolien flottant, permettant ainsi de mutualiser les études préalables. La proximité du port de Lorient serait un atout pour la construction et la maintenance des machines. Le projet de parc éolien classique serait composé de 20 éoliennes de 5 MW pour une puissance totale de 100 MW. Le projet de parc éolien flottant débiterait par la démonstration du prototype Winflo en 2011 pour aboutir, à terme, à un parc d'éoliennes flottantes de 250 MW.

1.3. Les projets éoliens de Direct Energie - Neoen ³⁸

Neoen est la filiale du fournisseur d'électricité Direct Energie dédiée au développement des énergies renouvelables. Créée en 2008, Neoen est présente sur tous les segments de marché (solaire, éolien, énergies marines, biomasse) et a l'ambition de devenir l'un des principaux producteurs d'électricité verte en France.

Depuis 2007, Direct Energie - Neoen a procédé à l'analyse détaillée et cartographiée du littoral français, recensant les zones de développement de moindre contrainte pour des parcs éoliens offshore. A l'intérieur de ces zones, Neoen a sélectionné des sites de développement privilégiés, dont certains en Bretagne, pour lesquels des démarches locales de concertation ont été initiées.

2. Un projet pré-industriel de démonstration ³⁹

Opérateur historique d'électricité en France, EDF innove dans les énergies renouvelables et poursuit, dans ce domaine, deux objectifs :

- identifier les ruptures technologiques pouvant modifier les rapports de compétitivité entre les énergies ;
- faire émerger industriellement les technologies les plus prometteuses comme relais de croissance du groupe.

A côté des projets menés sur l'éolien terrestre et le solaire photovoltaïque, EDF SA mène un projet « Hydroliennes en mer » qui a les objectifs suivants :

- identifier les sites prometteurs en France métropolitaine ;
- réaliser les études préliminaires d'impact et d'insertion dans l'environnement marin ;
- caractériser les technologies d'hydroliennes les plus performantes ;
- étudier la faisabilité technico-économique d'un premier parc d'hydroliennes de 30 MW dans les eaux françaises.

³⁸ Contribution de M. Philippe DECHELOTTE (Direct Energie-Neoen) le 23 février 2009.

³⁹ Audition de MM. Cyrille ABONNEL et Philippe GUILLAUMEUX (EDF) le 15 mai 2008.

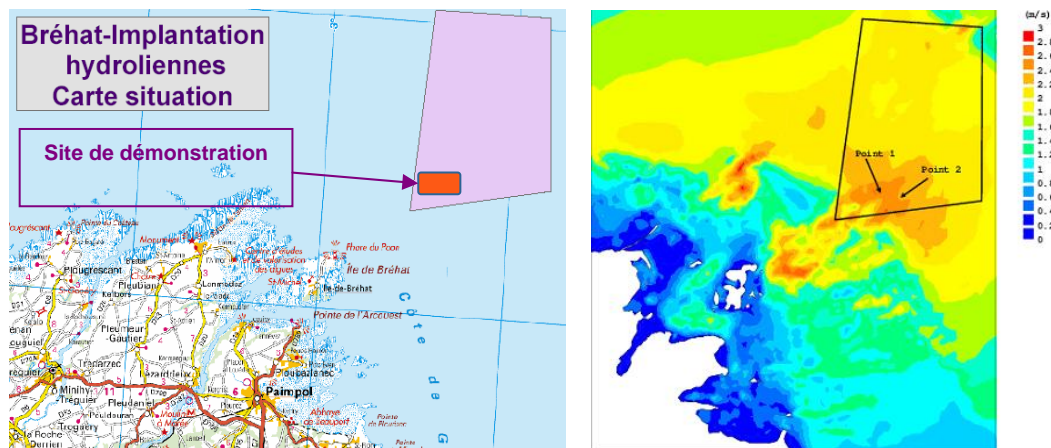
Les objectifs du site de démonstration sont les suivants :

- tester le comportement en conditions réelles d'une première ferme hydrolienne (effet de sillage, énergie produite) avec une technologie validée préalablement en phase prototype ;
- évaluer les impacts environnementaux et valider le protocole de suivi (un partenariat avec l'Ifremer est en cours d'élaboration) ;
- optimiser des technologies offshore pour l'installation, la maintenance, en partenariat avec Seal Ingénierie, une filiale de Technip ;
- inventorier et analyser les réactions des parties prenantes dans les phases de réalisation et d'exploitation ;
- établir un cadre administratif, législatif et fiscal ;
- positionner la France dans les nations européennes pilotes.

EDF a engagé en 2005 des campagnes de mesures de courants en vue d'évaluer le potentiel énergétique des côtes bretonnes et normandes, grâce à des outils de modélisation développés par EDF R&D. En parallèle à ces études techniques, des processus de concertation avec les différentes parties prenantes, et en particulier les pêcheurs, ont été initiés en lien avec les délégations régionales d'EDF de Basse-Normandie et de Bretagne. Les pêcheurs ont été associés aux campagnes de mesures⁴⁰.

EDF a annoncé, en juillet 2008, le choix du site de Paimpol-Bréhat, qui a été préféré à celui de Barfleur au regard de critères techniques, économiques et sociaux : l'accueil du projet fait l'objet d'un fort consensus de la part des professionnels, des élus et des associations, et le Conseil régional de Bretagne soutient financièrement ce projet à hauteur de 3,1 M€.

Figure 34. Implantation du site de démonstration de Paimpol-Bréhat.



Source : EDF, 2008.

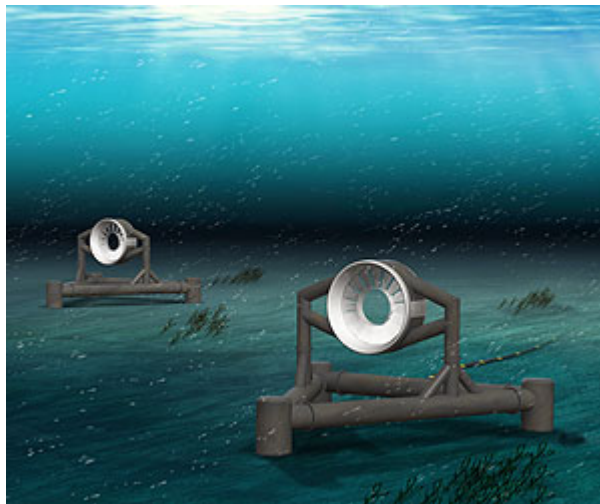
⁴⁰ Audition de M. Yannick HEMEURY et Mme Laure ROBIGO (CLP Lannion-Paimpol) le 12 juin 2008.

EDF a ensuite annoncé, en octobre 2008, le choix de la technologie développée par la société irlandaise OpenHydro. Ce choix s'est fait au regard de plusieurs critères, parmi les technologies ayant atteint le stade de la validation d'un prototype en mer :

- coûts d'installation et d'exploitation ;
- facilités d'installation (moyens de transport/levage) ;
- performances (énergie extraite) ;
- type de maintenance ;
- développement industriel futur ;
- volonté de partenariat ;
- adaptation au site (profondeur d'eau...) ;
- facilités de raccordement au réseau électrique.

Aucune technologie française ne répondait aux attentes d'EDF dans les domaines précités.

Figure 35. Les turbines à centre ouvert OpenHydro.



Source : OpenHydro.

Des prototypes ont été testés et améliorés sur le site d'essais de l'EMEC en Ecosse pendant deux ans. Ils ont été connectés au réseau en mai 2008. La coopération entre EDF et OpenHydro porte sur l'installation de 4 hydroliennes de 500 kW, pour une puissance totale de 2 MW, à 15 km environ de la côte, qui devraient être raccordées progressivement au réseau de distribution à partir de 2011.

EDF a indiqué que le site de Paimpol-Bréhat, qui bénéficie de courants dont les niveaux d'intensité sont parmi les plus élevés en France, pourrait accueillir d'autres essais dans l'avenir.

3. Des prototypes à l'essai

3.1. Le projet Marénergie et le prototype Sabella

Le projet Marénergie a été développé par la société HydroHelix Energies (Quimper) et labellisé par le Pôle Mer Bretagne en 2005. Il consiste à exploiter l'énergie des courants de marée à partir d'une hydrolienne simple et robuste, spécifiquement développée pour le milieu marin. La turbine de 200 kW, entièrement immergée, fera 10 m de diamètre et pourra être installée dans 25 à 30 m d'eau, préservant ainsi un tirant d'eau suffisant pour la navigation.

Les courants de marée sont essentiellement bidirectionnels : la turbine est donc pré-orientée, avec des pales bidirectionnelles fixes. L'architecture est modulaire et les machines peuvent être assemblées en écran pour optimiser le captage de l'énergie, les survitesses créées par une machine étant déviées vers la machine voisine. Il n'y a pas d'emprise en surface, ni de liaison dynamique fond-surface. Le système de stabilisation au sol permet la réversibilité. La maintenance ne nécessite pas de gros moyens navals.

Figure 36. Le concept Marénergie.

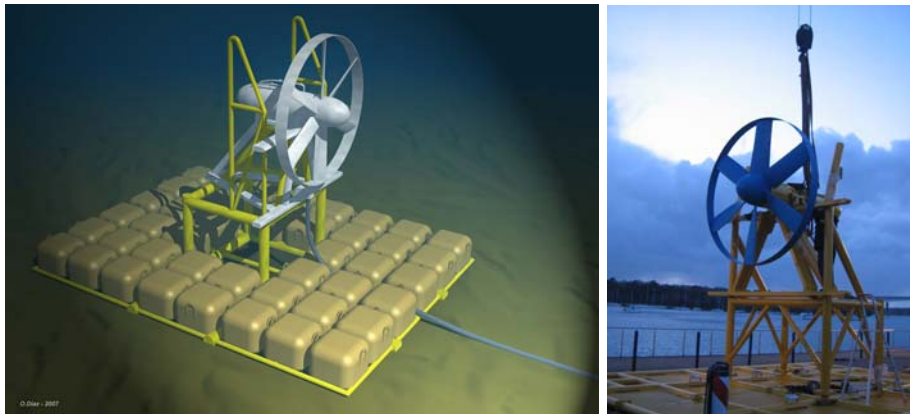


Source : HydroHelix Energies.

Ce projet n'a pas pu être réalisé en vraie grandeur, faute de financements, et c'est le projet de démonstration Sabella qui a vu le jour. Ce projet de démonstration est porté par un consortium d'industriels locaux et soutenu par des acteurs publics territoriaux (Région Bretagne, ADEME, Conseil général du Finistère, Brest métropole océane, Quimper Communauté).

Sabella consiste à concevoir et réaliser un pilote expérimental, nommé Sabella D03, de 3 m de diamètre et de 10 kW, à l'installer sur site et à réaliser une campagne d'essais à l'aide d'une instrumentation embarquée permettant de comprendre, d'optimiser et de modéliser le fonctionnement de l'équipement immergé.

Figure 37. Le prototype Sabella D03.



Source : HydroHelix Energies et le blog des énergies de la mer, 2008.

Les partenaires industriels de cet avant-projet sont :

- Sofresid Engineering pour la conception, l'ingénierie, le maquettage, la pose ;
- InVivo Environnement pour le choix du site, la gestion des conflits d'usage, la conception des dossiers réglementaires ;
- Dourmap pour l'instrumentation, les composants, l'acquisition de données ;
- Enag pour la génératrice ;
- Florian Madec Composites pour la construction des pales ;
- DCNS pour la construction de la structure ;
- HydroHelix Energies pour le management, l'animation, la coordination.

Le site choisi pour l'expérimentation, l'estuaire de l'Odet, est un site représentatif, mais protégé, économiquement satisfaisant. La vitesse des courants y est de l'ordre de 2 m/s, la profondeur de 19 m. La mise à l'eau a eu lieu le 28 mars 2008, pour une expérimentation de six mois qui a donné des résultats encourageants, tant en termes de fonctionnement que d'impacts sur l'environnement.

Après ce pilote, le consortium entend développer, sous deux ans, une machine préindustrielle Sabella D10, de 200 kW, avant de proposer des unités de production de 1 MW. Le portage du projet se fera par une entité dédiée, Sabella SAS, vouée au développement technologique, industriel et commercial de solutions d'exploitation de l'énergie hydrocinétique marine. La société a été créée au début du mois de novembre 2008. Sabella SAS, au capital de 37 000 €, est composée par les quatre partenaires de départ : HydroHélix Energies et Sofresid Engineering à hauteur de 32,5 % chacune, In Vivo Environnement (25 %) et Dourmap (10 %)⁴¹. Ce changement de statut juridique va permettre à la société d'ouvrir son capital pour assurer son plan de développement en lançant une levée de fonds de 7 millions d'euros sur la place financière.

⁴¹ Le Télégramme, 29 novembre 2008. *Hydrolienne. Création de la SAS Sabella.*

3.2. Le prototype Hydro-Gen

Le projet Hydro-Gen est développé depuis 2004 par la société l'Aquafile, basée à Landéda et à Lyon. Il a été inventé et breveté par deux anciens officiers de marine, ingénieurs de l'Ecole navale.

Il s'agit d'une roue à aube flottante enchassée dans une structure profilée de type catamaran, mouillée à ses deux extrémités et qui peut être facilement déplacée, remorquée ou échouée. Il existe une version bidirectionnelle pour l'exploitation des courants de marée, et une version unidirectionnelle pour l'exploitation des courants fluviaux. Le prototype Hydro-Gen 10 actuellement testé en mer mesure 2,3 m sur 4,5 m pour une puissance de 10 kW. Un prototype Hydro-Gen 20 développant 20 kW (4 m sur 7 m) est prévu pour 2009. A terme, c'est une machine de 1 MW qui pourrait voir le jour.

Figure 38. Hydro-Gen 10 et Hydro-Gen 1000.



Source : Hydro-Gen.

Dans la phase de recherche et développement, les porteurs du projet Hydro-Gen collaborent avec l'Ecole nationale des ingénieurs de Brest (ENIB), l'Institut de recherche de l'Ecole navale (IRENav), l'Ecole nationale supérieure d'électrotechnique, d'électronique, d'informatique et des télécommunications de Toulouse, l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse, l'INSA de Lyon, Doris Engineering et le bureau d'études Actimar. Dans sa phase de construction, il fait appel à l'ENIB et au lycée technique Vauban de Brest. Le projet est soutenu par l'ADEME, la Marine nationale et la Région Bretagne.

3.3. Le prototype Morgane de production de biogaz

Le groupe Olmix, basé dans le Morbihan et présent dans 8 pays, est spécialisé dans l'élaboration de produits naturels comme alternative aux produits d'origine chimique dans les domaines du traitement de l'eau, de la nutrition animale et de l'élevage, des cosmétiques, des ciments, des engrais et, depuis peu, dans le domaine des énergies renouvelables.

Il a ainsi développé un concept de raffinerie verte, baptisé Morgane, qui consiste à produire du biogaz par méthanisation d'un résidu d'algues vertes en co-digestion avec des déjections animales (lisier) et des coproduits de l'industrie agroalimentaire (déchets de légumes notamment).

La méthanisation se fait classiquement en présence de bactéries méthanogènes. L'apport du marc d'algues facilite la digestion des matières organiques et optimise les rendements. Le digestat fait ensuite l'objet d'une séparation : la fraction solide contient la matière organique stable et le phosphore, utilisable comme base d'engrais naturel. La fraction liquide est ensuite traitée, elle permet d'obtenir d'un côté de l'eau purifiée et de l'autre côté un concentrat d'éléments fertilisants et d'oligo-éléments. Un éliciteur/fongicide est formulé à partir de cet extrait mélangé à l'amadéite. La valorisation se fait à 100% et seule de l'eau purifiée est rejetée.

Le biogaz produit peut être valorisé en cogénération (production d'électricité et de chaleur) ou en gaz naturel pour les véhicules. Le gaz obtenu contient 64% de méthane, le reste étant constitué de CO₂, de vapeur d'eau et de sulfure d'hydrogène. Le méthane n'est pas le gaz le plus puissant, mais il peut permettre de faire fonctionner les moteurs des voitures et des petits bateaux. Il est plus rentable de vendre directement le gaz produit, car la transformation en électricité combine tous les inconvénients : elle coûte cher, émet du CO₂, et son rendement n'est que de 60%.

Le procédé Morgane produit 600 m³ de biogaz par tonne de matière première, là où les autres procédés produisent 30 m³ (à partir d'ordures), 70 m³ (à partir de lisier de porc), ou 250 m³ (à partir de lisier et de maïs).

Le projet Morgane pourrait, dans son ensemble, représenter une puissance de 30 à 50 MW répartis sur 15 à 25 installations de 1,5 à 4 MW. Ces installations, dispersées, permettent de se positionner là où les plus gros volumes de déchets sont produits. L'idée est d'avoir une production répartie. Sous 1,5 MW, les unités ne seraient pas rentables. Au-delà de 4 MW, elles poseraient des questions de collecte des matières premières.

Tous les ans, 80 à 100 000 tonnes d'algues vertes sont ramassées sur les côtes bretonnes et épandues sur les terres agricoles. Le gisement annuel d'algues est estimé à 300 000 tonnes. A partir des 8 millions de m³ de lisier produits en Bretagne, il faudrait 800 000 tonnes d'algues pour produire 1 000 MW.

L'intérêt de la raffinerie Morgane vient de l'utilisation de déchets (algues vertes, déjections animales, déchets agroalimentaires) n'entrant pas en concurrence avec les filières alimentaires. Le projet Olmix participe ainsi à éliminer les pollutions récurrentes en Bretagne. En Allemagne, la majorité des unités de méthanisation fonctionne avec de l'ensilage de maïs comme complément. C'est la complémentarité entre production d'énergie et dépollution qui fait la valeur ajoutée de Morgane.

Lorsque des ordures ménagères ou des boues de station d'épuration sont méthanisées, le gaz obtenu contient des métaux lourds. Mais, lorsqu'il est produit à partir d'algues vertes, de lisier, de graisses et de légumes, le gaz est propre.

La filière méthanisation est potentiellement importante en Bretagne, notamment avec les déchets de légumes (CECAB, D'AUCY) qui représentent un potentiel de quelques centaines de MW, mais ne progresse pas vite.

Le prochain investissement R&D est le développement de microalgues capables de produire des biocarburants en utilisant le CO₂ produit par la méthanisation. Des chercheurs allemands travaillent actuellement sur des souches de microalgues susceptibles d'êtreensemencées dans les méthaniseurs et qui permettraient de produire une huile en plus du biogaz produit.

4. Des projets en R&D

4.1. Vers l'éolien flottant

Deux projets d'éoliennes flottantes ont été labellisés par le Pôle Mer Bretagne le 21 novembre 2008.

Le projet Diwet (Deepwater Innovative Wind Energy Technology) est porté par le groupe néerlandais Blue H, qui vient de créer une filiale en France. Il vise à installer au large de Lorient un prototype à l'échelle 1 d'une éolienne flottante bipale d'une puissance de 3,5 MW sur plateforme à lignes tendues, ancrée en eaux profondes. Un démonstrateur avait déjà été testé par Blue H en Italie à la fin de l'année 2007. Un projet de 5 MW, Deepwater Turbine, pourrait rapidement voir le jour au Royaume-Uni : il a d'ailleurs été sélectionné et financé en janvier 2009 par l'Institut pour les technologies de l'énergie (ETI)⁴².

Figure 39. Le concept Diwet.



Source : Pôle Mer Bretagne, 2008.

⁴² Energy Technologies Institute, janvier 2009. Communiqué de presse.

Le projet Winflo vise également à développer une éolienne offshore spécifique et une plateforme flottante originale faisant appel aux systèmes de flotteurs et d'ancrages caténaux, utilisés dans l'offshore pétrolier. Un démonstrateur de 2,5 MW pourrait être installé au large de la Bretagne d'ici 2011, pour une éolienne de 5 MW à terme à l'horizon 2013-2015. Winflo bénéficiera de nouvelles technologies de e-maintenance développées aujourd'hui dans le secteur naval et qui seront pour la première fois expérimentées pour la maintenance industrielle d'éoliennes en mer. C'est la société Nass&Wind Offshore qui porte le projet avec DCNS, Saipem et sa filiale Sofresid Engineering, l'Ifremer, l'ENSIETA et In Vivo Environnement.

Figure 40. Le concept Winflo.



Source : Pôle Mer Bretagne, 2008.

4.2. Le projet Safe Oil

L'objectif du projet Safe Oil est de mettre en place une unité expérimentale de production intensive de microalgues à vocation énergétique dans les carrières de kaolins de Ploemeur, où il existe une résurgence d'eau marine. L'Agence d'urbanisme et de développement économique du pays de Lorient (Audélor), Imerys Ceramics France (Kaolins de Bretagne), et le Laboratoire de physiologie et de biotechnologie des algues de l'Ifremer Nantes sont partenaires du projet aux côtés de Sarp Industries, filiale du groupe Veolia. Ce projet a également été labellisé par le Pôle Mer Bretagne.

4.3. Les recherches amont de l'IRENav ⁴³

Le projet Hydrole est mené conjointement par l'IRENav, institut de recherche de l'École navale, et le LBMS, laboratoire brestois de mécanique et des systèmes (LBMS) (équipe d'accueil ENSIETA/UBO/ENIB).

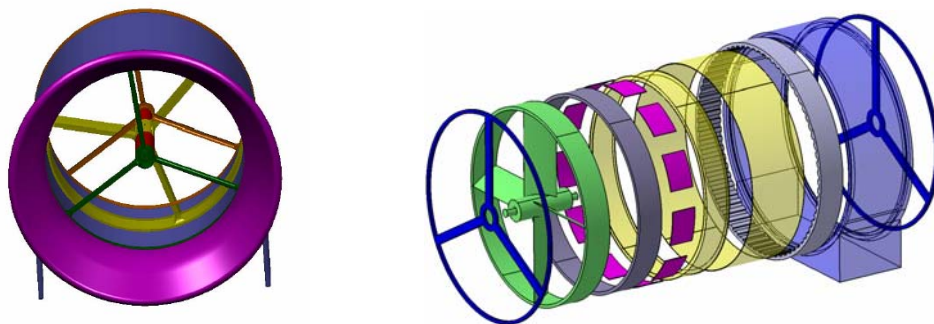
⁴³ Audition de MM. Jacques-André ASTOLFI (IRENav) et Mohamed BENBOUZID (UBO) le 13 mars 2008.

Ce projet porte sur la récupération de l'énergie des courants marins, domaine dans lequel des recherches amont et appliquées sont nécessaires : comment mieux connaître la ressource ? Comment la capter, la convertir, la distribuer, la stocker ?

Des travaux sont ainsi menés sur la modélisation de la ressource, du capteur, de la génératrice, du convertisseur, la modélisation d'un champ hydrolien et la connexion au réseau électrique. Il s'agit de réfléchir aux facteurs d'optimisation d'une technologie. Une simulation de la puissance récupérée par une hydrolienne dans le Raz de Sein a été réalisée pour l'année 2007. Suite à ces simulations, le choix s'est porté sur une hydrolienne à pales fixes, avec une vitesse de rotation variable commandée par la génératrice électrique.

Une thèse financée par la Marine nationale vise à modéliser et concevoir une machine fondée sur la technologie RIM-DRIVEN (moteur sur le cerclage de l'hélice, entraînement circonférentiel), et à dimensionner un démonstrateur à échelle réduite d'hydrolienne RIM-DRIVEN.

Figure 41. La technologie RIM-DRIVEN.



Source : IRENav, 2008.

Une autre thèse, financée par la Région Bretagne, porte sur la modélisation et la conception d'un hydrogénérateur instationnaire à axe transverse de type Darrieus, avec une originalité qui réside dans un angle de calage des pales variable au cours de la rotation qui permet une optimisation de la récupération de l'énergie des courants.

Deux grands domaines d'application sont envisagés :

- l'exploitation des courants de marée :
 - vitesse faible, de l'ordre du m/s ;
 - taille importante, de l'ordre de la dizaine de m ;
 - puissance importante, de l'ordre du MW ;
 - énergie régulière et prévisible ;
 - environnement difficile et maintenance complexe.

- la course au large : la classe IMOCA (monocoques de 60 pieds) pourrait interdire l'utilisation à bord des énergies fossiles, faisant de ce secteur un domaine possible d'application pour l'avenir :

- vitesse élevée, de l'ordre de 10 m/s ;
- taille faible, de l'ordre de la dizaine de cm ;
- puissance importante, de l'ordre du kW ;
- besoin d'un système escamotable à faible traînée lors de la mise en place.

Il reste aujourd'hui beaucoup de questions sur la recherche amont, notamment des questions liées aux écoulements, très instationnaires, au phénomène de décrochage, aux interactions entre pales.

5. Et chez nos voisins...

5.1. Des projets de parcs éoliens dans la Manche et l'Atlantique

La moitié nord de la France est la plus favorable à l'implantation de parcs éoliens en mer, et on compte 10 à 15 projets, plus ou moins avancés, de la Picardie à la Vendée.

Le projet le plus avancé est celui de Veulettes-sur-Mer, porté par la société Enertrag France. Ce projet est le seul à avoir été sélectionné lors de l'appel d'offres de février 2004 sur le développement de l'éolien en mer. Après une longue instruction administrative, les 21 éoliennes de 5 MW devraient être construites en 2009.

Tableau 3. Projets éoliens offshore de la Picardie à la Vendée.

Projet	Porteur	Nombre d'éoliennes	Puissance du parc (MW)
des Deux-Côtes (Picardie)	La Compagnie du Vent	141	705
Veulettes-sur-Mer	Enertrag	21	105
des Hautes-Falaises	WPD Offshore	60	300
Calvados	Maïa Eolis	50	250
Calvados	WPD Offshore	50	250
Ouest Cotentin	Eole Res	30	100
Baie de Saint-Brieuc	Powéo	30	150
Baie de Saint-Brieuc	Nass&Wind Offshore	40	200
Lorient	Nass&Wind Offshore	20	100
Le Pouliguen	EDF Energies nouvelles	12	72
des Deux Îles (Vendée)	WPD Offshore	120	600

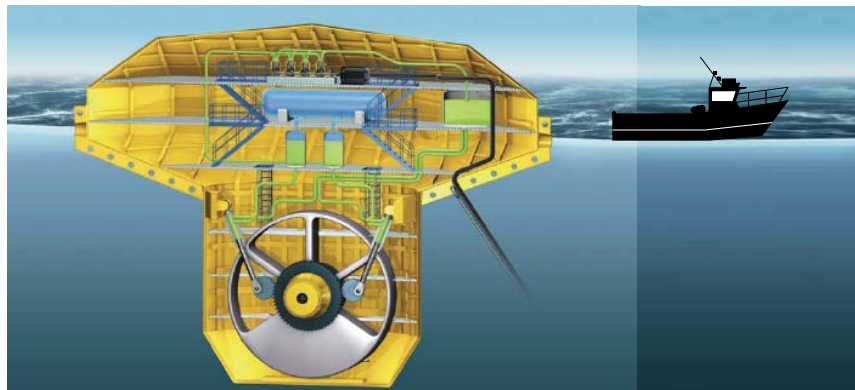
5.2. Le projet houlomoteur Searev à Nantes ⁴⁴

Le système électrique autonome de récupération de l'énergie des vagues (Searev) est un concept de flotteur développé par l'Ecole centrale de Nantes depuis 2003. Il s'agit d'une capsule flottante, non articulée, entièrement close, qui contient un système pendulaire (roue lestée de béton de 9 m de diamètre et de 400 tonnes) qui entre en oscillation avec le mouvement des vagues, active un système hydraulique qui active à son tour la génératrice électrique. L'électricité est ramenée à terre par un câble.

La capsule mesure 25 m de long, a un tirant d'eau de 15 m, et pèse 1 000 tonnes. Une unité développe une puissance de 500 kW. Susceptible de fonctionner 4 000 h sur l'année, elle pourrait alimenter 200 foyers sur une année. Un parc de 1 km² pourrait contenir 50 machines⁴⁵, développer 20 à 25 MW et fournir l'électricité pour 7 000 à 8 000 foyers.

Les machines pourraient être ancrées par 30 à 50 m de fond, à 10 km des côtes, et seraient donc totalement invisibles.

Figure 42. Le concept Searev, et un ligneur de 9 m à l'échelle.



Source : d'après l'Ecole centrale de Nantes.

Tous les composants du Searev existent déjà, ce sont des composants « low-tech » déjà connus. La capsule est étanche et tous les composants sont à l'abri à l'intérieur, conférant au système une grande robustesse. Le système s'accommode de la marée. La maintenance se fait par décrochage et remorquage de la capsule à terre. Le système d'ancrage est dérivé de l'offshore pétrolier, avec des bouées sous-marines intermédiaires. Il y a une interaction entre l'ancrage et l'oscillation.

Un prototype à l'échelle 1/12 du prototype Searev a été testé dans le bassin de l'Ecole centrale de Nantes (50x30x5m), pour différents états de mer, dont des vagues « centennales » de 30 m de creux déferlantes. Ce travail de recherche a

⁴⁴ Audition de M. Alain CLEMENT (Ecole centrale de Nantes) le 15 mai 2008.

⁴⁵ Ce qui correspond à un espacement entre les machines de 160 m environ.

utilisé des outils modernes d'optimisation de forme. Plus de 100 000 designs ont été testés sur 5 ans.

Un consortium d'industriels (Saipem s.a., Leroux&Lotz, Principia, Areva) a rejoint le projet depuis deux ans, pour une fabrication à l'échelle 1. Ce prototype à l'échelle devrait être mis à l'eau à la mi-2010.

5.3. Des projets de recherche sur les microalgues

Le laboratoire de physiologie et de biotechnologie des algues du centre Ifremer de Nantes est associé à sept partenaires français dans le projet Shamash, mentionné dans le chapitre 1. Ce projet a pour objectif de produire du biocarburant à partir de microalgues.

Pour le laboratoire de l'Ifremer, il s'agit tout d'abord de trouver, sans recours à des manipulations génétiques, une espèce de microalgue capable de se multiplier rapidement et de produire le plus de lipides possible. Ces lipides fournissent un excellent biocarburant sous forme d'huile. Le procédé exige de l'énergie, mais reste relativement simple puisqu'il suffit de concentrer les algues dans une centrifugeuse pour les presser et en extraire une huile. Il s'agit ensuite de réaliser les premières cultures pour les partenaires du projet⁴⁶.

Un autre projet, porté par le Laboratoire de recherche en génie des procédés environnement – agroalimentaire (CNRS/Université de Nantes) vise à construire d'ici 2011, à Saint-Nazaire, une plateforme pilote de production de microalgues à l'échelle industrielle, sur une surface d'au moins un hectare. L'objectif est de produire 40 à 50 tonnes de biomasse par hectare et par an à partir du gaz carbonique produit par les industries environnantes, mais aussi d'autres effluents comme les nitrates ou les phosphates issus du traitement des eaux usées. Cette biomasse sera ensuite transformée en divers produits, dont des biocarburants⁴⁷.

⁴⁶ Audition de M. Jean-Paul CADORET (Ifremer) le 13 mars 2008.

⁴⁷ Le Figaro, 7 janvier 2009. *Une plateforme expérimentale de culture d'algues en projet à Saint-Nazaire.*

Chapitre 3

Panorama des technologies et des développements

1.	L'exploitation de l'énergie éolienne offshore	84
2.	L'exploitation de l'énergie des courants	86
3.	L'exploitation de l'énergie des vagues	94
4.	Panorama des développements en Europe	100

Nous avons décrit, dans les deux chapitres précédents, les évolutions technologiques de l'exploitation des énergies marines, ainsi qu'un certain nombre de projets concernant très directement la Bretagne.

Afin de disposer d'un état des lieux le plus clair et le plus accessible possible, ce chapitre propose des tableaux récapitulatifs des différents concepts développés pour l'exploitation des énergies marines, avec, pour chaque source d'énergie :


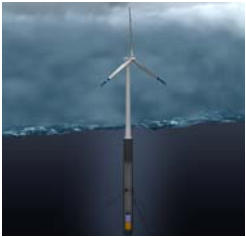




- le nom du projet, le porteur du projet et le pays d'origine ;
- une photo ou une vue d'artiste du concept ;
- le principe de fonctionnement et de récupération de l'énergie ;
- les dimensions principales ;
- la puissance unitaire et la puissance d'un parc ;
- la production estimée ;
- le stade de développement et le site de démonstration ou d'exploitation le cas échéant ;
- les atouts ;
- les faiblesses ;
- un lien internet pour en savoir plus.

Il existe, nous l'avons vu, un foisonnement de concepts. Ils ne sont pas tous repris ici : l'objectif est d'illustrer la diversité des concepts et non pas d'en tenir un inventaire exhaustif.

Nous avons vu, également, que les nombreux concepts développés à ce jour n'en sont pas tous au même stade de développement. De ce fait, les informations disponibles au sujet de chacun d'entre eux sont très disparates. Certaines spécifications techniques, comme les dimensions ou la production estimée, ne sont pas toujours communiquées par les porteurs de projets. Nous avons quand même souhaité faire figurer les projets dont les informations restent incomplètes, car ils sont une bonne indication de l'effervescence de la recherche sur les énergies marines.


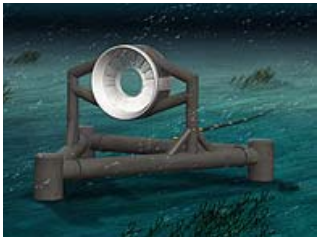


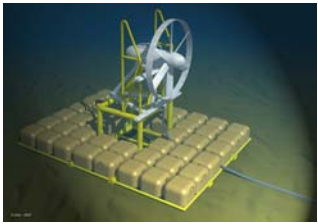

A la suite de ces tableaux techniques, trois cartes montrent le développement des énergies marines en Europe.

1. L'exploitation de l'énergie éolienne offshore


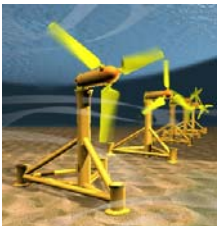
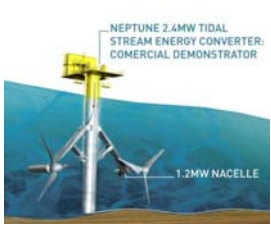
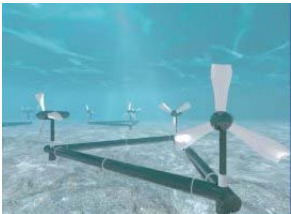


Projet Constructeur Pays	Eolien offshore (1/1)	Principe	Dimensions	Puissance unitaire / parc	Production estimée
EOLIEN CLASSIQUE (AVEC FONDATIONS)					
		Eolienne sur fondation gravitaire, monopieu, tripode, ou jacket	<ul style="list-style-type: none"> • 90-100 m pour le moyeu • Jusqu'à 126 m de diamètre pour le rotor 	<ul style="list-style-type: none"> • Jusqu'à 6 MW par éolienne • 60 à 160 MW par parc en moyenne • 8 MW/km² 	<ul style="list-style-type: none"> • 3000 à 4000 h pleine puissance • 15 à 20 GWh par éolienne
EOLIEN FLOTTANT					
Hywind StatoilHydro Norvège		Eolienne flottante sur flotteur de type spar acier/béton 3 ancrages	<ul style="list-style-type: none"> • 65 m pour le moyeu, 82 m de diamètre, 100 m de tirant d'eau • 5300 tonnes 	<ul style="list-style-type: none"> • 2,3 MW • 5 MW 	
Sway Sway Norvège		Eolienne flottante sous le vent, nacelle fixe		<ul style="list-style-type: none"> • 5 MW 	
Windsea Statkraft Norvège		Trois éoliennes sur plateforme flottante semi-submersible, dont une sous le vent		<ul style="list-style-type: none"> • 10 MW • 30 plateformes, soit 300 MW pour un parc type 	<ul style="list-style-type: none"> • 4000 h pleine puissance • 40 GWh par plateforme • 1200 GWh par parc
Diwet Blue H Pays-Bas Blue H France (Rennes)		Eolienne bipale sur plateforme flottante à lignes tendues	<ul style="list-style-type: none"> • 60 m pour le moyeu 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 MW à terme • 100 machines, soit 350 MW pour un parc 	
Winflo Nass&Wind Offshore France (Lorient)		Eolienne sur plateforme flottante à ancrages caténaux	<ul style="list-style-type: none"> • 65 m pour le moyeu • 80 m de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 MW à terme 	

Stade de développement Site	Atouts	Faiblesses	Pour en savoir plus...
<ul style="list-style-type: none"> • Stade industriel • 1500 MW installés en Europe 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie mature, connue, déployable 	<ul style="list-style-type: none"> • Moyens nécessaires à l'installation lourds • Occupation quasi-exclusive du site • Impact visuel • Profondeur maximum 40 m 	
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype échelle réduite (3 m) testé en bassin • Prototype échelle 1 annoncé pour 2009 sur le site d'essais de Karmøy à 10 km au large de la Norvège 	<ul style="list-style-type: none"> • Eloignement possible des côtes • Stabilité • Conçu pour les grandes profondeurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés liées aux ancrages et au câblage • Maintien face au vent ? 	www.statoilhydro.com
<ul style="list-style-type: none"> • Recherche amont • Prototype échelle 1 annoncé pour 2010 sur le site d'essais de Karmøy à 10 km au large de la Norvège 	<ul style="list-style-type: none"> • Eloignement possible des côtes • Stabilité • Système sous le vent auto-directif 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés liées aux ancrages et au câblage 	www.sway.no
<ul style="list-style-type: none"> • Recherche amont • Prototype échelle 1 annoncé pour 2011 	<ul style="list-style-type: none"> • Eloignement possible des côtes • Plateforme stable • Maintenance facilitée 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés liées aux ancrages et au câblage 	www.windsea.no
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 80 kW testé en Italie, à 20 km des côtes • Prototype de 3,5 MW labellisé par le Pôle Mer Bretagne, annoncé à Lorient pour 2011 • Prototype de 5 MW labellisé par l'ETI (Royaume-Uni) 	<ul style="list-style-type: none"> • Eloignement possible des côtes • Plateforme très stable 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés liées aux ancrages et au câblage 	www.bluehgroup.com www.pole-mer-bretagne.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 2,5 MW annoncé pour 2011 • Prototype échelle 1 annoncé pour 2013-2105 	<ul style="list-style-type: none"> • Eloignement possible des côtes • Construction légère • Remorquage possible pour installation et maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> • Oscillation naturelle difficile à maîtriser 	www.pole-mer-bretagne.com


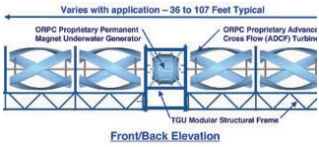
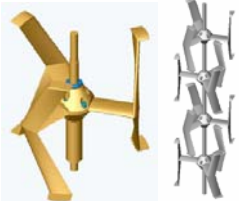
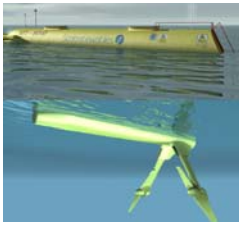
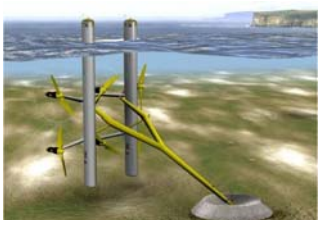

2. L'exploitation de l'énergie des courants

Projet Constructeur Pays	Energie des courants (1/4)	Principe	Dimensions	Puissance unitaire / parc	Production estimée
Seagen Marine Current Turbines Royaume-Uni		Double turbine bipale à axe horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Rotors de 16 m de diamètre, 20 m à terme. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,2 MW • 5 MW à terme 	
Open Center Turbine OpenHydro Royaume-Uni		Turbine à axe horizontal avec génératrice périphérique	<ul style="list-style-type: none"> • 6, 10 ou 16 m de diamètre • Jusqu'à 21 m de haut, 500 tonnes avec le support 	<ul style="list-style-type: none"> • 500 kW ou 1 MW 	
The Blue Concept Hammerfest Strom Norvège / Royaume-Uni		Turbine tripale à axe horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • 20 m de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> • 300 kW • 1 MW à terme • Parcs de 5 à 20 MW 	
Rotech Tidal Turbine Lunar Energy Royaume-Uni		Turbine à effet Venturi	<ul style="list-style-type: none"> • 15 m de diamètre • 19 m de long 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 MW • 100 à 500 unités par parc, soit 100 à 500 MW 	
Marénergie - Sabella HydroHelix Energies France (Quimper)		Turbine à axe horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • 10 m de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> • 200 kW • 1 MW pour 5 unités assemblées 	
Hydro-Gen L'Aquafile France (Landéda)		Roue à aube flottante	<ul style="list-style-type: none"> • 2,3 x 4,5 m • 4 x 7 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 kW • 20 kW ensuite • 1 MW à terme 	


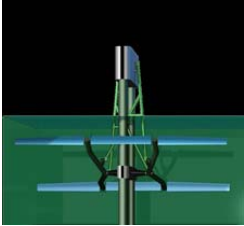


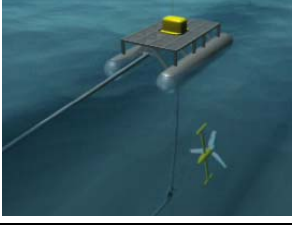

Stade de développement Site	Atouts	Faiblesses	Pour en savoir plus...
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype Seaflow à simple rotor de 300 kW installé à Bristol • Prototype à l'échelle 1 Seagen installé en mai 2008 à Stanford Lough • Projet de 10 MW en 2011-12 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance aisée en surface par relèvement des rotors • Possibilité d'une structure totalement immergée 	<ul style="list-style-type: none"> • Visibilité • Obstacle à la navigation • Installation difficile 	www.marineturbines.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 6 m testé à l'EMEC en Ecosse, stade industriel annoncé pour 2009 • Technologie retenue par EDF sur le site de Paimpol – Bréhat (turbine de 16 m et 500 kW) 	<ul style="list-style-type: none"> • Entièrement immergée, invisible, autorise la navigation • Permet le passage de la faune marine • Installation rapide avec barge spécifique 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance ? 	www.openhydro.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype à l'échelle réduite testé en Norvège depuis 2003 • Prototype à l'échelle 1 annoncé en Ecosse pour 2010 • Stade industriel : 3 parcs de 5 à 20 MW en Ecosse en 2011 	<ul style="list-style-type: none"> • Entièrement immergée, invisible, autorise la navigation • 4 ans de test en mer 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance ? 	www.hammerfeststrom.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype à l'échelle 1/3 testé à l'EMEC en 2008 • Prototype à l'échelle 1 annoncé en Corée pour 2009 • Stade industriel : 8 MW en 2011 avec EON, 300 MW en Corée 	<ul style="list-style-type: none"> • Entièrement immergée, invisible, autorise la navigation • Système relevable pour la maintenance 		www.lunarenergy.co.uk
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 3 m de diamètre et 10 kW testé dans l'estuaire de l'Odet (D03) • Prototype à l'échelle 1 (D10) annoncé pour 2009, stade commercial en 2010. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entièrement immergée, invisible, autorise la navigation • Simple et robuste • Système relevable pour la maintenance 		www.hydrohelix.fr www.pole-mer-bretagne.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype Hydro-Gen 10 testé en mer • Prototype Hydro-Gen 20 annoncé pour 2009 	<ul style="list-style-type: none"> • Simple • Bas coût 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation • Vulnérabilité en surface ? 	www.hydro-gen.fr

Projet Constructeur Pays	Energie des courants (2/4)	Principe	Dimensions	Puissance unitaire / parc	Production estimée
Free Flow System Verdant Power Etats-Unis		Turbine tripale à axe horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • 5 à 11 m de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> • 35 kW à 1 MW 	
ReDAPT Tidal Generation Ltd Rolls Royce Royaume-Uni		Turbine tripale à axe horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • 18 m de diamètre • 27 m de haut • 80 tonnes 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 MW 	
Neptune Aquamarine Power Royaume-Uni		Double turbine tripale à axe horizontal		<ul style="list-style-type: none"> • 2,4 MW 	
Delta Stream Tidal Energy Ltd Royaume-Uni		Turbines à axe horizontal sur structure triangulaire stable	<ul style="list-style-type: none"> • Rotor de 15 m de diamètre • Base de 30 m de côté 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,2 MW 	
Free Flow Power Free Flow Power Corp. Etats-Unis		Turbine à axe horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • 1 et 2 m de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de 10 kW 	
Solon Atlantis Resources Corporation Singapour		Turbine à effet Venturi		<ul style="list-style-type: none"> • 2 MW 	

Stade de développement Site	Atouts	Faiblesses	Pour en savoir plus...
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype testé dans l'East River, à New-York 		<ul style="list-style-type: none"> • Pales fragiles 	www.verdantpower.com
Projet labellisé en 2009 par l'ETI (Royaume-Uni) pour installer un prototype à l'EMEC	<ul style="list-style-type: none"> • Construction légère 		www.tidalgeneration.co.uk
<ul style="list-style-type: none"> • Recherche amont • Prototype testé à l'EMEC en 2010 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte puissance unitaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Structure monopieu émergée, visible, obstacle à la navigation 	www.aquamarinepower.com
<ul style="list-style-type: none"> • Concept 			www.tidalenergyltd.com
<ul style="list-style-type: none"> • Autorisation pour un test de 3 ans sur le Mississippi 	<ul style="list-style-type: none"> • Application fluviale ou marine • Implantation indépendante ou sur structures existantes • Modularité 		www.free-flow-power.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 500 kW testé en août 2008 • Stade industriel annoncé pour l'été 2009 			www.atlantisresourcescorporation.com



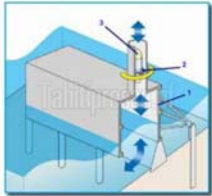

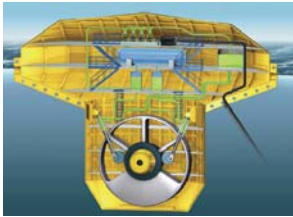

Projet Constructeur Pays	Energie des courants (3/4)	Principe	Dimensions	Puissance unitaire / parc	Production estimée
Clean Current Clean Current Power Systems Inc. Canada		Turbine à effet Venturi	<ul style="list-style-type: none"> • 20 m de diamètre pour 2,2 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 à 2,2 MW 	
OGen Ocean Renewable Power Company Etats-Unis		Turbine à axe horizontal ou vertical	<ul style="list-style-type: none"> • 10 à 32 m de long • 2 à 5 m de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de 250 kW 	
Harvest LEGI France (Grenoble)		Turbine à axe vertical	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothèse : tour de 8 m de diamètre pour 12 m de haut 	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothèse : 300 kW 	
Scotrenuable Tidal Turbine Scotrenewables Ecosse		Double turbine à axe horizontal sur flotteur	<ul style="list-style-type: none"> • 32 m de long • 12 m de diamètre pour chaque rotor 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,2 MW 	
Tidal Stream Tidal Stream Royaume-Uni		Turbines à axe horizontal sur structure semi-immersée	<ul style="list-style-type: none"> • Rotors de 20 m de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 à 6 rotors par unité • Jusqu'à 10 MW par unité 	
Tidevanns Kraft Statkraft Norvège		Turbines à axe horizontal sur structure flottante		<ul style="list-style-type: none"> • 1 MW 	

Stade de développement Site	Atouts	Faiblesses	Pour en savoir plus...
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 65 kW testé en 2006 • Prototype de 2,2 MW testé en 2008 en baie de Fundy 			www.cleancurrent.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype testé dans le Maine • Prototype à l'échelle 1 en 2009-2010 • Stade industriel : parc de 10 MW en 2011-2012 	<ul style="list-style-type: none"> • Conception modulaire • Système immergé 		www.oceanrenewablepower.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype testé en bassin en 2007, en canal en 2008 • Site de démonstration en milieu fluvial en 2009, en milieu marin en 2010 	<ul style="list-style-type: none"> • Conception modulaire • Application fluviale ou marine • Système immergé, invisible, autorisant la navigation 		
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype à l'échelle 1/7 testé en mer • Prototype à l'échelle 1 en cours d'élaboration 	<ul style="list-style-type: none"> • Transport et maintenance faciles 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation 	www.scotrenewables.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype 1/20 testé en bassins 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation et maintenance facilitées par remorquage • Maintenance améliorée par le relèvement des turbines 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation 	www.tidalstream.co.uk
<ul style="list-style-type: none"> • Concept 		<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation 	www.statkraft.com





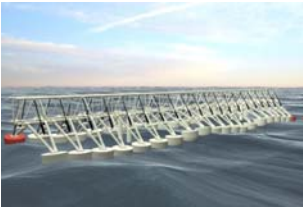

Projet Constructeur Pays	Energie des courants (4/4)	Principe	Dimensions	Puissance unitaire / parc	Production estimée
Nereus Atlantis Resources Corporation Singapour		Courroie multi-pales	• 16 m x 3 m pour le prototype de 150 kW	• 150 à 400 kW	
Pulse Generator Pulse Tidal Royaume-Uni		Système à hydrofoils			
Stingray Engineering Business Ltd Royaume-Uni		Système à hydrofoils		• 150 kW • 500 kW	
BioStream BioPower Systems Australie		Système à hydrofoil		• 250 kW • 500 kW • 1 MW	
Dania Beach Florida Atlantic University Etats-Unis		Turbine tripale à axe horizontal	• 3 m de diamètre • 10 m de profondeur mais ancrage 300 m de fond	• 20 kW	
Vivace Université du Michigan Etats-Unis		Système oscillant		• Modulable	

Stade de développement Site	Atouts	Faiblesses	Pour en savoir plus...
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 150 kW testé en mai 2008 en Australie • Prototype de 400 kW testé en juillet 2008 		<ul style="list-style-type: none"> • Fragilité ? 	www.atlantisresourcescorporation.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 100 kW testé en 2008 au Royaume-Uni 	<ul style="list-style-type: none"> • Système adapté aux eaux peu profondes, la puissance dépendant de la longueur de la machine et non de sa hauteur 		www.pulsegeneration.co.uk
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 150 kW testé en 2002 et 2003 			www.engb.com
<ul style="list-style-type: none"> • Concept 			www.biopowersystems.com
<ul style="list-style-type: none"> • Recherche amont • Prototype de 20 kW testé en mer en 2009 	<ul style="list-style-type: none"> • Un des rares systèmes à exploiter un courant océanique 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrolienne flottante entre deux eaux 	http://coet.fau.edu
<ul style="list-style-type: none"> • Concept 	<ul style="list-style-type: none"> • Un des rares systèmes à exploiter un courant océanique • Exploite les courants lents 		www.vortexhydroenergy.com

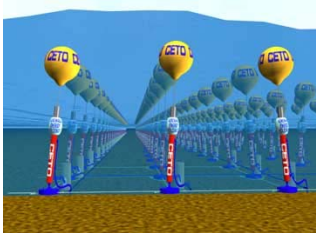





3. L'exploitation de l'énergie des vagues

Projet Constructeur Pays	Energie des vagues (1/3)	Principe	Dimensions	Puissance unitaire / parc	Production estimée
Pico Projet repris par le Wave Energy Center Portugal		Installation à la côte utilisant le principe de la colonne d'eau oscillante		• 400 kW	
Limpet Wavegen Islay, Ecosse		Installation à la côte utilisant le principe de la colonne d'eau oscillante	• 20 m de large	• 500 kW	
Papara Ito Are Polynésie française		Installation fixe utilisant le principe de la colonne d'eau oscillante	• 30 m de long • 15 m de haut	• 500 kW	• Production de mars à novembre • 2 GWh/an
Pelamis Ocean Power Delivery Ltd Royaume-Uni		Flotteur de type atténuateur	• 140 m de long • 3,5 m de diamètre • 350 tonnes	• 750 kW • Parc type de 40 machines, soit 30 MW • 25 MW/km ²	• 3600h pleine puissance • 2,7 GWh par machine, 100 GWh par parc
Searev Ecole centrale de Nantes France		Flotteur de type absorbeur	• 25 m de long, 15 m de tirant d'eau • 1000 tonnes	• 500 kW • Parc type de 50 machines, soit 25 mW • 25 MW/km ²	• 4000h pleine puissance • 2 GWh par machine, 100 GWh par parc
Power Buoy Ocean Power Technologies (USA) et Iberdrola (Espagne)		Flotteur de type absorbeur	• 35 m de haut • 7 m de diamètre • 60 tonnes	• 40 ou 150 kW • Parc de 1,4 MW	• 3 GWh pour un parc de 1,4 MW

Stade de développement Site	Atouts	Faiblesses	Pour en savoir plus...
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 400 kW construit aux Açores en 1998, expérimenté entre 2003 et 2006 	<ul style="list-style-type: none"> • Site de démonstration 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation à la côte, gêne spatiale, visuelle et sonore • Ressource atténuée • Production limitée • Problèmes de vibrations 	www.pico-owc.net
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 500 kW construit en 2000 sur l'île d'Islay, en Ecosse 		<ul style="list-style-type: none"> • Installation à la côte, gêne spatiale, visuelle et sonore • Ressource atténuée • Production limitée • Sensibilité au marnage 	www.wavegen.co.uk
<ul style="list-style-type: none"> • Construction annoncée pour 2009 et 2010 	<ul style="list-style-type: none"> • Intérêt pour les îles de Polynésie française 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation à la côte, gêne spatiale, visuelle et sonore • Production limitée 	
<ul style="list-style-type: none"> • Stade industriel : premier parc houlomoteur au monde au Portugal, 3 machines pour une puissance de 2,25 MW. • Projet de 4 machines aux îles Orcade (Ecosse). 	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne survivabilité aux états de mer • Fiabilité • Eloignement de la côte, faible impact visuel 	<ul style="list-style-type: none"> • Flotteur semi-immersé, obstacle à la navigation et aux activités maritimes • Ancrage dynamique compliqué 	www.pelamiswave.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype 1/12 testé dans le bassin de l'Ecole centrale de Nantes • Prototype à l'échelle 1 prévu pour 2010, sur le site d'essais en mer Semrev (Le Croisic). 	<ul style="list-style-type: none"> • Capsule étanche, bonne survivabilité • Maintenance par décrochage et remorquage • Eloignement de la côte, faible impact visuel 	<ul style="list-style-type: none"> • Flotteur semi-immersé, obstacle à la navigation et aux activités maritimes • Ancrage dynamique compliqué 	
<ul style="list-style-type: none"> • Tests en mer de 2004 à 2007 • Parc de 10 machines avec Iberdrola en Cantabrie (Espagne) (octobre 2008) • Contrat avec US Navy (2008) • Contrat avec Ministère US de l'énergie (2009) 		<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation et aux activités maritimes 	www.oceanpowertechnologies.com www.iberdrola.es

Projet Constructeur Pays	Energie des vagues (2/3)	Principe	Dimensions	Puissance unitaire / parc	Production estimée
AquaBuoy Finareva Renewables Canada		Flotteur de type absorbeur	21 m de haut 3 m de diamètre	1 à 2 MW à terme	
Wave Dragon Danemark		Déferlement	• 220 x 390 x 19 m pour le 11 MW • 14 000 m3	• 4, 7 ou 11 MW	• 35 GWh pour 11 MW
OceanLinx OceanLinx Australie		Colonne d'eau oscillante	• Base de 20 m x 30 m • 4,5 à 7,6 m de hauteur	• 1,5 MW	
Orecon Royaume-Uni		Colonne d'eau oscillante			
Wave Star Wave Star Energy Danemark		Absorbeur multi-flotteurs sur structure fixe	• 240 m de long, 20 m de haut, 40 flotteurs de 10 m de diamètre	• 6 MW	• 1,2 à 4 GWh
Hidroflot Hidroflot Espagne		Absorbeur multi-flotteurs	• 44 x 44 x 24 m	• 6 MW	

Stade de développement Site	Atouts	Faiblesses	Pour en savoir plus...
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 2 MW testé en mer en 2007 au large de l'Oregon 		<ul style="list-style-type: none"> • Le projet connaît des difficultés liées au poids de la machine et au risque accru de corrosion • Obstacle à la navigation 	www.finareva.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 4 MW testé au Danemark depuis 2003 • Démonstrateur pré-commercial annoncé pour 2009 au Pays de Galles 		<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation 	www.wavedragon.net
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype 450 kW testé en mer • Contrats en Australie (27 MW), en Cornouailles (5 MW), aux Etats-Unis et en Namibie (1,5 MW, objectif 15 MW) 		<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation 	www.oceanlinx.com
<ul style="list-style-type: none"> • Recherche amont • Prototype en mer prévu pour 2010 	<ul style="list-style-type: none"> • Grande capacité de production au regard des autres technologies 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation 	www.orecon.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype 1/10 (5 kW) testé en mer au Danemark depuis avril 2006, prototype 1/2 (500 kW) pour début 2009, installé sur le site Horns Rev au Danemark • Stade commercial en 2010 	<ul style="list-style-type: none"> • - Survivabilité et maintenance améliorées par le relèvement des flotteurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Limité aux faibles profondeurs • Impact visuel • Obstacle à la navigation 	www.wavestarenergy.com
<ul style="list-style-type: none"> • Concept 		<ul style="list-style-type: none"> • Obstacle à la navigation 	www.hidroflot.com

Projet Constructeur Pays	Energie des vagues (3/3)	Principe	Dimensions	Puissance unitaire / parc	Production estimée
Ceto Carnégie Australie		Système immergé de type oscillateur			
Archimede Waveswing AWS ocean energy Ecosse		Système immergé de type pompe	<ul style="list-style-type: none"> • 23 m de haut • 220 tonnes 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 MW à terme 	
Oyster Aquamarine Power Royaume-Uni		Système immergé de type oscillateur	<ul style="list-style-type: none"> • 18 m de large, 12 m de haut 	<ul style="list-style-type: none"> • 300 à 600 kW • Parcs de plusieurs MW 	
WaveRoller AW-Energy Finlande		Système immergé de type oscillateur	<ul style="list-style-type: none"> • 6 x 4,5 x 3,5 m • 20 tonnes 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 à 15 kW par unité 	
BioWave BioPower systems Australie		Système immergé de type oscillateur	<ul style="list-style-type: none"> • 25 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 250 kW 	
Anaconda Checkmate Seaenergy Royaume-Uni		Flotteur de type atténuateur, utilise la propagation des ondes	<ul style="list-style-type: none"> • 200 m de long • 7 m de diamètre • 110 tonnes 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 MW 	

Stade de développement Site	Atouts	Faiblesses	Pour en savoir plus...
<ul style="list-style-type: none"> • Prototypes Ceto 1 (2006) et Ceto 2 (2008) testés en mer en Australie • Projet d'EDF à l'Île Maurice : 5 parcs de 40 MW • Déploiement industriel annoncé pour 2009-2011. 	<ul style="list-style-type: none"> • Système totalement immergé, invisible • Production d'électricité ou d'eau douce à partir d'eau de mer sous pression 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressource atténuée sous la surface • Obstacle à la navigation 	www.ceto.com.au
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype à l'échelle 1 testé au large du Portugal en 2004 • Prototype pré-industriel de 250 kW en cours 	<ul style="list-style-type: none"> • Système totalement immergé, invisible • Bonne survivabilité 		www.awsocean.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototypes à l'échelle 1/20 et 1/40 testés en bassins (2006) • Prototype à l'échelle 1 pour test à l'EMEC en 2009 • Stade pré-industriel en 2011 et stade industriel en 2014. 	<ul style="list-style-type: none"> • Survivabilité • Possibilité de couplage avec désalinisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation à proximité de la côte, à faible profondeur • Obstacle à la navigation 	www.aquamarinepower.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype à l'échelle 1/3 testé à l'EMEC en 2005 • Démonstrateur à l'échelle 1 installé à Peniche (Portugal) en 2007 • Parc de 1 MW annoncé à Peniche 			www.aw-energy.com
<ul style="list-style-type: none"> • Prototype de 250 kW testé au large de la Tasmanie en 2009 			www.biopowersystems.com
<ul style="list-style-type: none"> • Recherche amont • Prototype de 8 m de long et 25 cm de diamètre en cours de développement 	<ul style="list-style-type: none"> • Conception innovante par l'utilisation de caoutchouc et d'eau, réduisant considérablement le poids de la machine 	<ul style="list-style-type: none"> • Flotteur semi-immersé, obstacle à la navigation et aux activités maritimes 	www.checkmateuk.com/seaenergy/

4. Panorama des développements en Europe

Les cartes qui suivent montrent l'état des développements en Europe en juin 2008 pour l'exploitation de l'énergie éolienne offshore, de l'énergie des courants et de l'énergie des vagues.

Ces cartes sont reproduites avec l'aimable autorisation de La Tene Maps.

Figure 43. Légende des cartes de La Tene Maps.

































	Wind Operational		Ireland Offshore Wind Operational Site/Lease		EU Country
	Wind Under Construction		Ireland Offshore Wind Exploration Licence		Non EU Country
	Wind Planned (Fully Consented including Cable Consents)		Ireland Offshore Wind Lease Application		EU Sea
	Tidal		Sweden Offshore Wind Area open for Wind Farms		Sea
	Tidal Test Site		UK Round 1 Offshore Wind Exploration Lease		Border
	Wave		UK Round 2 Offshore Wind Exploration Lease		Boundary in Water
	Wave Test Site		Germany / Denmark Operational Wind Area		Interconnector Cables
	Tidal / Wave Planned		Germany Offshore Wind Approved/Fully Consented		Planned Interconnectors
	Planned Tidal / Wave Test Site		Germany Offshore Wind Approved		12 mile line
	Oceanographic Data Bouy		Germany /Netherlands/Belgium Offshore Wind Not Approved Yet		DTI Exclusion Zone & Belgian Windpark Area
	Norway Offshore Licence App, Notice				Ocean Energy Research Institute or Facility

Figure 44. Panorama des développements : Royaume-Uni et Irlande.



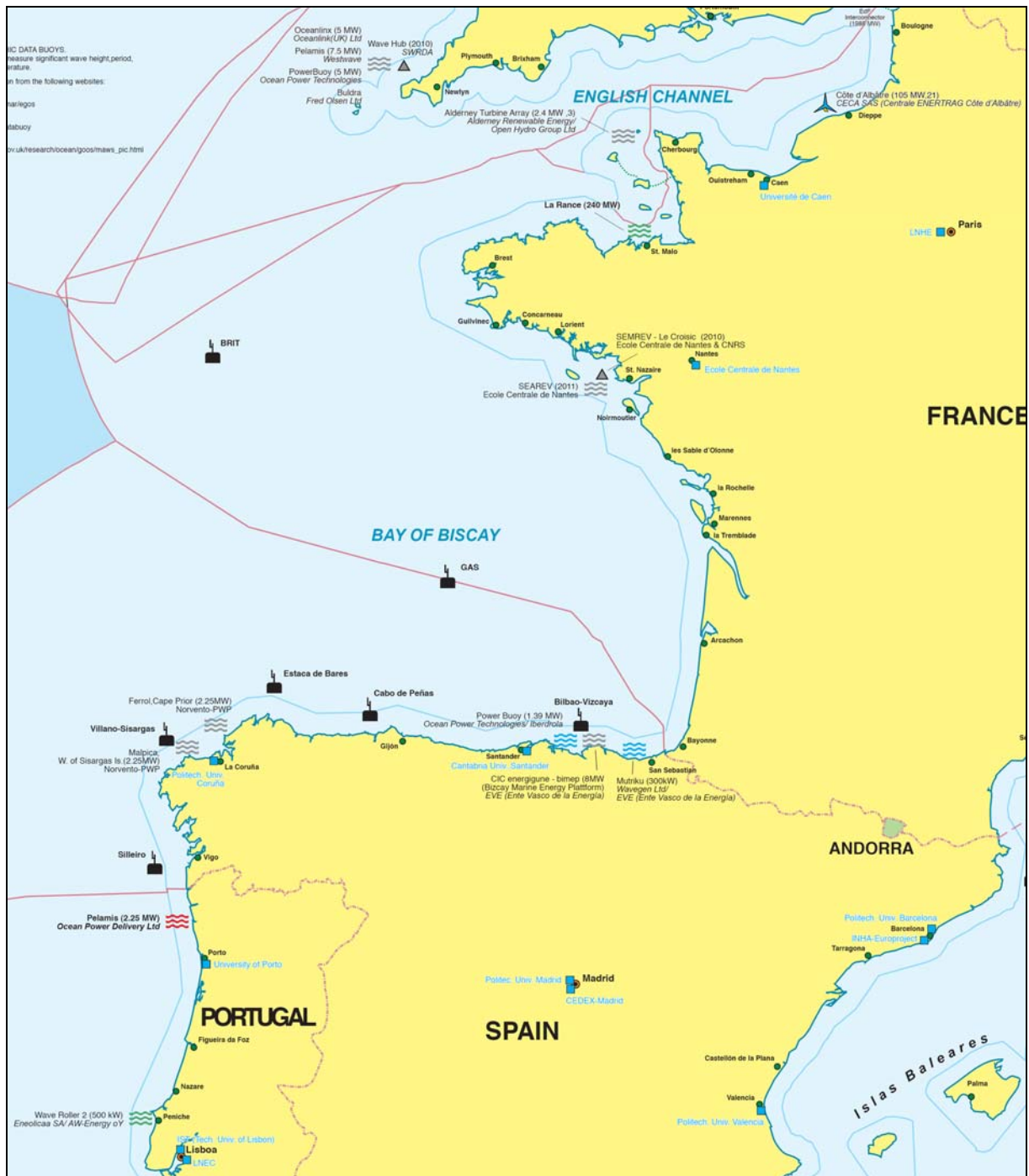
Reproduced from the map - European Marine Renewables - Wind Wave and Tidal Stream, 3rd edition June 2008. Courtesy of La Tene Maps www.latene.com

Figure 45. Panorama des développements: de la Belgique à la Norvège.



Reproduced from the map - European Marine Renewables - Wind Wave and Tidal Stream, 3rd edition June 2008. Courtesy of La Tene Maps www.latene.com

Figure 46. Panorama des développements: France, Espagne et Portugal.



Reproduced from the map - European Marine Renewables - Wind Wave and Tidal Stream, 3rd edition June 2008. Courtesy of La Tene Maps www.latene.com

Deuxième partie

Un nouvel entrant dans un
paysage complexe

L'exploitation des énergies marines est une activité nouvelle dont il faut anticiper l'insertion dans l'existant. Les pièces d'un puzzle aujourd'hui éclaté devront être assemblées pour relever le défi des énergies marines en Bretagne.

L'objectif de cette partie est d'identifier toutes les pièces du puzzle afin de bien comprendre le paysage complexe dans lequel arrive ce nouvel entrant, et qui est fait :

- d'enjeux énergétiques (chapitre 4) ;
- d'enjeux économiques et industriels (chapitre 5) ;
- d'enjeux de recherche, développement et démonstration (chapitre 6) ;
- d'enjeux maritimes et côtiers (chapitre 7).

Chapitre 4

Des enjeux énergétiques

1.	Des engagements chiffrés face à l'urgence climatique	113
1.1.	Les suites du protocole de Kyoto	113
1.2.	Les objectifs européens : les trois 20 pour 2020	114
1.3.	La politique énergétique française	114
2.	Des mutations énergétiques à anticiper	117
3.	La contribution des énergies marines au bouquet énergétique	117
3.1.	Des objectifs chiffrés depuis 2003	118
3.2.	La place des énergies marines dans le bouquet énergétique	119
4.	Un défi énergétique pour la Bretagne	122
4.1.	Un profil énergétique spécifique	122
4.2.	Des ressources naturelles exceptionnelles	122
4.3.	Les politiques régionales de la mer et de l'énergie	123

Il est désormais scientifiquement admis que l'effet de serre, naturel et essentiel à la vie sur terre, est déséquilibré par les émissions de gaz d'origine anthropique, et principalement le CO₂. Ce phénomène a, et aura des conséquences majeures dans les équilibres planétaires, qu'ils soient physiques, biologiques, économiques ou sociaux.

C'est la prise de conscience de ce phénomène climatique qui est à l'origine d'un certain nombre d'engagements relatifs à la production et à la consommation d'énergie (1), et notamment à la production d'énergies renouvelables diversifiées (2) parmi lesquelles les énergies marines pourraient jouer un rôle significatif (3). Avec ses ressources énergétiques marines exceptionnelles, et son profil énergétique spécifique, la Bretagne a résolument une carte à jouer (4).

1. Des engagements chiffrés face à l'urgence climatique

1.1. Les suites du protocole de Kyoto

Lors du Sommet de la Terre à Rio, en 1992, les Etats les plus riches, responsables des émissions de gaz à effet de serre les plus importantes, avaient pris l'engagement de stabiliser leurs émissions en 2000 au niveau de celles de 1990. Cinq ans plus tard, en 1997, le protocole de Kyoto a traduit cette volonté en engagements quantitatifs. Les pays signataires ont accepté globalement de réduire de 5,5% leurs émissions de gaz à effet de serre sur la période 2008-2012 par rapport au niveau atteint en 1990.

L'Union européenne s'est engagée sur un objectif de réduction de 8% réparti entre les Etats membres. La France, figurant grâce à son parc nucléaire parmi les pays industrialisés les moins émetteurs de gaz à effet de serre, s'est alors engagée à stabiliser ses émissions par rapport au niveau de 1990. Cet objectif de stabilisation représente en réalité une baisse d'environ 20% par rapport à une évolution tendancielle⁴⁸.

Créée à l'initiative de l'Allemagne, et dotée d'un budget de 25 milliards de dollars, une Agence internationale pour les énergies renouvelables (Irena) a vu le jour le 26 janvier 2009. Elle a pour mission d'aider les pays à augmenter leur part d'énergies renouvelables dans leur production énergétique⁴⁹. Plus de 75 pays se sont engagés dans cette agence, y compris la France qui avait d'abord exprimé sa réticence au motif que la seule langue de travail était l'anglais.

⁴⁸ *Programmation pluriannuelle des investissements de production électrique. Période 2005-2015. Rapport au Parlement, 13 juin 2006.*

⁴⁹ *Journal de l'environnement, 27 janvier 2009. Irena est née.*

1.2. Les objectifs européens : les trois 20 pour 2020

Le Conseil de l'Union européenne, réuni les 8 et 9 mars 2007 à Bruxelles, a proposé une politique intégrée en matière de climat et d'énergie. Témoinnant de la détermination de l'Europe de fixer des objectifs précis, juridiquement contraignants, le Conseil :

- a pris l'engagement unilatéral de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'au moins 20% d'ici 2020 par rapport au niveau de 1990 ;
- a souligné qu'il était nécessaire d'accroître l'efficacité énergétique afin d'atteindre l'objectif visant à économiser 20% de la consommation par rapport aux projections pour l'année 2020 ;
- a approuvé l'objectif de 20% d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale de l'Union européenne d'ici 2020⁵⁰.

Le paquet Energie-Climat présenté par la Commission européenne le 23 janvier 2008 propose des solutions afin que l'Union européenne soit en mesure d'atteindre ces objectifs. L'objectif d'atteindre une part de 20% d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale y est décliné sous forme d'objectifs nationaux contraignants : tous les Etats se voient imposer une part fixe de + 5,5%, et une part variable modulée en fonction du PIB de chaque Etat, en vertu du principe de solidarité. Pour la France, cela revient à atteindre un objectif de 23% d'énergies renouvelables, Bruxelles ayant considéré l'énergie nucléaire comme non renouvelable, même si le nucléaire permet à la France d'émettre moins de gaz à effet de serre que les autres pays européens. Avant même la présentation officielle du paquet Energie-Climat, la France avait fait connaître son désaccord avec cet objectif de 23%, supérieur à l'objectif national. Elle a depuis revu sa position.

La Directive sur les énergies renouvelables a finalement été adoptée le 17 décembre 2008, après un compromis obtenu en première lecture entre le Parlement et le Conseil. Elle constitue l'un des éléments les plus importants du Paquet Energie-Climat. Outre la confirmation de l'objectif de production de 20% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en Europe d'ici 2020, cette directive prévoit que chaque Etat membre élabore, pour le 30 juin 2010, un Plan d'action national en matière d'énergies renouvelables, fixant des objectifs nationaux et décrivant les mesures à prendre pour atteindre ces objectifs nationaux⁵¹.

1.3. La politique énergétique française

C'est à l'occasion des travaux du GIEC à Paris, en février 2003, que le concept de facteur 4 a été énoncé par le Président Jacques Chirac puis par le Premier Ministre, Jean-Pierre Raffarin, qui a déclaré qu'il fallait « *diviser par deux les émissions de GES avant 2050 à l'échelle de la planète* » ; pour la France, pays industrialisé, « *cela signifie une division par quatre ou par cinq. En vertu du principe de responsabilité*

⁵⁰ Conclusions de la Présidence du Conseil européen des 8 et 9 mars 2007.

⁵¹ Espace Interrégional Européen Bretagne / Pays de la Loire / Poitou-Charentes.

commune mais différenciée, nous devons montrer l'exemple en matière de mise en œuvre des politiques domestiques de lutte contre l'effet de serre »⁵².

Cet objectif a été ensuite repris dans l'article 2 de la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique, dite loi POPE, du 13 juillet 2005. « *Cette lutte devant être conduite par l'ensemble des Etats, la France soutient la définition d'un objectif de division par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici à 2050, ce qui nécessite, compte tenu des différences de consommation entre pays, une division par quatre ou cinq de ces émissions pour les pays développés* ».

La loi POPE définit les objectifs et les axes de la politique énergétique de la France. Cette politique vise à :

- contribuer à l'indépendance énergétique nationale et garantir la sécurité d'approvisionnement ;
- assurer un prix compétitif de l'énergie ;
- préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre ;
- garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès de tous à l'énergie.

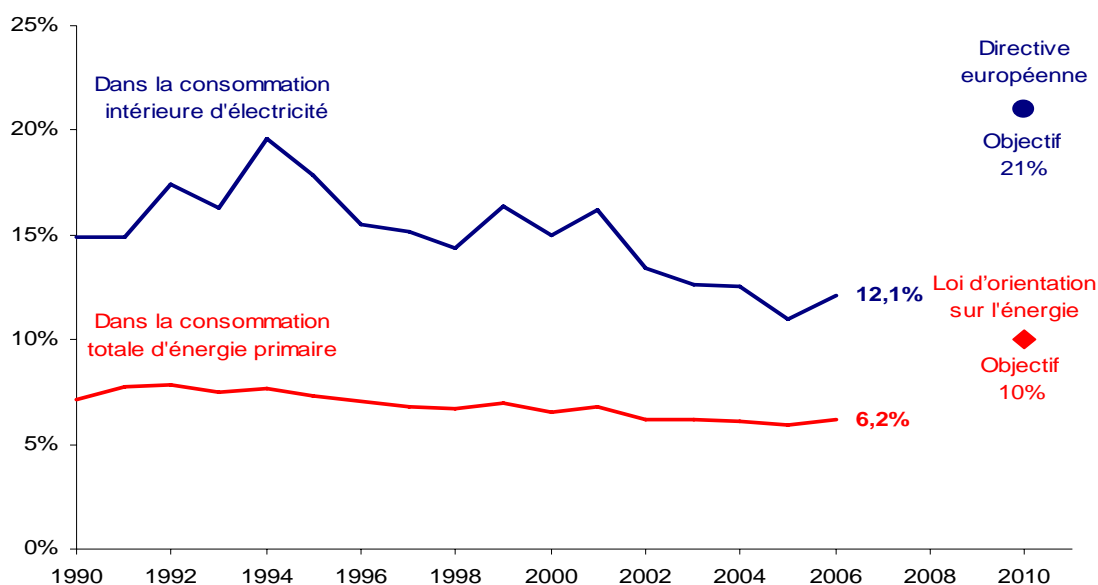
Les objectifs chiffrés de cette loi de programme sont ambitieux, tant pour la maîtrise de la demande en énergie avec un rythme annuel de baisse de l'intensité énergétique finale à porter à 2 % dès 2015 et à 2,5 % d'ici à 2030, que pour le développement des énergies renouvelables : la diversification du bouquet énergétique vise à satisfaire, à l'horizon 2010, 10 % de nos besoins énergétiques à partir de sources d'énergies renouvelables. Il convient donc d'atteindre l'objectif indicatif d'une production intérieure d'électricité d'origine renouvelable de 21 % de la consommation intérieure d'électricité totale à l'horizon 2010⁵³.

Ce chiffre ne sera pas atteint, puisqu'en 2008, la production d'électricité d'origine renouvelable ne dépasse pas 14% de l'électricité consommée. La part de l'électricité d'origine renouvelable avait dépassé 19% en 1994 mais n'a cessé de diminuer depuis. Cette tendance à la baisse s'explique par le fait que la production d'électricité d'origine renouvelable augmente, mais à un rythme moins soutenu que celui de la consommation totale d'électricité.

⁵² Rapport du groupe de travail « *Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050* » sous la présidence de Christian de Boissieu, août 2006.

⁵³ Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique.

Figure 47. Part des énergies renouvelables dans la consommation intérieure d'électricité et dans la consommation totale d'énergie primaire.



Source : Observatoire de l'énergie.

La France s'éloigne de son objectif 2010. Cela implique donc des efforts considérables pour atteindre les objectifs fixés à l'horizon 2020.

Le Grenelle de l'environnement a fait sien le chiffre de 23% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2020. Le projet de loi de programme relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle 1, réaffirme donc à son tour ces engagements chiffrés, allant même au-delà des « trois 20 »⁵⁴ :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre de 20% d'ici 2020, cet objectif étant porté à 30% si d'autres pays industrialisés s'engagent sur des objectifs comparables ;
- améliorer de 20% l'efficacité énergétique pour 2020 ;
- porter la part des énergies renouvelables à 23% de la consommation d'énergie finale d'ici 2020.

Dans son rapport, le comité opérationnel dédié à l'énergie (Comop n°10) propose un Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale⁵⁵. Il y indique que l'objectif des 20% suppose d'augmenter de 20 millions de tep la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique à l'horizon 2020 pour la porter à 37 millions de tep, ce qui représente un objectif très difficile à atteindre, « *au-delà d'une politique simplement ambitieuse* ». Le projet de loi Grenelle 1 reprend pourtant cet objectif et confirme le soutien de l'Etat qui « *favorisera le développement de l'ensemble des filières d'énergies renouvelables dans des conditions économiquement et écologiquement soutenables* ». Le Plan

⁵⁴ Projet de loi de programme relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle 1, adopté par l'Assemblée nationale, 21 octobre 2008.

⁵⁵ Grenelle de l'environnement, Comop n°10, mars 2008. *Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale*.

national de développement des énergies renouvelables, présenté le 17 novembre 2008, prévoit 50 mesures opérationnelles permettant d'atteindre les objectifs fixés par le Grenelle.

Le projet de loi portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle 2, présenté au Conseil des ministres le 7 janvier 2009, instaure des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie, élaborés conjointement par le Préfet de région et le Président du Conseil régional. Ce schéma fixe notamment des orientations en matière de valorisation du potentiel énergétique terrestre renouvelable tenant compte des objectifs nationaux⁵⁶.

2. Des mutations énergétiques à anticiper

Alors que les chocs pétroliers des années 70-80 n'ont pas bouleversé les modes de vie, le contexte actuel nécessite une profonde remise en cause des pratiques de production et de consommation d'énergie. En effet, la concomitance de la prise de conscience de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de la raréfaction des ressources fossiles impose d'anticiper des mutations de première importance : il faut préparer un futur sans énergie fossile, et sans émission de gaz à effet de serre par le recours, notamment, aux énergies renouvelables. Mais puisqu'aucune nouvelle technologie n'est prête aujourd'hui à apporter une réponse massive et centralisée à la demande, le déploiement des énergies renouvelables doit s'envisager dans la diversité, la complémentarité et la décentralisation.

La question de l'énergie nucléaire reste taboue en France, si bien que l'on en vient à opposer de façon binaire énergie nucléaire et énergies renouvelables. Or le nucléaire apparaît aujourd'hui incontournable pour répondre à la demande d'électricité eu égard aux choix politiques qui ont été faits. Sans minimiser les risques liés à l'activité nucléaire ni la problématique du traitement des déchets, il paraît donc sage de s'appuyer sur le concept de **bouquet énergétique** comme une réponse pour l'avenir, et de s'engager à faire des efforts importants de diversification de ce bouquet énergétique en faveur de l'ensemble des énergies renouvelables.

3. La contribution des énergies marines au bouquet énergétique

Que peuvent apporter les énergies marines dans le bouquet renouvelable ? En France, certains documents de programmation énergétique donnent des objectifs chiffrés pour le développement des énergies marines, tandis que d'autres les évoquent à peine. Ce paragraphe a pour objectif d'éclaircir un panorama un peu brouillé.

⁵⁶ Projet de loi portant engagement national pour l'environnement présenté au Conseil des ministres du 7 janvier 2009.

3.1. Des objectifs chiffrés depuis 2003

C'est l'exercice de programmation pluriannuelle des investissements (PPI) 2003-2007 qui fixe les premiers objectifs chiffrés pour l'éolien offshore. L'arrêté du 7 mars 2003 fixe ainsi un objectif de 500 à 1 500 MW d'éolien offshore en 2007⁵⁷. Pour atteindre cet objectif, le gouvernement a décidé en février 2004 de recourir à un appel d'offres pour une puissance installée de 500 MW. Sur les 10 projets présentés, un seul a été retenu, celui de Veulettes-sur-Mer, en Seine-Maritime, avec une puissance de 105 MW.

La PPI de 2005 explore, à partir des objectifs officiels de la loi POPE, l'éventail des possibles. Elle s'appuie sur le bilan prévisionnel de l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité⁵⁸, en y intégrant des dimensions économiques et environnementales. Elle confirme le développement de l'éolien offshore et introduit les premiers objectifs chiffrés pour les autres énergies marines. L'arrêté du 7 juillet 2006 traduit les objectifs de développement du parc de production électrique du 9 juillet 2006 au 31 décembre 2015⁵⁹. Ces développements concernent essentiellement les énergies renouvelables, et en particulier l'éolien terrestre considéré comme le seul secteur permettant un développement significatif des énergies renouvelables⁶⁰. Sont prévues les mises en service de 1 000 MW en 2010 et 4 000 MW en 2015 pour l'éolien offshore, et de 500 MW en 2010 et 2 000 MW en 2015 pour l'hydraulique, énergies marémotrice et houlomotrice incluses. Ces objectifs seront précisés à l'occasion de l'adoption, en 2009, de la nouvelle PPI.

La publication, en 2006 et 2007, de tarifs de rachat de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables vient appuyer ces objectifs.

Le rapport rendu par le Centre d'analyse stratégique en septembre 2007 sur les perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050 ne s'attarde pas sur les énergies marines. Un rapport annexe mentionne l'éolien offshore comme une piste méritant d'être exploitée, mais juge les autres énergies marines trop coûteuses, mise à part l'exploitation des courants de marée qui peut raisonnablement justifier des attentes⁶¹.

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, le Comop n°10 a proposé une décomposition de l'objectif des 20% entre les différentes sources d'énergies renouvelables pour un horizon intermédiaire (2012) et à l'horizon 2020. L'éolien offshore devrait atteindre 1 000 MW en 2012 et 6 000 MW en 2020. L'objectif de développement des autres énergies marines reste plus incertain, à 30 ktep seulement. L'horizon intermédiaire de 2012 est alors proposé comme étape de

⁵⁷ Arrêté du 7 mars 2003 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité.

⁵⁸ Bilan présenté annuellement par RTE.

⁵⁹ Arrêté du 7 juillet 2006 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité.

⁶⁰ *Programmation pluriannuelle des investissements de production électrique. Période 2005-2015*. Rapport au Parlement, 13 juin 2006.

⁶¹ Centre d'analyse stratégique, 2007. *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050*. Rapport du groupe 3 sur les évolutions technologiques, septembre 2007.

réévaluation d'un scénario à l'horizon 2020, pour lequel des chiffres de 1 000 à 2 000 MW sont avancés⁶².

A la suite des travaux de ce comité opérationnel, il faut noter que ni le projet de loi « Grenelle 1 »⁶³, ni le Plan national de développement des énergies renouvelables présenté en novembre 2008 ne donnent d'éléments clairs concernant le développement des énergies marines en France, et encore moins d'objectifs chiffrés⁶⁴.

En collaboration avec le bureau d'études Futuribles, l'Ifremer a, de son côté, conduit en 2008 un exercice de prospective sur le développement des énergies marines renouvelables⁶⁵. Ce travail avait pour objectifs d'identifier les enjeux liés à ce développement, les conditions d'émergence et les technologies majeures à moyen terme. Il s'est appuyé sur la méthode des scénarios et la prospective à l'horizon 2030. Si les quatre scénarios contrastés proposés permettent d'appréhender la contribution des énergies marines au bouquet énergétique, le travail conduit par l'Ifremer propose également un scénario normatif plus concret à l'horizon 2020, dans lequel l'éolien offshore pourrait atteindre 4 000 MW et les autres énergies marines 1 300 MW.

3.2. La place des énergies marines dans le bouquet énergétique

Sur la base de ces différents scénarios, relativement cohérents entre eux, nous pouvons donner ici quelques ordres de grandeur permettant de situer le potentiel des énergies marines, en termes de puissance installée mais aussi de production, dans le paysage énergétique français.

⁶² Grenelle de l'environnement, Comop n°10, mars 2008. *Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale*.

⁶³ Projet de loi de programme relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle 1, adopté par l'Assemblée nationale, 21 octobre 2008.

⁶⁴ MEEDDAT, 17 novembre 2008. *Grenelle Environnement : réussir la transition énergétique. 50 mesures pour un développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale*.

⁶⁵ Ifremer, septembre 2008. *Les énergies renouvelables marines : synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030*.

Tableau 4. Situation actuelle et objectifs de mise en service à différents horizons exprimés en puissances installées (MW) et production (TWh) (électricité uniquement).

	Situation en 2007 (MW)(1)	Production 2007 (TWh)(2)	Mise en service 2010 (MW)(3)	Mise en service 2015 (MW)(3)	Objectif 2015 (MW)	Production 2015 (TWh)	Potentiel 2020 (MW)(4)
Nucléaire	63 300	439,7	0	+ 1 600	64 900	450,8	-
Thermique classique (dont cogénération)	22 200	61,9	+ 1 500	+ 4 600	28 300	76,4	-
Hydraulique (pompage)	4 400	7,7	+ 500	+ 1 500	6 400	11,2	-
Total énergies non renouvelables	89 900 MW	509,3 TWh			99 600 MW	538,4 TWh	-
Hydraulique (hors pompage)	20 660	58,2	+ 500	+ 1 500	22 660	63,8	27 500
Thermique renouvelable (biomasse, biogaz, déchets ménagers, géothermie)	410	3,7	+ 1 390	+ 1 360	3160	28,5	-
Eolien	2 200	4,05	+ 13 500	+ 3 500	18 400	53,6	25 000
- à terre	2 200	4,05	+ 12 500	+ 500	14 400	41,6	19 000
- en mer	0		+ 1 000	+ 3 000	4 000	12	6 000
							4 000(5)
Solaire photovoltaïque	13	0,02	+ 160	+ 340	510	0,9	5 400
Energies marines (marées, vagues, courants, ETM)	240	0,5	Compris dans l'hydraulique	Compris dans l'hydraulique	Compris dans l'hydraulique	Compris dans l'hydraulique	1000 à 2000 1 300(5)
Total énergies renouvelables	23 520 MW	66,4 TWh			44 730 MW	146,8 TWh	
Total production	113 420 MW	569,8 TWh			144 330 MW	685,2 TWh	
Export		67,6					
Import		10,8					
Consommation intérieure brute		513 TWh					
Consommation intérieure corrigée		480 TWh				Hyp. 520 TWh	
Part de l'électricité renouvelable dans la consommation intérieure brute		13%					

Sources :

(1) RTE, 2007. Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France, et actualisation 2008 ;

(2) DGEMP, 2008. Bilan énergétique de la France pour 2007 ;

(3) Arrêté du 7 juillet 2006 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité ;

(4) Grenelle de l'environnement, Comop n°10, 2008. Plan de développement des énergies renouvelables ;

(5) Ifremer, 2008. Les énergies renouvelables marines : synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030.

La part des énergies marines est actuellement insignifiante dans le paysage énergétique français car seule l'usine marémotrice de la Rance, avec 240 MW installés et une production de 550 GWh, y contribue. En revanche, les objectifs de développement à l'horizon 2015, en particulier pour l'éolien offshore, sont significatifs.

Figure 48. Profil de la production d'électricité en France en 2007.

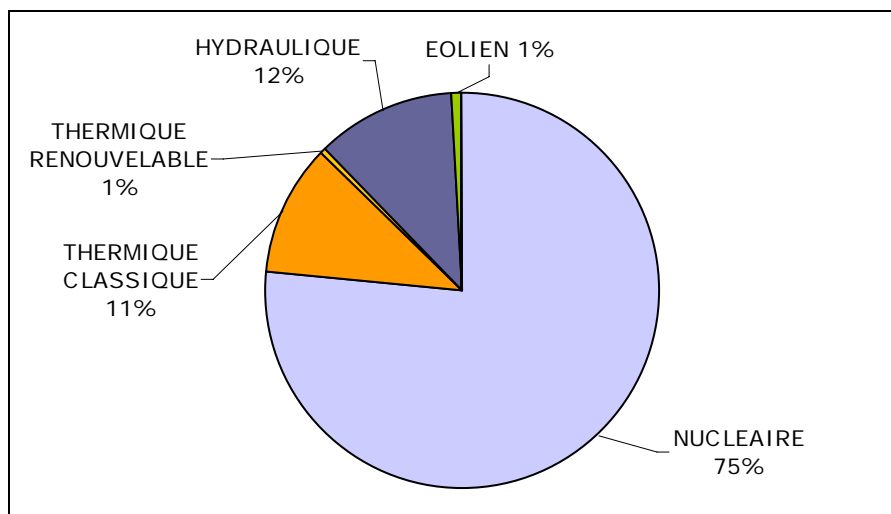
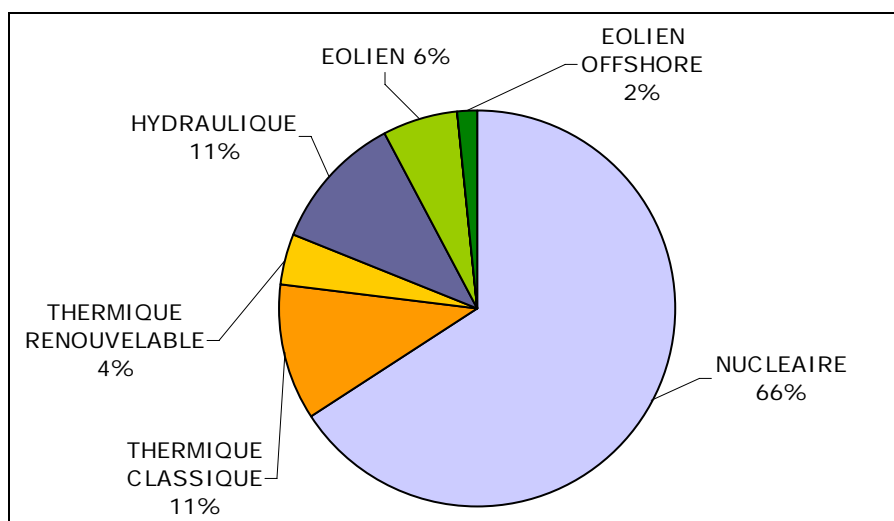


Figure 49. Esquisse du profil de la production d'électricité en France en 2015.



N.B : L'hydraulique comprend les énergies marines.

Ainsi, à l'horizon 2020, l'Ifremer estime que la production éolienne offshore pourrait atteindre 12 TWh, et la production marémotrice, houlomotrice, hydrolienne et thermique environ 5 TWh, soit, toutes énergies confondues, environ 3,3% de notre consommation d'électricité actuelle. Dans son scénario le plus optimiste, l'Ifremer estime que cette part pourrait atteindre 8%, avec une production de 41 TWh par an.

Associée à des actions fortes en matière de réduction des consommations, la part des énergies marines dans le bouquet énergétique pourrait ainsi devenir tout à fait significative et, en tout état de cause, participera à la diversification du bouquet énergétique, condition *sine qua non* à la production d'énergie à partir de sources renouvelables.

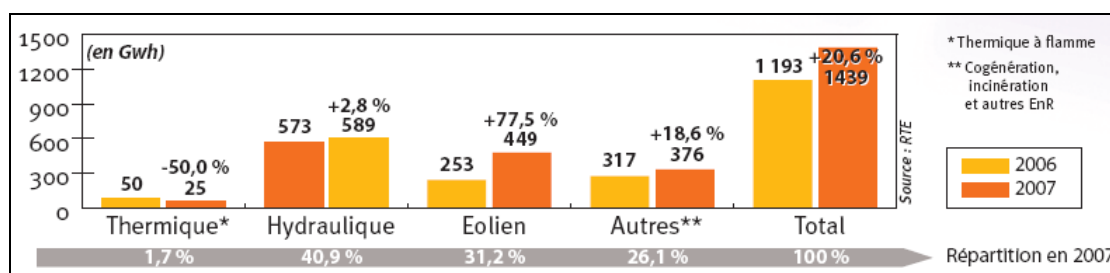
4. Un défi énergétique pour la Bretagne

4.1. Un profil énergétique spécifique

Si la Bretagne, comme l'ensemble de la planète, est confrontée à des enjeux climatiques et énergétiques d'envergure mondiale, elle présente cependant des particularités qui font de la question énergétique une préoccupation forte pour la région :

- la région produit 7,4% de l'électricité qu'elle consomme, notamment grâce à l'usine marémotrice de la Rance et au développement éolien, et moins de 2% de l'énergie totale qu'elle consomme⁶⁶. Elle est donc en situation de forte dépendance énergétique ;
- la consommation électrique augmente plus vite en Bretagne que dans le reste du pays (+3% en 2007, contre +2,2% au niveau national) ;
- la pointe de la Bretagne est fragilisée par un réseau de transport électrique en limite de capacité due pour partie à l'absence de production de proximité.

Figure 50. Production d'électricité en Bretagne en 2007.



Source : DRIRE Bretagne, 2008.

4.2. Des ressources naturelles exceptionnelles

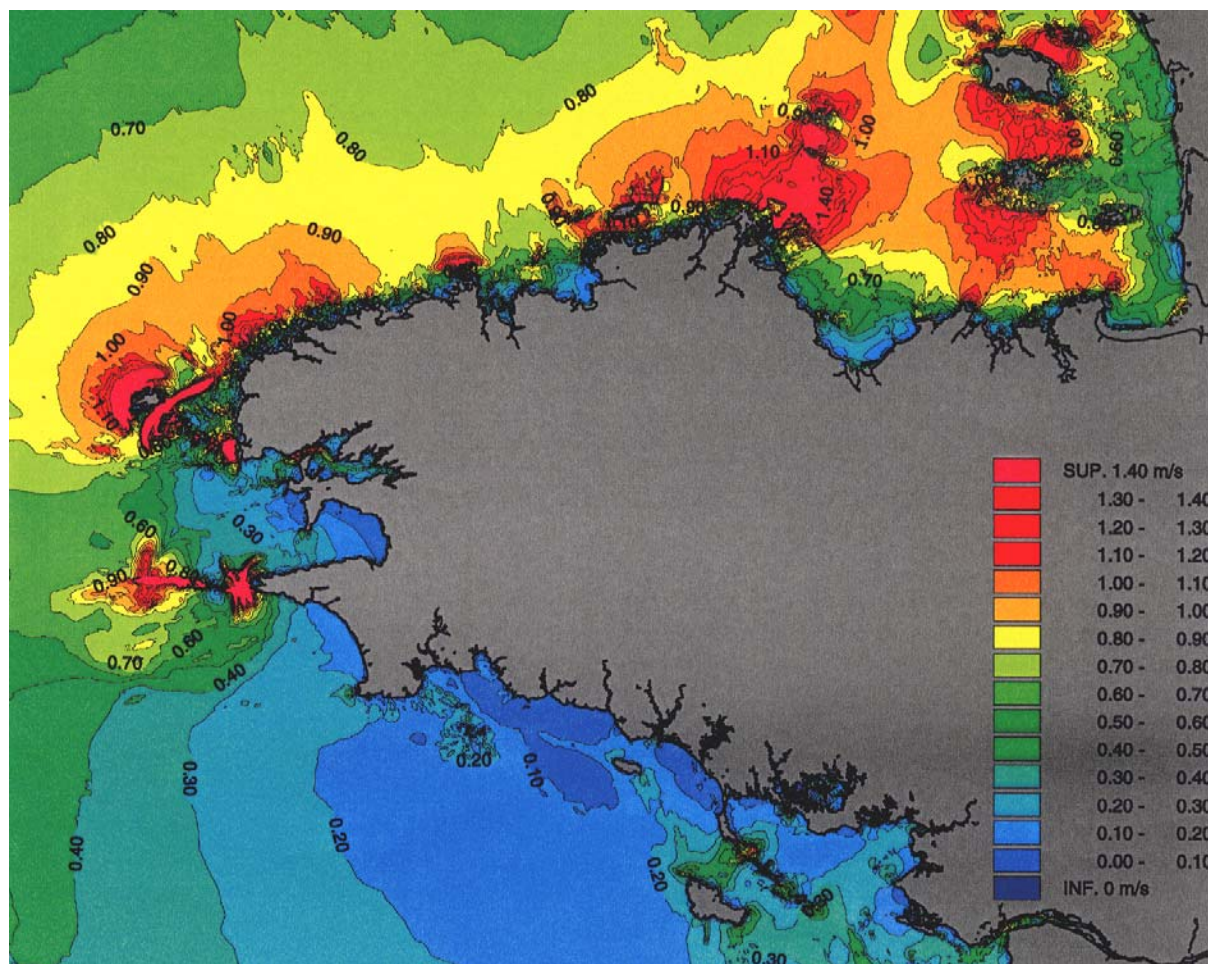
A la croisée de la Manche et de l'Océan Atlantique, la Bretagne jouit d'une situation tout à fait exceptionnelle en termes de ressources puisqu'elle conjugue les spécificités de grands systèmes océaniques :

- des régimes de vents soutenus, à l'image des pays bordant la Mer du Nord ;
- une façade exposée à une houle ordinairement puissante, à l'image de la côte atlantique ;
- des courants de marée importants, caractéristiques de la Manche ;
- des marnages exceptionnels dans le golfe normano-breton.

Au carrefour de ces puissants phénomènes naturels, la Bretagne semble donc particulièrement bien située pour jouer la carte des énergies marines.

⁶⁶ DRIRE Bretagne, 2008. *Les chiffres-clés de l'énergie en Bretagne 2007*.

Figure 51. Intensité des courants de marée en Bretagne (en m/s).



Source : Ifremer.

4.3. Les politiques régionales de la mer et de l'énergie

Avec le plan Energie pour la Bretagne, adopté en juillet 2007, la Région Bretagne s'engage dans la trajectoire décidée au niveau européen et au niveau national, avec la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050, une économie d'énergie de l'ordre de 15 à 20% d'ici 2020, et une consommation énergétique issue à 20% de ressources renouvelables⁶⁷.

Le développement de l'éolien offshore et des autres énergies marines (vagues et courants) est l'une des priorités de cette politique énergétique. La Région se fixe ainsi comme objectif d'accueillir au large de ses côtes 500 MW d'éolien offshore d'ici 2015 et 1 000 MW d'ici 2020, pour une production de 3,5 TWh représentant 14% de la consommation électrique bretonne (19,8 TWh en 2007). Elle se fixe également l'objectif de réaliser 1 à 3 démonstrateurs d'ici 2013 et une plateforme d'essais d'ici

⁶⁷ Région Bretagne, juillet 2007. *Plan Energie pour la Bretagne : une ambition et une stratégie pour relever le défi énergétique et climatique.*

2015 pour l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants, qui fait appel à des technologies encore en développement.

La charte des espaces côtiers bretons, adoptée en décembre 2007, inscrit ces objectifs dans le cadre plus global de la gestion intégrée des zones côtières. Elle prévoit ainsi, dans ses chantiers-phares, d'élaborer une stratégie et un schéma de développement des énergies marines renouvelables en Bretagne, comprenant notamment une méthodologie d'identification des sites d'implantation associant l'ensemble des acteurs de la zone côtière, ainsi que le développement de dispositifs d'investissements coopératifs et de capital-risque ; et de créer un centre d'expérimentation pour les énergies marines renouvelables en Bretagne⁶⁸.

C'est suite au plan Energie pour la Bretagne et à la charte des espaces côtiers bretons que la Région Bretagne a annoncé, en mars 2008, la réalisation d'un plan de développement des énergies marines, qui devra s'appuyer sur la réalisation de scénarios contrastés à l'horizon 2020.

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des objectifs chiffrés par les différentes études ou programmations, au niveau national et au niveau régional, avec une distinction entre l'éolien offshore, mature, et les autres énergies marines, encore en développement.

Tableau 5. Comparaison des objectifs publiés dans différents travaux, en puissances installées (MW) (électricité uniquement)

	2010	2012	2015	2020	2030
Eolien offshore					
Arrêté PPI (2006)	1 000	-	4 000	-	-
Grenelle (2008)	-	1 000	-	6 000	-
Ifremer (2008) - scénario normatif - scénarios contrastés	-	-	-	4 000	2 à 10 000
Plan Bretagne (2007)	-	-	500 (Bretagne)	1 000 (Bretagne)	-
Autres énergies marines					
Arrêté PPI (2006)	500 (avec hydraulique)	-	2000 (avec hydraulique)	-	-
Grenelle (2008)	-	-	-	1 000 à 2 000	-
Ifremer (2008) - scénario normatif - scénarios contrastés	-	-	-	1 300	550 à 3700
Plan Bretagne (2007)	-	1 à 3 démonstrateurs	1 plateforme d'essais	-	-

Sources :

Arrêté du 7 juillet 2006 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité ; Grenelle de l'environnement, Comop n°10, 2008. Plan de développement des énergies renouvelables ; Ifremer, 2008. Les énergies renouvelables marines : synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030 ; Région Bretagne, juillet 2007. Plan Energie pour la Bretagne.

⁶⁸ Région Bretagne, décembre 2007. La charte des espaces côtiers bretons.

Chapitre 5

Des enjeux économiques et industriels

1.	L'économie des énergies marines	129
1.1.	Considérations économiques	129
1.1.1.	Les coûts d'installation	129
1.1.2.	Le coût de l'énergie	132
1.1.3.	La fiabilité et la maintenance	136
1.1.4.	La fiscalité	137
1.1.5.	Les mécanismes incitatifs	138
1.2.	L'organisation industrielle	140
1.2.1.	Les acteurs de la chaîne industrielle	140
1.2.2.	Une place pour l'innovation	141
1.3.	Les marchés	143
1.3.1.	Eolien offshore : un marché en construction	143
1.3.2.	Energie des vagues et des courants : un marché inexistant, des annonces plus timides	147
1.3.3.	Algo-carburants : des annonces à la mesure des enjeux pétroliers	148
1.3.4.	Des politiques énergétiques variées en Europe	149
1.3.5.	Waveplam : un projet européen centré sur les marchés	151
1.4.	Risques et marchés financiers	151
2.	Les emplois et les métiers des énergies marines	153
2.1.	Le marché de l'emploi	153
2.1.1.	Les emplois du secteur éolien	154
2.1.2.	Des emplois promis dans l'éolien offshore	154
2.1.3.	Un enjeu : la pérennité des emplois	156
2.1.4.	Les emplois créés par l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants	157
2.2.	Du projet à la filière, un possible ancrage local	157
2.2.1.	Le besoin d'une large palette de compétences	157
2.2.2.	Des compétences en Bretagne, depuis l'amont jusqu'à l'aval	159
2.2.3.	Un ancrage local souhaité par les porteurs de projets	160
2.3.	Des besoins et des formations à définir	160

Avant même de parler de production d'énergie, le développement technologique apparaît comme porteur d'enjeux industriels et économiques. Il s'agit en effet d'une activité nouvelle qui devra faire sa place dans les filières économiques (1) et dans les filières de formation (2).

1. L'économie des énergies marines

L'Agence économique de Bretagne a engagé en 2008 une étude de filière sur l'éolien offshore, afin de repérer les potentialités de développement économique et d'identifier les domaines dans lesquels la Bretagne peut encore se positionner. Les éléments qui suivent sont directement inspirés de ce travail⁶⁹.

La maturité industrielle du secteur éolien, et les projets réalisés dans d'autres pays européens comme le Danemark, permettent de fournir un certain nombre d'informations qui ne sont hélas pas disponibles pour les autres énergies marines, encore en phase de développement. C'est donc presque exclusivement de l'éolien offshore qu'il s'agit ici.

1.1. Considérations économiques

L'économie de ces projets repose sur plusieurs variables, parmi lesquelles :

- les coûts d'installation ;
- le coût de l'énergie ;
- la fiabilité et la maintenance ;
- la fiscalité ;
- les mécanismes incitatifs.

1.1.1. Les coûts d'installation

- La répartition des coûts

A la différence de l'éolien terrestre où le coût d'installation repose presque exclusivement sur le coût de la machine, l'installation en milieu marin engendre des coûts « annexes » pouvant représenter la moitié du coût total du projet : il s'agit notamment du coût des fondations, lié à la profondeur d'eau et à la nature des fonds ; à l'installation elle-même, dans des conditions plus difficiles qu'à terre ; et bien sûr au raccordement, dont le coût dépend directement de la distance à la côte. La chaîne de valeur est donc différente entre l'éolien terrestre et l'éolien offshore.

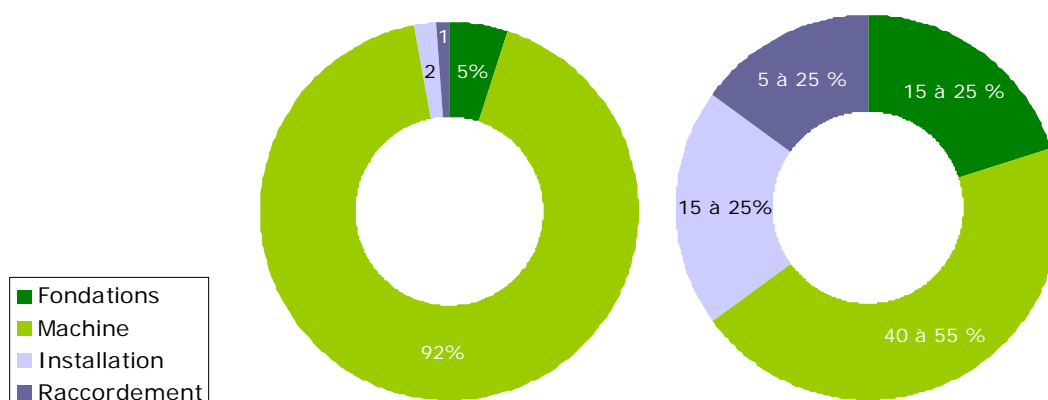
⁶⁹ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

Tableau 6. Répartition des coûts d'un projet éolien terrestre et d'un projet éolien offshore.

	Eolien terrestre	Eolien offshore
Fondations	5 %	15 à 25 %
Machine	92 %	40 à 55 %
Installation	2 %	15 à 25 %
Raccordement	< 1 %	5 à 25 %

Source : AEB d'après Dong Energy, 2008.

Figure 52. Répartition des coûts d'un projet éolien terrestre (à gauche) et d'un projet éolien offshore (à droite).



Le coût d'installation de l'éolien offshore (2 à 3,5 millions d'euros par MW installé) est ainsi deux à trois fois celui de l'éolien terrestre (1 M€/MW). A titre d'illustration, le coût du parc éolien de Veulettes-sur-Mer, porté par Enertrag, est estimé à 2,86 M€/MW⁷⁰ ; celui de la baie de Saint-Brieuc, porté par Powéo, à 3,4 M€/MW ; celui du Thorntonbank, en Belgique, à 3,5 M€/MW⁷¹. Ces coûts couvrent l'ensemble du projet, depuis les études préalables jusqu'au démantèlement.

Les coûts d'investissement annoncés pour les installations de récupération de l'énergie des vagues et des courants, devraient, à terme, être du même ordre de grandeur que ceux de l'éolien offshore aujourd'hui, à savoir entre 2 et 3,5 M€/MW. Mis à part le parc houlomoteur de Pelamis au Portugal (3,2 M€/MW installé), ces technologies sont encore, pour les plus avancées, au stade de la démonstration : ainsi, le projet d'EDF à Paimpol-Bréhat est vu comme une étape d'apprentissage et non une étape de rentabilité. Son coût est estimé à 20 millions d'euros pour une puissance de 2 MW, soit 10 M€/MW. EDF estime que l'apprentissage devrait être plus rapide avec les hydroliennes qu'avec les éoliennes, et que ces machines pourraient devenir compétitives à moyen terme⁷². La technologie Searev, au stade du prototype, est également très chère puisque l'installation de 3 à 5 machines est estimée à plusieurs dizaines de millions d'euros, alors que le seuil de rentabilité des machines se situera autour de 2 M€/MW installé.

⁷⁰ Audition de M. Michel PAILLARD (Ifremer) le 10 janvier 2008 à Brest.

⁷¹ D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

⁷² Audition de MM. Cyrille ABONNEL et Philippe GUILLAUMEUX (EDF) le 15 mai 2008.

- La variabilité des coûts d'installation

La variabilité des coûts est liée à plusieurs phénomènes, intrinsèques au projet ou liés au marché.

La variabilité intrinsèque est due aux caractéristiques mêmes du projet, à savoir la profondeur d'eau, ainsi que la distance de raccordement. Le coût des fondations n'augmente pas de façon linéaire avec la profondeur d'eau. Il peut varier de 0,33 M€/MW à 10 m de profondeur à 1,33 M€/MW à 40 m de profondeur, mais reste extrêmement dépendant de la nature des fonds, qui détermine le type de fondation. La quantité d'acier peut varier, par exemple, de 200 à 300 tonnes par MW installé pour une même profondeur d'eau, c'est-à-dire dans les mêmes proportions que lorsque l'on passe de 10 m à 40 m de profondeur⁷³. Le coût du câble de raccordement est de l'ordre du million d'euros par km installé.

La variabilité des coûts liée au marché vient de l'augmentation du prix des matières premières (acier notamment), et de l'effet « demande » qui provoque une tension très forte sur le marché. La situation est la même pour l'éolien terrestre : l'industrie mondiale des éoliennes est en « surchauffe » et confrontée à des coûts croissants, dus à la pénurie des composants et à l'augmentation des matières premières. Actuellement, les délais d'approvisionnement pour l'éolien terrestre vont de 18 à 24 mois et son coût a augmenté sous l'impact de la demande mondiale qui excède les capacités de production, passant de 1,25 à 1,35 M€/MW entre 2006 et 2007⁷⁴.

Vestas, l'un des leaders sur le marché de la construction d'éoliennes, a donné des chiffres d'évolution des coûts d'installation de l'éolien offshore depuis quelques années.

Tableau 7. Evolution des coûts d'installation de l'éolien offshore depuis 3-5 ans.

Matériaux de construction des pales	+ 38 %
Transport routier	+ 30 %
Transport maritime	+ 70 %
Navires d'installation	+ 25 %
Transformateur	+ 50 %
Câble	+ 100 %
Navires câbliers	+ 90 %

Source : AEB, d'après Vestas, 2008.

Les investissements ont beaucoup augmenté, passant de 1 M€/MW installé en 2002 à 2,8 à 4,4 M€/MW installé en 2007-2008, pour des projets encore installés à de faibles profondeurs, de l'ordre de 4 à 12 mètres. Ces chiffres ne reflètent pas ce que sera une implantation à 40 m de profondeur⁷⁵.

⁷³ Audition de M. Jacques RUER (Saipem s.a.) le 10 janvier 2008.

⁷⁴ ADEME, juillet 2008. *Marchés, emplois et enjeu énergétique des activités liées à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables : situation 2006-2007 – perspectives 2012.*

⁷⁵ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

La tension est très forte sur le marché des navires d'installation, peu nombreux et mobilisés par le secteur pétrolier. Il faut deux ans de réservation pour la barge Rambiz, mobilisée sur le projet du Thorntonbank en Belgique. Powéo, de son côté, regarde déjà les plans de charge des navires spécialisés à l'horizon 3-4 ans. La France ne possède pas de navire dédié à l'installation des éoliennes. Or, ce qui coûte le plus cher n'est pas tant la durée d'utilisation que la mobilisation et la démobilisation des navires spécialisés.

Selon A2SEA, une compagnie de travaux maritimes qui a installé 75% des éoliennes, la capacité en navires d'installation disponibles va baisser à mesure que la dimension des turbines va augmenter. Les besoins estimés sont de 3 navires supplémentaires d'ici 2010, 6 navires supplémentaires d'ici 2011, 9 navires supplémentaires d'ici 2012. Or 5 nouvelles barges seulement étaient annoncées en construction à la fin 2007, ce qui pourrait poser problème dès 2009⁷⁶.

Le deuxième goulot d'étranglement viendra du marché des câbles électriques, du fait de la demande future et du peu de constructeurs mondiaux. Il faut actuellement un an d'attente pour le câble. C'est pour cette raison que, sur le parc du Thorntonbank en Belgique, un tronçon supplémentaire de 1 km est ensouillé avec le câble principal, permettant de remplacer sans délai, et donc en limitant la perte de production, un segment qui serait endommagé⁷⁷.

1.1.2. Le coût de l'énergie

Le coût de l'énergie est calculé en rapportant le coût total à l'énergie produite. Le coût total comprend les coûts d'installation, d'opération, de maintenance et de démantèlement. L'énergie produite est calculée en tenant compte du nombre d'heures de fonctionnement en équivalent pleine puissance sur la durée de vie de la machine retenue dans les calculs, estimée à 20 ans pour les éoliennes.

- L'estimation des coûts de l'énergie éolienne offshore

L'évaluation du coût de l'énergie éolienne offshore ou de l'énergie des vagues et des courants est rendue difficile du fait du caractère émergent de ces technologies. Les quelques chiffres avancés ici doivent donc être examinés avec prudence⁷⁸. Les fourchettes de coûts de revient au kWh sont actuellement très larges et dépendent d'hypothèses fortes sur l'apprentissage, la maturation des technologies et les effets d'échelle d'un marché en croissance⁷⁹.

⁷⁶ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

⁷⁷ D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

⁷⁸ Le coût de l'éolien offshore, en particulier, a fait l'objet d'une polémique entre l'Institut Montaigne et le Syndicat des énergies renouvelables pendant l'été 2008.

⁷⁹ Rapport du groupe de travail Poséidon, décembre 2006. *Une ambition maritime pour la France*.

Le coût de l'énergie éolienne terrestre était estimé à 8,2 c€/kWh en 2008, et pourrait être de 6,3 c€/kWh en 2020⁸⁰. Le surcoût de l'énergie éolienne terrestre par rapport au prix de l'électricité du marché (6,8 c€ en 2008) diminue : il était de 6 c€ en 2001, 2,9 c€ en 2006 et il est aujourd'hui de 1,6 c€. Ceci s'explique par la diminution du coût de l'éolien liée à son développement, par la diminution du tarif de rachat, ainsi que par l'augmentation des prix de la référence pétrole⁸¹.

Le coût de l'énergie éolienne offshore est évalué, quant à lui, à 11,8 c€/kWh en 2012 (pour un coût d'investissement de 2,6 M€/MW) et 9,8 c€/kWh en 2020 (pour un coût d'investissement de 2,2 M€/MW)⁸².

La DGEC évalue les charges d'exploitation (sans les taxes) d'un parc éolien offshore de 1,7 à 2,2 c€/kWh. Une autre estimation donne un coût d'exploitation de 3 à 4 c€/kWh, ce coût comprenant les pertes, la maintenance, les assurances, la gestion du personnel, le suivi de la production⁸³.

Une étude menée par Ernst et Young sur les variables déterminantes d'un projet éolien offshore montre que la variable la plus importante dans la détermination du coût de l'énergie, et donc dans la rentabilité du projet, est la vitesse moyenne du vent. Elle détermine le nombre d'heures de production et donc la rentabilité du site : 3 900 heures équivalent pleine puissance pour une vitesse de 9,4 m/s, 4 300 heures pour une vitesse de 10,3 m/s. Cette étude a montré que le taux de rentabilité interne (TRI) augmente de 4,6 % lorsque la vitesse du vent passe de 8 à 10 m/s⁸⁴.

Les opérateurs raisonnent en conséquence dans une logique de portefeuille : ils positionnent leurs parcs dans des sites ayant des conditions météorologiques différentes et complémentaires, de façon à assurer la rentabilité de leurs projets.

- L'estimation des coûts de l'énergie des vagues et des courants

Les technologies de récupération de l'énergie des vagues et des courants sont encore à des stades de développement précoces, et le coût de l'énergie produite (appelé coût initial, avant le développement du marché) est relativement élevé. Une étude réalisée au Royaume-Uni pour le Carbon Trust⁸⁵ a évalué le coût initial de l'énergie des vagues et des courants⁸⁶ :

- vagues : de 12 à 44 p/kWh, en moyenne 22 à 25 p/kWh (32 à 36 c€/kWh) ;
- courants : de 9 à 18 p/kWh, en moyenne 12 à 15 p/kWh (17 à 22 c€/kWh).

⁸⁰ Syndicat des énergies renouvelables, 2008.

⁸¹ MEEDDAT, 15 février 2008. *L'éolien contribue à la diminution des émissions de CO₂*. Note d'information.

⁸² DGEC, 2008. *Coûts de référence de la production électrique*. Calcul prenant en compte les paramètres suivants : 3000 h de fonctionnement pendant 20 ans, taux d'actualisation moyen de 8%.

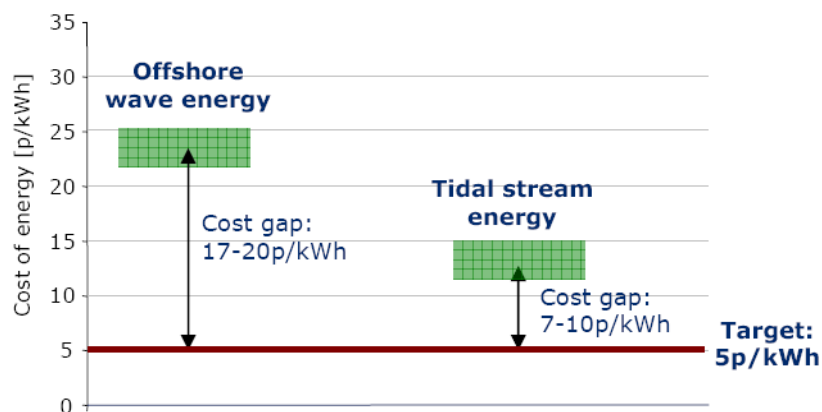
⁸³ Philippe GOUVERNEUR, 28 octobre 2008. *Eolien offshore : risques et rentabilité ?* Intervention devant le bureau de coordination énergie éolienne France-Allemagne.

⁸⁴ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

⁸⁵ Le Carbon Trust est un organisme indépendant, mis en place et financé par le gouvernement britannique, et qui travaille avec les entreprises et les organismes publics pour réduire les émissions de CO₂ et développer de nouvelles technologies faiblement émettrices de CO₂.

⁸⁶ Carbon Trust, janvier 2006. *Future Marine Energy. Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy*. Taux de change janvier 2006 : 1 £ = 1,46 €.

Figure 53. Coût initial de l'énergie des vagues (offshore wave energy) et des courants (tidal stream energy), et écart au prix de l'électricité du marché de 5 p/kWh (7 c€/kWh).



Source : Carbon Trust, 2006.

Certains développeurs ont considéré que ces coûts ne reflétaient pas le coût des technologies les plus avancées et étaient par conséquent surévalués⁸⁷.

En France, l'étude de la DGEC sur les coûts de référence de la production électrique de 2004 estime que le coût de production en 2015 d'une centrale exploitant l'énergie des vagues ou des courants serait de l'ordre de 7,8 c€/kWh pour 3 000 h de fonctionnement en équivalent pleine puissance, et de 5,9 c€/kWh pour 4 000 h⁸⁸.

- L'apprentissage

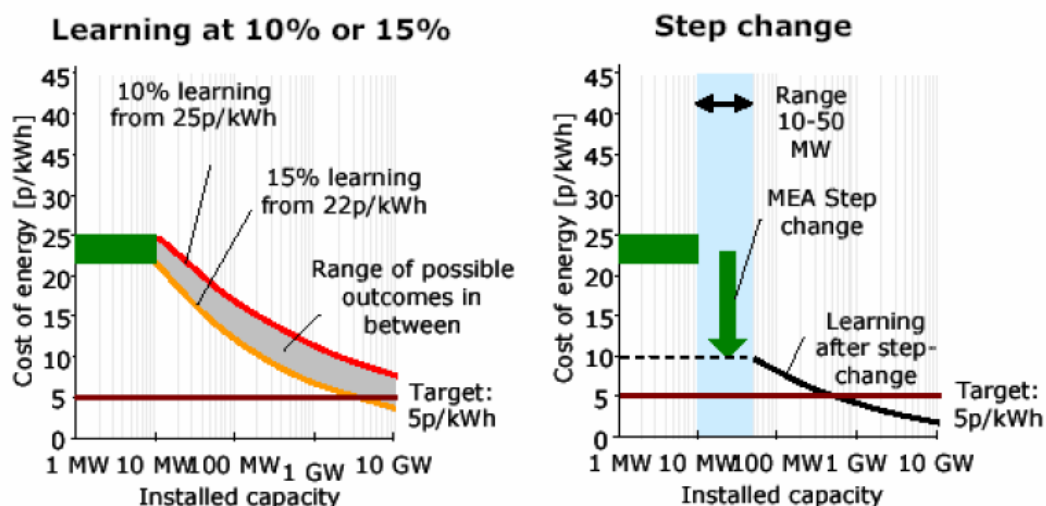
Il est d'usage de parler de « courbe d'apprentissage » pour les technologies émergentes qui sont au stade de la démonstration, comme peuvent l'être les hydroliennes, les systèmes de récupération de l'énergie des vagues ou les éoliennes flottantes. Cette courbe traduit la décroissance des prix en fonction de l'évolution du marché mondial. Cette baisse peut être continue, ou se faire à la faveur d'une rupture technologique. L'objectif est d'atteindre le seuil de rentabilité, c'est-à-dire un prix du kWh qui soit compétitif.

Au démarrage d'un projet, les investissements dans des prototypes sont nécessairement importants, et les risques sont élevés pour des technologies qui ne sont pas encore démontrées. Il faut trouver le juste équilibre dans la taille des prototypes en démonstration, entre une petite taille permettant de réduire les coûts mais ne reflétant que partiellement les conditions d'exploitation réelles, et une taille plus importante permettant de se rapprocher de ces conditions mais à un coût prohibitif.

⁸⁷ British Wind Energy Association, juin 2006. *Path to Power. Delivering confidence in Britain's wave and tidal stream industry.*

⁸⁸ DGEC, 2004. *Coûts de référence de la production électrique.* Calcul prenant en compte les paramètres suivants : durée de vie de 20 ans, taux d'actualisation moyen de 8%.

Figure 54. Exemples de courbes d'apprentissage pour l'énergie des vagues.



Source : Carbon Trust, 2006.

On comprend ici le besoin d'avoir, en début de courbe d'apprentissage, des mécanismes incitatifs qui permettent d'accompagner le développement de ces nouvelles filières.

- Des actions pour la réduction des coûts engagées au Royaume-Uni

La politique de développement des énergies marines du Royaume-Uni s'appuie sur deux programmes complémentaires. Dès 2002, le Carbon Trust a identifié les énergies marines (vagues et courants) comme un domaine dans lequel le Royaume-Uni pourrait jouer un rôle majeur, à condition de mieux cerner un certain nombre de paramètres comme la performance, les coûts d'installation et de production, la survivabilité en mer. Dans un rapport de 2003 sur le développement des énergies renouvelables, le Carbon Trust a estimé que, pour être compétitif et maximiser les retombées économiques du développement des énergies renouvelables, le Royaume-Uni devait se concentrer sur ses atouts spécifiques, parmi lesquels les ressources en vagues, courants, et un nombre important de développeurs. S'appuyant sur les compétences développées dans l'exploitation pétrolière, la construction navale et la production d'énergie, le Carbon Trust est arrivé à la conclusion que le Royaume-Uni avait l'opportunité de devenir compétitif dans le domaine de la conception, de la fabrication, de l'installation et de l'exploitation des énergies marines.

Le Carbon Trust a cependant relevé qu'il était difficile d'évaluer les coûts, à terme, de l'énergie des vagues et des courants. C'est pour cette raison qu'il a initié, en 2004, le programme Marine Energy Challenge (MEC). Doté d'un budget de 3 M€ (4,5 M€)⁸⁹, ce programme de 18 mois ciblé sur le développement technologique s'est attaché à clarifier les coûts actuels de l'énergie des vagues et des courants, à identifier la

⁸⁹ Le taux de change entre l'euro et la livre sterling est resté relativement stable entre 2004 et 2007, avec 1 £ = 1,5 € environ. Il a fortement évolué en 2008.

réduction possible des coûts dans le futur et appréhender le potentiel de développement de ces énergies dans l'avenir.

Suite à la publication de ce rapport, le Carbon Trust a lancé au mois d'octobre 2006 un programme intitulé Marine Energy Accelerator (MEA), visant à accélérer les progrès à réaliser dans la diminution des coûts de l'exploitation des énergies marines. Ce projet est doté d'un budget de 3,5 M£ (5 M€).

L'éolien offshore n'est pas en reste. Le développement massif de l'éolien offshore au Royaume-Uni est un défi majeur à relever pour les dix prochaines années, et les investissements nécessaires pourraient s'élever à plus de 75 milliards de livres (90 milliards d'euros), un montant du même ordre de grandeur que ce qui a été investi pour l'exploitation pétrolière et gazière de la Mer du Nord pendant les 10 années où ces investissements ont été les plus importants. Le défi à relever est d'autant plus important que les coûts de l'éolien offshore ont doublé dans les 5 dernières années, ce qui a naturellement conduit les développeurs à réduire leurs investissements.

Devant ce constat, le Carbon Trust a initié au mois d'octobre 2008, sous le nom de Offshore Wind Accelerator (OWA), une collaboration avec cinq grandes compagnies de l'énergie visant à réduire d'au moins 10% les coûts de l'éolien offshore et surmonter ainsi l'un des principaux obstacles à son développement. Doté d'un budget de 30 M£, ce programme vise à conduire des actions majeures de recherche, de développement et de démonstration.

1.1.3. La fiabilité et la maintenance

- La fiabilité

Dans un contexte risqué comme peut l'être l'intervention en milieu marin, la fiabilité des machines est primordiale et les exploitants exigent des garanties auprès des constructeurs. Si la fiabilité de la machine s'avère être inférieure à la garantie constructeur (90%), celui-ci assume des pénalités garantissant ainsi un niveau de revenu à l'investisseur⁹⁰. C'est le même principe que le maintien en conditions opérationnelles.

Cette question de fiabilité est une barrière à l'entrée de nouveaux arrivants, en particulier de petites entreprises. Un opérateur ne va pas s'adresser à un constructeur qui n'a pas la surface financière nécessaire pour assurer les garanties. La fiabilité des machines est déterminée par les cabinets de risk assessment⁹¹, qui ont engrangé des données machine depuis des années.

- La maintenance

Les conditions difficiles des interventions en mer, et les aléas climatiques qui peuvent les retarder ou les prolonger, font de la maintenance un poste de dépense

⁹⁰ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

⁹¹ Risk assessment : évaluation et gestion du risque.

relativement élevé, et en tout état de cause plus élevé pour l'éolien offshore que pour l'éolien terrestre.

Les opérations de maintenance sont peu prévisibles, et les retours d'expérience des parcs existants sont difficilement extrapolables. Les fourchettes vont de 12 à 15 € par MWh produit sur un parc proche des côtes, en été, jusqu'à 30 € par MWh pour un parc éloigné, en hiver, soit du simple au triple. Sur un parc de 20 éoliennes, cette maintenance se traduit par une moyenne de 212 jours à la mer, avec une attente à terre importante qui coûte cher⁹².

Les coûts de maintenance, comme les coûts d'installation, varient également avec le marché puisque, dans les 3 à 5 dernières années, ils ont augmenté de + 250 %⁹³. Les premiers parcs éoliens offshore se situaient à proximité immédiate de la côte, ce qui facilitait les opérations de maintenance. Or l'accès aux machines ne peut se faire que sous 1 m de creux, voire 1,5 m avec des barges stabilisées, pour la maintenance simple. Dès lors qu'il s'agit de transférer du matériel, ces opérations posent la question du risque humain.

1.1.4. La fiscalité

- La redevance domaniale

L'occupation temporaire du domaine public à des fins privées par toute personne donne lieu, outre les autorisations préalables, au paiement d'une redevance pour occupation du domaine public. Elle comprend une part fixe forfaitaire par machine installée, et une part variable fonction de la puissance installée. L'arrêté du 2 avril 2008 précise les modalités de calcul de la redevance⁹⁴ :

- un premier élément, fixe, de 1 000 € par unité de production et de 1 € par mètre linéaire de raccordement (sur le domaine public uniquement) ;
- un deuxième élément, variable, de 6 000 € par MW installé.

Dans le cadre de l'occupation du domaine public maritime, et donc pour l'éolien offshore, un abattement de 50 % par mètre linéaire de raccordement est appliqué, et le deuxième élément est ramené à 4 000 € par MW installé.

- La taxe spéciale

Il existe, pour l'éolien offshore, une taxe spéciale annuelle de 12 500 € par MW installé, qui se substitue à la taxe professionnelle classique. Le produit de cette taxe est affecté à un fonds national de compensation de l'énergie éolienne en mer. La moitié est répartie par le Préfet entre les communes d'où sont visibles les installations en tenant compte de la distance d'éloignement et de la population de

⁹² Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

⁹³ *Ibid.*

⁹⁴ Arrêté du 2 avril 2008 fixant le tarif des redevances dues pour occupation du domaine public de l'Etat par des installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent et par leurs équipements accessoires.

ces communes. L'autre moitié est gérée par le Conseil général dans un fonds départemental pour les activités maritimes de pêche et de plaisance.

Les articles 1519B et 1519C du Code général des impôts fixent le montant de la taxe générée par l'éolien offshore et les modalités de sa redistribution. Le décret du 26 août 2008 vient préciser les modalités d'application de ces mesures. Il définit notamment la notion de visibilité en la limitant à un rayon de 12 milles autour de l'installation de production électrique, mais laisse en revanche le Conseil général libre de déterminer les critères de répartition du produit de la taxe qu'il perçoit⁹⁵.

Pour un projet comme celui de Powéo en baie de Saint-Brieuc, le montant annuel des taxes serait de 1,8 millions d'euros.

1.1.5. Les mécanismes incitatifs

- Les aides directes

Les acteurs publics peuvent intervenir directement dans le montage financier des projets, dans le but notamment de soutenir l'étape difficile de leur émergence. En Allemagne, par exemple, devant la montée prévisible des coûts d'installation des parcs éoliens en mer, l'Etat a décidé de prendre en charge le raccordement au réseau et paie les 150 premiers kilomètres de câble. La Belgique ne semble pas suivre cette voie mais a quand même financé à hauteur de 20% le câble du premier parc éolien du Thorntonbank.

D'autres aides sont possibles : la Région Pays de la Loire et l'Etat financent dans le cadre du Contrat de projets Etat-Région 2007-2013 le projet de site de démonstration Semrev, à hauteur de 5,5 M€, dont 2,2 M€ de la Région. La Région Bretagne, de son côté, a décidé de soutenir le projet pré-industriel de Paimpol-Bréhat, porté par EDF, à hauteur de 3,1 M€.

- Le rachat de l'électricité

Initié aux États-Unis et introduit en Europe par l'Allemagne, le rachat contractuel de l'électricité produite avec des énergies renouvelables est un outil économique et politique visant à accompagner le développement de nouvelles filières, en sécurisant la prise de risque financière sur des technologies émergentes et non rentables. Cet accompagnement a pour objectif de stimuler l'intérêt porté à ces nouvelles filières, de favoriser les investissements et d'améliorer leur rentabilité.

Deux approches sont classiquement utilisées pour soutenir le développement des énergies renouvelables : une approche par les prix (tarifs de rachat en France, Allemagne, Espagne : le marché fixe les quantités) et une approche par les quantités (certificats négociables en Belgique, Italie, Royaume-Uni : le marché fixe les prix).

⁹⁵ Décret n° 2008-851 du 26 août 2008 relatif aux conditions d'application et de répartition de la taxe annuelle sur les installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent situées dans les eaux intérieures ou la mer territoriale.

En France, c'est la loi du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité qui prévoit les conditions de rachat de l'électricité produite à partir de sources renouvelables. L'article 10 de cette loi prévoit que certaines installations peuvent bénéficier de l'obligation d'achat de l'électricité qu'elles produisent, par EDF ou les distributeurs non nationalisés, à des tarifs réglementés. Ces installations sont celles qui valorisent les déchets ménagers ou assimilés et qui utilisent les énergies renouvelables. Le Préfet délivre au demandeur, s'il y a lieu, un certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat d'électricité.

Les arrêtés du 10 juillet 2006 et du 1^{er} mars 2007 précisent les tarifs de rachat de l'électricité produite à partir des énergies marines :

- 13 c€/kWh pendant 10 ans pour l'éolien offshore, puis 3 à 13 c€/kWh pendant 10 ans selon la durée annuelle de fonctionnement des installations⁹⁶ ;
- 15 c€/kWh pendant 20 ans pour les installations utilisant l'énergie houlomotrice, marémotrice ou hydrocinétique⁹⁷.

La Belgique, l'Italie et le Royaume-Uni ont mis en place, avec quelques variantes, un marché de certificats verts. Cet instrument de soutien repose sur la création d'un marché financier sur lequel s'échangent des titres attribués à des installations certifiées, produisant de l'électricité à partir de sources renouvelables. En Belgique, une installation certifiée reçoit pendant 10 ans des certificats verts, en fonction de sa production électrique et de son économie de CO₂. Ces titres sont échangés soit sur une place boursière, soit via des contrats bilatéraux. Les bénéfices que tirent les producteurs de la vente de ces certificats constituent une rentrée financière s'ajoutant au produit de la vente de leur électricité au réseau électrique⁹⁸.

Tableau 8. Mécanismes incitatifs de quelques pays pour l'éolien offshore.

Pays	Mécanisme	Durée	Montant en c€/kWh
Allemagne	Tarif d'achat	20 ans	14 c€ jusqu'en 2013 12 c€ au-delà
Belgique	Tarif d'achat fixé au niveau fédéral ou certificats verts en régions	10 ans 10 ans	9 c€ 10,7 c€ en 2008 (marché)
Danemark	Prix du marché + prime	20 ans	7 c€ en 2007 (marché)
Espagne	Tarif d'achat ou prix du marché + prime	20 ans	12 à 16,4 c€ en 2007 (marché)
France	Tarif d'achat	20 ans	13 c€ pendant 10 ans puis 3 à 13 c€ pendant 10 ans, selon le facteur de charge
Italie	Certificats verts		13,7 c€ en 2007 (marché)
Pays-Bas	Prix du marché + prime		10,6 c€ en 2008 (marché)
Portugal	Tarif de rachat	15 ans	7,5 c€
Royaume-Uni	Prix du marché + 1,5 ROC (certificat d'obligation d'achat)	Jusqu'en 2027	13,5 c€ en 2007 (marché) 17 c€ en 2009

Sources : Agence économique de Bretagne, EWEA, EurObserver, KPMG.

⁹⁶ Arrêté du 10 juillet 2006 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie mécanique du vent.

⁹⁷ Arrêté du 1^{er} mars 2007 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs, cours d'eau et mers.

⁹⁸ *Mise en place d'un marché des certificats verts en Belgique*. Etude réalisée pour le cabinet du Secrétaire d'Etat à l'énergie et au développement durable, juillet 2000.

Tableau 9. Mécanismes incitatifs de quelques pays pour l'énergie des vagues et des courants.

Pays	Mécanisme	Durée	Montant en c€/kWh
France	Tarif de rachat	20 ans	15 c€
Portugal	Tarif de rachat	15 ans	23 c€
Royaume-Uni	Prix du marché + 2 ROC Ecosse : prix du marché + 3 ROC pour les courants ; prix du marché + 5 ROC pour les vagues.	Jusqu'en 2027	

Source : Carbon Trust.

Le tarif d'achat a été fixé en France à 15 c€/kWh. Ce tarif est jugé insuffisant pour des technologies qui en sont au stade de la démonstration, et pour lesquelles les investissements et les risques sont élevés. C'est le Portugal qui offre le tarif le plus intéressant (23 c€/kWh).

1.2. L'organisation industrielle

C'est la recherche de la sécurisation logistique qui prime dans l'organisation industrielle.

1.2.1. Les acteurs de la chaîne industrielle

La chaîne industrielle fait appel à un ensemble de spécialisations pour :

- la conception de la machine (architecture et ingénierie) ;
- la construction des différents composants de la machine ;
- l'installation en mer ;
- la maintenance ;
- le démantèlement.

Les 4 principaux constructeurs d'éoliennes au monde (Vestas, Gamesa, GE Wind et Enercon) concentrent 70% des parts de marché. L'arrivée de constructeurs chinois pourrait amener certains fabricants européens à se concentrer davantage sur le marché de l'offshore, qui nécessite des technologies plus avancées. Actuellement, la concurrence sur le marché de l'offshore reste limitée. Elle oppose essentiellement Vestas et Siemens mais de nouveaux constructeurs comme Repower et Multibrid, qui se spécialisent sur les éoliennes de grande puissance (5 MW aujourd'hui), se sont déjà vu confier la construction d'éoliennes offshore⁹⁹.

Dans la chaîne de valeur moyenne d'une éolienne, les pales constituent le premier poste de dépense. C'est un poste de forte intensité capitalistique. La plupart des constructeurs fabriquent eux-mêmes leurs pales et sous-traitent peu. Le premier constructeur de pales au monde est la société danoise LM Glasfiber, un ancien constructeur de yachts.

⁹⁹ EurObserv'Er, février 2008. *Le baromètre éolien*.

Tableau 10. Chaîne de valeur moyenne d'une éolienne terrestre.

Ensemble	Composants	Valeur
Rotor	Pales	21 %
	Moyeu	7 %
	Pitch	4 %
Nacelle	Transmission	13 %
	Générateur	19 %
	Châssis	4 %
	Capot	2 %
	Orientation	2 %
	Autres	12 %
Mât		21 %
Fondations		5 %

Source : *Druide Conseil, 2008.*

Certains constructeurs ont une maîtrise totale de l'intégration, et le marché est donc concentré et difficile à pénétrer. Les acteurs historiques maîtrisent les process et proposent des produits fiabilisés, normés et garantis. La fiabilité exigée et les process de risk assessment favorisent ces acteurs historiques¹⁰⁰.

Il y a cependant certains secteurs qui restent ouverts. Les sites de production nécessitent de l'espace, et la proximité de plateformes logistiques adaptées (sites portuaires, autoroutes). Les contraintes liées aux transports sont déterminantes et incitent les fabricants à se rapprocher de leurs marchés et à ouvrir des unités de production proches des sites. La société LM Glasfiber, créée au Danemark en 1978, a ainsi ouvert des unités de production en Inde, en Espagne, en Allemagne, aux Etats-Unis, en Chine...

Par ailleurs, et sans doute de façon conjoncturelle, les capacités industrielles sont saturées ou en tension : il faut deux ans pour obtenir une machine, 8 mois au mieux, et des sous-traitances de capacité peuvent être recherchées. Il y a donc un créneau temporel favorable pour de nouveaux entrants.

La sous-traitance est possible pour les opérations d'installation, de réalisation des ouvrages de raccordement au réseau, la maintenance, le suivi des performances des machines et l'analyse des paramètres. Un parc expérimental peut permettre ponctuellement cette sous-traitance. Désormais, l'intérêt est de développer une véritable filière et les activités de services et industrielles qui vont l'accompagner.

1.2.2. Une place pour l'innovation

L'industrie des énergies marines est une activité nouvelle qui puisera ses ressources dans d'autres secteurs, comme l'éolien offshore l'a fait dans l'éolien terrestre depuis le début des années 90.

¹⁰⁰ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

Il y a tant de concepts différents pour l'exploitation des énergies marines que, malgré des avancées significatives, aucun arbitrage ne permet de dégager avec certitude les « bonnes » technologies, c'est-à-dire celles qui sont performantes en termes de production, solides et fiables, et acceptées socialement. Des ruptures technologiques sont attendues et une place existe pour l'innovation, notamment pour le développement de technologies qui seront spécifiques au milieu marin et qui sauront exploiter ses particularités. C'est d'ailleurs ce qui intéresse les industriels et, dans ce domaine, les ressources seront plutôt à chercher du côté de secteurs d'activités spécifiques comme l'offshore pétrolier, les services, la construction navale.

Dans ce créneau, la Bretagne possède des compétences et des savoir-faire qui peuvent être mobilisés. Aujourd'hui d'ailleurs, des acteurs industriels s'engagent en Bretagne en faveur du développement des énergies marines.

Tableau 11. Engagements d'acteurs économiques en Bretagne.

Société	Siège / implantation en Bretagne	Activités	Implication
EDF	Chatou / délégation Bretagne	Electricité	Site de démonstration Paimpol - Bréhat Projet Harvest IPANEMA Equimar
Areva	Paris	Energie nucléaire	Projet Searev
Powéo / Espace Eolien Développement	Paris Rennes	Electricité, gaz	Projet éolien offshore de la baie de Saint-Brieuc
Nass&Wind Offshore	Ploemeur	Eolien offshore	Projets éoliens offshore en baie de Saint-Brieuc et au large de Lorient Projet Winflo
DCNS	Paris / Brest / Lorient	Systèmes navals de défense	Projet Sabella Projet Winflo IPANEMA
Saipem s.a. / Sofresid engineering	Saint-Quentin en Yvelines / Brest / Lorient	Services pour l'industrie pétrolière et gazière	Projet Sabella Projet Winflo Projet Searev
HydroHelix Energies	Quimper	Systèmes hydrauliques et énergétiques	Projet Sabella
Dourmap	Brest / Quimper	Equipements et installations électriques	Projet Sabella
L'Aquafile	Landéda / Lyon	Technologies maritimes innovantes	Projet Hydro-Gen
Florian Madec Composites	Brest	Matériaux composites pour l'aéronautique et le naval	Projet Sabella
Enag	Quimper	Conversion d'énergie, électromécanique, électronique	Projet Sabella
Institut de la corrosion	Brest	Protection contre la corrosion	Projet Sabella Projet Diwet
Timolor	Lorient	Construction navale, industrie, équipement	Projet Diwet
Lorima	Lorient	Mâts carbone	Projet Diwet

1.3. Les marchés

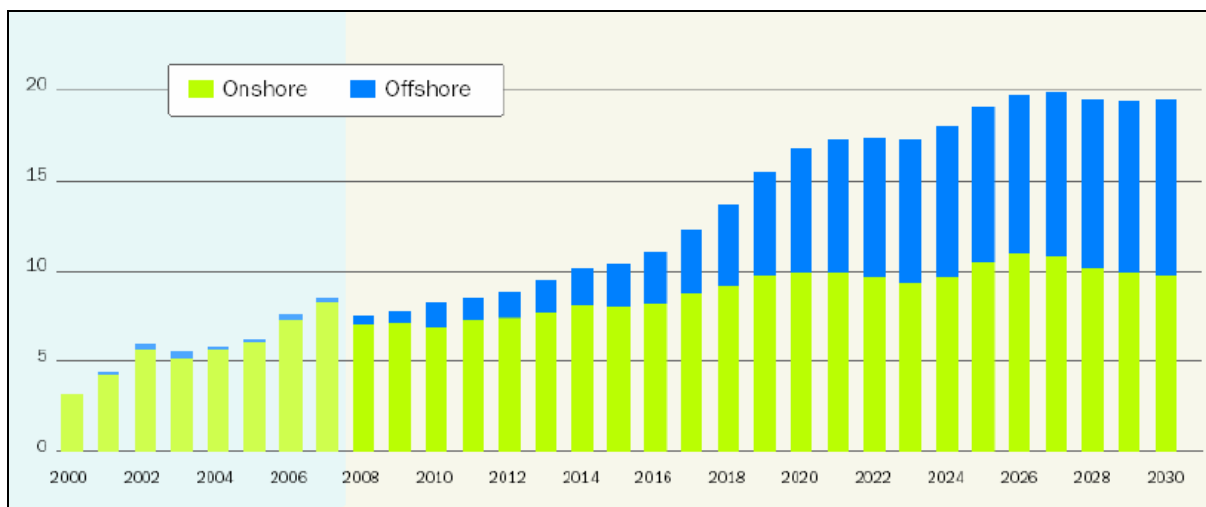
C'est l'existence d'un marché qui peut justifier des investissements de plusieurs millions d'euros. Or aujourd'hui, le marché des énergies marines est inexistant. Seul le marché de l'éolien offshore classique commence à exister.

Il est important de distinguer les pays développeurs (de technologies) des pays clients (qui ont des ressources exploitables). Les deux sont intimement liés aujourd'hui parce que les marchés sont plutôt restreints, mais cela ne saurait durer avec des marchés de plus en plus mondiaux.

1.3.1. Eolien offshore : un marché en construction

Le marché de l'éolien offshore est encore presque une niche avec, au niveau mondial, un peu plus de 1 000 MW installés à la fin 2007¹⁰¹ contre 93 000 MW terrestres. Il s'est développé autour de la mer du Nord essentiellement. Mais le développement attendu de ce marché le rend aussi important, à terme, que l'éolien terrestre en capacité installée, et donc supérieur en valeur.

Figure 55. Développement prévisible de l'éolien terrestre et de l'éolien offshore, en termes de capacités installées (GW).



Source : Druide Conseil, 2008.

L'EWEA (European Wind Energy Association) a étudié plusieurs scénarios de développement de l'éolien offshore en Europe, en se basant sur l'évolution des dernières années. Si le rythme de développement actuel se poursuit, et compte tenu des tensions sur le marché que cela pourrait provoquer, l'EWEA estime que 3 à 4 GW pourraient être installés en 2010, 10 à 15 GW en 2015 et 20 à 50 GW en 2020.

¹⁰¹ 1 500 MW installés à la fin 2008.

Le marché annuel serait donc de 2 à 6 GW entre 2015 et 2020, et 5 à 10 GW entre 2020 et 2030. En s'appuyant sur le nombre de sites accessibles avec les technologies actuelles, on estime qu'il y aura un plafond vers 2025. En revanche, ce modèle ne prend pas en compte une possible rupture technologique qui ouvrirait d'autres perspectives.

Un article de presse récent s'intitule « *Le vrai marché du vent se trouve à terre* »¹⁰². C'est vrai aujourd'hui, d'autant plus que l'auteur de l'article est un haut responsable de Vestas qui a choisi de se concentrer sur le domaine terrestre. Mais le marché de l'éolien offshore attire aussi beaucoup de monde, et surtout les gros énergéticiens intéressés par des centrales (E.ON, RWE, British Energy...).

- Des annonces...

Depuis plusieurs années, plusieurs pays se lancent massivement dans le développement de l'éolien offshore, comme le Danemark historiquement ou le Royaume-Uni et l'Allemagne plus récemment. En janvier 2009, 25 parcs éoliens offshore étaient opérationnels en Europe, pour une puissance cumulée de 1 500 MW, répartis dans 6 pays : le Danemark, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, la Suède, l'Irlande et la Belgique¹⁰³.

Figure 56. Parcs éoliens offshore opérationnels (en noir) ou en projet pour 2008-2009 (en bleu).



Source : EWEA, 2007.

Le développement des parcs éoliens offshore est resté anecdotique entre 1991 et 2000. Ce n'est qu'à partir des années 2001-2002 qu'il s'est réellement enclenché. Le Danemark a longtemps été leader, mais semble marquer une pause. Avec l'achèvement à l'automne d'un parc de 200 MW, le Royaume-Uni est devenu le premier producteur d'énergie éolienne offshore.

¹⁰² Les Echos, 16-17 mai 2008. *Eolien* : « *Le vrai marché du vent se trouve à terre* ».

¹⁰³ EWEA, janvier 2009. *Offshore Statistics January 2009*.

Figure 57. Capacités annuelles et cumulées installées en Europe entre 1998 et 2007.



Source : EWEA.

C'est le plan d'actions pour l'énergie du Danemark (Energy 21) qui est le plan le plus ancien pour le développement de l'éolien offshore : publié en 1996, il prévoyait 4 000 MW en 2030¹⁰⁴. Dix ans plus tard, seulement 426 MW sont installés.

Le gouvernement britannique considère l'éolien offshore comme le principal moyen d'atteindre les objectifs fixés au niveau européen pour la production d'énergies renouvelables. En décembre 2007, il a annoncé un plan ambitieux de développement de l'éolien offshore visant à atteindre l'installation de 33 GW (33 000 MW) en 2020¹⁰⁵. Le Royaume-Uni est devenu, à la fin 2008, le leader mondial de l'éolien offshore avec 591 MW installés, 1 500 MW en construction et 6 800 MW planifiés.

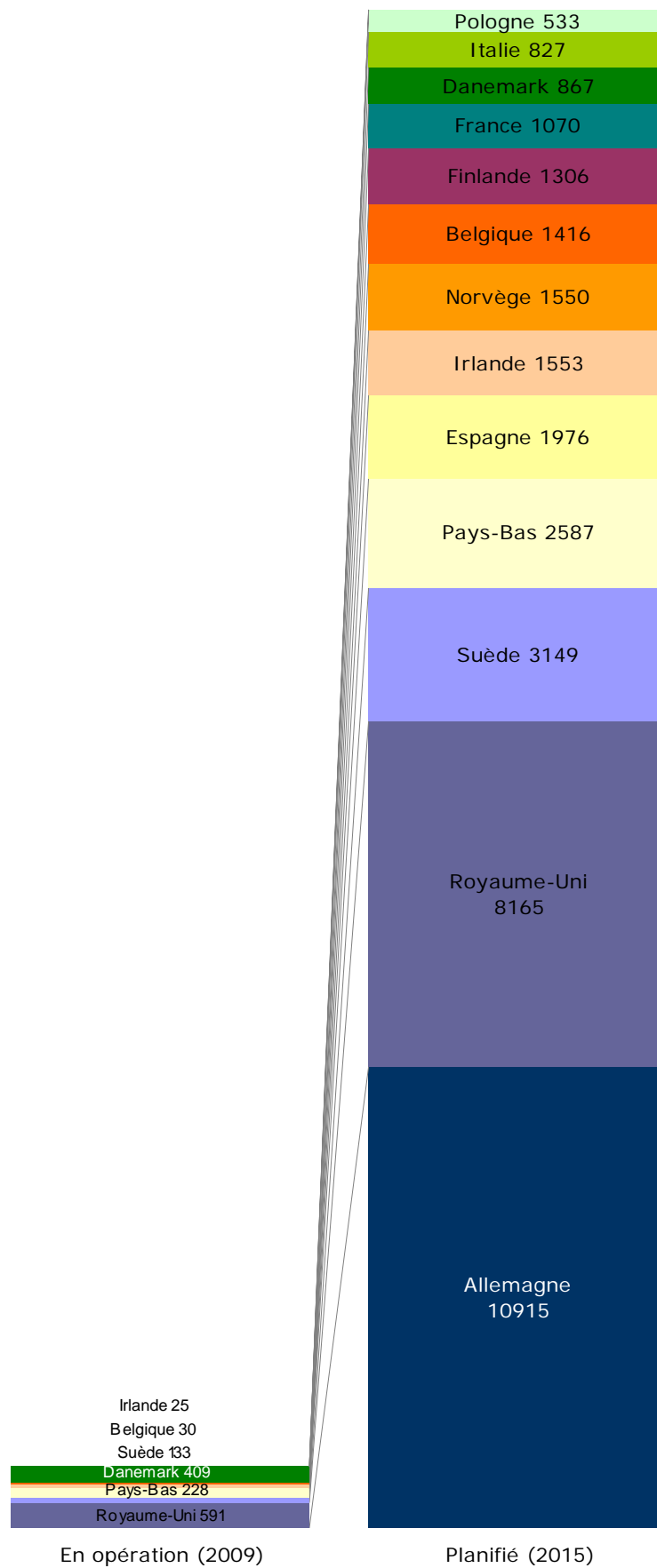
L'Allemagne, où le développement des énergies renouvelables est vu comme une véritable opportunité de développement économique, a de son côté présenté en 2008 un plan de développement de l'éolien offshore visant à installer 25 GW (25 000 MW) en 2030, en Mer du Nord et en Mer Baltique¹⁰⁶. A ce jour, il n'y a encore aucun parc éolien offshore en Allemagne, mais près de 11 000 MW sont planifiés.

¹⁰⁴ Danish Energy Agency, avril 1996. *Energy 21 : The Danish Government's Action Plan for Energy*.

¹⁰⁵ BWEA, juillet 2008. *Actions for 33 GW. Actions to Facilitate the Delivery of Government's Offshore Wind Ambition of 33 GW*.

¹⁰⁶ Ambassade de France en Allemagne, 22 novembre 2007. *Etat de l'éolien en France et en Allemagne*.

Figure 58. Capacités installées en janvier 2009 et planifiées pour 2015 (MW).



Source : d'après EWEA, janvier 2009.

- ... et des effets d'annonce

A côté de ces annonces politiques, les annonces des constructeurs donnent également l'impression d'une course au gigantisme : le parc Horns Rev, au Danemark, est actuellement le plus grand parc éolien offshore du monde avec 160 MW installés. Cette dimension sera rapidement dépassée avec les records annoncés des parcs de Greater Gabbard, au Royaume-Uni, avec 500 MW ; Borkum (Allemagne) avec 750 MW ; London Array (Royaume-Uni), avec 1 000 MW ; Tromp (Pays-Bas) avec 1 150 MW ; Kriegers Flak (Allemagne et Danemark), avec 1 500 MW, ou encore un projet de 5 000 MW dans le Golfe du Maine... L'Allemagne, en particulier, annonce avoir planifié pour 2015 un nombre significatif de parcs de 400 MW, et plusieurs dépassant 600 MW¹⁰⁷.

Dans le même temps, on apprend le désengagement de BP puis de Shell des projets éoliens offshore du Royaume-Uni¹⁰⁸, les difficultés de l'Allemagne dans la construction de son premier parc offshore, différé à l'été 2009, ou encore les effets de la crise économique qui hypothèquent la poursuite de l'installation du premier parc belge¹⁰⁹... Il y a donc toujours un décalage entre les annonces et la réalité. Il faudrait pouvoir aller voir, parc par parc, le niveau d'installation, car il faut au minimum entre 5 et 7 ans pour qu'un projet aboutisse. L'installation des premières éoliennes en Belgique s'est faite après 10 ans de montage du projet...¹¹⁰

L'éolien offshore classique est donc une technologie mature, et devrait se développer de façon significative dans les années à venir. Mais, en tant qu'activité nouvelle, elle génère des incertitudes dont il est important de bien prendre la mesure, notamment pour exprimer des délais de concrétisation qui soient réalistes.

En appui au plan de relance de l'Union européenne, la Commission a proposé un investissement supplémentaire de 3,5 milliards d'euros dans le secteur de l'énergie, sur les thèmes du piégeage et du stockage du carbone, de la production éolienne offshore, et des interconnexions gazières et électriques. Avec une enveloppe dédiée de 500 millions d'euros, l'Europe apportera ainsi son soutien à des projets en eaux profondes, et éloignés des côtes comme Baltic et Kriegers Flak en Mer Baltique, Alpha Ventus et Thorntonbank en Mer du Nord¹¹¹.

1.3.2. Energie des vagues et des courants : un marché inexistant, des annonces plus timides

Les annonces de projets hydroliens ou houlomoteurs se font plus discrètes. Toutefois, certains pays comme le Royaume-Uni, l'Irlande ou la Norvège ont affirmé des politiques volontaristes de soutien à la R&D dans ce domaine, et sont aujourd'hui en avance dans le développement technologique.

¹⁰⁷ EWEA, janvier 2009. *Offshore Statistics January 2009*.

¹⁰⁸ Les Echos, 6 mai 2008. *Un projet éolien majeur menacé par le retrait de Shell*.

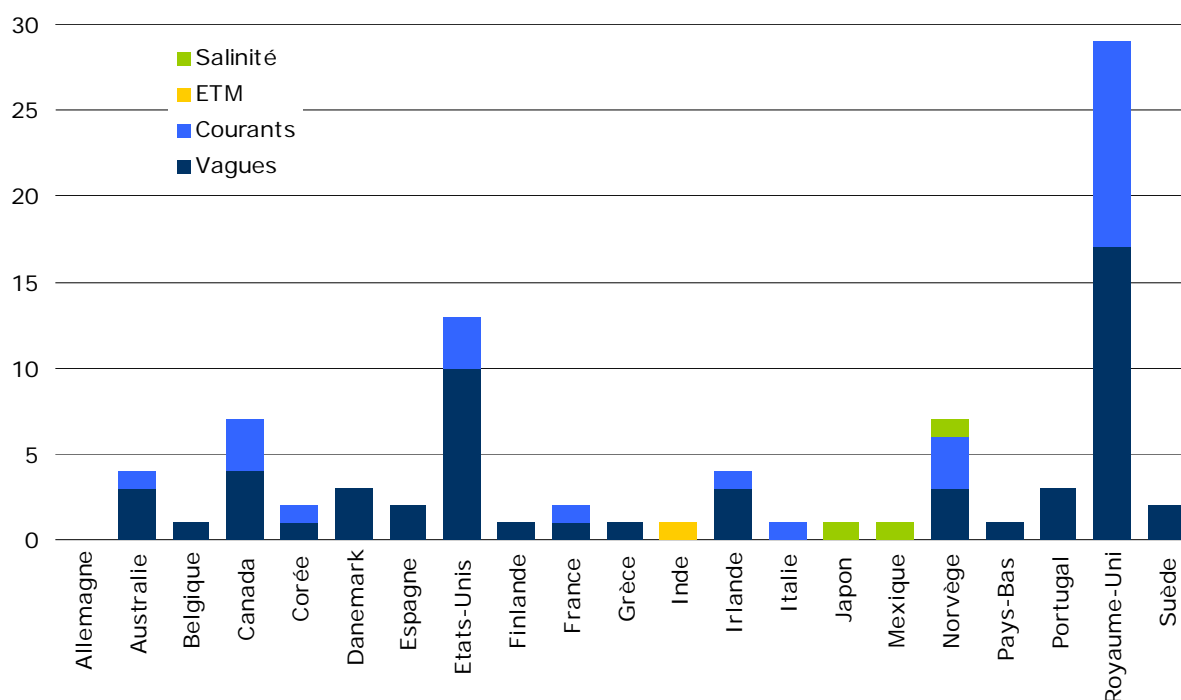
¹⁰⁹ Trends.be, 12 novembre 2008. *Plus d'argent pour les 30 éoliennes de la mer du Nord*.

¹¹⁰ Le Marin, 23 mai 2008. *Construction d'une méga ferme éolienne au large de Zeebrugge*.

¹¹¹ Commission européenne, communication du 28 janvier 2009.

C'est le Royaume-Uni qui est le plus actif dans le développement de ces énergies marines, notamment en Ecosse et en Cornouailles. Il arrive largement en tête devant les autres pays en nombre de technologies en développement, avec une feuille de route qui prévoit un objectif de 2 000 MW installés en 2020, soit un doublement de la capacité installée chaque année¹¹². Cela représente un marché important, et de nouveaux concepts devraient mener à de véritables ruptures technologiques¹¹³.

Figure 59. Nombre de projets en développement en 2006 par type et par pays.



Source : IEA-OES, 2006.

L'Espagne s'est récemment positionnée dans l'exploitation des énergies marines en Mer Cantabrique, en annonçant un objectif modeste de 10 MW en 2014, puis de 300 à 500 MW en 2020. Le Pays Basque et la Cantabrie souhaitent tester les prototypes existants pour en sélectionner quelques-uns en vue d'une production industrielle¹¹⁴.

1.3.3. Algo-carburants : des annonces à la mesure des enjeux pétroliers

Sans doute parce qu'ils sont une possible alternative au pétrole, les algo-carburants font l'objet d'annonces chiffrées en dizaines de millions de dollars. Il est d'ailleurs difficile de connaître précisément le degré d'avancement des différents projets existant dans le monde tant les effets d'annonce sont monnaie courante¹¹⁵.

¹¹² UK Energy Research Center, *Marine Renewable Energy Technology Roadmap*.

¹¹³ Audition de MM. Cyrille ABONNEL et Philippe GUILLAUMEUX (EDF) le 15 mai 2008.

¹¹⁴ Ambassade de France en Espagne, janvier 2009. *Energies renouvelables : les atouts espagnols*.

¹¹⁵ Le blog des énergies de la mer <http://energiesdelamer.blogspot.com>

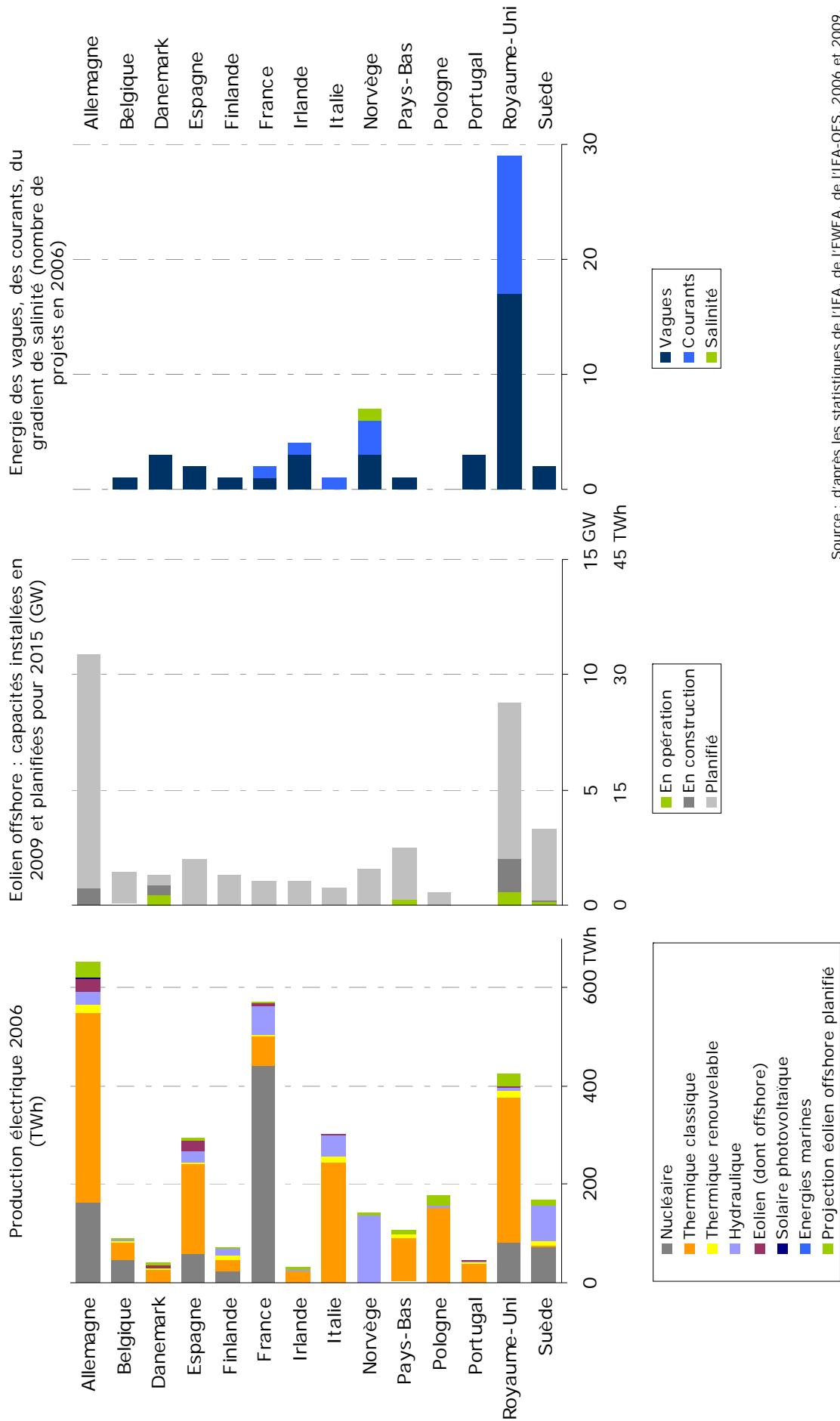
1.3.4. Des politiques énergétiques variées en Europe

Les pays européens qui se lancent aujourd'hui dans le développement des énergies marines ont des profils variés. L'Allemagne qui semble se spécialiser sur l'éolien offshore, et le Royaume-Uni qui investit dans l'ensemble des énergies marines, sont tous les deux de gros producteurs d'électricité, avec une production majoritairement d'origine thermique classique (charbon, gaz, pétrole).

L'Espagne et l'Italie, qui ont des profils similaires, n'investissent que peu dans les énergies marines. Mais ils ont tous deux des ressources énergétiques limitées et s'intéressent plus à l'énergie éolienne terrestre et à l'énergie solaire.

La France, qui est le deuxième producteur européen d'électricité derrière l'Allemagne, a un profil énergétique spécifique du fait de sa production électrique essentiellement d'origine nucléaire, et s'investit encore peu dans le développement des énergies marines alors qu'elle dispose d'une bonne ressource.

Figure 60. Comparaison des profils de plusieurs pays d'Europe et de leurs engagements dans les énergies marines.



Source : d'après les statistiques de l'IEA, de l'EWEA, de l'IEA-OES, 2006 et 2009.

1.3.5. Waveplam : un projet européen centré sur les marchés

L'objectif du projet européen Waveplam (Wave Energy Planning and Marketing) est de développer des outils et d'établir des méthodes et des standards pour accélérer l'introduction des énergies marines sur le marché européen des énergies renouvelables. C'est le premier projet européen, dans le domaine des énergies marines, qui soit centré sur les marchés. Il est financé dans le cadre du 6^{ème} PCRD et regroupe des partenaires de plusieurs pays européens engagés dans le développement de l'énergie des vagues.

1.4. Risques et marchés financiers

L'émergence des énergies marines suppose une prise de risques non négligeable pour un grand nombre d'acteurs, et en particulier pour les investisseurs. Les effets d'annonce et l'incertitude sur les marchés ne font que renforcer ce risque. La réalisation d'un projet au stade industriel se chiffre en effet en centaines de millions d'euros, et celle d'un prototype ou d'un parc de démonstration en dizaines de millions d'euros. Si les premiers permettent d'espérer la rentabilité financière, et donc le retour sur investissement, ce n'est pas le cas des seconds.

L'investissement socialement responsable (ISR) est fondé sur la conviction que la prise en compte de facteurs environnementaux, sociaux et de gouvernance, en plus des facteurs strictement financiers, assure la performance financière des sommes investies à moyen et long termes compte tenu d'une meilleure appréhension des risques. Il peut prendre plusieurs formes :

- les fonds ISR ou de développement durable, constitués d'actions ou d'obligations répondant à une double sélection, financière et extra-financière ;
- les fonds d'exclusion, plus répandus dans les pays anglo-saxons, qui excluent, pour des raisons morales ou religieuses, certains secteurs comme l'armement, le jeu, ou le tabac ;
- l'engagement actionnarial qui consiste, pour les investisseurs, à exiger des entreprises une politique de responsabilité sociale et environnementale plus forte via un dialogue direct avec les actionnaires ;
- les fonds thématiques, investis dans des entreprises dont l'activité contribue au développement durable au sens large : production d'énergie renouvelable, efficacité énergétique, gestion de l'eau, déchets ou santé¹¹⁶.

C'est à travers le portefeuille ISR que les investisseurs regardent le monde de la mer. Mais selon Jean-Michel MAINGAIN, Directeur général de Federal Finance, le marché des énergies marines est encore trop limité, trop expérimental et trop risqué pour les investisseurs, avec des retours sur investissement très insuffisants pour leurs portefeuilles¹¹⁷. Seuls les marchés de l'éolien offshore et de la désalinisation commencent à les intéresser. Federal Finance, qui a lancé en 2008 un fonds

¹¹⁶ Novethic.

¹¹⁷ Intervention de M. Jean-Michel MAINGAIN, Directeur général de Federal Finance, aux entretiens Science et éthique les 18 et 19 octobre 2007 à Brest.

thématique « Planète bleue » consacré aux énergies renouvelables, à l'eau et aux déchets, est cependant devenu partenaire du blog sur les énergies de la mer, s'assurant ainsi une veille internationale quotidienne sur la recherche, le développement, les entreprises et les technologies dédiées aux énergies renouvelables en mer¹¹⁸.

Dans un premier temps, c'est donc plutôt vers les sociétés de capital-risque que l'on devrait se tourner. Ces sociétés investissent au capital d'entreprises au moment de leur création et pendant les premières années de leur développement, de façon à dégager une plus-value sur le moyen terme par la revente de ces entreprises. Parmi les investissements réalisés par les sociétés de capital-risque, les investissements dans les éco-activités sont en nette progression depuis le premier semestre 2007¹¹⁹. L'indicateur Chausson Finance, qui recense les investissements réalisés chaque semestre dans le domaine des nouvelles technologies, fait état de 6 entreprises financées au premier semestre 2007, principalement dans les énergies renouvelables, de 27 au deuxième semestre 2007 et de 44 au premier semestre 2008, pour un montant de 67 millions d'euros sur 18 fonds de capital-risque¹²⁰. Aux Etats-Unis, 1,5 milliards de dollars auraient été investis dans les éco-activités en 2006, un chiffre du même ordre de grandeur que celui des investissements dans les technologies de l'information et de la communication (TIC) en 1996¹²¹.

Un rapport publié par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) le 1^{er} juillet 2008 a montré qu'avec la fin du pétrole bon marché, les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique attiraient de plus en plus l'intérêt des investisseurs. Ainsi, 148 milliards de dollars ont été investis dans les énergies renouvelables en 2007 au niveau mondial, soit une augmentation de 60% par rapport à l'année précédente, en dépit de l'instabilité des marchés. C'est l'énergie éolienne qui a attiré le plus d'investissements (50 milliards de dollars). La plupart des nouveaux fonds ont été investis en Europe, puis aux Etats-Unis, mais la Chine, l'Inde et le Brésil attirent de plus en plus l'intérêt des investisseurs. Les investissements pourraient atteindre 450 milliards de dollars par an d'ici 2011, et 600 milliards d'ici 2020¹²².

Malgré la crise, les investissements dans les éco-activités devraient se poursuivre en 2009, selon les prévisions de la National Venture Capital Association (NVCA) rapportées dans un article de la Tribune de janvier 2009. Mais s'ils semblent quelque peu épargnés par la crise, les fonds de capital-risque devraient, toujours selon cet article, privilégier des projets moins capitalistiques tels que l'efficacité énergétique, les réseaux intelligents de distribution d'énergie, la gestion de l'eau ou le recyclage, au détriment des énergies renouvelables. Les investisseurs devraient se concentrer sur les entreprises les plus prometteuses. Dans ce contexte, les grands groupes de l'énergie joueront un rôle important de partenaires financiers¹²³.

¹¹⁸ Federal Finance, 3B conseils, communiqué de presse du 21 août 2008.

¹¹⁹ Voir, à ce sujet, l'étude du CESR sur les éco-activités à paraître en juin 2009.

¹²⁰ L'indicateur Chausson Finance, 2007 et 2008.

¹²¹ Le Monde, 19 novembre 2007. *Les investisseurs parient sur les petites entreprises éco-technologiques.*

¹²² PNUE, 1^{er} juillet 2008. *Les investissements dans l'énergie propre augmentent malgré l'instabilité des marchés financiers.*

¹²³ La Tribune, 6 janvier 2009. *Investissements en hausse pour les valeurs vertes en 2009.*

D'ailleurs, les grands groupes pétroliers ont amorcé un virage vers les énergies renouvelables : BP, dès 2005, a créé une branche dédiée aux énergies alternatives suivi par Shell dans les domaines de l'éolien, du solaire, des biocarburants, de l'hydrogène, puis Total sur le solaire photovoltaïque et la biomasse¹²⁴... Du côté des acteurs du nucléaire, Areva développe une offre en énergies renouvelables à côté de la relance du nucléaire, et EDF, via sa filiale EDF Energies nouvelles, marque également son engagement dans les énergies renouvelables.

Dans une interview donnée à Usine Nouvelle, Olivier Dupont, directeur de la société Demeter, spécialiste du capital-investissement dans les éco-activités, indique que ces dernières sont effectivement peu affectées par la crise, mais que les entreprises concernées devraient connaître des difficultés pour financer leurs projets, et que cela se fera à des taux d'intérêt plus élevés. Les difficultés de trésorerie obligeront également les sociétés de capital-risque à refinancer les entreprises et à investir d'autant moins dans de nouvelles participations¹²⁵.

2. Les emplois et les métiers des énergies marines

2.1. Le marché de l'emploi

Les métiers et les formations dans le domaine des énergies renouvelables font depuis quelques années l'objet d'une redéfinition, et semblent aujourd'hui mieux pris en compte dans les statistiques de l'emploi. L'ADEME a publié, en juillet 2008, une étude sur les marchés et les emplois des activités liées à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables. Elle dresse un tableau de bord des marchés et de l'emploi en 2006-2007 et donne des perspectives pour 2012. Afin de contribuer à la mise en œuvre des mesures du Grenelle de l'environnement et de vérifier leur efficacité, l'ADEME s'engage à actualiser régulièrement ce tableau de bord. On apprend néanmoins, dès l'introduction, que « *l'étude couvre l'ensemble des systèmes de production d'énergie d'origine renouvelable, à l'exception de la grande hydraulique et des différentes formes d'énergie des mers* »¹²⁶, ce qui s'avère très regrettable, même si on en comprend les raisons.

En l'état actuel du développement des énergies marines en France, il n'est bien sûr pas possible de dénombrer les emplois liés à ce secteur. Seules des estimations *a priori* peuvent être données, et sont à mettre en lien avec les emplois créés par l'exploitation des autres énergies renouvelables, et l'éolien terrestre en particulier.

¹²⁴ Les Echos, 24 avril 2008. *Total sur la piste des énergies du futur.*

¹²⁵ Usine nouvelle, 27 octobre 2008. *Le financement de projet, dans les éco-industries, c'est le nerf de la guerre.*

¹²⁶ ADEME, juillet 2008. *Marchés, emplois et enjeu énergétique des activités liées à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables : situation 2006-2007 et perspectives 2012.*

2.1.1. Les emplois du secteur éolien

Le secteur des énergies renouvelables représentait 53 200 emplois directs en France en 2007 et pourrait atteindre 120 000 emplois en 2012. Dans ce bouquet, la filière éolienne comptait 7 400 emplois directs en 2007, et pourrait en compter 16 100 en 2012. Ces emplois concernent soit l'équipement (composants, installation des machines), soit la vente d'énergie¹²⁷. Selon le Syndicat des énergies renouvelables, si les objectifs de production d'énergie éolienne fixés à l'horizon 2020 sont atteints, la filière éolienne pourrait alors compter 60 000 emplois¹²⁸.

Dans un rapport de janvier 2009, l'EWEA estime que le secteur éolien emploie 108 600 personnes en Europe, et 154 000 si l'on y inclut les emplois indirects. Les constructeurs d'éoliennes représentent 37% des emplois directs, suivis des fabricants de composants (22%), des développeurs de projets (16%) et des opérations d'installation et de maintenance (11%). Trois emplois sur quatre sont créés dans les pays pionniers de l'éolien terrestre : l'Allemagne (38 000 emplois directs), le Danemark (23 500 emplois directs) et l'Espagne (20 500 emplois directs). Le nombre d'emplois générés par le secteur éolien devrait plus que doubler à l'horizon 2020 pour atteindre 330 000 emplois, et 375 000 en 2030¹²⁹.

2.1.2. Des emplois promis dans l'éolien offshore

L'activité liée à l'installation d'un parc est plus importante avec l'éolien offshore qu'avec l'éolien terrestre, puisque l'on y installe de nombreuses unités. Cet effet de masse justifie, à lui seul, la création d'un certain nombre d'emplois.

Sur les 154 000 emplois recensés par l'EWEA en 2007, 2 800 relèvent du secteur offshore, soit à peine 2%. Cette proportion devrait augmenter très sensiblement dans les années à venir, en lien avec la progression attendue du marché de l'offshore. L'EWEA estime qu'à partir de 2025, le nombre d'emplois générés par le secteur éolien offshore devrait dépasser celui du secteur éolien terrestre, pour atteindre 215 000 emplois sur les 375 000 emplois estimés en 2030¹³⁰.

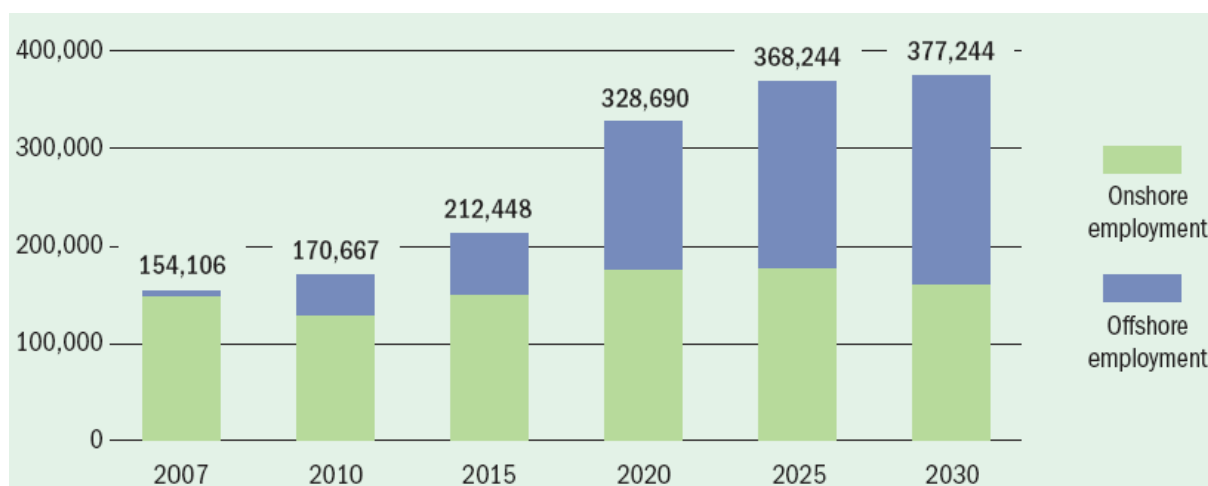
¹²⁷ ADEME, juillet 2008. *Marchés, emplois et enjeu énergétique des activités liées à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables : situation 2006-2007 et perspectives 2012.*

¹²⁸ Syndicat des énergies renouvelables.

¹²⁹ EWEA, janvier 2009. *Wind at work. Wind energy and job creation in the EU.*

¹³⁰ *Ibid.*

Figure 61. Nombre d'emplois générés par le secteur éolien terrestre (en vert) et offshore (en bleu).



Source : EWEA, 2009.

Le parc du Thorntonbank, en Belgique, a mobilisé 150 personnes pendant un an pour la construction des 6 fondations gravitaires de la première tranche installée, puis deux équipes de 30 personnes pendant 1,5 mois pour l'assemblage des 6 éoliennes. La maintenance devrait mobiliser un emploi par éolienne, pour une inspection continue des câbles et des fondations. La télégestion de la production électrique nécessite une personne en continu, et donc la création d'environ 6 emplois¹³¹.

Un développeur français estime que la création d'emplois, pour un parc de 50 à 60 éoliennes, pourrait être de :

- 10 emplois pour la phase de développement et les études préliminaires ;
- 50 emplois pendant 2 ans pour la construction :
 - 10 emplois pour les fondations ;
 - 10 emplois pour l'atterrissage et le génie civil ;
 - 10 emplois pour le câblage et les réseaux ;
 - 5 emplois dans les bureaux d'étude locaux ;
 - 5 emplois pour les études ;
 - 10 emplois dans les effets indirects ;
- 30 emplois pendant 20 ans pour l'exploitation :
 - 10 emplois pour la surveillance et la prévision ;
 - 4 emplois pour la maintenance ;
 - 6 emplois dans le tourisme lié au parc ;
 - 5 emplois dans la plaisance ;
 - 5 emplois dans les effets indirects¹³².

Pour le projet de Powéo en baie de Saint-Brieuc, on estime que la phase d'études pourrait mobiliser 8 personnes pendant 2 ans, le montage 20 personnes pendant 6

¹³¹ D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

¹³² Audition de MM. Frédéric LANOË, Pierre PEYSSON et Mme Julie BONGARD (WPD Offshore) le 29 mai 2008.

mois, l'exploitation 16 personnes pendant 20 ans (deux équipes de maintenance de 6 personnes, 4 personnes à terre)¹³³.

Ces chiffres sont bien évidemment variables d'un projet à l'autre. Le nombre d'emplois générés par la phase d'installation, par exemple, dépend des conditions météorologiques, de la disponibilité des barges, etc. Le nombre d'emplois créés pour la construction dépend, quant à lui, du type de fondations, etc.

2.1.3. Un enjeu : la pérennité des emplois

L'estimation du nombre d'emplois générés par le secteur éolien est rendue difficile du fait de la distinction qui s'impose entre construction et maintenance. En effet, le nombre d'emplois générés par la construction des éoliennes est à mettre en rapport avec les capacités nouvellement installées pendant l'année (puissance annuelle), tandis que les emplois liés à l'exploitation et à la maintenance sont fonction de l'ensemble des machines installées (puissance cumulée).

L'EWEA estime ainsi que 15,1 emplois sont créés pour chaque MW nouvellement installé (construction et installation), et que 0,4 emplois sont créés pour la maintenance d'un MW. Les projections à l'horizon 2030 font baisser ces chiffres respectivement à 11 et 0,3 emplois/MW¹³⁴.

ACCIONA estime que les besoins de l'éolien offshore sont de :

- 10 emplois par MW installé pour la phase de construction ;
- 0,2 à 0,5 emplois par MW installé en phase d'exploitation¹³⁵.

Ces chiffres sont en deçà des chiffres donnés pour le secteur éolien terrestre par l'EWEA, qui estimait pourtant que l'offshore générerait plus d'emplois. Les premiers retours d'expériences de construction et d'exploitation de parcs éoliens offshore permettront d'estimer plus concrètement les emplois générés dans ce domaine.

Si l'on reprend les chiffres fournis par ACCIONA et l'EWEA, installer les 1000 MW d'éolien offshore annoncés dans le plan Energie pour la Bretagne créerait de 10 000 à 15 000 emplois temporaires pour la construction, et 200 à 500 emplois pour l'exploitation et la maintenance.

On mesure bien ici l'importance de la pérennité des emplois. Sur un projet donné, c'est la construction qui génère le plus d'emplois, mais sur une courte durée, tandis que la maintenance génère peu d'emplois, mais sur du long terme. Seule la création d'une véritable filière industrielle, capable de se projeter à l'export, peut générer un nombre d'emplois significatif.

¹³³ Audition de MM. Alain DAHER et Louis GUILLEMOT (CCI des Côtes d'Armor) le 12 juin 2008.

¹³⁴ EWEA, janvier 2009. *Wind at work. Wind energy and job creation in the EU.*

¹³⁵ Druide Conseil, 2008.

La création d'une filière industrielle autour de l'éolien flottant, telle qu'envisagée dans le projet Winflo, pourrait à terme créer 1 000 emplois pour 100 éoliennes flottantes produites chaque année¹³⁶.

2.1.4. Les emplois créés par l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants

Il existe encore moins de données pour l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants, mais le nombre d'emplois devrait être du même ordre de grandeur que pour l'éolien offshore. En Ecosse, on estime que, pour atteindre l'objectif de 10% de sa production d'électricité venant des énergies marines (vagues et courants), il faudrait créer 7 000 emplois.

A Paimpol-Bréhat, EDF souhaite impliquer les industriels bretons dans la constitution d'une filière et considère que la phase d'installation de 40 à 60 hydroliennes (de l'ordre du MW) pourrait créer 150 emplois¹³⁷.

2.2. Du projet à la filière, un possible ancrage local

2.2.1. Le besoin d'une large palette de compétences

Le développement des énergies marines s'appuie sur un ensemble de métiers très variés, qui vont au-delà de la construction, de l'installation et de l'exploitation des machines. C'est l'environnement du projet qu'il faut intégrer dans sa totalité. La liste qui suit est donc sans doute incomplète, mais on peut déjà évoquer les spécialités suivantes :

- Etudes préliminaires
 - Météorologie
 - Energétique
 - Géologie
 - Géomorphologie et sédimentologie
 - Hydrologie
 - Océanographie opérationnelle
 - Biologie et halieutique
 - Géographie
 - Cartographie
 - Environnement
 - Economie et gestion
 - Droit
 - Sciences humaines et sociales
- Conception / ingénierie
 - Modélisation

¹³⁶ Contribution de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind Offshore) le 20 février 2009.

¹³⁷ Audition de MM. Cyrille ABONNEL et Philippe GUILLAUMEUX (EDF) le 15 mai 2008.

- Matériaux
- Physique
- Mécanique
- Hydraulique
- Electricité
- Electronique
- Informatique
- Acoustique
- Construction / installation
 - Génie civil
 - Chaudronnerie
 - Composites
 - Electronique
 - Transport
 - Services (navires spécialisés)
 - Sécurité maritime
- Exploitation
 - Suivi, contrôle
 - Certification
 - TIC
 - Maintenance
 - Services (navires spécialisés)
 - Sécurité maritime
- Démantèlement
 - Services
 - Traitement des déchets
 - Environnement
 - Droit
 - Concertation
- Financement
 - Banques
 - Assurances
- Formation
 - Formation initiale
 - Formation continue
- Communication / publicité
- Tourisme
- ...

On a vu que, pour l'éolien offshore, les fabricants d'éoliennes sous-traitent peu et que le marché est relativement difficile à pénétrer ; la liste ci-dessus montre bien, néanmoins, les potentialités qu'offre le développement des énergies marines en termes d'emplois locaux, directs et indirects.

Une étude de l'ADEME sur l'éolien terrestre a montré qu'en associant les PME locales (industries électriques ou électroniques, construction, mécanique, BTP) au développement de l'éolien, 62% de l'investissement d'une centrale pouvait revenir

au bassin d'accueil. En chiffres, cela signifie qu'un programme de 100 MW représente 62 millions d'euros pour l'économie locale¹³⁸.

Les impacts touristiques du développement des énergies marines en termes d'emplois restent à jauger. Ils seront *a priori* nuls pour les technologies totalement immergées comme les hydroliennes. C'est sans doute sur les parcs éoliens offshore que pourrait le plus se développer une activité touristique (visite du parc, expositions sur les énergies marines). Cette curiosité des touristes peut se comprendre pour le premier ou les premiers parcs, mais il n'est pas certain qu'elle se pérennisera sur d'autres parcs.

Il en est de même pour le tourisme scientifique ou le tourisme industriel. Les premiers parcs jouent un rôle de démonstration et attirent la curiosité des scientifiques ou des industriels, voire d'un public plus large. Le porteur du premier parc éolien offshore de Belgique, par exemple, utilise ce projet pour communiquer sur l'éolien offshore, et a conçu, dans le bâtiment qui servira au suivi du parc pendant toute son exploitation, un espace de conférence. Des excursions sur le site pourraient également être organisées.

2.2.2. Des compétences en Bretagne, depuis l'amont jusqu'à l'aval

La filière des énergies marines reste à construire, mais, d'un point de vue technologique, son cœur de métier résidera très probablement dans l'assemblage de technologies existantes éprouvées par ailleurs. C'est pourquoi il est fondamental d'identifier les savoir-faire qui pourront être mobilisés sur cette filière mais qui sont aujourd'hui appliqués à d'autres secteurs, maritimes ou non. Ces savoir-faire sont un atout certain pour les régions qui sauront les valoriser.

La Bretagne possède ainsi des compétences reconnues dans la construction et l'ingénierie navale, la conception et la fourniture d'équipements, l'intégration de systèmes embarqués. Le croisement des activités maritimes avec les autres secteurs d'activités bretons offre également des atouts que n'ont pas d'autres régions, notamment dans le domaine des capteurs et de l'instrumentation.

Cette industrie s'est considérablement transformée et possède une capacité d'ingénierie et de projection à l'exportation. Au-delà de la production d'énergies marines en Bretagne, l'enjeu réside bien dans la constitution d'une véritable filière industrielle, créant un gisement d'emplois pérennes sur le littoral, et pouvant devenir un moteur de l'économie maritime bretonne.

A côté du secteur industriel, les sociétés de services se sont fortement développées, avec la maintenance, la surveillance maritime aéroportée et sous-marine, les prévisions météorologiques, la connaissance du milieu marin... La Bretagne a sans aucun doute une carte à jouer dans ce secteur des services liés aux énergies marines : si les machines peuvent être importées, les services, eux, ne peuvent pas

¹³⁸ Syndicat des énergies renouvelable, France Energie Eolienne.

l'être. La maintenance, notamment, deviendra un nouveau gisement d'emplois sur le littoral, et ceci d'autant plus que les projets seront acceptés et portés localement. A ce titre, par la connaissance qu'ils ont du milieu et leur pratique quotidienne de la mer, les pêcheurs semblent bien placés pour répondre à ce besoin de nouveaux métiers liés à la maintenance.

Par ailleurs, la recherche en océanographie, en halieutique, en économie et droit de la mer, place la Bretagne dans les premiers rangs des régions françaises, voire européennes. Là encore, ces forces exceptionnelles en recherche, développement et innovation doivent être vues comme un atout pour le développement d'une filière énergies marines en Bretagne.

2.2.3. Un ancrage local souhaité par les porteurs de projets

Les porteurs de projets recherchent tous un ancrage local, de façon à conforter leur légitimité à investir un territoire et un champ d'activité nouveaux.

Powéo, par exemple, indique que les fondations et les mâts des éoliennes pourraient être construits en Bretagne¹³⁹. La Sema, à Saint-Brieuc, construit des mâts. Mais c'est une entreprise relativement petite, qui n'a sans doute pas les moyens de produire plus qu'elle ne le fait aujourd'hui¹⁴⁰.

Pour son projet de démonstration de Paimpol-Bréhat, la délégation régionale d'EDF voudrait impliquer les industriels bretons dans la constitution d'une filière¹⁴¹. Si la turbine OpenHydro est importée, les fondations pourraient, elles, être construites sur place. Mais cela dépendra des résultats des démonstrateurs et cette filière ne verra pas le jour avant 2015.

A moyen terme également, une filière industrielle pourrait être créée autour du projet d'éolienne flottante Winflo dès sa validation annoncée pour 2011¹⁴².

Pour d'autres projets moins matures et portés par de plus petits consortiums, comme Searev ou Sabella, les porteurs de projet cherchent également à s'entourer de partenaires industriels locaux.

2.3. Des besoins et des formations à définir

Afin de répondre aux besoins des industriels, le programme européen Windskill (2006-2009) vise à construire un réseau de compétences dans le domaine de l'éolien, à définir une qualification européenne en installation et en maintenance, tant

¹³⁹ Audition de MM. Christophe JURCZAK et Grégoire DURAND (Powéo/EED) le 10 avril 2008.

¹⁴⁰ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

¹⁴¹ Audition de MM. Cyrille ABONNEL et Philippe GUILLAUMEUX (EDF) le 15 mai 2008.

¹⁴² Contribution de M. Stéphane JEDREC (Nass&Wind Offshore) le 20 février 2009.

dans l'éolien terrestre que dans l'éolien offshore. Le projet regroupe des partenaires français, allemands, italiens et néerlandais¹⁴³.

Contrairement au Royaume-Uni où une école spécialisée a vu le jour, il n'existe pas en France, faute de marché, de formation spécifique aux énergies marines. Il faut donc regarder du côté des formations en énergies renouvelables, qui se développent, des formations au secteur de l'offshore pétrolier, ainsi que des formations dans toutes les spécialités citées ci-dessus qui pourraient avoir une application ou une connotation « Energies marines ».

Les lycées maritimes pourront jouer un rôle important dans la création de nouveaux métiers. Pour son projet de Paimpol-Bréhat, EDF a évoqué la possibilité de former les techniciens pour l'installation des hydroliennes au lycée maritime de Paimpol, avec la mise en place d'un bac professionnel et le développement de la formation continue comprenant une spécialisation sur la maintenance. EDF devrait d'ailleurs verser une partie de sa taxe d'apprentissage au lycée maritime de Paimpol¹⁴⁴.

L'enseignement supérieur doit également être mobilisé. Certes, le Pôle Mer a soutenu la création d'une licence professionnelle, pleine d'avenir, à l'IUT de Lannion, mais, dans l'ensemble, les formations spécialisées restent embryonnaires, en marge des grandes disciplines classiques. Or des perspectives existent à tous les niveaux (licences professionnelles, masters et doctorats).

L'IUT de Lannion a donc mis en place à la rentrée 2008 une licence professionnelle visant à former des cadres techniques en « Instrumentation pour l'exploration et l'exploitation pétrolières ». Certains contenus de cette licence pourraient concerner les énergies marines : acoustique, mécanique, matériaux, électrotechnique, électronique de puissance, automatismes, mécanique des fluides mais aussi conduite de projet, droit, logistique, management.

L'Ecole navale, en lien avec les Arts et métiers, propose un master spécialisé offshore « Equipements industriels navals », qui vise à former des futurs responsables et chefs de projets capables de concevoir, de réaliser et d'exploiter des installations offshore dans le secteur pétrolier et gazier. Les compétences développées dans cette formation, telles que le génie océanique (états de mer, météorologie), l'hydrodynamique (ancrages, stabilité des structures, tenue à la mer, modélisation), les systèmes d'exploitation des océans, le calcul des structures (matériaux, dimensionnement, fatigue), l'instrumentation, la gestion des risques, la gestion de projet, pourraient tout à fait s'appliquer aux énergies marines. Seule une courte initiation à la ressource énergétique marine figure aujourd'hui dans le programme, mais ce master pourrait, à terme, s'ouvrir plus largement aux énergies marines.

¹⁴³ www.windskill.eu

¹⁴⁴ Audition de M. Yannick HEMEURY et de Mme Laure ROBIGO (CLP Lannion-Paimpol) le 12 juin 2008.

La création de nouvelles filières de formation, liées à un domaine émergent, doit en résumé relever trois défis :

- l'adéquation entre la formation et l'emploi : il faut créer ces filières à temps pour répondre aux besoins de l'industrie. Trop tôt, les débouchés ne seraient pas assurés ; trop tard, le créneau serait perdu ;
- la pérennité des formations, en lien avec celle des emplois ;
- la formation des formateurs : il faut recruter des personnes capables d'enseigner ces nouvelles matières. Aujourd'hui, cela pose problème. Des solutions à la fois créatives et prises en charge collectivement s'imposent.

C'est donc d'une politique d'ensemble qu'il s'agit.

Chapitre 6

Des enjeux de recherche, développement et démonstration

1.	Un cadre national établi par la loi : la stratégie nationale de recherche énergétique	167
2.	Dans les faits, un axe de recherche en construction	169
2.1.	Un domaine de recherche récent	169
2.2.	Des forces certaines, mais insuffisantes et segmentées	170
2.2.1.	Des budgets publics de R&D mineurs	177
2.2.2.	Des acteurs français peu présents sur la scène internationale	179
2.3.	La démonstration, une étape-clé vers le renforcement de la recherche et le déploiement industriel	181
2.3.1.	De la recherche amont à la validation en mer	182
2.3.2.	La démonstration : un support à la recherche et au transfert vers l'industrie	184
2.3.3.	Une politique de démonstration et de transfert vers l'industrie qui se dessine en France...	188
2.4.	La pluridisciplinarité à l'épreuve	192

Atteindre les objectifs fixés en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de développement des énergies renouvelables, et qui plus est dans les délais impartis, va nécessiter des innovations et des développements technologiques majeurs, ainsi qu'une appropriation et une maîtrise des nouvelles technologies de l'énergie.

Les efforts engagés en R&D depuis une dizaine d'années se traduisent par un foisonnement de technologies en développement, dont nous avons esquissé un panorama dans la première partie de ce rapport. La recherche, aujourd'hui émietlée et donc peu lisible, a besoin de se structurer et de se renforcer pour relever le défi énergétique et le défi industriel.

1. Un cadre national établi par la loi : la stratégie nationale de recherche énergétique

Le développement de la recherche est l'un des axes de la politique énergétique française définie par la loi de programme du 13 juillet 2005. Cette loi prévoit que *« l'Etat s'attache à intensifier l'effort de recherche public et privé français dans le domaine de l'énergie, à assurer une meilleure articulation de l'action des organismes publics de recherche et à organiser une plus grande implication du secteur privé. En outre, il soutient l'effort de recherche européen dans le domaine de l'énergie pour pouvoir au moins égaler celui mené par les Etats-Unis et le Japon »*. Cette politique doit permettre à la France, d'ici 2015, *« de conserver sa position de premier plan dans le domaine de l'énergie nucléaire et du pétrole et, d'autre part, d'en acquérir une dans de nouveaux domaines »*¹⁴⁵. Ces nouveaux domaines recouvrent l'efficacité énergétique, la compétitivité des énergies renouvelables, le nucléaire de troisième génération et de quatrième génération, les déchets nucléaires, l'hydrogène et le stockage de l'énergie. Cet article consacré à la recherche se conclut comme suit : *« L'effort de recherche global portant sur le développement des énergies renouvelables et la maîtrise de l'énergie est fortement accru au cours des trois ans qui suivent la publication de la présente loi »*.

Afin de disposer d'une vision complète et synthétique des actions engagées pour l'amélioration des technologies existantes et la promotion de nouvelles technologies, la loi du 13 juillet 2005 prévoit dans son article 10 que le Ministre chargé de l'énergie et le Ministre chargé de la recherche arrêtent, tous les 5 ans, une stratégie nationale de la recherche énergétique. Cette stratégie précise les thèmes prioritaires de la recherche et organise l'articulation entre les recherches publique et privée. L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques évalue cette stratégie et sa mise en œuvre.

Cette stratégie nationale, publiée pour la première fois en mai 2007, définit son champ d'action comme *« l'ensemble des travaux qui visent à définir, analyser, développer ou promouvoir des options qui contribuent à la maîtrise de la demande*

¹⁴⁵ Article 5 de la loi du 13 juillet 2005.

de l'énergie, au renforcement de l'indépendance énergétique, à la prise en compte des enjeux environnementaux et climatiques liés à l'utilisation de l'énergie ou encore, de manière plus générale, à la promotion d'un développement énergétique durable »¹⁴⁶. Elle met l'accent sur la pluridisciplinarité de la recherche énergétique et sur le continuum qui peut aller de la recherche fondamentale à l'analyse socio-économique des enjeux liés à la politique énergétique, ainsi que sur l'objectif finalisé qui est celui de « la production d'analyses, de procédés, d'outils industriels qui, à terme, contribueront à la satisfaction des objectifs généraux de la politique énergétique »¹⁴⁷.

La stratégie nationale pour la recherche énergétique se décline à deux horizons :

- l'horizon 2020 pour la disponibilité des technologies au stade de la faisabilité scientifique ou de la démonstration ;
- l'horizon 2050 pour la pleine disponibilité et le déploiement effectif des technologies industrielles.

Cette double échéance permet de distinguer les technologies qui apporteront une contribution significative à court et à moyen termes et celles qui ne pourront contribuer au développement des énergies renouvelables qu'à un horizon temporel beaucoup plus lointain.

Si elle ne les qualifie pas de prioritaires, la stratégie nationale pour la recherche énergétique mentionne explicitement les énergies marines, en précisant qu'elles ont dépassé le stade de la faisabilité mais que leur développement a atteint des stades de maturité inégaux, du fait des efforts de recherche et développement qui y ont été consentis. Elle rappelle qu'une grande diversité de systèmes voit actuellement le jour, en particulier au Royaume-Uni, mais que ces systèmes n'en sont encore qu'à la phase prototype ou pré-industrielle, avec des machines de quelques centaines de kW seulement. Dans ce contexte, les objectifs poursuivis par la recherche doivent porter sur chaque concept pour qu'il puisse atteindre son potentiel attendu et être validé à la côte ou en pleine mer.

Tableau 12. Priorités de recherche sur les énergies marines à court terme (5 ans), moyen terme (5 à 10 ans), et long terme (au-delà de 10 ans).

	Axes de recherche	Horizon
Vents	Hydrodynamique (charges dues aux vagues) Méthodes de construction (fondations et machines) Problèmes de corrosion Accès et transmission au réseau	Moyen terme
Marée	Inventaire précis du potentiel Etudes d'impacts avec les nouvelles technologies disponibles	n.c. n.c.
Vagues	Modélisation numérique en mer sévère Développement de nouveaux composants spécifiques (accumulateurs, génératrices électriques) Réalisation de démonstrateurs et tests in situ Etude de rendement Stockage Optimisation des temps de fonctionnement	Moyen terme Moyen terme Court terme Moyen terme Long terme Moyen terme

¹⁴⁶ Stratégie nationale de recherche énergétique, mai 2007.

¹⁴⁷ *Ibid.*

	Maintenance simplifiée Validation des connections au réseau terrestre Production d'hydrogène Etude des conflits d'usage et de l'utilisation de la ressource	Moyen terme Moyen terme Long terme Court terme
Courants	Modélisation numérique avec interaction houle-courant-matériel Réalisation de démonstrateurs et tests in situ Etude de rendement Etude de l'encrassement Etude des effets de sillage Optimisation des temps de fonctionnement Maintenance simplifiée Validation des connections au réseau terrestre Stockage Etude des conflits d'usage et de l'utilisation de la ressource	Court terme Court terme Court terme Moyen terme Moyen terme Moyen terme Moyen terme Moyen terme Long terme Court terme
Energie thermique des mers	Reprise des travaux commencés en Polynésie	Long terme
Biomasse	Travail sur une récupération de l'énergie des algues acceptable écologiquement et économiquement	Long terme

Source : stratégie nationale de recherche énergétique, 2007.

La stratégie nationale identifie également des barrières non technologiques à lever pour le développement des énergies marines telles que le partage de la ressource, les prévisions, les outils de simulation, de test et de mesure, ainsi que l'impact environnemental.

2. Dans les faits, un axe de recherche en construction

Si quelques axes de recherche sont bien annoncés dans la stratégie nationale, la recherche sur les énergies marines reste, à l'image de celles-ci, émergente. Si l'objectif de développer les énergies marines est affiché, il semble encore peu traduit dans les effectifs et les moyens alloués à la recherche et au développement, et d'autres pays comme le Royaume-Uni ou l'Allemagne consacrent des budgets plus importants à la R&D, avec une part importante consacrée à la démonstration.

2.1. Un domaine de recherche récent

Trois grands domaines ont jusqu'à présent été explorés dans le monde :

- le transfert de technologies hydrauliques éprouvées dans le domaine fluvial vers le domaine marin, comme les turbines du barrage de la Rance en 1966 ;
- le développement de systèmes de récupération de l'énergie thermique des mers, abandonné lors du contre-choc pétrolier de 1986 ;
- le développement de l'éolien offshore au Danemark à partir des années 90.

Ce n'est que récemment que la recherche sur les énergies marines a redémarré, en France encore plus que dans les autres pays d'ailleurs, avec le développement, à partir des années 2000, de nouvelles technologies spécifiques au milieu marin pour

la récupération de l'énergie des vagues, des courants, des gradients de salinité, ou de la biomasse marine.

2.2. Des forces certaines, mais insuffisantes et segmentées

Aujourd'hui, les forces en recherche et développement identifiées « énergies marines » sont des acteurs historiques comme l'Ifremer, des laboratoires universitaires ou de grandes écoles, et les acteurs industriels. Ils conduisent leurs propres recherches ou sont associés en consortiums autour de projets. En outre, depuis 2005, la création des pôles de compétitivité a modifié le paysage de la R&D.

Malgré cette évolution vers une recherche finalisée associant laboratoires de recherche et industriels, les forces de recherche restent dispersées et centrées à chaque fois sur leur technologie propre. Elles sont par ailleurs réduites en termes d'effectifs, bien que le nombre de concepts en développement soit important et que le thème des énergies marines soit affiché comme prioritaire. En témoigne le nombre de chercheurs : 3 à 4 personnes travaillent aujourd'hui en équivalent temps plein à l'Ifremer. Il semble donc que la volonté politique de faire des énergies renouvelables une priorité ne soit pas reprise concrètement dans les efforts de R&D. Elle n'est, en particulier, pas définie clairement dans les universités¹⁴⁸.

Tableau 13. Quelques acteurs de la recherche publique et privée au niveau national.

	Acteurs industriels	Acteurs de la recherche publique
Eolien offshore	EDF ALSTOM Total Areva (Multibrid) Saipem s.a.	ARMINES (Ecoles des Mines) ONERA (Recherche aérospatiale) Ifremer
Energie des vagues	EDF EN Areva Total Saipem s.a. Océanide La Seyne-sur-Mer	Ecole centrale de Nantes Ecole centrale de Marseille Ifremer ENS Cachan
Energie des courants	EDF R&D Saipem s.a. DCNS	LEGI Grenoble INSA Lyon ISITV Toulon Ecole centrale de Marseille Ifremer IRENav (Ecole navale) UBO Brest ENSIETA Brest ENIB Brest
Energie thermique des mers		Ifremer
Biomasse		Ifremer INRIA CEA CNRS

¹⁴⁸ Audition de MM. Jacques-André ASTOLFI (IRENav) et Mohamed BENBOUZID (UBO) le 13 mars 2008.

La carte de France de la recherche dans le domaine des énergies marines donne un avantage à la Bretagne et aux Pays de la Loire, qui regroupent à elles deux une part importante des projets et/ou des équipes de recherche. Si les projets au stade industriel comme les projets éoliens offshore classiques (avec fondations) comportent peu de R&D, d'autres projets au stade de la recherche amont ou de la démonstration de prototypes font, eux, appel à de nombreux travaux de R&D.

- L'Ifremer

L'Ifremer détient une antériorité dans le domaine des énergies marines par son implication dans le développement de l'énergie thermique des mers dans les années 80. Depuis l'abandon de cet axe de recherche, l'institut de recherche a maintenu une veille sur le sujet, a développé une expertise dans la réalisation des études d'impact, et s'est récemment impliqué dans plusieurs projets, notamment dans ses centres de Brest et Nantes :

- une étude de zonage, conduite avec l'ADEME, sur le littoral français, visant à identifier les sites favorables à l'implantation des énergies marines ;
- l'organisation de conférences internationales sur le sujet lors de la SeaTechWeek à Brest, en 2004 avec l'ADEME, en 2008 avec EDF ;
- les projets Equimar (normalisation), Prévicot (prévision côtière), Shamash (biocarburants à partir de microalgues), Winflo (éolien flottant) ;
- une étude prospective sur le développement des énergies marines, conduite avec le bureau d'études Futuribles en 2008.

L'Ifremer possède en outre des moyens d'essais hydrodynamiques particulièrement adaptés, avec un bassin de houle monodirectionnelle à Brest et une veine de courant à Boulogne, complémentaires à ceux de l'Ecole centrale de Nantes.

L'Ifremer encadre trois thèses et un post-doctorat :

- modélisation de la cinématique des sites à forts courants exposés à la houle, application aux hydroliennes (thèse cofinancée par la Région Bretagne) ;
- caractérisation numérique et expérimentale des effets d'interaction fluide/structure engendrés par l'implantation d'une ferme d'hydroliennes sur le milieu marin (thèse cofinancée par la Région Haute-Normandie) ;
- matériaux composites en milieu marin, application aux hydroliennes ;
- estimation du potentiel d'énergie récupérable par un dispositif d'extraction d'énergie des vagues au regard du potentiel du site.

Un groupe de travail interne à l'Ifremer travaille spécifiquement sur le thème des énergies marines dans le cadre de la préparation du contrat quadriennal 2009-2012.

- L'Ecole centrale de Nantes

L'Ecole centrale de Nantes conduit ses recherches dans le domaine des sciences de l'ingénieur. Le laboratoire de mécanique des fluides est une unité mixte de recherche du CNRS qui mène, entre autres, des recherches dans le domaine de l'hydrodynamique et du génie océanique. Ce laboratoire porte le projet de système de récupération de l'énergie des vagues Searev.

L'Ecole centrale de Nantes dispose de bassins d'essais, et notamment du plus grand bassin à houle de France, permettant de générer des états de mer réels, des vagues géantes, des houles croisées.

- L'IRENav et l'UBO ¹⁴⁹

L'IRENav, institut de recherche de l'Ecole navale, et le LBMS, laboratoire brestois de mécanique et des systèmes (équipe d'accueil ENSIETA/UBO/ENIB), mènent conjointement des recherches sur la récupération de l'énergie des courants, notamment dans le projet HYDROLE. Ils entretiennent des contacts réguliers avec l'Ecole centrale de Nantes. Quatre enseignants-chercheurs et trois doctorants y travaillent, sur les sujets suivants :

- modélisation des systèmes hydroliens (thèse financée par Brest Métropole Océane, en lien avec le projet Sabella) ;
- optimisation de machines électriques non conventionnelles associées à des hélices marines (thèse financée par la Marine nationale) ;
- modélisation et conception d'un hydrogénérateur instationnaire à axe transverse (thèse financée par la Région Bretagne).

Le groupement de recherche SEEDS (Systèmes d'énergie électrique dans leur dimension sociétale) fédère les laboratoires et équipes académiques de génie électrique autour des problématiques de la génération, de la distribution, de la transformation et de l'usage de l'énergie électrique ainsi que des matériaux, méthodes et technologies qui concourent à la réalisation de dispositifs et systèmes électriques performants, sûrs et respectueux de l'environnement.

- L'ENS Cachan /Bruz

L'antenne bretonne de l'Ecole normale supérieure de Cachan, à Bruz, est rattachée à l'UMR SATIE (Systèmes et applications des technologies de l'information et de l'énergie) et participe au projet Searev piloté par l'Ecole centrale de Nantes avec une thèse sur la méthodologie de dimensionnement d'un système de récupération de l'énergie des vagues.

- Les consortiums constitués autour de projets

Des projets comme Sabella, Searev, Winflo ou Hydro-Gen associent des acteurs de la recherche publique et des industriels qui mènent leurs propres recherches¹⁵⁰.

¹⁴⁹ Audition de MM. Jacques-André ASTOLFI (IRENav) et Mohamed BENBOUZID (UBO) le 13 mars 2008.

¹⁵⁰ Voir le chapitre 2 « La Bretagne en effervescence ».

Tableau 14. Implication des acteurs de la recherche publique et privée en Bretagne.

Organisme	Siège / implantation	Activités	Implication
Recherche publique			
Ifremer	Issy-les-Moulineaux / Brest / Lorient / Saint-Malo / Nantes	Connaissance des océans, surveillance du milieu marin, développement des activités maritimes, études d'impact	Etude de zonage Rapport de prospective sur les énergies marines ICOE 2008 à Brest IPANEMA Equimar Projet Prévicot Projet Shamash Thèses
Ecole navale	Lanvéoc-Poulmic	Systèmes de transfert de l'énergie	Projet Hydrole Thèses
UBO	Brest	Connaissance des océans Mécanique des fluides	Projet Hydrole Thèses
ENSIETA	Brest	Etudes et techniques d'armement	Projet Hydrole
ENIB	Brest	Electronique, ingénierie informatique	Projet Hydro-Gen Projet Hydrole
ENS	Cachan / Bruz	Energie	Thèse Projet Searev
Ecole centrale de Nantes	Nantes	Hydrodynamique	Projet Searev Site de démonstration Semrev
Recherche privée			
EDF	Chatou / délégation Bretagne	Electricité	Site de démonstration hydrolien de Paimpol – Bréhat Projet Harvest IPANEMA Equimar
Areva / Multibrid	Paris	Nucléaire / Eolien offshore	Projet Searev Parcs éoliens offshore
DCNS	Paris / Brest / Lorient	Systèmes navals de défense	Projet Sabella Projet Winflo IPANEMA
Nass&Wind Offshore	Ploemeur	Eolien offshore	Projet Winflo
Saipem s.a. / Sofresid Engineering	Saint-Quentin en Yvelines / Brest / Lorient	Services pour l'industrie pétrolière et gazière	Projet Sabella Projet Winflo Projet Searev
HydroHelix	Quimper	Systèmes hydrauliques et énergétiques	Projet Sabella
L'Aquafile	Landéda / Lyon	Technologies maritimes innovantes	Projet Hydro-Gen

- Le pôle de compétitivité Mer Bretagne

Un pôle de compétitivité est la combinaison, sur un espace géographique donné, d'entreprises, de centres de formation et d'unités de recherche publiques et privées, engagés dans une démarche partenariale destinée à dégager des synergies autour de projets communs au caractère innovant avec une finalité de développement économique. Les pôles ont vocation à susciter, labelliser et soutenir des projets de R&D partenariaux.

Le développement des énergies renouvelables (terrestres) est l'objectif principal des pôles de compétitivité Tenerrdis en Rhône-Alpes, Capénergies en PACA ou Derbi en Languedoc-Roussillon, tandis que les énergies marines constituent l'un des cinq axes de R&D des Pôles Mer Bretagne et PACA dont les activités sont organisées autour :

1. des ressources énergétiques marines (offshore pétrolier et gazier et énergies marines renouvelables) ;
2. de la sécurité et de la sûreté maritimes ;
3. du naval et du nautisme ;
4. des ressources biologiques marines ;
5. de l'environnement et de l'aménagement du littoral.

La production d'énergies marines ou la maîtrise de l'énergie sont en réalité des thèmes transversaux qui sont présents plus ou moins directement dans chacun des cinq thèmes.

1. Ressources énergétiques marines

Dans un contexte très compétitif, de grands projets d'exploration et d'exploitation des ressources offshore grand fond et très grand fond voient le jour. Sur ce thème, les compétences académiques sont fortes, les moyens d'essais sont importants. La compétence industrielle est très diversifiée et diffuse.

Alors que s'accroît la nécessité de diversifier nos sources d'énergie et de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, la mer apparaît comme une source d'énergies renouvelables à développer. Les acteurs qui ont une compétence dans l'offshore pétrolier et gazier sont très bien placés pour développer des installations d'énergies marines renouvelables offshore.

Le thème des énergies marines renouvelables recouvre l'expérimentation et la démonstration de nouveaux concepts en éolien offshore fixe et flottant, en hydrolien, en houlomoteur, en énergie thermique des mers. Toutes les technologies ne sont pas intéressantes au même titre et se classent de façon différente selon le critère de la satisfaction d'un besoin énergétique breton, selon le critère du chiffre d'affaires mondial accessible, selon le rendement énergétique global dans le bouquet énergétique, ou encore selon les usages (domestique, national, public/privé, industriel...).

2. Naval et nautisme

Dans cette thématique figure la gestion de l'énergie à bord des navires (consommation et production embarquée), avec une recherche de diversification des énergies, de diminution des rejets, de maîtrise de la consommation. Le bouquet énergétique à bord (pile à combustible, fuel et gaz, vent, voire nucléaire...) est partie intégrante de l'ingénierie navale. L'explosion du trafic mondial et le coût du carburant sont des éléments incitatifs. La maîtrise des rejets de la propulsion (au-delà des rejets propres liés à la cargaison et à l'équipage : rejets de gaz à effet de serre, de composés soufrés), est l'autre grand sujet.

3. *Ressources biologiques marines*

La pêche est concernée au premier plan par les économies de carburant qui peuvent être faites au niveau de la motorisation, de la propulsion, de la carène, des engins de pêche, ainsi que par la production à bord et la valorisation des co-produits. Ce qui concerne l'axe naval et nautisme s'applique bien sûr aux navires de pêche, une problématique supplémentaire étant l'optimisation du rendement énergétique global (propulsion et autres consommateurs, frigorifiques par exemple).

Le secteur de l'aquaculture, quant à lui, pourra fournir des biofuels à partir de microalgues.

4. *Environnement et aménagement du littoral*

Ce thème contribue au développement des ressources marines : prévision des ressources, études d'impact, monitoring de sites, conditions d'environnement.

5. *Sécurité et sûreté*

Ce thème concerne la sûreté des installations (télésurveillance, aide à la maintenance, protection contre la malveillance) et la sécurité de la navigation (balisage multisenseurs, gestion des ancrages). L'impact des installations situées au-dessus du niveau de la mer sur la radionavigation est un sujet à traiter (effets sur les radars de surveillance côtiers notamment).

Les projets « Energies marines » labellisés par le Pôle Mer

Marénergie : domestiquer la puissance des marées

Labellisé le 16 décembre 2005

Le projet Marénergie vise à exploiter l'énergie des courants de marée à partir d'une hydrolienne simple et robuste, spécifiquement développée pour le milieu marin. La turbine de 200 kW, entièrement immergée, fera 10 m de diamètre et pourra être installée dans 25 à 30 m d'eau, préservant ainsi un tirant d'eau suffisant pour la navigation. La première phase consiste à développer et tester un démonstrateur, Sabella D03, mis en œuvre dans l'Odet en mars 2008.

Entreprises : HydroHelix Energies (Quimper), Dourmap (Brest), CIB-Meunier (Brest), In Vivo Environnement (La Forêt-Fouesnant), Saipem (Montigny-le-Bretonneux), Sofresid Engineering (Le Relecq Kerhuon), Institut de la corrosion (Brest), DCNS.

Centres de recherche : IRENav (Lanvéoc), EGIM (Marseille).

Shamash (projet PACA) : production de biocarburants lipidiques par des microalgues

Labellisé le 12 mai 2006

Ce projet a pour objectif de tester une nouvelle voie de production à haut rendement de microalgues pouvant être utilisées dans la fabrication d'un nouveau biocarburant.

Centres de recherche : INRIA, Ifremer, LOV, LPPE, GEPEA, CIRAD

Entreprise : VALCOBIO

Prévicot : prévisions côtières sur mesure, pour les différents usagers de la mer

Labellisé le 20 avril 2007

En réponse aux besoins des différents usagers de la mer (entreprises de génie civil maritime, plaisanciers et amateurs de sports de glisse, gestionnaires de station d'épuration sur le littoral,

pêcheurs et aquaculteurs...), PREVICOT vise à développer des produits spécifiques de description et de prévisions océaniques en zone côtière. A partir notamment des données de base fournies par PREVIMER, ce projet déclinera des applications qui concerneront d'abord les côtes françaises et dont les modèles pourront être transposés dans d'autres pays ou continents. Les outils développés par PREVICOT prendront en compte la nécessité du « temps réel », et la « portabilité » des modes de diffusion qui assureront, pour les clients, un accès aux services dans toute zone côtière.

Entreprises : Actimar (Brest), HOCER (Brest), Nasca Géosystèmes (Brest), Nasca Géomarine (Brest), NKE (Hennebont), Geomod (Brest), ACRI-ST (Sophia Antipolis), SFR (Paris)

Centres de recherche : Ifremer (Brest), SHOM (Brest), Météo-France (Rennes).

Diwet : éolienne offshore flottante en eaux profondes sur plateforme semi-immersée à ancrage tendu

Labellisé le 21 novembre 2008

La société néerlandaise Blue H a récemment créé une filiale en Bretagne dans le but d'y développer un prototype d'éolienne flottante en eaux profondes. Équipée d'une éolienne à deux pales, la machine Diwet est conçue sur le principe d'une plateforme à lignes tendues (Tension Leg Platform), reliée à un contrepoids faisant fonction de récif artificiel.

Entreprises : Blue H France (Rennes), Institut de la corrosion, Timolor, Lorima, Actimar, Astrium

Centres de recherche : UBO, École Centrale de Nantes, CETIM

Winflo : éolienne offshore flottante en eaux profondes sur plateforme semi-immersée à ancrages caténaux

Labellisé le 21 novembre 2008

Le projet prévoit la mise au point d'une éolienne flottante spécifique offshore. La machine sera installée sur une plateforme semi-submersible ancrée par des lignes caténaux. Cette technologie permettra d'alléger le système d'ancrage et le flotteur capable de supporter une éolienne de 2 à 5 MW voire plus, de déconnecter et remorquer facilement la machine pour sa maintenance.

Entreprises : Nass&Wind Offshore (Lorient), DCNS, SAIPEM, In Vivo Environnement

Centres de recherche : Ifremer, ENSIETA

Safe Oil : filière de biodiesel à partir de microalgues produites en bassins ouverts

Labellisé le 21 novembre 2008

Le projet consiste à cultiver, dans des bassins à l'air libre aménagés dans d'anciennes carrières de kaolin, des microalgues marines sélectionnées pour leur forte teneur en huile, afin de produire du biocarburant. Le premier démonstrateur industriel français de production de biodiesel à partir de microalgues sera créé à Ploemeur, non loin de Lorient.

Entreprises : SARP Industries, Sodaf Geo Étanchéité, Imerys ceramics France

Centre de recherche : Ifremer

Association : Audélor

- L'ADEME

L'action de l'ADEME en recherche et développement se situe à deux niveaux, conformément au contrat d'objectifs qui structure ses relations avec l'Etat :

- la définition, l'animation et la coordination d'orientations stratégiques de recherche et développement, dans ses domaines d'intervention ;
- le financement de projets.

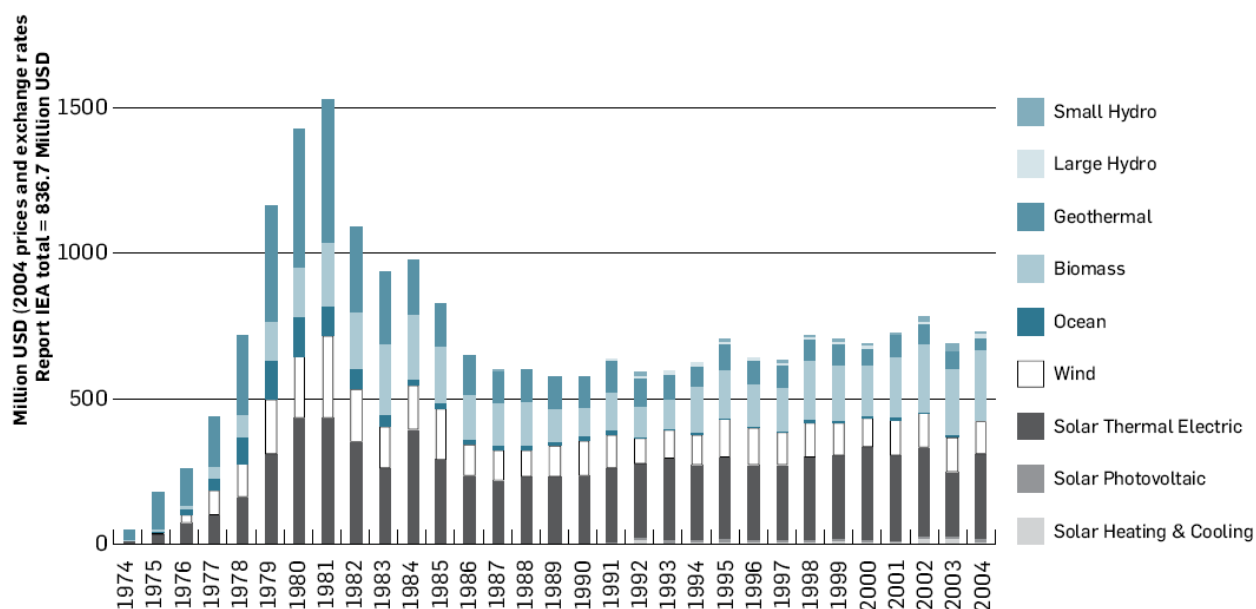
Les orientations stratégiques de recherche et développement 2007-2010 sont organisées en dix programmes, parmi lesquels la production d'électricité à partir de sources renouvelables. Le financement de projets a été renforcé en 2008 par un nouveau système d'aides à la recherche, au développement et à l'innovation dans le secteur public comme dans le secteur privé, afin d'accompagner la mise en œuvre des orientations stratégiques 2007-2010. Ce nouveau système d'aide met l'accent sur le soutien aux PME et à la recherche partenariale. Par ailleurs, l'ADEME alloue chaque année 60 bourses de thèse.

Les énergies marines ne figurent pas explicitement dans les orientations stratégiques de recherche et développement de l'ADEME : sur ce thème, les orientations sont plutôt données par d'autres acteurs, comme le Conseil régional ou le Pôle de compétitivité Mer en Bretagne, et l'ADEME est accompagnatrice plus que motrice¹⁵¹. Elle a par exemple participé au financement des projets Sabella D03 et Hydro-Gen en Bretagne, et s'est engagée dans l'initiative IPANEMA.

2.2.1. Des budgets publics de R&D mineurs

Entre 1974 et 2004, les budgets publics de R&D dans le domaine des énergies marines ont représenté seulement 0,3% des fonds alloués à la recherche sur les énergies renouvelables au niveau mondial, c'est-à-dire 800 millions de dollars sur un total de 23 milliards de dollars toutes énergies renouvelables confondues.

Figure 62. Evolution des budgets publics alloués à la R&D au niveau mondial sur les énergies renouvelables, dont les énergies marines (Ocean).

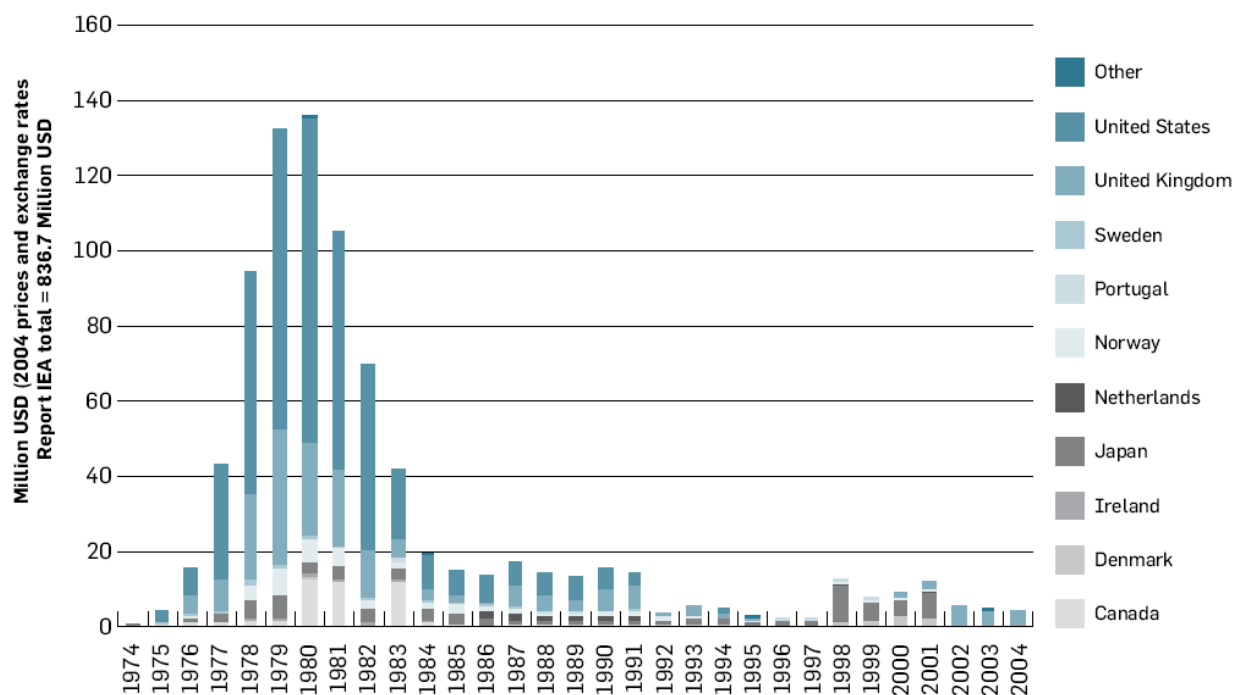


Source : IEA-OES, 2006.

Comme l'ensemble des énergies renouvelables, les énergies marines ont suscité l'intérêt des gouvernements et donc le financement de la R&D lorsque les prix du pétrole étaient élevés. Le contre-choc pétrolier du début des années 80 a brutalement fait oublier cet intérêt, et notamment pour les énergies marines : les budgets alloués à la R&D ont diminué de plus de 80%.

¹⁵¹ Audition de MM. Gilles PETITJEAN et Yvon BASSET (ADEME Bretagne) le 11 décembre 2007.

Figure 63. Evolution, par pays, des budgets publics alloués à la R&D sur les énergies marines.



Source : IEA-OES, 2006.

Entre 1974 et 1984, ce sont les Etats-Unis et le Royaume-Uni qui ont investi le plus dans les énergies marines, et en particulier dans l'énergie thermique des mers. Lorsque les Etats-Unis arrêtent de s'y intéresser, en 1983-1984, les budgets de R&D s'effondrent et ne redécolleront pas. C'est alors le Royaume-Uni qui devient le principal contributeur, mais avec des budgets nettement inférieurs à ce qu'ils étaient 10 ans auparavant. Le renouveau est marqué par les investissements du Japon, en 1998, avec la démonstration d'un prototype de colonne d'eau oscillante. Le Danemark et le Portugal investissent également dans des projets de démonstration. Mises à part les recherches qu'elle a financées sur l'énergie thermique des mers dans les années 80, la France semble être quasi-inexistante dans ce panorama des financements de la recherche publique.

Depuis 2001, c'est le Royaume-Uni qui montre un intérêt renouvelé pour les énergies marines. L'Institut pour les technologies de l'énergie (ETI) créé en 2008 vise à fédérer des acteurs publics (gouvernement britannique) et privés (BP, Caterpillar, EDF Energy, E.ON, Rolls Royce et Shell) pour accélérer la R&D dans les énergies renouvelables. Il a proposé en janvier 2008 un appel d'offres sur les énergies marines et a retenu 4 projets qu'il financera à hauteur de 20 M€ : un projet d'hydrolienne, deux projets d'éoliennes offshore, et un projet d'éolienne offshore flottante de 5 MW porté par la société Blue H¹⁵², dont le projet Diwet (éolienne flottante de 3,5 MW) a également été labellisé par le Pôle Mer Bretagne.

¹⁵² Energy Technologies Institute, janvier 2009. Communiqué de presse.

Le Département de l'énergie des Etats-Unis (DOE) a également annoncé la création d'un fonds de 4,7 M€ pour améliorer la viabilité et la compétitivité des systèmes d'exploitation des énergies marines. Le DOE devrait sélectionner et financer 17 projets de recherche et développement menés en partenariat par des entreprises, des universités et des laboratoires¹⁵³.

2.2.2. Des acteurs français peu présents sur la scène internationale

L'émergence récente des énergies marines dans les réflexions sur la diversification du bouquet énergétique a conduit, nous l'avons vu plus haut, à un foisonnement de développements technologiques dans plusieurs pays. Des initiatives de coopération internationale ont ainsi vu le jour, telles que des plateformes ou des programmes de recherche, dans un objectif de mutualisation des efforts de recherche et de développement. Pourtant, les Français sont encore peu présents dans ces réseaux.

- Les plateformes de coopération

L'Agence internationale de l'énergie (IEA) a créé en 2001 une plateforme de coopération internationale spécifique aux énergies marines, intitulée Ocean Energy Systems (IEA-OES), dans laquelle les parties prenantes s'engagent à collaborer en matière de recherche, développement et démonstration de technologies, et à échanger des informations. Cette plateforme a été créée en réponse aux actions de R&D croissantes pour la récupération de l'énergie des vagues et des courants à la fin des années 90, particulièrement au Danemark, au Portugal et au Royaume-Uni qui ont été les premiers signataires. Depuis, ces trois pays ont été rejoints par l'Australie, la Belgique, la Commission européenne, l'Allemagne, l'Irlande, l'Italie, le Japon, le Mexique, la Nouvelle-Zélande, la Norvège, l'Espagne, la Suède et les Etats-Unis. La France devrait rejoindre cette plateforme prochainement.

L'Association européenne pour l'énergie des océans (EU-OEA) promeut les énergies marines par son soutien à diverses actions, comme la seconde conférence internationale sur les énergies de la mer (ICOE 2008). EDF et l'Ifremer ont récemment rejoint cette association.

L'Association européenne pour l'énergie éolienne (EWEA) est une association de promotion de l'éolien en Europe et dans le monde entier qui réunit plus de 500 membres à travers 50 pays. La France y est représentée essentiellement par des industriels et des opérateurs énergétiques, ainsi que par l'ADEME. Un seul organisme de recherche, l'Ecole des Mines de Paris, y est présent. L'association Bretagne International en est membre.

La Commission électrotechnique internationale (CEI), chargée d'élaborer des normes de référence dans le domaine de l'électrotechnique, a mis en place en 2007 un comité technique dédié aux convertisseurs de l'énergie des vagues, des marées et des courants marins (TC 114). Ce comité a pour but d'élaborer des normes en

¹⁵³ Systèmes solaires n° 185, 2008.

matière de conception, de performance, de sécurité, d'évaluation et de réduction des impacts environnementaux. La France y est représentée par l'Union technique de l'électricité (UTE).

Les jeunes chercheurs (doctorants et post-doctorants) travaillant sur les énergies marines (vents, vagues et courants) sont réunis au sein du réseau INORE (International Network on Offshore Renewable Energy). Ce réseau, qui se réunit une à deux fois par an, regroupe aujourd'hui plus de 170 jeunes chercheurs de 33 pays, dont la France.

Le programme Wavetrain, financé dans le cadre du 7^{ème} PCRD, vise également à renforcer et structurer la formation des jeunes chercheurs travaillant sur la récupération de l'énergie des vagues. L'École centrale de Nantes et Saipem s.a. y participent.

- Les évènements fédérateurs

L'ADEME et l'Ifremer ont organisé les 20 et 21 octobre 2004 un colloque sur les énergies renouvelables en mer. C'est le premier colloque qui réunissait, en France, des chercheurs et des industriels sur l'ensemble des énergies marines (éolien, courants marins et vagues).

Les 19 et 20 janvier 2006 s'est tenu au Havre le premier séminaire franco-britannique sur les énergies marines. Organisé à l'époque par le Délégué interministériel au développement durable, la Ville du Havre, l'Ambassade britannique en France et le Ministère délégué à l'enseignement supérieur et à la recherche, ce séminaire était vu comme une étape fédératrice des acteurs du développement des énergies marines entre les deux pays, aussi bien sur les dimensions technologiques qu'économiques, sociales et environnementales. Il ne semble pas y avoir eu de suite formelle à cet évènement, mais il a permis d'initier les premiers échanges et a sans doute été une étape importante dans l'émergence de la recherche sur les énergies marines en France.

Les 15, 16 et 17 octobre 2008, s'est tenue à Brest la seconde conférence internationale sur les énergies de la mer (ICOE 2008). Organisée par EDF et l'Ifremer, elle a réuni plus de 450 acteurs des énergies marines, industriels, scientifiques, usagers de la mer, ainsi que les acteurs institutionnels et politiques, autour des axes prioritaires de R&D, dont la connaissance des impacts et des enjeux socio-économiques, et celle des contextes régionaux, nationaux, européen et mondial. Cette conférence devrait renforcer la place de la France, et de la Bretagne notamment, dans la recherche sur les énergies marines.

L'EWEA organise chaque année depuis 2006 la Conférence européenne sur l'énergie éolienne (EWEC) et, souhaite organiser tous les deux ans la Conférence européenne sur l'éolien offshore. La deuxième édition se tiendra en 2009.

- Les programmes de recherche européens

Une action concertée sur l'énergie des océans (CA-OE) a été financée dans le cadre du 6^e PCRD (2002-2006). Elle réunissait des partenaires européens, ainsi que EDF, l'Ifremer et l'Ecole centrale de Nantes pour la France.

Une autre action concertée, intitulée POW'WOW, vise à harmoniser les actions menées dans le domaine de l'énergie éolienne offshore et de l'énergie des vagues, en termes de prévision notamment. Elle réunit des partenaires européens ainsi que l'Ecole des Mines de Paris.

Le programme de recherche UpWind, soutenu par l'Europe (14,3 M€ sur 5 ans), est dédié à l'éolien et en particulier aux très grandes turbines terrestres et offshore (8-10 MW). Ce programme regroupe 40 acteurs de l'éolien, majoritairement anglo-saxons. Aucune entreprise française n'y est inscrite. Au vu de la nature des entreprises présentes dans le workshop dédié aux éoliennes offshore, il est à craindre que ces travaux introduisent une nouvelle norme, opposable aux nouveaux entrants sur le marché¹⁵⁴.

Le projet européen METRI (Marine Environment Tests and Research Infrastructure), coordonné par l'Ifremer, permet de mettre à la disposition d'équipes de recherche européennes, gratuitement, les moyens d'essais des centres de Brest (bassin de houle) et de Boulogne (veine hydrodynamique). Plusieurs maquettes d'hydroliennes et de systèmes houlomoteurs ont été testées par des équipes anglaises et hollandaises.

Le projet EquiMar¹⁵⁵, financé par le 7^{ème} PCRD, poursuit un objectif de pré-normalisation des énergies marines. Il vise à créer un vocabulaire commun et à harmoniser les procédures de test et d'évaluation des systèmes. Il a démarré le 8 mai 2008 et devrait aborder les thèmes du choix des sites, de l'ingénierie, des impacts environnementaux, des aspects économiques pour fournir des recommandations consensuelles sous forme d'une suite de protocoles. Ce projet regroupe 23 partenaires de 11 pays européens. La moitié des partenaires vient du Royaume-Uni. Côté français, ce sont EDF, l'Ifremer et Actimar qui sont présents. EDF va y témoigner sur ses méthodes d'évaluation technico-économique.

2.3. La démonstration, une étape-clé vers le renforcement de la recherche et le déploiement industriel

Dès lors que l'objectif final est de disposer de systèmes de récupération de l'énergie de la mer opérationnels et performants, les actions de démonstration constituent une préoccupation de premier plan. Elles permettent de valider en mer les prototypes pour envisager leur mise sur le marché. Elles constituent en outre un terrain

¹⁵⁴ Audition de M. Jean-Jacques LE NORMENT (Agence économique de Bretagne) le 10 juillet 2008.

¹⁵⁵ Equitable Testing and Evaluation of Marine Energy Extraction Devices in terms of Performance, Cost and Environmental Impact.

privilegié pour la mutualisation des résultats et la coopération entre tous les acteurs de la R&D.

2.3.1. De la recherche amont à la validation en mer

La démonstration en mer est, en premier lieu, un moyen de valider en conditions réelles des prototypes à échelle réduite ou à échelle 1, imaginés, modélisés et testés en bassin et, à ce titre, elle est une étape indispensable à tout développement industriel.

La démonstration peut prendre deux formes principales. Il peut d'abord s'agir d'une démonstration en site pilote, à l'image du projet d'EDF sur le site de Paimpol-Bréhat. Dans ce cas, un opérateur teste une technologie en la connectant au réseau, avec un nombre de machines et une puissance limités. Il s'agit d'une initiative purement privée.

Il peut s'agir ensuite d'une démonstration en site d'essais, à l'image du site Semrev en projet au large du Croisic. Dans ce cas, il s'agit d'une initiative publique visant à installer en mer une ou plusieurs « prises » raccordées au réseau, et sur lesquelles un ou plusieurs développeurs viennent brancher leur machine. Ces derniers disposent alors de moyens de mesures, de suivi et de contrôle du comportement de leur machine. Le Royaume-Uni, pays leader dans le développement des énergies marines, possède par exemple un centre d'essais en mer opérationnel et un autre est en projet.

- L'EMEC (European Marine Energy Centre), en Ecosse

Le premier site d'essais a été fondé en Ecosse en 2001 par des acteurs publics (gouvernement écossais, gouvernement britannique) et privés pour un coût de 9 à 10 millions d'euros. Il a été financé en partie par le FEDER. Il est constitué d'un laboratoire de mesures et de deux plateformes d'essais sur les Îles Orkney, au nord de l'Ecosse : l'une pour les vagues (4 prises de 2,2 MW, opérationnelle depuis 2004), l'autre pour les courants (5 prises de 5 MW, opérationnelle depuis 2006). Il est mis à disposition des industriels qui peuvent venir y tester leurs technologies. Le Pelamis et la turbine OpenHydro y ont été testés.

Figure 64. Le site d'essais EMEC pour l'énergie des courants.

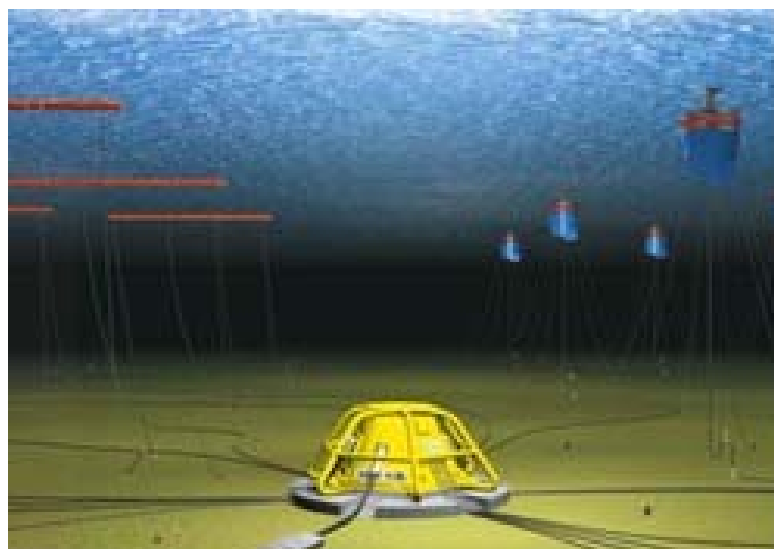


Source : EMEC, 2008.

- Le Wave Hub, en Cornouailles

Un autre site d'essais est également en projet, cette fois au large de la Cornouailles, pour les systèmes de récupération de l'énergie des vagues au stade pré-industriel. Ce projet est à l'initiative de l'agence régionale South West Regional Development Agency (SWRDA), qui finance une partie des 40 millions d'euros prévus pour sa réalisation, le reste venant du gouvernement britannique et de fonds européens. Ce site d'essais en mer, situé à 10 milles des côtes et d'une puissance initiale de 8 MW, devrait être opérationnel en 2010.

Figure 65. Vue d'artiste du Wave Hub, en test avec deux technologies différentes, dont le Pelamis à gauche.



Source : South West RDA, 2008.

2.3.2. La démonstration : un support à la recherche et au transfert vers l'industrie

L'intérêt de la démonstration vient de la synergie qu'elle est susceptible de créer au sein de la communauté des chercheurs, qu'il s'agisse de la recherche publique ou de la recherche privée, et de l'attraction qui en résulte.

Les forces en R&D ne se cantonnent pas à un pays, et plusieurs technologies ont, au cours de leur développement, traversé les frontières, au gré souvent des facilités offertes par chaque pays, comme le site EMEC en Ecosse, des tarifs de rachat de l'électricité avantageux au Portugal...

La localisation de la R&D est influencée par plusieurs facteurs, parmi lesquels :

- les ressources humaines et les compétences ;
- les moyens matériels mis à disposition ;
- les aides financières apportées à la R&D¹⁵⁶.

On comprend dès lors qu'une politique de démonstration, combinant des structures et des moyens alloués aux développeurs, est un facteur d'attraction des forces de R&D et peut, dans le respect de la propriété intellectuelle et industrielle indispensable à la réussite de l'innovation, favoriser la convergence, puis la coalescence des moyens de recherche.

Une politique de démonstration peut permettre d'attirer les investisseurs et les acteurs industriels vers des technologies moins matures que les technologies terrestres, et ainsi accélérer leur mise sur le marché.

Plus encore que pour la validation de prototypes en mer, c'est par ses effets d'entraînement que la démonstration prend tout son sens. Une véritable politique de démonstration va donc au-delà des aspects purement techniques puisqu'elle peut permettre d'affirmer le rôle moteur d'un pays ou d'une région.

La démonstration pourrait ainsi marquer un pas décisif vers le développement d'une nouvelle activité en zone côtière.

Deux initiatives, menées en Allemagne et au Danemark, sont à ce titre intéressantes, puisqu'elles misent sur une mutualisation des données et des résultats de recherche pour le développement de l'éolien offshore.

- La politique allemande de démonstration sur l'éolien offshore

La plateforme de démonstration FINO 1 (Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee) a été construite et financée par le Ministère de l'environnement allemand en 2003. Il ne s'agit pas de la démonstration d'une technologie en tant que telle, mais plutôt d'une plateforme de mesures avancées poursuivant un objectif de démonstration de faisabilité. L'objectif de cette plateforme est en effet de mesurer un

¹⁵⁶ IEA-OES, 2007. *Annual report 2007*.

grand nombre de paramètres techniques, physiques, chimiques, biologiques, mais aussi de paramètres liés à l'impact de l'implantation d'éoliennes en mer sur les autres usages, afin de les analyser puis de les rendre publics, et favoriser ainsi le développement de l'éolien en Mer du Nord, conformément aux objectifs ambitieux annoncés par l'Allemagne.

La plateforme FINO 1 est installée à 50 km environ de la côte, par 30 m de fond. Elle est constituée d'un mât de mesures de 100 m et d'un hélicoptère installés sur une structure de type jacket.

Figure 66. La plateforme FINO1 en Mer du Nord.



Source : Ministère de l'environnement allemand, 2008.

Elle est installée à proximité du futur parc de Borkum West, dans une zone potentiellement intéressante pour le développement de l'éolien offshore. Elle est équipée d'instruments de mesures de paramètres :

- météorologiques : vent, température, pression, irradiation UV ;
- hydrologiques : hauteur d'eau, courants, houle, physico-chimie de l'eau ;
- mécaniques : pression du vent et des vagues sur la structure ;
- biologiques : oiseaux, faune marine, benthos, colonisation des structures immergées ;
- autres : bruit, visibilité, signalisation, circulation maritime, sécurité maritime.

Les données recueillies viennent alimenter une base accessible à des équipes de recherche. La plupart des travaux et résultats de recherche sont rendus publics et viennent ainsi profiter aux développeurs de projets offshore.

Cette initiative reflète une politique volontariste du gouvernement allemand, qui engage des moyens conséquents pour ce qui est considéré en Allemagne comme un vecteur de développement pour de nombreuses industries, pour le marché des services, sans oublier la capacité exportatrice de ce savoir-faire bientôt acquis¹⁵⁷.

La mutualisation est caractéristique de ce programme qui porte au service de tous un capital de connaissances et d'expériences dont chacun bénéficie : les porteurs de projets qui épargneront des coûts d'études, les fabricants de machines qui tireront avantage des acquis en matière de construction, de sécurité, de corrosion et de résistance des installations. Autres bénéficiaires de cette politique, les universités et centres de recherche qui fourniront demain de futurs cadres déjà expérimentés à une industrie naissante.

La plateforme FINO 2 a été construite en Mer Baltique, à proximité de ce qui sera l'un des plus grands parcs éoliens offshore, Kriegers Flak. Elle est opérationnelle depuis mai 2007. La plateforme FINO 3 sera, quant à elle, installée dans des conditions farshore, à 80 km des côtes. Sa construction a démarré en 2007.

Figure 67. La plateforme FINO 3 et la localisation des trois plateformes sur les côtes allemandes.



Source : FINO 3, 2008.

Le Ministère allemand de l'environnement soutient également, à hauteur de 50 millions d'euros sur 5 ans, le projet intitulé RAVE (Research at Alpha Ventus)¹⁵⁸. Il s'agit en fait de coordonner, sous la houlette de l'Institut pour l'énergie solaire de l'Université de Kassel¹⁵⁹, un ensemble de projets de recherche en lien avec la construction du premier parc éolien offshore allemand, le parc Alpha Ventus, situé en Mer du Nord, non loin de la plateforme FINO 1.

¹⁵⁷ Billet de Philippe GOUVERNEUR, octobre 2006. www.offshore-enertrag.fr

¹⁵⁸ RAVE, mars 2008. *The Research Initiative at the first German Offshore Windfarm.*

¹⁵⁹ Institut für Solare Energieversorgungstechnik.

12 turbines de 5 MW, de deux marques différentes, dont certaines seront dotées d'une instrumentation poussée, seront implantées à 45 km de la côte, par des fonds de 30 m. Ce parc de démonstration vise à tester les technologies les plus récentes et à les optimiser pour parvenir, *in fine*, à réduire les coûts du déploiement de l'éolien offshore en eaux profondes.

Les recherches qui y seront associées sont nombreuses et couvrent des champs variés :

- la performance des machines (pales, composants) ;
 - le comportement des machines ;
 - l'instrumentation ;
 - les fondations ;
 - la connexion au réseau ;
 - le bruit des éoliennes ;
 - l'impact des parcs sur la faune marine, le benthos, les oiseaux migrateurs ;
 - la géologie du site et les interactions avec les fondations.
- Un exemple de démonstration au Danemark sur l'éolien offshore

A l'image du parc Alpha Ventus, le parc Frederikshavn, au Danemark, a été construit dans un objectif de démonstration, avec trois turbines de marques différentes de 2,3 à 3 MW et deux types de fondations, bucket et monopieu.

Sur ce même site, l'initiative NearshoreLAB vise à associer des laboratoires universitaires à la création d'un site d'essais en mer comprenant une zone de tests pour des modèles réduits et une zone de tests grandeur nature pour 6 prototypes d'éoliennes différentes et 6 concepts de fondations différents. Ce site, développé par la société privée de R&D MDB Offshore pour quatre ans, doit permettre aux équipes de recherche de réaliser des expérimentations. L'objectif est d'optimiser les machines et d'être en mesure de présenter les plus efficaces à l'horizon 2010¹⁶⁰.

- L'initiative du Pays Basque pour l'énergie des vagues

L'EVE (Ente Vasco de la Energia) est un organe public, placé sous l'autorité du gouvernement basque, qui porte en collaboration avec TECNALIA un projet de site d'essais, le BIMEP (Biscay Marine Energy Platform). Ce site est destiné à la recherche, la démonstration et l'exploitation de convertisseurs de l'énergie des vagues, et vise à placer le Pays Basque sur le devant de la scène. Il sera composé de quatre « prises » pour une puissance de 20 MW, sur lesquelles les développeurs pourront venir brancher leurs machines. Les paramètres météorologiques et océanographiques du site sont suivis par un centre technologique. A ce site d'essais sera associé un centre de recherche qui disposera de bureaux, de systèmes de contrôle et de suivi. Avec 25 chercheurs spécialisés, ce centre aura sa propre activité de recherche. L'ensemble pourrait être construit en 2009 et opérationnel en 2010¹⁶¹.

¹⁶⁰ Poster de Søren A. NIELSEN, mai 2007. *NearshoreLAB, a Test Field for Offshore Wind Power Plants.*

¹⁶¹ Intervention de M. Javier MARQUES lors de la conférence ICOE, le 16 octobre 2008 à Brest.

L'EVE est le leader du développement des énergies marines au Pays Basque et en Espagne. Il réalise également un atlas de la ressource en vagues, et est impliqué dans la construction d'une centrale houlomotrice à Mutriku, qui devrait être opérationnelle en 2009.

- Une zone pilote au Portugal

Le gouvernement portugais a créé une zone pilote au large de São Pedro de Moel, pour tester des technologies houlomotrices¹⁶². La création de cette zone pilote d'environ 50 km² permettra de « *tester des prototypes et de produire de l'énergie à partir d'équipements efficaces qui utilisent les vagues pour la production d'électricité* ». Le Portugal estime que « *à terme, cette technologie liée à l'énergie des vagues pourra être exportée, comme cela se passe actuellement avec les éoliennes et l'énergie du vent* ».

2.3.3. Une politique de démonstration et de transfert vers l'industrie qui se dessine en France...

- La plateforme d'essais en mer Semrev

En parallèle au développement technologique du Searev, l'Ecole centrale de Nantes a souhaité développer un site d'essais en mer pour les systèmes houlomoteurs. Le site d'expérimentation en mer pour la récupération de l'énergie des vagues (Semrev) est un outil de recherche collaborative qui permettra de mettre au point en grandeur nature le concept de récupération de l'énergie de la houle testé préalablement en laboratoire. Ce site sera une première en France.

Le soutien à la recherche dans le domaine des énergies alternatives a été inscrit dans le contrat de projets Etat – Région des Pays de la Loire 2007-2013 avec l'attribution de 5,5 millions d'euros à ce projet de site d'essais, vu comme un pas important vers le développement de projets industriels dans la région. Les partenaires de ce projet sont le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, la Région Pays de la Loire, le Conseil général de Loire-Atlantique, le CNRS et l'Ecole centrale de Nantes.

Ce site, au large du Croisic, accueillera des prototypes pour des essais de moyenne à longue durée (6 mois à 2 ans). Il pourra accueillir 5 démonstrateurs, sur une surface d'un km², pour une puissance totale de 2,5 MW. Il sera équipé d'instruments de mesure et de moyens nautiques, sera connecté au réseau dans les conditions réelles de raccordement, et disposera d'un local sur le littoral destiné à recevoir chercheurs et ingénieurs pour le suivi et le contrôle en continu.

- Des propositions en Bretagne

Suite à la réunion qui s'est tenue à Brest le 16 octobre 2007 dans le cadre du Grenelle de l'environnement, les Présidents du Conseil régional de Bretagne, du

¹⁶² Bulletins électroniques, 3 octobre 2008. *Inauguration du premier projet commercial d'énergie des vagues.*

Conseil général du Finistère et de Brest Métropole Océane ont demandé à l'Etat de s'engager dans la création d'un centre de recherche sur les énergies marines. Une contribution au Grenelle de l'environnement sur ce sujet a été portée par le Pôle Mer, sur la base de réflexions menées entre autres avec le Conseil régional de Bretagne, la DRIRE, EDF, Ifremer et l'ADEME.

Cette contribution faisait état de l'engagement d'industriels en Bretagne et Pays de la Loire, suite à l'appel à projets de l'Etat « Nouvelles technologies de l'énergie », de l'étude de zonage engagée par l'ADEME et l'Ifremer, des projets développés par les laboratoires de recherche, et faisait le constat d'un manque de liant entre de multiples initiatives et de la nécessité de développer une filière « Energies marines ».

Elle proposait donc la création d'un outil capable d'accélérer et de fédérer le développement des énergies marines : un centre de recherches, d'études et d'essais des énergies marines (CREEEMAR), ayant pour mission de :

- fédérer la recherche ;
- susciter et accompagner le développement de projets ;
- mettre des moyens d'essais à la disposition des acteurs.

Cette contribution proposait de créer ce centre d'envergure nationale en Bretagne, en raison de sa façade maritime, de son potentiel énergétique marin, et de son réseau d'acteurs à la compétence reconnue dans le domaine maritime.

Dans ses réflexions sur la création de ce centre qui pourrait devenir un Institut national des énergies marines, la Région Bretagne a pris l'exemple de l'Institut national de l'énergie solaire (INES), basé à Chambéry.

L'INES a été créé en 2006 à l'initiative des pouvoirs publics, pour promouvoir et développer en France l'utilisation de l'énergie solaire, et plus particulièrement au service de la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment. Le choix de cette implantation à Chambéry s'est justifié par la présence d'un réseau particulièrement dense d'acteurs de référence dans ce domaine (industriels, chercheurs, collectivités locales, associations). Pour Jean-Louis BAL¹⁶³, la création de l'INES est le résultat le plus notable du renforcement du soutien public à la R&D en France en matière d'énergies renouvelables, qui avait fortement baissé au moment du contre-choc pétrolier de 1986. Aujourd'hui, plus de 150 chercheurs y travaillent sur les matériaux photovoltaïques et sur l'intégration du solaire dans le bâtiment.

¹⁶³ La Recherche, 16 décembre 2008. *Les énergies renouvelables sont-elles crédibles ?* « Chat » en direct avec Jean-Louis BAL, directeur des énergies renouvelables à l'ADEME.

L'Institut national de l'énergie solaire (INES)

Une plateforme Recherche, développement, innovation industrielle

Mission : Devenir un centre d'excellence en recherche solaire
Améliorer les technologies
Soutenir les transferts technologiques vers l'industrie

Une plateforme Education

Mission : Former et informer tout type de public
Constituer un centre de ressources
Suivre les projets et analyser les retours d'expérience
Diffuser les procédés, méthodes et logiciels

Une plateforme Démonstration

Mission : Mettre en situation et évaluer les produits
Démontrer la viabilité des technologies
Permettre aux industriels d'exposer des innovations
Etre un support aux formations de la plateforme Education

Source : INES, 2008.

- Une convention d'objectifs nationale : IPANEMA

Par l'intérêt qu'elle a suscité auprès d'un certain nombre d'acteurs, cette proposition de développer une filière énergies marines a évolué au niveau national vers une convention entre des partenaires qui :

- reconnaissent la question du développement des énergies marines comme un enjeu d'envergure nationale ;
- reconnaissent le besoin de moyens de recherche, développement et démonstration afin que la France puisse se positionner parmi les pays-clés de cette filière industrielle et commerciale, tant aux niveaux national et interrégional qu'au niveau international ;
- reconnaissent le besoin d'essais en mer qui constituent des étapes indispensables pour étudier et, le cas échéant, valider des prototypes avant tout développement plus important ;
- reconnaissent la nécessité de développer des stratégies partagées entre les acteurs publics et privés ;
- reconnaissent le besoin d'échange et de coordination des différentes parties prenantes ;
- reconnaissent l'opportunité de créer à terme une filière française dans ce domaine en s'appuyant sur les savoir-faire déjà existants et en articulation avec les initiatives internationales et notamment européennes ;

et s'engagent à favoriser l'émergence, en France (métropole et DOM-COM), d'une filière industrielle et scientifique dans le domaine des énergies marines.

C'est ainsi que l'Etat, l'ADEME, l'Ifremer, EDF, DCNS, les Régions Basse-Normandie, Bretagne, Haute-Normandie, Pays de la Loire, PACA, Réunion et Rhône-Alpes se sont engagés, le 17 octobre 2008, à Brest, dans l'Initiative partenariale nationale pour l'émergence des énergies marines (IPANEMA).

Les signataires s'engagent à :

- promouvoir le développement d'une filière scientifique et industrielle « Energies marines » en définissant une stratégie commune et une feuille de route volontariste, et en facilitant l'appropriation des enjeux par l'ensemble des parties prenantes, dans un cadre national, européen et international ;
- mettre en place un réseau coordonné des acteurs français des énergies marines dans une logique de développement des travaux existants et de renforcement de la thématique énergies marines à tous les niveaux concernés (recherche, industrie, développement économique...) ;
- développer des sites d'essais en mer adaptés aux différentes technologies d'énergies marines, pré-requis à la démonstration de leur rentabilité économique, à l'instar du projet Semrev engagé avec le soutien de la Région des Pays de la Loire et de l'Etat ;
- faciliter le développement de démonstrateurs en contribuant à la définition, au pilotage et à la mise en œuvre de dispositifs de soutien adaptés (fonds de soutien aux démonstrateurs, projets ANR, appels à projets européens...).

Les groupes de travail constitués à cette occasion devraient proposer une feuille de route pour l'été 2009.

- Le fonds démonstrateur

La stratégie nationale de recherche énergétique de 2007 affirme l'importance des actions de démonstration. Le projet de loi Grenelle 1 confirme le soutien de l'Etat à ces actions en indiquant qu'il « favorisera le développement de l'ensemble des filières d'énergies renouvelables dans des conditions économiquement et écologiquement soutenables » et apportera son soutien aux démonstrateurs de nouvelles technologies de l'énergie¹⁶⁴. 400 millions d'euros sur quatre ans seront consacrés à ce « fonds démonstrateur » dont la gestion est confiée à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

L'ADEME rappelle que les recherches finalisées engagées depuis plusieurs années dans les différents domaines des nouvelles technologies de l'énergie (NTE) nécessitent d'être poursuivies sur des démonstrateurs de recherche afin d'améliorer et de valider les technologies développées à des échelles représentatives de la réalité industrielle. Ces démonstrateurs peuvent faire appel à un soutien public pour plusieurs raisons :

- le coût important et la vocation expérimentale de ces installations ;
- les perspectives de marché non immédiates des technologies développées.

L'agence définit le démonstrateur de recherche comme un équipement permettant de lever des verrous technologiques, liés à la taille d'un système, ou à sa complexité née d'une intégration de systèmes. Le démonstrateur se situe entre l'expérimentation et le développement commercial. Le démonstrateur est à une échelle qui peut être l'échelle 1 sur certains sujets, mais sera, en règle générale, moindre. Le démonstrateur de recherche n'a pas vocation à assurer une production,

¹⁶⁴ Projet de loi de programme relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle 1, adopté par l'Assemblée nationale, 21 octobre 2008.

un usage commercial ou à être vendu : il est généralement démonté à l'issue de son expérimentation¹⁶⁵.

Les énergies marines, comme l'ensemble des énergies renouvelables, sont éligibles à ce fonds mais les trois premiers appels à manifestation d'intérêt, publiés en juillet et septembre 2008, portaient sur les biocarburants de deuxième génération, les véhicules propres et le stockage du CO₂. Un appel à projets sera lancé en 2009 dans le domaine de l'énergie solaire. L'appel à projets pour les énergies marines est également annoncé, mais on n'en connaît pas encore l'échéance¹⁶⁶.

2.4. La pluridisciplinarité à l'épreuve

Si le développement des énergies marines est très majoritairement appréhendé sous l'angle technologique et industriel, leur déploiement ne peut s'envisager qu'en intégrant d'autres disciplines. Il s'agit, notamment, de la recherche en :

- géologie ;
- océanographie ;
- biologie ;
- géographie ;
- environnement ;
- économie (observation des marchés, prix, indicateurs) ;
- sociologie (usages, évolution des pratiques, comportements, acceptation) ;
- droit ;
- sciences de l'éducation ;
- sciences de la communication ;
- science politique (politiques publiques, politiques des collectivités locales, politiques internationales, géopolitique) ;
- prospective énergétique.

L'ensemble de ces recherches, qui peuvent apparaître dans un premier temps comme « annexes », ne doivent pas être négligées.

¹⁶⁵ ADEME, juillet 2008. *Démonstrateurs de recherche en Nouvelles technologies de l'énergie (NTE). Appel à manifestations d'intérêt (AMI) Biocarburants 2^e génération.*

¹⁶⁶ MEEDDAT, 17 novembre 2008. *Grenelle Environnement : réussir la transition énergétique. 50 mesures pour un développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale.*

Chapitre 7

Des enjeux maritimes et côtiers

1.	Un critère exclusif : les ressources disponibles	197
2.	Les critères de faisabilité technique	201
2.1.	La bathymétrie	201
2.2.	La géologie et la sédimentologie	202
2.3.	Les conditions hydrodynamiques	203
2.4.	La distance à la côte	203
2.5.	Le raccordement au réseau	203
2.6.	Les infrastructures à terre	204
3.	Les critères d'intégration et d'acceptabilité	206
3.1.	L'occupation de l'espace	207
3.1.1.	Eolien offshore	207
3.1.2.	Vagues et courants	208
3.2.	Les interactions avec les activités existantes : entre craintes et négociations	209
3.2.1.	Une évaluation des interactions possibles	209
3.2.2.	La navigation et la sécurité maritime	211
3.2.3.	Les activités militaires	212
3.2.4.	Les câbles sous-marins	212
3.2.5.	La pêche : de la méfiance à l'implication	212
3.2.6.	Les élevages marins	219
3.2.7.	L'extraction de granulats	220
3.2.8.	Le tourisme	220
3.3.	Les impacts sur l'environnement	220
3.3.1.	L'évaluation des impacts sur le milieu naturel	220
3.3.2.	L'impact paysager	222
3.3.3.	Les interactions avec les zones protégées	223
3.4.	Le paysage juridique et réglementaire : entre spécificités maritimes et transpositions terrestres	224
3.4.1.	La concession d'utilisation du domaine public maritime	225
3.4.2.	L'autorisation au titre du code de l'environnement	227
3.4.3.	L'autorisation au titre du code de l'urbanisme	229
3.4.4.	Les procédures liées à l'exploitation électrique	229
3.4.5.	L'enquête publique	230
3.4.6.	Les services instructeurs	230
3.4.7.	Un imbroglio administratif pénalisant	231
3.4.8.	Au niveau national, de nouveaux cadres pour l'action de l'Etat en mer	232
3.4.9.	En Bretagne, un guide à l'attention des porteurs de projets	233
4.	Vers une stratégie de planification ?	233
4.1.	En France, une étude de zonage ADEME / Ifremer	233
4.2.	A l'étranger, des exemples de planification	234
4.2.1.	En Belgique, une zone dédiée aux éoliennes	234
4.2.2.	Au Royaume-Uni, les « rounds »	236
4.2.3.	En Allemagne, une planification de la production électrique	239

Si le développement technologique en lui-même est porteur d'enjeux industriels et économiques, et un enjeu fort pour la recherche, le développement et la démonstration, la production d'énergie en mer est la clé du développement d'intérêts plus larges puisqu'elle impose de prendre en compte les caractéristiques des sites dans lesquelles les technologies seront installées et exploitées.

La production d'électricité à partir des énergies de la mer est un nouvel entrant dans des espaces maritimes et côtiers utilisés pour une multiplicité d'usages, fortement convoités et soumis à une pression croissante. Les caractéristiques du couple technologie / site deviennent donc fondamentales dans tout projet de développement des énergies marines.

C'est aujourd'hui à chaque porteur de projet qu'il revient de prospecter pour identifier les sites qui lui paraissent favorables. Cette prospection repose sur une analyse multicritères, dans laquelle les critères et la pondération de ces critères sont laissés à l'appréciation du porteur de projet.

L'optimisation du couple technologie / site doit répondre à trois grandes familles de critères : des critères liés à la ressource disponible (1), des critères de faisabilité technique (2), et enfin des critères d'intégration et d'acceptabilité dans des espaces occupés, protégés, réglementés (3). Certains pays ont pris en compte, très en amont, l'ensemble de ces critères pour planifier et faciliter le développement des énergies marines (4).

1. Un critère exclusif : les ressources disponibles

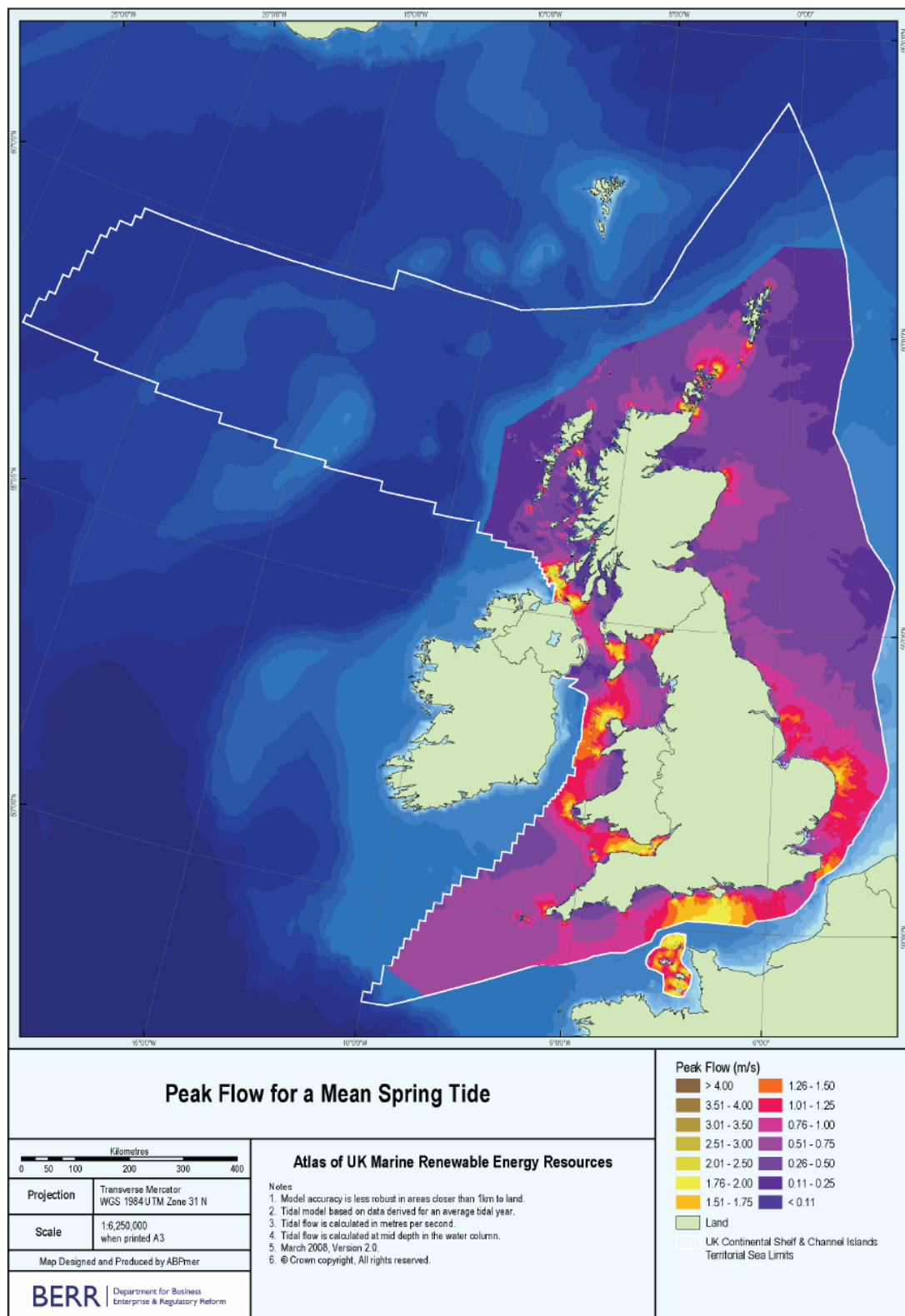
La présence ou non de ressources est un critère exclusif. L'évaluation précise des ressources doit donc être entreprise très en amont car elle conditionne l'ensemble des projets.

Le BERR, Ministère de l'industrie britannique (Department for Business Enterprise & Regulatory Reform) a réalisé un inventaire très approfondi des ressources du Royaume-Uni qu'il a rendu public dans un atlas paru en mars 2008¹⁶⁷. Les ressources en courants, marnage, vagues et vents ainsi que leurs variations saisonnières y sont finement cartographiées.

Il est intéressant de noter que ces cartes caractérisent non seulement la ressource (exprimée en m/s pour les vents et les courants, en m pour le marnage ou la hauteur des vagues), mais aussi la puissance potentiellement exploitable, exprimée en kW/m² pour les vents et les courants, et en kW/m pour les vagues.

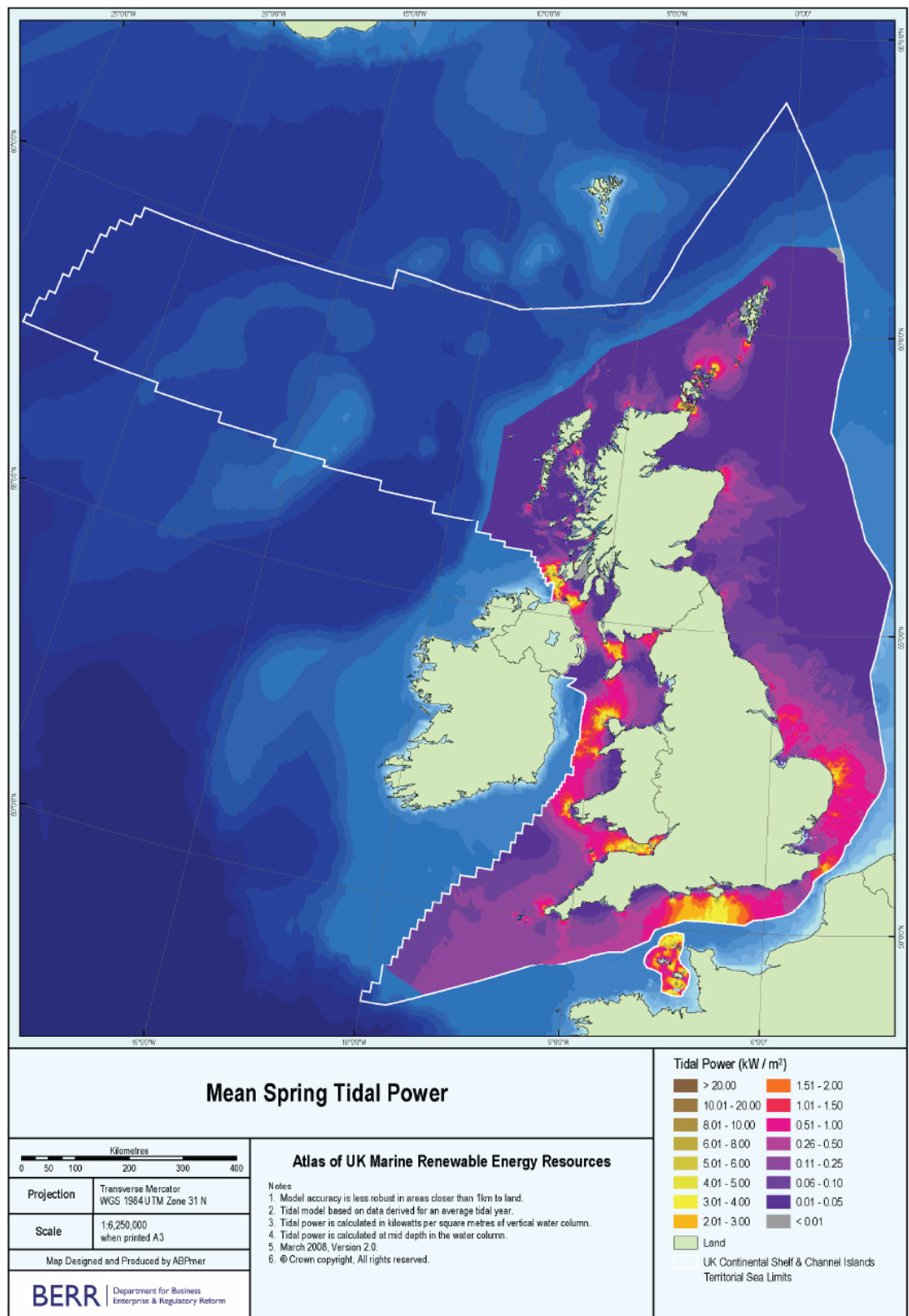
¹⁶⁷ BERR, mars 2008. *Atlas of UK Marine Renewable Energy Resources*.

Figure 68. Les ressources en courants du Royaume-Uni (en m/s).



Source : BERR, 2008.

Figure 69. Les ressources énergétiques liées aux courants au Royaume-Uni (en kW/m²).



Source : BERR, 2008

Les ressources sont encore mal connues en France et en Bretagne et, en tout état de cause, elles ne sont ni compilées ni rendues publiques. Une étude conjointe ADEME/Ifremer a produit ces données, mais elles ne sont pas encore diffusées et ne le seront *a priori* que de manière restreinte, aux services de l'Etat.

L'ADEME avait déjà cofinancé des études d'identification de zones favorables à l'éolien offshore classique (avec fondations) dans les régions :

- Nord-Pas-de-Calais (1997) ;
- Bretagne (1998-2000) ;
- Languedoc-Roussillon (1999) ;
- Normandie-Manche (2000) ;
- Aquitaine (2001).

En Bretagne, l'ADEME a ainsi cofinancé les travaux d'identification de sites éoliens offshore menés par l'Agence Ouest d'Espace Eolien Développement¹⁶⁸. Ces travaux se sont appuyés sur des données océanographiques et météorologiques pour définir de grandes zones favorables au développement de l'éolien offshore en Bretagne, et estimer la puissance qui pouvait y être installée. Des « macro-sites » de plusieurs km², pouvant recevoir plusieurs dizaines d'éoliennes, ont ainsi été définis sur la base de contraintes techniques, environnementales et réglementaires.

Tableau 15. Sites retenus comme potentiellement intéressants en Bretagne pour l'éolien classique avec fondations, dans l'étude ADEME/EED de juillet 2000.

Zone	Poste source	Potentiel
Côte d'Emeraude - Saint-Malo	La Rance	188 éoliennes de 2,25 MW
Baie de Saint-Brieuc	Trégueux	137 éoliennes de 2,25 MW
Côte de Goëlo	Paimpol	157 éoliennes de 2,25 MW
Baie de Morlaix et Plateau de la Méloine - Roscoff	Saint-Pol de Léon	163 éoliennes de 2,25 MW
Plateau d'Ar Guer - Kerlouan	Kerlouan	28 éoliennes de 2,25 MW
Les Glénan - Le Guilvinec	Pont-l'Abbé	144 éoliennes de 2,25 MW
Le Palais - Ile d'Houat	Quiberon	95 éoliennes de 2,25 MW

Source : ADEME/EED, 2000.

Une analyse multicritères menée sur ces différents sites a conduit à privilégier, dans l'ordre, les sites de Roscoff (plateau de la Méloine), Kerlouan (plateau d'Ar Guer), Paimpol, Saint-Brieuc, Saint-Malo, le Guilvinec et le Palais. Seuls les deux premiers sites ont fait l'objet d'investigations plus poussées, accompagnées de réunions de consultation avec les acteurs concernés.

Les standards technologiques et le contexte général du développement de l'éolien offshore ont beaucoup évolué en quelques années, et ont rendu cette première approche obsolète. Aujourd'hui, d'autres projets se dessinent ailleurs, avec des machines dont le niveau de puissance a doublé.

¹⁶⁸ ADEME Bretagne/Espace Eolien Développement, juillet 2000. *Energie éolienne offshore en Bretagne. Partie 1 : identification de sites.*

Espace Eolien Développement, devenu filiale de Powéo, a poursuivi son travail d'évaluation de la ressource en vents. Le modèle numérique qu'il propose aujourd'hui montre que le régime des vents est favorable sur l'ensemble de la région, à condition de s'éloigner de plus de 3 milles de la côte pour bénéficier ainsi de vents réguliers et peu turbulents¹⁶⁹. Mais si les modèles numériques existent, ils doivent être calibrés par des mesures *in situ*. Powéo a ainsi installé un mât de mesure sur le phare du Léjon, en baie de Saint-Brieuc, afin de vérifier la faisabilité de son projet.

Il est probable que les autres opérateurs disposent de leurs propres modèles numériques et atlas de ressources.

En ce qui concerne les autres énergies marines (marées, vagues, courants), les ressources ont été évaluées par différents acteurs, parfois sans lien avec la production d'énergie (SHOM ou Ifremer par exemple).

L'étude précise de la ressource, point de départ de chaque projet individuel, doit également être appréhendée dans sa globalité. En effet, de façon à planifier sur le moyen et le long termes la contribution des énergies marines à la production électrique du pays, il est nécessaire de prévoir la complémentarité entre les différentes sources d'énergie. Cette démarche relève d'une recherche d'optimisation des projets. Il s'agit de trouver la bonne complémentarité entre l'exploitation de l'énergie des vents, des vagues et des courants, et de déployer les différents parcs de façon à ce qu'ils permettent cette complémentarité. Il peut être intéressant, par exemple, de disposer les parcs éoliens sur des gisements de vents différents et complémentaires, pour assurer une certaine continuité de la production, ou encore de disposer les parcs hydroliens le long de la progression de l'onde de marée... Le fait que chaque porteur de projet mène sa propre évaluation des ressources ne va pas dans le sens de cette optimisation. Une démarche comme celle du BERR semble plus pertinente.

2. Les critères de faisabilité technique

Les porteurs de projet se heurtent, très tôt, à un ensemble de critères de faisabilité technique. Certains de ces paramètres sont fixes, comme les conditions du milieu ; d'autres sont variables et donc ajustables, comme la distance à la côte ou le raccordement au réseau.

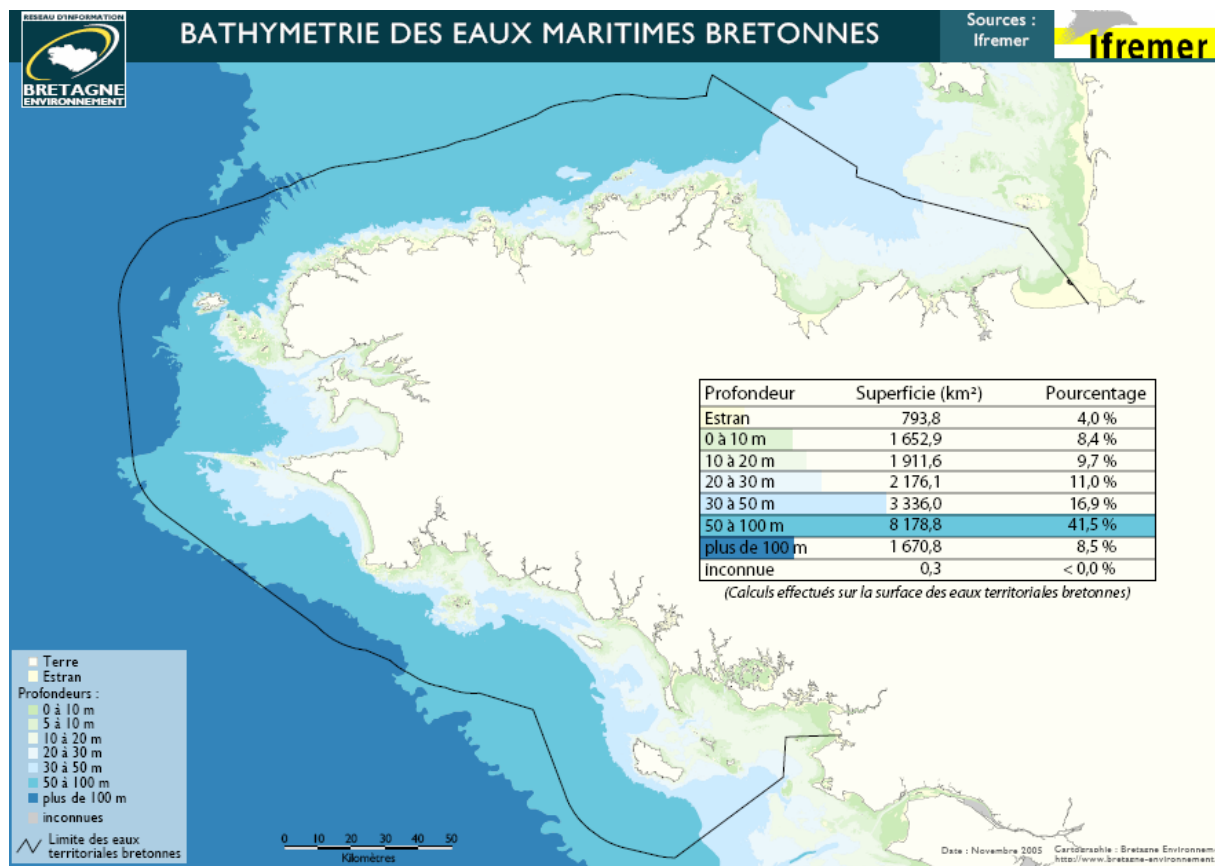
2.1. La bathymétrie

Critère exclusif pour les éoliennes classiques qui ne peuvent être implantées à plus de 30 m de profondeur (40 m sur structure jacket), la bathymétrie ne l'est plus autant dès lors que l'on s'intéresse à des machines totalement immergées ou au contraire à des machines flottantes. L'identification des sites favorables faite jusqu'à

¹⁶⁹ Powéo, août 2008. *Centrale éolienne en mer en Côtes d'Armor*. Document de travail.

présent attribuait un poids très fort à ce critère, qu'il faudra désormais pondérer au regard des avancées technologiques qui permettent de s'affranchir partiellement de la profondeur d'eau.

Figure 70. Bathymétrie des eaux maritimes bretonnes.



Source : Bretagne Environnement, 2008.

2.2. La géologie et la sédimentologie

Les fonds sous-marins présentent des variétés infinies de compositions et de comportements (matériaux meubles des fonds sédimentaires, matériaux stables mais plus ou moins résistants des fonds rocheux...) qu'il importe de connaître pour assurer des ancrages stables aux équipements à implanter.

La nature des fonds détermine la nature des fondations à envisager, en particulier pour les éoliennes, et donc leur coût. Elle détermine également la possibilité ou non d'ensouiller les câbles électriques sous-marins.

L'étude des fonds marins peut mettre au jour des vestiges qui peuvent avoir une influence sur le déroulement des projets, comme la présence de mines de la seconde guerre mondiale (un projet éolien au Tréport a été annulé pour cette raison), ou la présence d'épaves, dont certaines sont considérées comme sanctuaires par d'autres pays.

2.3. Les conditions hydrodynamiques

L'évaluation de la ressource se fait de manière spécifique pour une technologie donnée, c'est-à-dire que l'on évalue le gisement de vent pour une éolienne, la vitesse des courants pour une hydrolienne, etc. Mais l'implantation d'une machine en mer nécessite de bien connaître toutes les conditions hydrodynamiques auxquelles elle sera soumise : une éolienne devra par exemple résister aux courants et aux vagues... Par ailleurs, il est évident que les réflexions liées au dimensionnement des machines et à leur implantation doivent intégrer le marnage, qui peut atteindre 14 m en baie du Mont Saint-Michel.

2.4. La distance à la côte

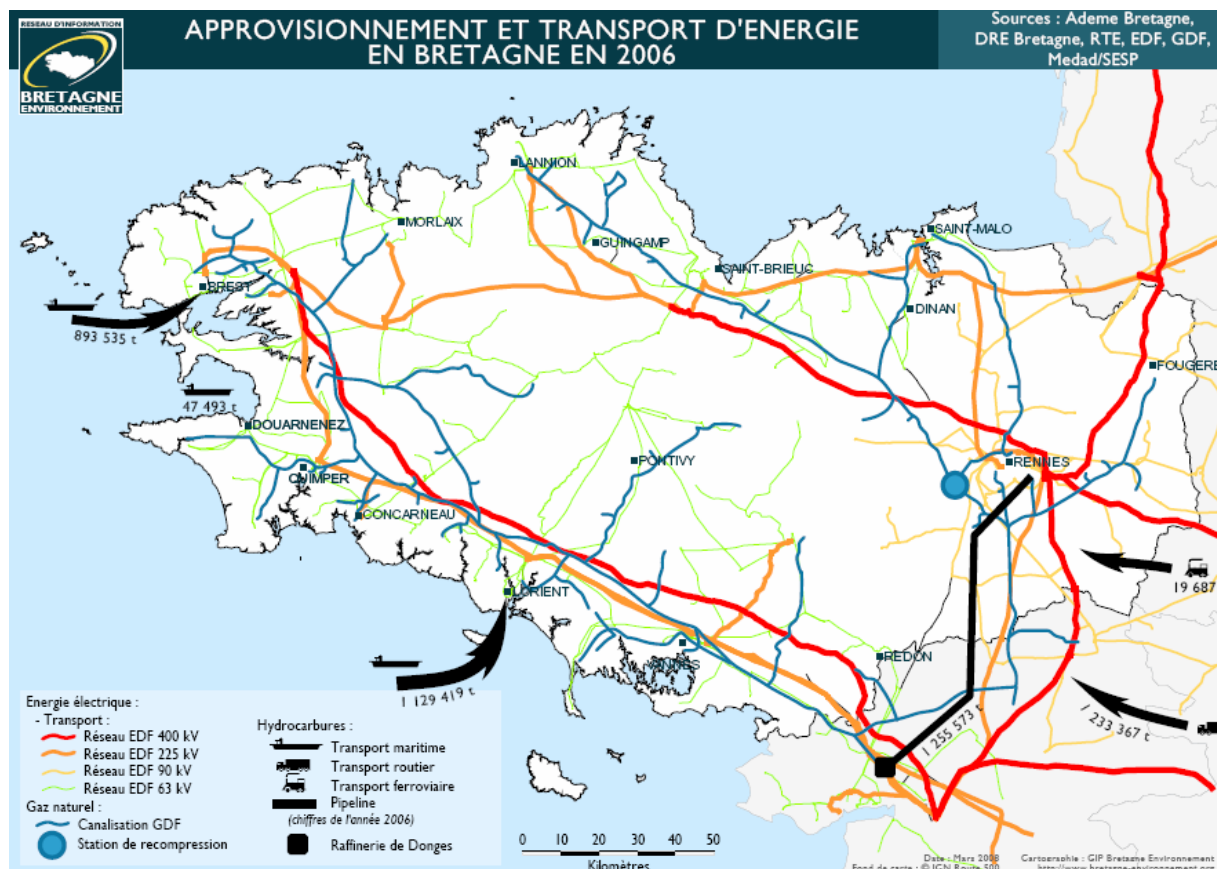
A la différence des paramètres cités ci-dessus qui sont des données fixes, la distance à la côte est une donnée variable, qui est le résultat d'un choix. Elle constitue de ce fait un paramètre particulièrement déterminant.

Le choix de la distance à la côte est le résultat d'un compromis entre des paramètres qui incitent à l'éloignement et des paramètres qui incitent au rapprochement. Elle détermine en premier lieu la longueur de câble sous-marin nécessaire au raccordement électrique, dont on a vu qu'il peut être un poste de dépense important relativement au coût total du projet. Elle influe sur le coût des opérations d'installation et de maintenance. Enfin, elle est en interaction très forte avec les critères liés à la présence d'autres usages, puisque lorsque l'on s'éloigne de la côte, les usages se font moins nombreux et plus spécifiques (il s'agit des chenaux de navigation principalement). En outre, le rejet de certains types d'implantations par les populations riveraines, sur la base de leur visibilité jugée excessive, s'atténue avec la distance à la côte.

2.5. Le raccordement au réseau

Les développements technologiques actuels ne permettent pas de stocker l'électricité à grande échelle, et celle-ci doit être exportée vers le réseau de transport d'électricité. La puissance moyenne des projets pressentis, de l'ordre de 50 à 100 MW, impose le raccordement à des lignes de 225 000 ou 400 000 V, gérées par RTE. L'injection sur le réseau ne peut se faire que sur des postes suffisamment importants. Il est donc nécessaire, pour le porteur de projet, d'identifier ces possibilités de raccordement.

Figure 71. Approvisionnement et transport d'énergie en Bretagne en 2006.



Source : Bretagne Environnement, 2008.

Il peut y avoir intérêt, dans un premier temps au moins, à produire près des centres de consommation, où toutes les infrastructures nécessaires à l'exportation de l'électricité existent. A terme, le réseau devra être capable d'absorber cette nouvelle production de proximité pour laquelle il n'a pas été conçu.

Dans la procédure de montage d'un projet, le lieu de raccordement peut être réservé auprès de RTE, moyennant le paiement de 10% du coût des travaux. Powéo l'a fait en baie de Saint-Brieuc.

2.6. Les infrastructures à terre

Tout projet implanté en mer a des liens avec la terre et nécessite la maîtrise d'espaces spécifiques pendant la phase de construction et la phase d'exploitation.

En phase de construction, les infrastructures portuaires nécessaires sont relativement importantes, en lien avec la taille des machines : 60 m pour les pales d'une éolienne de 5 MW, 75 m pour le mât, 315 tonnes pour la nacelle, un câble de 80 kg au mètre linéaire... Les systèmes de récupération de l'énergie des vagues ou des courants ont également des dimensions imposantes : 140 m de long et 350 tonnes pour le Pelamis, 25 m et 1 000 tonnes pour le Searev, jusqu'à 16 m de diamètre pour les turbines OpenHydro...

La proximité d'infrastructures portuaires est souvent un critère de choix important pour les sites d'implantation. Il faut en effet un espace bord à quai d'une longueur adaptée, des quais suffisamment solides s'il s'agit de concevoir et d'installer des ouvrages lourds.

La première phase du projet éolien du Thorntonbank, en Belgique, a nécessité à Ostende une zone portuaire dédiée de 1,5 ha pour la construction de 6 fondations gravitaires, ainsi qu'un quai à grande portance spécialement renforcé. Mais le port, dont les infrastructures sont modestes, ne pourra pas accueillir la construction des 54 fondations gravitaires qui doivent venir compléter cette première phase.

Figure 72. Construction et manutention sur le port d'Ostende (fondations de 3000 tonnes et nacelle de 315 tonnes).



Source : *The Wind Power*, 2008.

Figure 73. Transport sur barge de fondations tripodes.



Source : *Philippe GOUVERNEUR*, 2008.

L'accessibilité aux sites portuaires, tant depuis la mer que depuis la route, doit également être satisfaisante.

C'est l'ensemble de ces critères qui importent dans la sécurisation de la chaîne logistique, dont on a vu l'importance plus haut. Le seul critère de proximité ne suffit pas à choisir un port plutôt qu'un autre. La mobilisation/démobilisation des navires spécialisés revient plus cher que leur utilisation sur de longues distances. On ne cherche pas forcément à être près d'un port si celui-ci ne permet pas d'assurer cette sécurisation.

La phase de maintenance requiert des moyens différents. Cette fois, la proximité devient essentielle pour les équipes de maintenance, mais des infrastructures plus légères suffisent. La maintenance lourde, avec le retour au port des machines, nécessitera en revanche des moyens plus conséquents, mais les efforts portés à la fiabilisation des machines laissent à penser que de telles manipulations resteront exceptionnelles.

On peut noter que dans le cadre de sa stratégie de développement, le grand port maritime de Nantes Saint-Nazaire envisage de valoriser le site du Carnet par la création d'un parc technologique « environnement / énergies renouvelables » constitué d'un pôle d'expérimentation, de production, de service et de soutien logistique aux filières industrielles engagées dans le secteur des énergies, tournées vers la mer notamment¹⁷⁰.

En conclusion, cette approche des paramètres de faisabilité technique doit s'appréhender en termes d'adaptabilité de la technologie utilisée au site dans lequel elle s'insère.

3. Les critères d'intégration et d'acceptabilité

L'acceptabilité des énergies marines est au cœur d'enjeux sociétaux qui détermineront l'avenir de cette activité émergente.

Après l'évaluation des ressources, mais en parallèle avec les études de faisabilité technique, les porteurs de projet devront examiner un ensemble de questions liées à la nouveauté de leur activité et à l'intégration de celle-ci dans des espaces occupés, protégés, réglementés, dans des paysages modelés par d'autres activités et soumis à d'autres préoccupations.

Parmi ces paramètres, certains sont des paramètres fixes et il faudra en quelque sorte « faire avec », comme les zones minées lors des deux dernières guerres mondiales, les zones de couverture radar, les chenaux de navigation ou les zones militaires ; d'autres sont variables, c'est-à-dire qu'il existe une marge de manœuvre pour la cohabitation, qui fera sans doute l'objet de négociations. Dans ce cas, il s'agit

¹⁷⁰ Grand Port maritime de Nantes Saint-Nazaire, 30 janvier 2009. *Projet stratégique. Document provisoire en vue d'un débat d'orientation au Conseil de développement.*

pour le porteur de projet de bien mesurer que, sur la zone convoitée, il existe d'autres activités qui n'excluent pas l'implantation, mais avec lesquelles il va falloir composer de façon à minimiser l'impact des parcs.

Les paramètres variables peuvent être regroupés autour :

- de l'occupation de l'espace ;
- de l'interaction avec les activités existantes ;
- de l'impact sur l'environnement ;
- du contexte réglementaire.

3.1. L'occupation de l'espace

Dans le chapitre 4, nous avons mis en parallèle les objectifs chiffrés annoncés par différents documents de programmation ou de prospective en France, puis nous les avons comparés, dans le chapitre suivant, avec les objectifs annoncés par les autres pays. Que représentent les objectifs de l'Allemagne, du Royaume-Uni ou de la France en nombre de machines installées ?

3.1.1. Eolien offshore

L'objectif annoncé le plus important est celui du Royaume-Uni, avec 33 000 MW envisagés à l'horizon 2020. Cela représente 6 500 éoliennes de 5 MW, pour un linéaire côtier de presque 20 000 km. Pour atteindre son objectif de 25 000 MW, l'Allemagne devra installer 5 000 éoliennes, sur 3 500 km de côtes. Pour atteindre son objectif de 4 000 à 6 000 MW à l'horizon 2020, la France devra installer 800 à 1 200 éoliennes, sur 7 500 km de côtes.

L'indicateur théorique du nombre d'éoliennes par km de côtes, qui n'est pas une donnée significative en tant que telle mais qui donne une idée du degré d'ambition des différents pays, varie donc de 11 à 16 éoliennes pour 100 km de côtes en France à plus de 140 éoliennes pour 100 km de côtes en Allemagne où, il est vrai, la bathymétrie et les ressources s'avèrent plus favorables.

Avec un objectif de 1 000 MW offshore à l'horizon 2020, la Bretagne affiche donc un objectif inférieur à la moyenne française, puisqu'il lui faudra implanter 200 éoliennes sur ses 2 700 km de côtes, soit 7 éoliennes pour 100 km contre 11 à 16 dans le reste de la France. Les ressources en vent y sont pourtant théoriquement plus abondantes.

Tableau 16. Quelques indicateurs théoriques au sujet des projets éoliens offshore classiques.

	Objectif à l'horizon 2020 (MW)	Nombre d'éoliennes de 5 MW	Linéaire côtier (km)	Ratio théorique du nombre d'éoliennes pour 100 km de côtes
Royaume-Uni	33 000	6 600	20 000	33
Allemagne	25 000	5 000	3 500	142
France	4 000 à 6 000	800 à 1 200	7 500	11 à 16
Bretagne	1 000	200	2 700	7

Si l'on raisonne maintenant en termes de surface occupée, et que l'on retient une densité énergétique de l'ordre de 10 MW/km², les objectifs de la France se déclinent de la façon suivante¹⁷¹ :

4 000 MW éolien offshore	= environ 400 km ² (10 MW/km ²)
	= 16 parcs de 50 éoliennes (parcs de 25 km ²)
	= 25 parcs de 30 éoliennes (parcs de 16 km ²)
	= 50 parcs de 15 éoliennes (parcs de 8 km ²)

Les objectifs de la Bretagne sont les suivants :

1 000 MW éolien offshore	= environ 100 km ²
	= 4 parcs de 50 éoliennes (parcs de 25 km ²)
	= 7 parcs de 30 éoliennes (parcs de 16 km ²)
	= 14 parcs de 15 éoliennes (parcs de 8 km ²)

La surface des eaux territoriales de la Bretagne est de 19 000 km². Cet objectif éolien se traduira donc par l'occupation de 0,5% de l'ensemble des eaux territoriales de la Bretagne.

3.1.2. Vagues et courants

Pour une densité énergétique de l'ordre de 30 MW/km², et des unités de 1 MW, les objectifs de la France (1 000 à 2 000 MW)¹⁷² se déclinent de la façon suivante :

1 000 MW hydrolien et/ ou houlomoteur	= environ 30 km ²
	= 10 parcs de 100 machines (parcs de 3 km ²)
	= 20 parcs de 50 machines (parcs de 1,5 km ²)

L'objectif de la Bretagne tel que défini dans le plan Energie de juillet 2007 est de parvenir à installer un, deux ou trois démonstrateurs d'ici 2013, et une plateforme d'essais d'ici 2015. Plus encore que la ressource en vent, la Bretagne concentre sur ses côtes les ressources en vagues et en courants. Elle devra donc jouer un rôle de premier ordre pour atteindre l'objectif national de 1 000 MW. Si on fait l'hypothèse qu'elle y contribuera à hauteur de 30%, c'est-à-dire avec un objectif de 300 MW, cela représente pour la Bretagne :

300 MW hydrolien et/ ou houlomoteur	= environ 10 km ²
	= 3 parcs de 100 machines (parcs de 3 km ²)
	= 6 parcs de 50 machines (parcs de 1,5 km ²)

Atteindre cet objectif se traduira par l'occupation de 0,05% des eaux territoriales bretonnes.

Sans autre considération que celle des surfaces disponibles, les objectifs affichés par la Bretagne apparaissent donc modestes au regard des objectifs fixés par d'autres pays.

¹⁷¹ Voir, dans le chapitre 4, les différents scénarios esquissés dans les documents de prospective énergétique.

¹⁷² *Ibid.*

Mais l'examen d'autres critères que le seul critère d'occupation de l'espace amène à penser qu'il pourrait y avoir en Bretagne au maximum 4 sites pour l'éolien offshore et 4 sites pour l'exploitation des courants¹⁷³.

3.2. Les interactions avec les activités existantes : entre craintes et négociations

Les espaces maritimes et côtiers sont utilisés pour une grande diversité d'usages : transport maritime (marchandises et passagers), pêche, cultures marines, extraction de granulats, plaisance, tourisme... L'arrivée d'une nouvelle activité dans un espace convoité entraîne des craintes pour les usagers et des conflits latents sont déjà perceptibles. Le sentiment général est donc celui d'une défiance vis-à-vis d'une activité inconnue, qui pâtit de surcroît, en ce qui concerne l'éolien offshore, de l'écho médiatique parfois négatif de l'éolien terrestre. Certains ont néanmoins franchi le pas et s'ouvrent aux opportunités que peut offrir cette activité nouvelle, arguant du constat que puisqu'il est très probable que les énergies marines se développeront, autant s'impliquer dans leur développement pour en tirer des bénéfices.

3.2.1. Une évaluation des interactions possibles

Les interactions possibles entre l'activité de production d'électricité en mer et les autres activités sont presque exclusivement liées à l'occupation de l'espace par les machines et par les activités adjacentes :

- l'occupation du sol et du sous-sol ;
- l'occupation de la colonne d'eau ;
- l'occupation de la surface de l'eau pour les machines flottantes ou émergées ;
- l'occupation de la colonne d'air pour les machines émergées ;
- l'occupation d'espaces portuaires pour la fabrication, l'installation et la maintenance.

Ces différentes formes d'occupation de l'espace peuvent se traduire par des incompatibilités absolues avec certaines activités, par des compatibilités relatives avec d'autres, voire par des synergies lorsque la présence des machines apporte un plus aux autres usagers.

La bonne conduite d'un projet devra donc s'appuyer sur un inventaire exhaustif des activités et des pratiques existantes, par exemple, y a-t-il des activités de pêche ? Si oui, quels métiers sont pratiqués ? Avec quels types de navire ? A quel moment de l'année... ?

¹⁷³ Audition de M. Ferdinand COSTES (Conseil régional de Bretagne) le 14 février 2008.

Terra-Maris : un outil de simulation des activités en mer côtière

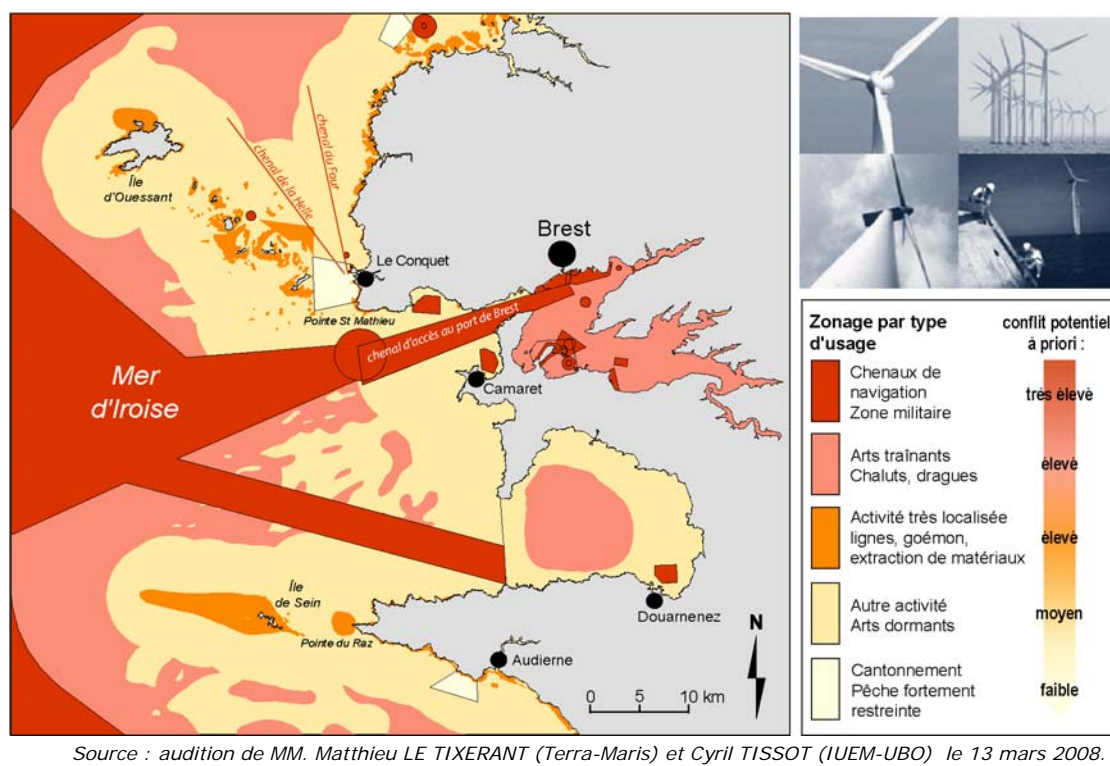
L'entreprise Terra-Maris, spécialisée dans la conception de systèmes d'information géographique, développe en lien avec le laboratoire Géomer (IUEM-UBO/CNRS) un simulateur visant à fournir des prestations de service innovantes dans le domaine de l'aide à la gestion de la zone côtière.

La mer côtière est le siège de nombreuses activités humaines, et dans de nombreux cas il est intéressant de disposer d'une information pertinente sur le déroulement des activités prenant en compte les contraintes réglementaires, physiques, économiques, sociales, biologiques, mais aussi météorologiques.

Un exemple de simulation appliquée aux éoliennes offshore montre la sensibilité des activités présentes en mer côtière à l'arrivée d'une nouvelle activité, et permet l'appréhension, *a priori*, du degré de conflit potentiel.

Les éoliennes ne pourront par exemple pas être implantées dans des chenaux de navigation ou des zones militaires ; elles pourront très difficilement être implantées dans des zones de pêche aux arts trainants (chalut, drague) ; elles pourront difficilement être implantées dans des zones d'activités très localisées telles que la pêche à la ligne, la récolte de goémon, l'extraction de matériaux ; elles pourront plus facilement être implantées dans les zones de pêche aux arts dormants (casiers, filets), et plus facilement encore dans les zones où la pêche est interdite ou restreinte.

Le résultat de la simulation donne une carte de probabilité des conflits dans les différentes zones d'activités identifiées, depuis des risques jugés « très élevés » à des risques jugés « faibles ».



3.2.2. La navigation et la sécurité maritime

Hormis dans les chenaux et les dispositifs de séparation du trafic comme le rail d'Ouessant, la navigation n'est pas un obstacle à l'implantation de machines en mer (ni inversement). Les machines totalement immergées, comme les hydroliennes, sont à ce titre préférables puisque, si elles sont implantées dans des zones relativement profondes, elles permettent de laisser en surface un tirant d'eau suffisant. Il est probable que les parcs houlomoteurs seront totalement interdits à la navigation, car les systèmes de récupération de l'énergie des vagues sont mobiles par nature. Pour les autres (éoliennes classiques ou flottantes), la cohabitation avec la navigation doit s'appuyer sur un balisage et un signalement sur les cartes marines et, le cas échéant, sur une disposition des machines permettant la navigation.

Il peut y avoir des synergies entre production d'énergies marines et sécurité maritime : le parc du Thorntonbank en Belgique permettra par exemple d'installer un radar en « base avancée » afin de surveiller le trafic du chenal de navigation menant au port de Rotterdam, trop éloigné actuellement pour être couvert par les radars de surveillance côtière¹⁷⁴.

Il n'existe pas de règle en matière de navigation dans les parcs éoliens offshore. Dans le parc du Thorntonbank, la navigation sera soumise à autorisation dans une zone de 500 m autour de chaque éolienne. Sachant que les machines sont espacées de 600 à 800 m, on peut considérer que la navigation dans le parc sera interdite. Les seules autorisations concerneront les navires de maintenance et, peut-être, quelques bateaux de petite taille pour des activités de type aquaculture ou mytiliculture¹⁷⁵.

En termes de sécurité maritime, il n'y a pas encore de retour d'expériences concernant l'impact des éoliennes offshore sur les ondes radar et radio. Il existe, en mer du Nord, des parcs éoliens à proximité de chenaux de navigation, dans lesquels il n'y a pas de problèmes. Le parc peut se voir sur les radars, et être utilisé comme repère¹⁷⁶. Mais, d'un autre côté, des études ont été faites qui montrent que les signaux peuvent être perturbés ou bloqués par des éoliennes¹⁷⁷. Des études complémentaires devront éclaircir ce point.

Par ailleurs, l'intervention rapide des sauveteurs en mer doit être prévue et possible au sein même des parcs. Les éoliennes doivent pouvoir être arrêtées rapidement pour permettre, par exemple, l'intervention de l'hélicoptère.

Le régime de responsabilité, en cas d'accident, n'est pas clarifié. Il pourrait se rapprocher de celui des câbles sous-marins. C'est un point qui n'est pas négligeable car de grosses sommes sont en jeu au niveau des assurances.

¹⁷⁴ D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

¹⁷⁵ *Ibid.*

¹⁷⁶ Audition de MM. Frédéric LANOË, Pierre PEYSSON et Mme Julie BONGARD (WPD Offshore) le 29 mai 2008.

¹⁷⁷ Audition de M. Xavier LA PRAIRIE (SMIB) et Mme Anicette PAISANT-BEASSE (DRIRE Bretagne) le 11 septembre 2008.

3.2.3. Les activités militaires

Les activités militaires aériennes, de surface et sous-marines peuvent contraindre certaines installations de systèmes de production d'électricité en mer dans les zones d'exercice ou de circulation.

3.2.4. Les câbles sous-marins

Les zones de câbles (câbles électriques ou télécoms) excluent *a priori* toute installation de machines ancrées sur les fonds marins. Afin de limiter les impacts sur l'environnement et ne pas créer de servitudes supplémentaires, il est intéressant de recenser les câbles existants pour, si possible, les longer. C'est le cas en baie de Saint-Brieuc, où deux câbles existants pourraient être longés sur 20 km pour les besoins du projet de Powéo¹⁷⁸. La mutualisation des câbles, telle qu'elle est prévue en Allemagne par la constitution de « clusters », est intéressante en ce sens qu'elle permet de limiter les coûts, l'occupation de l'espace et les impacts sur l'environnement (voir le point 4.2.3. en fin de chapitre).

3.2.5. La pêche : de la méfiance à l'implication

C'est sans aucun doute l'activité de pêche qui est la plus directement concernée par les projets d'implantation en mer d'installations de production électrique, ces projets étant vus comme la soustraction aux pêcheurs de zones qu'ils exploitent.

Il n'existe, au niveau européen, aucune réglementation relative à la cohabitation entre pêche et éoliennes offshore. Le traitement se fait au cas par cas. Si à Veulettes-sur-Mer, l'autorisation sera sans doute restreinte aux petits navires, il existe en Europe des parcs dans lesquels le chalutage est interdit (parc de 80 éoliennes de Horns Rev au Danemark), d'autres où rien n'est interdit (projet de 64 éoliennes de Gunfleets Sand, Royaume-Uni), d'autres où il existe une zone d'exclusion de pêche de 50 mètres autour de chaque éolienne (parc de 30 éoliennes de Rhyl Flats, Royaume-Uni), d'autres encore où la pêche est explicitement autorisée (parc de 30 éoliennes de Lynn, Royaume-Uni), d'autres enfin dans lesquels le chalutage est interdit dans un rayon de 100 m autour des éoliennes (parc de 60 éoliennes de Robin Rigg, Royaume-Uni)¹⁷⁹.

On peut penser que les arts traînants seront interdits dans les parcs éoliens, et que la pratique de métiers comme le casier sera autorisée. Mais, selon un pêcheur, « *les Affaires maritimes donneront probablement l'autorisation au départ, et interdiront le jour où il y aura un accident. Les tempêtes, les dégâts amèneront à la mise en place de périmètres de sécurité. Ce jour-là, les éoliennes resteront, pas les pêcheurs* »¹⁸⁰.

¹⁷⁸ Audition de MM. Christophe JURCZAK et Grégoire DURAND (Powéo/EED) le 10 avril 2008.

¹⁷⁹ *Ibid.*

¹⁸⁰ Audition de M. Alain COUDRAY (CLP Saint-Brieuc) le 15 mai 2008.

La disposition des éoliennes dans le parc aura un impact déterminant sur la pratique de la pêche. Deux configurations extrêmes sont possibles :

- des éoliennes distantes les unes des autres, autorisant la navigation mais avec une emprise globale importante ;
- des éoliennes rapprochées les unes des autres, restreignant la navigation aux petits navires (voire l'interdisant), mais avec une emprise globale plus faible.

C'est sur la base d'un processus de concertation avec les pêcheurs qu'un tel choix devra s'opérer. Le porteur de projets WPD Offshore se dit prêt à produire moins si les pêcheurs veulent un parc dans lequel les éoliennes sont espacées, car son investissement sera moins risqué¹⁸¹. Il indique par ailleurs avoir défini la zone d'implantation de son parc du Calvados en concertation avec les pêcheurs, évitant ainsi la zone de pêche à la coquille Saint-Jacques, et les principales zones de chalutage. Il indique également que la pêche aux filets, aux casiers et à la ligne devrait être autorisée dans le parc¹⁸².

Il est en revanche probable que, dans le cas de l'exploitation de l'énergie des vagues ou des courants, toute activité de pêche sera interdite. Par ailleurs, dans tous les cas, les câbles électriques sous-marins devront être ensouillés au maximum de façon à permettre la pratique des arts traînants entre le parc et la zone d'atterrissage. La mobilisation des zones portuaires pendant la phase de construction ou d'assemblage des machines peut également être un élément perturbateur pour la pêche, et ceci d'autant plus que les espaces portuaires sont restreints. Ainsi, à Ostende, pendant la manœuvre des fondations gravitaires, la barge spécialisée bloquait l'accès au port¹⁸³.

Les deux projets les plus avancés en Bretagne, à savoir le projet éolien de la baie de Saint-Brieuc et le projet hydrolien de Paimpol-Bréhat, présentent tous les deux des caractéristiques très particulières en matière de pratiques de pêche.

La pêche à la coquille Saint-Jacques en baie de Saint-Brieuc est très encadrée, avec 250 licences délivrées chaque année pour 500 à 700 pêcheurs. La pêche n'est autorisée que 45 minutes par jour de pêche, deux jours par semaine, du 1^{er} octobre au 15 mai. Selon le comité local des pêches, le lieu choisi par Powéo se situe au cœur de la pêcherie. Les pêcheurs n'acceptent pas cette localisation et ont proposé d'autres zones plus éloignées à l'opérateur, qui ne les a pas jugées recevables en raison de leur coût supérieur. La localisation du projet reste donc problématique. De son côté, Powéo a mené une évaluation de la ressource coquillière avec l'Ifremer (février 2007 et janvier 2008) et Côtes d'Armor Développement (avril 2008).

A Paimpol, la situation est toute autre puisque la zone visée par EDF pour y installer des hydroliennes expérimentales se situe dans la zone de cantonnement à crustacés de la Horaine. Depuis 1966, dans ce cantonnement le plus grand d'Europe (7 000 ha) et le plus vieux de France, toute pêche est interdite, exceptée la pêche à la ligne. Cet élément explique donc probablement l'accueil favorable des pêcheurs de Paimpol au projet d'EDF.

¹⁸¹ Audition de MM. Frédéric LANOË, Pierre PEYSSON et Mme Julie BONGARD (WPD Offshore) le 29 mai 2008.

¹⁸² Mer et marine, 25 juin 2008. *Eoliennes offshore : le projet se précise dans le Calvados*.

¹⁸³ D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

L'enquête auprès des pêcheurs du comité local des pêches de Lannion-Paimpol

L'enquête

Dans le cadre du projet d'implantation d'un site expérimental de quelques hydroliennes par EDF sur le site de Paimpol-Bréhat, le comité local des pêches de Lannion-Paimpol a mené une enquête d'acceptabilité auprès des pêcheurs exerçant dans le quartier maritime. Cette enquête visait à recueillir le sentiment des pêcheurs sur leur activité, leur avenir, le projet d'hydroliennes et les projets de gestion proposés par le comité local.

Sur les 85 pêcheurs susceptibles d'être enquêtés, 47 l'ont été sur la base d'un échantillonnage aléatoire selon le port de stationnement principal du navire. En parallèle, un questionnaire a été envoyé à 37 patrons-pêcheurs, 14 ont été renvoyés.

Les résultats

La quasi-totalité des pêcheurs interrogés estime que les énergies renouvelables doivent être développées dans l'avenir, mais une part non négligeable d'entre eux reste hésitante face à des technologies mal connues et pouvant être perçues comme une gêne à la pratique de l'activité de pêche. 70% des pêcheurs enquêtés ont connaissance des études réalisées par EDF, principalement par le bouche à oreille et par le comité local. La quasi-totalité souhaite être informée de l'avancée du projet, par courrier principalement.

Les professionnels se sentent concernés par le projet d'EDF à 80%. Les 20% restants sont les pêcheurs qui ne pratiquent par leur activité dans ou à proximité de la zone d'implantation des hydroliennes.

Alors que 65% des pêcheurs estiment que l'implantation des hydroliennes n'interférera pas avec leur activité, la réponse la plus fréquemment donnée par les pêcheurs enquêtés à l'évocation du projet d'EDF est « *une gêne pour les activités de pêche* ». Cela traduit bien des doutes et des inquiétudes face au manque de recul et d'information. Les pêcheurs qui estiment que le projet interférera avec leur activité sont les ligneurs, qui ont le droit de pêcher dans la zone de cantonnement, et les dragueurs qui estiment que les câbles reliant les hydroliennes à la terre pourront être une entrave.

Derrière la gêne pour les activités de pêche vient l'opportunité que représente le projet hydrolien pour le quartier maritime de Lannion-Paimpol. La majorité des pêcheurs estime que le développement conjoint de projets de gestion de la ressource et du projet hydrolien serait une bonne solution, à la fois pour pérenniser la ressource et pour conforter la pêche côtière.

Cependant, le nombre de réponses « *Autres* » ou « *Ne se prononce pas* » reste très élevé dans l'ensemble du questionnaire, car les enquêtés estiment ne pas avoir assez d'informations ni de recul pour se prononcer. Cette part non négligeable de patrons pêcheurs ne se prononçant pas reflète le manque d'informations vis-à-vis de l'installation de structures dans une zone de réserve et le manque de recul quant à l'impact sur la faune.

La conclusion

En conclusion, la profession souhaite que tout le développement du projet hydrolien se fasse dans la concertation avec les pêcheurs, premiers concernés par le respect du milieu marin qui est avant tout leur environnement de travail.

Le 6 juin 2008, le conseil du comité local des pêches s'est réuni pour répondre à la question : « *Acceptez-vous la mise en place de quelques hydroliennes expérimentales dans la zone de réserve de pêche de la Hoiraine ?* » Les pêcheurs se sont prononcés à 87% en faveur du projet expérimental d'EDF (15 votants, 13 pour, 1 contre, 1 nul).

Source : audition de M. Yannick HEMEURY et de Mme Laure ROBIGO (CLP Lannion-Paimpol) le 12 juin 2008.

Au-delà de la cohabitation, de vraies synergies entre la pêche et la production d'électricité en mer se dessinent, et ceci à plusieurs niveaux :

- l'implication des pêcheurs dans la définition de zones, en lien avec leurs connaissances du milieu ;
- l'optimisation des projets par rapport à leur impact sur la ressource halieutique ;
- l'implication des pêcheurs dans l'installation et la maintenance des parcs, en lien avec leurs compétences.

- La coexpertise pour la définition des zones d'implantation

Les professionnels ont des connaissances et des données précieuses pour les opérateurs, et pourraient apporter une expertise technique dans la définition des zones et dans l'évaluation des conséquences que pourraient avoir les projets sur les ressources halieutiques et sur l'activité de pêche¹⁸⁴.

- L'optimisation des impacts halieutiques des projets

L'optimisation des projets par rapport à leur impact sur la ressource halieutique va au-delà de la simple compensation financière, qui existe déjà par le versement de la taxe spéciale en direction de la pêche et de la plaisance. Il s'agit de développer conjointement entre porteurs de projets et pêcheurs des programmes de gestion de la ressource, visant soit à améliorer l'existant, soit à créer de nouvelles activités.

Dans le cadre du projet de démonstration d'EDF à Paimpol-Bréhat, le Comité local des pêches a ainsi proposé au porteur de projet de financer plusieurs actions de gestion de la ressource, plutôt que d'offrir une compensation financière directe. Le projet hydrolien devient par conséquent une opportunité pour le quartier maritime de Lannion-Paimpol.

Les projets de gestion des ressources halieutiques envisagés autour du projet de Paimpol-Bréhat

L'ensemencement de coquilles Saint-Jacques

La production de coquilles Saint-Jacques dans le quartier de Lannion-Paimpol (gisements de Saint-Brieuc et de Perros-Guirec) a été estimée en 2006 à près de 2 500 tonnes, pour une valeur de 4,7 millions d'euros.

Le réensemencement consiste à semer sur les gisements des coquilles de 3 cm. Après semis, il faut attendre 3 à 4 ans pour que les coquilles atteignent leur taille commerciale. De tels réensemencements ont déjà été menés par le comité local des pêches sur le gisement de Perros-Guirec : 350 000 naissains en 2003, et 500 000 en 2007 qui devraient donner 50 à 55 tonnes d'adultes d'ici 4 ans. Le coût annuel du réensemencement est estimé, pour 1 500 000 naissains, à 120 000 euros.

¹⁸⁴ Audition de M. Gérard HUSSENOT (CRPMEM de Bretagne) le 22 novembre 2007.

Le marquage de femelles homards, ou V-notching

La production de homards de la flotte paimpolaise a été estimée en 2006 à 37 tonnes, pour une valeur de près de 750 000 euros, soit 7% de la valeur produite par l'ensemble des navires du quartier maritime de Lannion-Paimpol. Un peu plus de 80 licences « crustacés » sont délivrées chaque année. Le nombre de casiers est limité à 200 casiers par professionnel embarqué, et 2 casiers par plaisancier.

Le V-notching est une technique de marquage qui consiste en un poinçon réalisé sur la queue des femelles homards, qui vise à augmenter le stock de reproducteurs. Cette marque reste visible pendant quatre ans. Toute femelle capturée et qui porte cette marque doit être remise à l'eau : le débarquement et la vente des femelles marquées sont interdits. Cette technique de marquage est utilisée dans les pays anglo-saxons (Etats-Unis, Canada, Irlande). Ce serait la première expérience française de V-notching.

A Paimpol, pendant la première campagne de pêche, le marquage de 6 000 femelles pourrait permettre, compte tenu des mortalités aux différents stades de vie (œuf, larve, juvénile), le recrutement de 2400 homards dans le stock exploité. Toutefois, une étude plus précise de ce stock devrait être entreprise avant le lancement du programme de V-notching. Le coût annuel du V-notching est estimé à 90 000 €.

Le semis de palourdes

Le coût de ce projet est estimé à 140 000 euros pour 1 ha de palourdes japonaises (3 millions de naissains) et 1 ha de palourdes européennes (3 millions de naissains également).

La règle veut que 1% du montant total des projets soit alloué à des actions collectives. Sur un projet de 20 millions d'euros, cela ferait 200 000 €, sur trois ans, attribués à des projets collectifs. Ces différents projets ont été proposés afin de toucher tous les métiers du quartier maritime, y compris les pêcheurs à pied professionnels. En revanche, le projet de soutien aux variations du prix du carburant, proposé par le comité local, a été refusé par EDF.

Ces projets feront l'objet d'un suivi par le comité local des pêches.

Source : audition de M. Yannick HEMEURY et de Mme Laure ROBIGO (CLP Lannion-Paimpol) le 12 juin 2008.

Dans l'enquête réalisée auprès des pêcheurs, le réensemencement de coquilles Saint-Jacques (gisement de Perros-Guirec) a été plébiscité dans 38% des cas, devant le soutien aux variations du prix du carburant (26%), le marquage de femelles homards ou V-notching (19%) puis l'éradication de crépidules (dans le Trieux et le Jaudy), projet sur lequel les pêcheurs restent plutôt sceptiques. Pourtant, l'éradication des crépidules est un gros problème en baie de Saint-Brieuc. Le versement de la taxe spéciale d'un projet comme celui de Powéo pourrait permettre d'engager des actions pour limiter l'invasion de la crépidule¹⁸⁵.

La majorité des pêcheurs de Paimpol estime que le développement conjoint de projets de gestion de la ressource et du projet hydrolien serait une bonne solution, à la fois pour pérenniser la ressource et la pêche côtière. Les énergies marines peuvent ainsi être vues comme une opportunité de consolidation de la pêche côtière.

- La protection des ressources halieutiques

Le repos biologique traduit l'arrêt de la pêche, dans une zone donnée, pendant la période de reproduction. Il permet de préserver la capacité naturelle des stocks

¹⁸⁵ Audition de M. Yannick HEMEURY et Mme Laure ROBIGO (CLP Lannion-Paimpol) le 12 juin 2008.

halieutiques à se renouveler et constitue donc un outil pour une exploitation durable des ressources, lorsqu'il est associé à la protection des nourriceries, à la sélectivité et à l'ajustement de l'effort de pêche¹⁸⁶. Un parc d'éoliennes ou d'hydroliennes pourrait être considéré comme une zone de repos biologique, voire comme une aire marine protégée d'un genre particulier, au sens où l'interdiction de certains métiers dans le parc pourrait permettre aux stocks halieutiques de se régénérer.

L'implantation de machines en mer pourrait créer un « effet récif » et concentrer et/ou augmenter la biomasse. Cette question n'a toutefois pas été suffisamment étudiée en France pour qu'on puisse en tirer des conclusions solides.

Un récif artificiel est une structure immergée, généralement faite de béton, qui imite les caractéristiques des zones rocheuses et induit chez les animaux des réponses d'attraction et de concentration, avec une augmentation de la biomasse, du nombre d'espèces et de la reproduction de certaines espèces. En créant une discontinuité sur le fond, le récif entraîne des modifications physiques et biologiques du milieu et aboutit à la création d'un écosystème. Les récifs artificiels sont immergés dans le but de créer, de protéger ou de restaurer un écosystème riche et diversifié. On distingue ainsi plusieurs types de récifs :

- les récifs de protection ;
- les récifs de production, visant un accroissement des ressources en vue de leur exploitation ;
- les récifs paysagers, visant à créer de nouveaux sites pour la pêche de loisir et la plongée.

Les matériaux, les formes, les dimensions, l'architecture et la disposition des récifs jouent un rôle majeur sur l'efficacité et la pérennité du dispositif. Leur mise en œuvre relève d'une véritable démarche scientifique et c'est d'ailleurs pour cette raison qu'elle a été intégrée, en France, dans un programme plus global de gestion de l'espace littoral. Depuis 2000, de nombreux sites ont été aménagés, principalement en Languedoc-Roussillon. Plus récemment, la CCI de Fécamp-Bolbec a décidé l'immersion de récifs artificiels au large d'Étretat, afin de développer une meilleure gestion des ressources halieutiques de la bande côtière. Ces dispositifs seront mis à disposition des professionnels et gérés par eux¹⁸⁷.

Les développeurs de parcs éoliens offshore réfléchissent actuellement à cette possibilité de valorisation des sites exploités. Les mâts des éoliennes sont rapidement colonisés par du phytoplancton, puis par toute une chaîne alimentaire qui s'y développe. Il serait intéressant de réfléchir à l'implantation de véritables récifs artificiels à l'intérieur du parc, et ne pas se contenter d'une vision minimaliste de l'effet récif.

La possibilité d'implanter des récifs artificiels dans une zone occupée par des installations telles que les éoliennes doit s'appréhender en tenant compte des caractéristiques naturelles du milieu et des activités de pêche présentes à proximité

¹⁸⁶ Ifremer, 21 septembre 2006. *Le repos biologique, élément d'un dispositif pour une exploitation durable.*

¹⁸⁷ CCI de Fécamp-Bolbec, 15 mai 2008. *Les premiers récifs artificiels normands bientôt immergés au large d'Étretat.* Communiqué de presse.

du site. En effet, par la modification des fonds qu'ils entraînent, leurs conséquences sur les habitats et les espèces, les récifs artificiels peuvent avoir un impact non négligeable sur l'écosystème et les activités qui y sont liées. La coquille Saint-Jacques, par exemple, vit et se reproduit sur des fonds meubles, et la dynamique de population de cette espèce exploitée à haute valeur marchande pourrait être affectée par le changement de substrat à proximité des zones exploitées.

Dans le cas de parcs d'hydroliennes, les récifs artificiels réduiraient l'efficacité des courants là où les hydroliennes en ont besoin, ce qui serait contre-productif¹⁸⁸.

- Vers de nouveaux métiers ?

Le suivi régulier de la faune qui colonisera les bases des éoliennes permettra d'évaluer les ressources halieutiques et de définir les formes d'exploitation possibles¹⁸⁹.

On peut imaginer de nouvelles pratiques, comme la pêche à l'ormeau en plongée. La première licence pour ce métier avait d'ailleurs été accordée à Paimpol... Cette pratique est possible en théorie, mais difficile dans les faits car il faut être titulaire du permis classe 1 mention B. Ce sera donc une pratique possible à la marge, mais difficilement envisageable comme « reconversion » des pêcheurs.

- Une plus grande implication des pêcheurs dans les projets

Dans le cadre de la diversification d'activités, il n'est pas interdit de penser que les professionnels de la pêche pourraient apporter un appui pour la maintenance. Il y a déjà eu des expériences ailleurs¹⁹⁰.

Aux Etats-Unis, des pêcheurs ont constitué le consortium FERN (Fishermen's Energy of New Jersey) qui développe lui-même ses projets éoliens offshore. Ce modèle mérite d'être examiné car, grâce à un projet très bien monté, le consortium a réussi à se hisser parmi les grands acteurs américains de l'éolien offshore et à remporter plusieurs appels d'offres. Alors qu'aucun parc n'est encore construit aux Etats-Unis, il a obtenu le permis de construire et le permis de commencer les travaux. Ainsi, le Président du consortium FERN a-t-il déclaré : « Avec des pêcheurs professionnels comme développeurs des projets éoliens en mer, le principal verrou de blocage saute. C'est parce que nous sommes en premier lieu concernés par les sites, la construction et les impacts des fermes éoliennes en mer, que nous pensons qu'entre nos mains, les problèmes posés ont plus de chances de trouver de meilleures solutions qu'entre d'autres »¹⁹¹. Après l'éolien offshore, les pêcheurs pourraient se tourner vers les autres énergies marines¹⁹².

¹⁸⁸ Intervention de M. Jean-Philippe PAGOT aux entretiens Science et éthique les 18 et 19 octobre 2007 à Brest.

¹⁸⁹ D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

¹⁹⁰ Intervention de M. Gérald HUSSENOT aux entretiens Science et éthique les 18 et 19 octobre 2007 à Brest.

¹⁹¹ Le blog des énergies de la mer, 24 juin 2008. *La pêche à l'éolien en mer est ouverte.*

¹⁹² Fishing News International, octobre 2008. *Fishermen push for first US offshore windfarm contract.*

Vers une charte entre le Comité national des pêches maritimes et des élevages marins et le Syndicat des énergies renouvelables

Devant les sollicitations des porteurs de projets, les professionnels de la pêche ont souhaité élaborer une stratégie commune, définissant une approche unique et concertée. Les professionnels de la pêche ne sont pas opposés à l'installation d'éoliennes en mer sous certaines conditions :

Une concertation réussie avec la profession

Les professionnels demandent la mise en place d'un comité national de pilotage du développement de l'éolien en mer établissant un schéma directeur national.

Les pêcheurs professionnels veulent être les premiers consultés, par le biais de leurs instances représentatives, avant, pendant et après le projet.

Des conditions techniques d'acceptabilité des projets

La localisation du parc doit être décidée en partenariat entre les pêcheurs et les promoteurs.

Le périmètre du parc devra être autorisé aux arts dormants, et dans la mesure du possible, aux arts traînants, grâce à une sécurité et à un balisage optimal.

La solution d'implantation en ligne devra être privilégiée.

Les câbles devront être ensouillés, tant sur le site que dans le chenal de raccordement.

Des études préliminaires

Ces études devront être financées par le promoteur et réalisées en collaboration avec la profession :

- étude des risques pour la profession de pêche maritime ;
- étude d'impact socio-économique pour la profession ;
- étude de l'état initial du site (*a minima* sur une année complète) ;
- étude d'impact environnemental, avec un volet spécifique sur les ressources halieutiques.

Des conditions financières d'acceptabilité des projets

Les pêcheurs professionnels sont les premiers impactés par ces projets, il serait donc logique qu'ils perçoivent directement, sans passer par les communes, la moitié de la taxe spéciale, destinée aux activités maritimes.

Autres mesures compensatoires

Les professionnels devront être sollicités en priorité, du fait de leurs connaissances et de leurs compétences maritimes, pour la surveillance et la logistique d'entretien des parcs éoliens (dont la surveillance des câbles ensouillés) ; pour assurer le transport des touristes sur la zone si une exploitation touristique est envisagée.

Pour améliorer les relations entre les pêcheurs professionnels et les opérateurs éoliens, le CNPMM a rédigé, en partenariat avec le Syndicat des Energies Renouvelables, un modèle de charte.

Source : Position des Comités régionaux et du Comité national des pêches maritimes et des élevages marins à l'égard du développement de l'éolien en mer ; intervention de M. Pierre-Georges DACHICOURT, Président du CNPMM, le 28 octobre 2008 lors de la conférence du Bureau franco-allemand de coordination énergie éolienne.

3.2.6. Les élevages marins

La localisation des premiers parcs éoliens offshore, et les projets d'implantation de parcs visant à exploiter l'énergie des vagues et des courants, laissent penser que les projets seront tous situés à plusieurs km de la côte, et n'entreront pas en concurrence spatiale avec les concessions conchylicoles, actuellement proches de la

côte. En revanche, la densité d'occupation du littoral explique que le développement de l'aquaculture, et de la pisciculture en particulier, ne pourra se faire à l'avenir que vers le large, ce qui est potentiellement source de nouvelles concurrence... ou de synergies : il y a peut-être de nouveaux métiers à inventer dans les parcs. Des projets de mytiliculture et d'aquaculture pourraient par exemple voir le jour au sein du parc éolien du Thorntonbank en Belgique. Ces projets sont développés par des sociétés privées, mais bénéficient d'une subvention destinée à engager des actions en faveur de la filière¹⁹³.

Par ailleurs, le passage du câble électrique sous-marin et la zone d'atterrissage peuvent concerner les installations conchylicoles situées sur l'estran et sur le littoral. Toutefois, il semble que l'enfouissement des câbles jusqu'au poste de transformation sera privilégié, n'occasionnant alors qu'une gêne temporaire. Là encore, la mutualisation des câbles permettrait de limiter les impacts.

3.2.7. L'extraction de granulats

L'extraction de sables et de granulats exclut toute autre activité sur la zone exploitée, par la modification des fonds qu'elle entraîne. Elle risque également de modifier les conditions hydrodynamiques du milieu et donc le transfert des matériaux entre les zones d'érosion et les zones de dépôt.

3.2.8. Le tourisme

Nous avons déjà évoqué les synergies possibles avec le tourisme et la navigation de plaisance (chapitre 6) : il est possible que les premiers parcs, éoliens notamment, deviennent une attraction en eux-mêmes, vers laquelle se développeraient des activités nouvelles de promenade. Il est plus probable cependant qu'ils soient perçus comme une attraction supplémentaire dans des espaces déjà fréquentés par les touristes, voire même qu'ils ne soient qu'un argument de promotion touristique. Mais certains promoteurs comptent sur cet attrait touristique.

3.3. Les impacts sur l'environnement

3.3.1. L'évaluation des impacts sur le milieu naturel

Tout projet d'implantation d'installations de production électrique en mer a des impacts potentiels sur l'environnement. Même si les énergies renouvelables sont qualifiées de « propres » et n'émettent pas de CO₂, la construction et l'exploitation de parcs en mer peuvent avoir des effets sur l'environnement, qui doivent être évalués.

¹⁹³ D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

- L'étude des impacts

Conformément aux textes réglementaires, une étude d'impact doit contenir :

- une analyse de l'état initial du site et de son environnement ;
- une analyse des effets directs, indirects, temporaires ou permanents sur l'environnement ;
- les raisons, notamment environnementales pour lesquelles, parmi les partis envisagés, le projet a été retenu ;
- les mesures envisagées pour supprimer, réduire et, si ce n'est pas possible, compenser les conséquences dommageables du projet.

Trois zones sont à distinguer dans les études d'impact : la zone de production, la zone de transit (câbles), et la zone d'atterrage. Toutes n'induisent pas les mêmes questions en termes d'impact sur l'environnement. Il importe également de bien distinguer les impacts temporaires des impacts permanents. L'impact d'un parc peut en effet être important au moment de la construction (préparation des fondations, creusement de souilles, ensouillage des câbles...) et moindre par la suite, voire positif si, comme décrit précédemment, le parc crée un « effet récif » favorable au développement de la faune marine.

L'implantation en mer d'installations de production électrique est susceptible d'avoir des impacts sur les espèces et sur les habitats par :

- la destruction du sol et du sous-sol (impact sans doute le plus important, mais *a priori* temporaire) ;
- la remise en suspension des sédiments ;
- les ancrages ;
- la rotation des éléments mobiles ;
- les vibrations ;
- les champs électromagnétiques ;
- le bruit ;
- la modification des conditions hydrodynamiques ;
- l'obstacle dans la colonne d'eau (faune marine) ;
- l'obstacle aérien (oiseaux et chauve-souris).

Comme pour toute forme d'occupation du domaine public maritime, la réversibilité des installations doit être intégrée dans l'étude des impacts sur l'environnement.

- Les premiers retours d'expériences

La politique de diffusion de données des pays du Nord de l'Europe permet aujourd'hui de disposer de retours d'expériences sur les impacts environnementaux des parcs éoliens offshore. C'est le cas en Allemagne, avec les résultats des campagnes de mesures sur les plateformes FINO. C'est également le cas au Royaume-Uni, où il existe une agence dédiée à l'étude de l'impact environnemental des parcs éoliens offshore. Cette agence, nommée COWRIE (Collaborative Offshore Windfarm Research Into The Environment), fonctionne sous la direction du Crown Estate, du gouvernement britannique (BERR), et de l'association pour l'énergie éolienne au Royaume-Uni (BWEA). Elle pilote des programmes de recherche, en publie les conclusions, rédige des guides à l'attention des porteurs de projets et constitue une base de données environnementales accessible à tous. Ses actions portent en

particulier sur les oiseaux, les mammifères marins, le bruit et les champs électromagnétiques. Ces retours d'expériences sont importants, même s'ils ne sont pas toujours transposables à d'autres régions.

Des projets comme le test du prototype Sabella dans l'Odet, ou le projet de démonstration d'EDF à Paimpol-Bréhat, apporteront des données précieuses sur les impacts des hydroliennes.

Des études sur les effets des émissions d'infrasons par le prototype Sabella ont été menées en 2001 et 2002 et ont conclu à l'absence de nuisances sonores pour les poissons, qui semblent s'habituer et reviennent sur le site. La vitesse de rotation des pales est lente (15 tours par minute) et permet aux poissons de passer à travers. De plus, les zones de fort courant ne sont généralement pas des zones à poissons, mis à part les bars qui nagent plutôt en surface alors que l'hydrolienne est posée au fond. Ces hypothèses ont été confirmées par la période d'essais de 6 mois dans l'estuaire de l'Odet. Les mesures n'ont révélé aucun problème concernant l'impact sonore et aucune perturbation de l'écosystème n'a *a priori* été décelée.

3.3.2. L'impact paysager

L'impact paysager est l'impact le plus directement perceptible, le plus sensible lorsque l'on évoque l'acceptabilité sociale des projets, et celui qui cristallise les craintes. On constate d'ailleurs que les évolutions technologiques vont dans le sens d'une moindre visibilité, avec des machines discrètes et même invisibles lorsqu'elles sont totalement immergées, ou, dans le cas des éoliennes, de nouvelles possibilités de s'éloigner sensiblement de la côte.

Figure 74. Vue du parc de Horns Rev, au Danemark, situé à 22 km des côtes.



Source : Horns Rev.

Tous les espaces côtiers n'ont pas la même sensibilité paysagère, et certains sites emblématiques requièrent des approches particulières. WPD Offshore, qui porte un projet éolien à Etretat, travaille avec la DIREN sur la sensibilité paysagère, la co-visibilité par les habitants des communes concernées, les rapports d'échelle entre le

parc et les sites classés¹⁹⁴. Powéo, dans son identification des zones favorables à l'implantation d'éoliennes offshore, avait exclu la baie du Mont Saint-Michel...

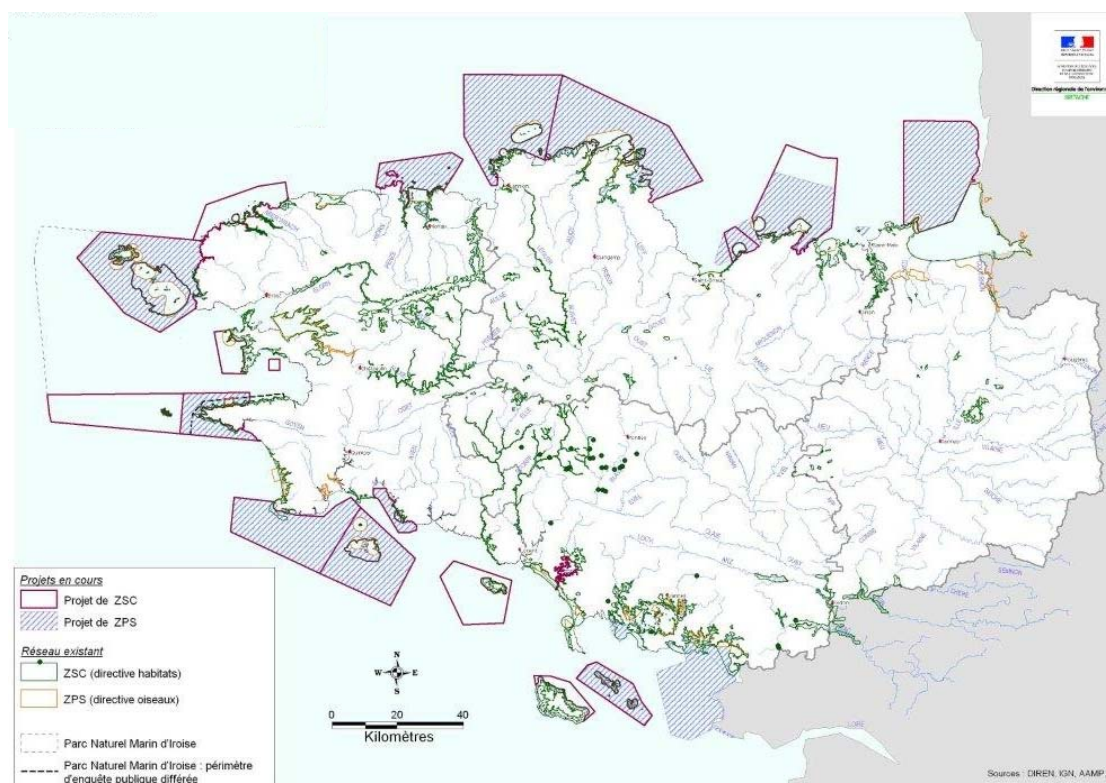
Les maires des communes littorales sont plutôt réservés sur les éoliennes en mer, car elles modifient le paysage et, de surcroît, nécessitent des installations à terre, sur des sites souvent protégés. Les hydroliennes et les systèmes de récupération de l'énergie des vagues semblent être plus consensuels. Ils posent certes la question du passage des câbles, comme pour les éoliennes, mais les maires semblent moins réservés sur le passage des câbles que sur les installations elles-mêmes¹⁹⁵.

3.3.3. Les interactions avec les zones protégées

Les espaces marins font déjà l'objet d'un nombre important de mesures de gestion ou de protection qui sont également à prendre en compte dans une étude de zonage. Il s'agit :

- des inventaires (ZNIEFF, ZICO) qui doivent être consultés lors des projets ;
- des protections réglementaires (réserves naturelles, espaces remarquables, sites Ramsar, parc naturel marin) ;
- des sites Natura 2000, étendus au milieu marin depuis 2008.

Figure 75. Projet d'extension du réseau Natura 2000 en mer en Bretagne.



¹⁹⁴ Audition de MM. Frédéric LANOË, Pierre PEYSSON et Mme Julie BONGARD (WPD Offshore) le 29 mai 2008.

¹⁹⁵ Audition de M. Yvon BONNOT (Président de l'ANEL, maire de Perros-Guirec) le 12 juin 2008.

L'implantation d'éoliennes ou d'hydroliennes dans ces espaces protégés pose question. Il faut rappeler que les zones Natura 2000 ne sont pas des zones préservées de toute activité, mais des zones où des espèces et/ou des habitats sont à préserver. La présence de sites protégés ne doit pas nécessairement être vue comme un critère d'exclusion.

Les zones les plus favorables à l'implantation des hydroliennes font partie des zones Natura 2000 en mer. Le site de Paimpol-Bréhat, sur lequel sera installé le parc de démonstration porté par EDF, en fait partie. L'expérimentation devra montrer qu'il est possible de conduire un tel projet dans une zone Natura 2000, et les données collectées seront partagées avec l'Agence des aires marines protégées¹⁹⁶. Mais aujourd'hui, certains porteurs de projets préfèrent éviter les zones Natura 2000, faute d'information sur ce qui sera autorisé ou non, et demandent à être présents dans les comités de pilotage pour élaborer les documents d'objectifs¹⁹⁷.

3.4. Le paysage juridique et réglementaire : entre spécificités maritimes et transpositions terrestres

Rappelons tout d'abord qu'un projet d'implantation d'installations de production électrique en mer comprend¹⁹⁸ :

- la zone de production d'énergie proprement dite, de plusieurs km², accueillant les machines, les systèmes d'ancrage et un réseau de câbles électriques les reliant les unes aux autres ;
- la zone de transport de l'énergie constituée par un ou plusieurs câbles sous-marins exportant l'électricité produite vers la terre, de faible largeur mais d'une longueur pouvant atteindre plusieurs dizaines de km ;
- la zone d'atterrissage, à l'interface entre terre et mer ;
- la zone de raccordement au réseau électrique le plus proche ;
- des espaces adjacents nécessaires à la construction et à la maintenance.

La zone de production d'énergie, et donc la zone de transport peuvent se situer dans les eaux territoriales (limite des 12 milles) ou dans la zone économique exclusive (au-delà des 12 milles), ce qui aura des conséquences importantes sur le plan juridique.

La Convention internationale sur le droit de la mer (dite convention de Montego Bay) prévoit que dans la mer territoriale, l'Etat côtier est souverain, mais doit autoriser le passage inoffensif des navires étrangers. Dans la zone économique exclusive il peut, sous réserve des contraintes inhérentes à la navigation maritime, exploiter souverainement les ressources biologiques et non biologiques (dont l'énergie marine), et réglementer l'implantation de structures fixes (plateformes, tours, câbles..), mais doit en général permettre la navigation.

¹⁹⁶ Audition de MM. Cyrille ABONNEL et Philippe GUILLAUMEUX (EDF) le 15 mai 2008.

¹⁹⁷ Audition de MM. Frédéric LANOË, Pierre PEYSSON et Mme Julie BONGARD (WPD Offshore) le 29 mai 2008.

¹⁹⁸ Protocole recommandé par l'Ifremer pour la réalisation des études d'impact et de surveillance des projets de sites d'implantation d'énergie renouvelable en mer, septembre 2005.

Le fond et le sous-sol de la mer territoriale et des eaux intérieures appartiennent au territoire national et font partie du domaine public maritime. Le fond et le sous-sol de la zone économique exclusive n'ont pas de statut clair, et il n'existe actuellement pas de texte réglementaire général y régissant l'implantation de structures fixes ou de câbles. En fait, le droit international reconnaît à l'Etat côtier le droit de réglementer les activités dans ce domaine, mais aucune règle nationale particulière n'est actuellement applicable en droit français¹⁹⁹.

L'implantation dans les eaux territoriales d'installations de production électrique n'est pas explicitement prévue dans les textes actuels et, dans l'attente de textes spécifiques, elle est aujourd'hui soumise à un certain nombre d'autorisations relevant :

- de l'occupation du domaine public maritime ;
- du code de l'urbanisme ;
- du code de l'environnement ;
- de l'exploitation électrique.

L'instruction administrative doit donc s'envisager au regard de ces différentes procédures.

3.4.1. La concession d'utilisation du domaine public maritime

Le domaine public maritime, inaliénable et imprescriptible, peut faire l'objet d'occupations privatives sous les formes suivantes :

- l'autorisation d'occupation temporaire (AOT), outil juridique de droit commun, précaire et révocable ;
- les concessions ostréicoles ou les titres miniers, pour lesquels l'autorisation relève de critères spécifiques ;
- les autorisations de mouillage collectif, forme particulière d'AOT ;
- la concession d'utilisation du domaine public maritime en dehors des ports, instituée par le décret du 29 mars 2004.

C'est ce dernier texte qui s'applique dans le cadre de l'implantation en mer d'installations de production électrique. Il prévoit que « *les dépendances du domaine public maritime situées hors des limites administratives des ports peuvent faire l'objet de concessions d'utilisation en vue de leur affectation à l'usage du public, à un service public ou à une opération d'intérêt général* ». Ces concessions sont conclues pour une durée qui ne peut excéder trente ans.

Ce décret précise que toute occupation du domaine public maritime à ce titre doit comporter un état initial des lieux, des modalités de suivi du projet et de son impact sur l'environnement et les ressources naturelles, et, le cas échéant, prévoir « *les opérations nécessaires à la réversibilité des modifications apportées au milieu naturel et au site, ainsi qu'à la remise en état, la restauration ou la réhabilitation des lieux en fin d'utilisation* ».

¹⁹⁹ Secrétariat général de la mer, décembre 2002. *Energie éolienne en mer. Recommandations pour une politique nationale.*

La convention est approuvée par arrêté préfectoral après enquête publique. Cette convention peut prévoir, « *afin d'assurer la réversibilité effective des modifications apportées au milieu naturel, la constitution de garanties financières dont le montant est établi compte tenu du coût estimé des opérations de remise en état, de restauration ou de réhabilitation du site* ».

Cet objectif de réversibilité, qui revient à prévoir dès l'origine l'enlèvement effectif en fin de vie des installations, doit être l'un des critères essentiels qui conduit à autoriser ou non la construction et l'exploitation des installations concernées²⁰⁰.

Il faut noter que la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique régit la production d'énergie à partir de l'eau. Elle prévoit que « *nul ne peut disposer de l'énergie des marées, des lacs et des cours d'eau, quel que soit leur classement, sans une concession ou une autorisation de l'Etat* ». Elle s'applique donc *a priori* aux hydroliennes qui exploitent les courants de marée²⁰¹.

- Le respect de la sécurité maritime

L'implantation en mer d'installations de production électrique est soumise au respect de la sécurité maritime, examinée par la commission nautique, la commission permanente des phares et le Cetmef.

La commission nautique, instituée par le décret du 14 mars 1986, examine la compatibilité du projet avec la pratique de la navigation, et donne un avis qui peut être assorti d'observations. Il peut s'agir d'une commission nautique locale ou, sur décision du Ministre, de la grande commission nautique. La première est composée du Préfet de département et du Préfet maritime, de l'administrateur maritime chef du quartier intéressé, de cinq marins choisis parmi les représentants des diverses activités professionnelles et, selon les cas, du chef du service maritime, du directeur du port autonome et de la collectivité. La grande commission nautique compte en plus des représentants permanents désignés par le Ministre, à savoir un officier supérieur de la Marine nationale et un ingénieur de l'armement appartenant au SHOM.

C'est la grande commission nautique qui a été saisie par les DDAM de la Seine-Maritime et de l'Eure pour l'examen du premier projet éolien offshore en France, celui de Veulettes-sur-Mer, pour « *apporter son éclairage en matière de sécurité nautique sur ce nouveau type d'installation maritime qui, pour le moment, n'entre pas dans le champ de compétence des commissions nautiques, défini dans le décret du 14 mars 1986* »²⁰².

Les débats de cette grande commission ont été menés sur la base d'un dossier présenté par le porteur de projet, sur un projet de balisage maritime établi par la subdivision des phares et balises de la DDE de Seine-Maritime, et sur une proposition

²⁰⁰ MEEDDAT, juillet 2007. *Le domaine public maritime et sa gestion*.

²⁰¹ Loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique.

²⁰² Procès-verbal de la grande commission nautique tenue le 20 juin 2007 pour émettre un avis sur le projet de parc éolien offshore « Côte d'Albâtre » au large de Veulettes-sur-Mer.

de réglementation de la circulation maritime dans le parc établie par la Préfecture maritime Manche Mer du Nord.

Ils ont porté sur les modalités d'ensouillage des câbles, la signalisation sonore, la signalisation lumineuse, la sécurité des approches et les règles de navigation à l'intérieur du parc. Le principe de la non-interdiction globale de la zone à la navigation est acquis par la grande commission, avec cependant une restriction relative à la taille des navires, qui doit être inférieure à 30 m. Ce critère a été jugé pertinent par les différents corps de marins représentés dans la grande commission nautique.

La grande commission nautique a proposé qu'une commission nautique locale soit constituée afin d'examiner les modalités d'information des navigateurs, tant sur les dispositions transitoires à prendre pendant la durée des travaux que dans les documents nautiques permanents.

La grande commission nautique a émis un avis favorable au projet, avec des observations liées aux points évoqués ci-dessus.

- La compatibilité des installations avec la gestion du DPM

La compatibilité des installations avec les autres usages et avec l'intérêt général, qui détermine l'octroi de la concession, doit être examinée au stade des travaux, de l'exploitation et du démantèlement.

3.4.2. L'autorisation au titre du code de l'environnement

L'article L553-2 du code de l'environnement prévoit que l'implantation d'une installation produisant de l'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent dont la hauteur du mât dépasse 50 mètres est subordonnée à la réalisation préalable d'une étude d'impact et d'une enquête publique. Les projets d'implantation qui ne sont pas subordonnés à la réalisation préalable d'une étude d'impact doivent faire l'objet d'une notice d'impact.

Toutefois, la présence d'un ou de plusieurs câbles sous-marins transportant de l'énergie impose à l'exploitant la réalisation d'une étude d'impact. Tous les projets d'implantation d'éoliennes, d'hydroliennes ou de systèmes de récupération de l'énergie des vagues, dès lors qu'ils sont reliés à la terre par un câble sous-marin, devront faire l'objet d'une étude d'impact.

L'autorisation au titre de la loi sur l'eau relève des articles L214-1 à L214-6 du code de l'environnement. Sont soumis aux dispositions de ces articles les ouvrages, travaux et activités entraînant des prélèvements sur les eaux superficielles ou souterraines, restitués ou non, une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux, la destruction de frayères, de zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole ou des déversements, écoulements, rejets ou dépôts directs ou indirects, chroniques ou épisodiques, même non polluants.

Ces installations sont définies dans une nomenclature établie par décret en Conseil d'Etat et soumises à autorisation ou à déclaration suivant les dangers qu'elles présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques, compte tenu notamment de l'existence des zones et périmètres institués pour la protection de l'eau et des milieux aquatiques.

Cette autorisation au titre de la loi sur l'eau est applicable aux eaux côtières jusqu'à la limite extérieure de la mer territoriale et concerne :

1. Les travaux de création d'un port maritime ou d'un chenal d'accès (autorisation) ;
2. Les travaux d'aménagement portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu (autorisation pour un montant supérieur à 1,9 million d'euros, déclaration pour un montant compris entre 160 000 et 1,9 million d'euros) ;
3. Les opérations de dragage.

L'implantation d'installations de production électrique en mer relève de la deuxième catégorie.

L'article L414-4 du code de l'environnement précise le cas particulier des zones Natura 2000. Lorsqu'ils sont susceptibles d'affecter de manière significative un site Natura 2000, individuellement ou en raison de leurs effets cumulés, les programmes ou projets d'activités, de travaux, d'aménagements, d'ouvrages ou d'installations doivent faire l'objet d'une évaluation de leurs incidences au regard des objectifs de conservation du site.

L'étude d'impact est donc menée au titre de l'occupation du DPM, de la loi sur l'eau et, le cas échéant, de Natura 2000 : l'étude d'impact vaut alors évaluation des incidences. Les services instructeurs doivent veiller à la qualité de l'étude d'impact. Il faut en particulier que le bureau d'études mandaté connaisse bien à l'avance le niveau d'exigence requis.

Eoliennes et ICPE

Au mois de juillet 2008, un projet de décret soumettant les parcs éoliens à la procédure d'autorisation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) a soulevé la polémique.

Les installations soumises à autorisation ou déclaration au titre des ICPE sont les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature et de l'environnement, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique (article L511-1 du code de l'environnement).

Ce projet, qui était évoqué depuis plusieurs années, avait été rejeté par les participants du comité opérationnel du Grenelle dédié aux énergies renouvelables. L'énergie éolienne est en effet une énergie non polluante, contribuant à relever le défi énergétique et climatique, dont le développement est déjà très encadré. Ce projet de décret, qui se serait traduit par un alourdissement pénalisant des procédures, semble actuellement écarté.

3.4.3. L'autorisation au titre du code de l'urbanisme

Les territoires des communes, départements et régions s'étendent en mer jusqu'à la limite des eaux territoriales (12 milles). Les eaux territoriales se définissent ainsi comme le territoire de toutes les entités administratives françaises (commune, département, région, Etat). Mais le principe d'extension en mer du territoire des communes littorales n'a été défini que par la jurisprudence et il n'existe en pratique que très peu de délimitations des communes en mer²⁰³.

En mer territoriale, en l'absence de dispositions spécifiques, l'implantation d'installations de production électrique est soumise au code de l'urbanisme. S'agissant d'ouvrages de production, de transport, de distribution et de stockage d'énergie, c'est le Préfet qui est compétent pour délivrer le permis de construire et non le maire (article R422-2 du code de l'urbanisme).

Les dispositions particulières s'appliquant au littoral, précisées dans l'article 146-6 du code de l'urbanisme, sont également applicables dès lors qu'elles concernent le classement d'espaces remarquables, sur lesquels seuls des aménagements légers peuvent être envisagés. Ces dispositions valent notamment pour les zones d'atterrage, c'est-à-dire à l'arrivée des câbles à terre.

3.4.4. Les procédures liées à l'exploitation électrique

- Demande de raccordement au réseau électrique

La demande de raccordement au réseau électrique est effectuée auprès de RTE s'il s'agit du réseau de transport (au-delà de 50 000 V) et auprès de ERDF s'il s'agit du réseau de distribution.

- Autorisation d'exploiter

Conformément à l'article 6 de la loi du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité, les nouvelles installations de production de plus de 4,5 MW doivent disposer d'une autorisation d'exploiter, délivrée par le ministre en charge de l'énergie. Les installations de moins de 4,5 MW sont autorisées sur simple déclaration.

La sélection d'un projet dans le cadre d'un appel d'offres vaut autorisation d'exploiter. Cela a été le cas suite à la PPI du 29 janvier 2002, et à l'arrêté du 7 mars 2003 qui a lancé trois appels d'offres pour la production électrique d'origine renouvelable, dont un concernant la production éolienne en mer et à l'issue duquel le projet de Veulettes-sur-Mer a été retenu. Cette autorisation d'exploiter ne dispense pas, en revanche, des autres autorisations.

²⁰³ Audition de Mme Catherine BERSANI (Conseil général des Ponts et Chaussées) le 10 juillet 2008.

- Certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat

L'article 10 de cette même loi prévoit que certaines installations peuvent bénéficier de l'obligation d'achat de l'électricité qu'elles produisent, par EDF ou les distributeurs non nationalisés, à des tarifs réglementés. Ces installations sont celles qui valorisent les déchets ménagers ou assimilés et qui utilisent les énergies renouvelables. Le Préfet délivre au demandeur, s'il y a lieu, un certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat d'électricité.

3.4.5. L'enquête publique

Lorsque le dossier est jugé recevable et que chaque service a transmis son avis, le Préfet ouvre l'enquête publique.

L'enquête publique conjointe est menée au titre :

- de la concession d'utilisation du DPM ;
- du code de l'environnement (loi sur l'eau) ;
- le cas échéant, du code de l'urbanisme pour une éventuelle révision ou modification des documents de planification par les collectivités territoriales.

3.4.6. Les services instructeurs

Le Service maritime interdépartemental de Bretagne (SMIB) a été créé le 1^{er} janvier 2008, en conséquence de la décentralisation des ports : certains services ont été transférés aux Régions, les autres ont été regroupés en un seul service. Le SMIB a les missions suivantes :

- pour chacun des Préfets de département :
 - missions portuaires de l'Etat, interface avec les collectivités (capitaineries, matières dangereuses, sûreté...) ;
 - phares et balises ;
- pour les services du MEEDDAT en région :
 - expertise et études générales, maritimes et littorales ;
 - coordination et harmonisation de la gestion du Domaine public maritime en Bretagne ;
- pour le Préfet du Finistère :
 - gestion du Domaine public maritime du Finistère (dans les autres départements, cette mission sera assurée par les DDT).

Au niveau départemental, la Direction départementale des territoires (DDT) regroupera, en 2010, la DDE et la DDAF du département. La fusion est expérimentée dans 8 départements qui comptent désormais une Direction départementale de l'équipement et de l'agriculture (DDEA).

Au cours de la procédure administrative, les services instructeurs ou les services consultés sont très nombreux. Il s'agit :

- au niveau central, de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) ;
- à l'échelon local, de :
 - la Préfecture maritime

- la Préfecture de département
 - la Direction départementale de l'équipement et de l'agriculture (DDEA)
 - le Service maritime interdépartemental de Bretagne (SMIB)
 - la Direction départementale des affaires maritimes (DDAM)
 - la Marine nationale
 - le SHOM
 - la DRIRE
 - la DIREN
 - la Commission départementale de la nature, des paysages et des sites
 - la Mission interservices de l'eau (MISE)
 - l'Agence des aires marines protégées (AAMP)
 - les Phares et balises
 - les CROSS
 - l'Armée de l'air
 - l'Agence nationale des fréquences radioélectriques (ANFR)
 - la Direction de l'aviation civile Ouest (DAC Ouest)
 - le Service interministériel de défense et de protection civile (SIDPC)
 - le Service départemental d'incendie et de secours (SDIS)
 - la Direction régionale des affaires culturelles (DRAC)
 - les Architectes et bâtiments de France
 - le Service départemental de l'architecture et du patrimoine (SDAP)
 - le Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM)
 - la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (DDASS)
 - France Domaine...
- Sont également consultés :
- le Conseil régional
 - les Conseils généraux
 - les communes
 - RTE
 - Ifremer
 - France Telecom...

La décision finale est prise conjointement par le Préfet de département et le Préfet maritime à l'issue favorable des différentes instructions. Elle se traduit par des décisions administratives distinctes, dont la concession d'utilisation du DPM qui nécessite formellement un assentiment du Préfet maritime.

3.4.7. Un imbroglio administratif pénalisant

L'instruction administrative relève donc de procédures propres au domaine maritime et de procédures « terrestres » transposées par défaut au domaine maritime, mais qui s'y appliquent mal. Il n'y a pas aujourd'hui de cadre général qui régule les usages en mer, mais plutôt une superposition de plusieurs régimes juridiques complexes.

Cela se traduit pour le porteur de projet par un ensemble de démarches à mener en parallèle, auprès d'instances multiples, avec des modalités parfois redondantes. M. Philippe GOUVERNEUR, Directeur d'Enertrag France et porteur du premier projet de parc éolien offshore en France, évoque un « parcours du combattant » pendant les 7 années qui ont précédé l'obtention du permis de construire, en septembre 2008. Ce parcours prévoyait notamment la réalisation de 8 enquêtes publiques, à des titres différents. Ce parc sera peut-être le seul à bénéficier d'un permis de construire car la procédure a été jugée inadaptée par les services de l'Etat.

Le Portugal s'est doté d'une législation spécifique, le « Plan d'occupation marin » (loi n°57/2007 du 31 août 2007) qui autorise le gouvernement à établir un régime juridique d'utilisation des biens du domaine public maritime, incluant les eaux territoriales, pour la production d'énergie électrique à partir des vagues dans une aire dédiée à cet usage. Cette législation vise essentiellement à rassurer les investisseurs. Elle correspond à ce qui se fait à terre avec les POS (Plan d'occupation des sols) ou les PLU (Plan local d'urbanisme). Une zone pilote a été choisie au niveau de São Pedro de Moel pour une période maximale de 35 ans (voir chapitre 6)²⁰⁴.

3.4.8. Au niveau national, de nouveaux cadres pour l'action de l'Etat en mer

Le Plan national de développement des énergies renouvelables, présenté le 17 novembre 2008, prévoit dans ses mesures 26 à 28 de nouvelles dispositions s'appliquant aux procédures encadrant le développement de l'éolien en mer :

- mesure n°26 : la procédure sera très nettement simplifiée, avec la suppression des zones de développement de l'éolien ;
- mesure n°27 : une instance de concertation et de planification sera créée pour chaque façade maritime, sous l'égide du Préfet maritime et des Préfets de département. Cette instance, qui rassemblera l'ensemble des parties prenantes, aura pour mission d'identifier des zones propices au développement de l'éolien en mer, au regard des différentes contraintes (usage de la mer, radars, réseau électrique, ...). Les porteurs de projets seront invités à privilégier ces zones ;
- mesure n°28 : une procédure sera créée pour faciliter l'installation de parcs éoliens dans la zone économique exclusive.

Le projet de loi portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle 2, présenté au Conseil des ministres le 7 janvier 2009, confirme la délimitation de façades maritimes pour la mise en œuvre de la stratégie nationale pour la mer et précise que les plans, programmes et schémas applicables dans le périmètre d'une façade maritime, les autorisations délivrées et les actes administratifs pris pour la gestion de cet espace devront être compatibles avec les objectifs et mesures du document stratégique de façade (article 60).

²⁰⁴ Bulletin de l'Ambassade de France au Portugal du 21 décembre 2007.

3.4.9. En Bretagne, un guide à l'attention des porteurs de projets

Les services de l'Etat en Bretagne ont souhaité clarifier l'ensemble des démarches relevant de l'instruction administrative par l'élaboration d'un guide à l'attention de porteurs de projets, qui doit être publié au début de l'année 2009.

Ce guide est un mode commun d'exploitation des textes par les services de l'Etat, qui doit permettre de les rendre lisibles par le porteur de projet et ainsi gagner du temps. Dans le meilleur des cas, l'instruction prendra 7 à 8 mois. Mais le corpus réglementaire n'est pas figé, en particulier par rapport aux lois Grenelle qui doivent sortir. Une circulaire ministérielle est également en attente.

La clarification des démarches reposera sur :

- une organisation de l'Etat sous forme de guichet unique ;
- une harmonisation des avis des services pour plus de lisibilité ;
- une organisation de la concertation proposée au porteur de projet.

4. Vers une stratégie de planification ?

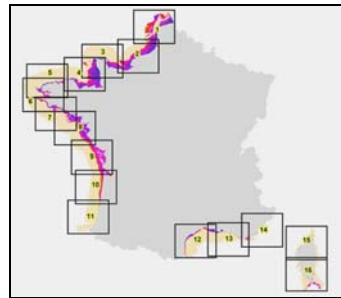
4.1. En France, une étude de zonage ADEME / Ifremer

Lors de sa réunion du 14 septembre 2004, le Comité interministériel pour l'aménagement et le développement du territoire (CIADT) a examiné un ensemble de propositions relatives à une nouvelle politique du littoral, de portée générale (sur la gestion intégrée des zones côtières par exemple), ou de nature plus sectorielle. Les énergies renouvelables d'origine marine ont été identifiées comme un secteur à développer. Devant le constat que, *« pour développer à grande échelle les parcs éoliens en mer et, plus généralement, les énergies renouvelables marines à l'horizon 2010-2020, l'identification des zones favorables à leur implantation est un préalable »*, le CIADT a indiqué que *« l'ADEME pilotera, avec le soutien de l'Ifremer, une étude permettant d'identifier sur chaque façade maritime métropolitaine, les zones a priori favorables à l'implantation d'installations de production d'énergies renouvelables d'origine marine »*. *« Cette étude, à laquelle le CIADT décide d'affecter 150 000 €, fera l'objet d'une large concertation avec les acteurs concernés »*²⁰⁵.

L'étude consiste à créer un système d'information géographique, alliant la gestion d'une base de données à la création de cartes sur une bande de 50 km de large, pour chacune des trois filières (vents, courants et vagues). L'identification des sites se fait à partir d'un ensemble de paramètres, physiques, techniques, liés aux usages et à la réglementation. Ces paramètres sont ensuite pondérés pour obtenir des indices de faisabilité. Le croisement de ces indices de faisabilité aboutit à des cartes de synthèse par filière.

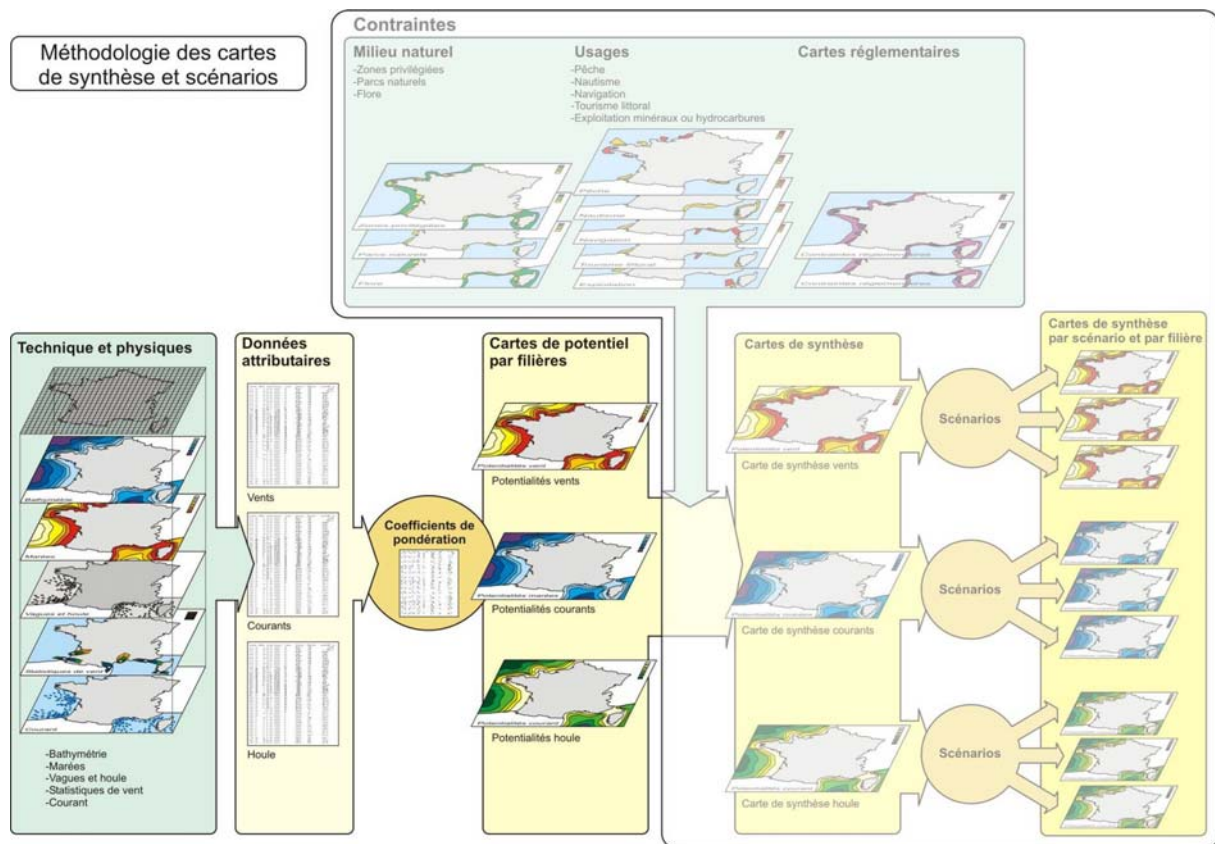
²⁰⁵ CIADT, 14 septembre 2004. Dossier de presse.

Figure 76. Les futures cartes de ressources.



Source : ADEME, 2007.

Figure 77. Principe de réalisation de la base de données ADEME/Ifremer.



Source : ADEME, 2007.

L'outil est actuellement en phase de validation auprès du MEEDDAT, avant diffusion restreinte aux services de l'Etat comme outil d'aide à la décision.

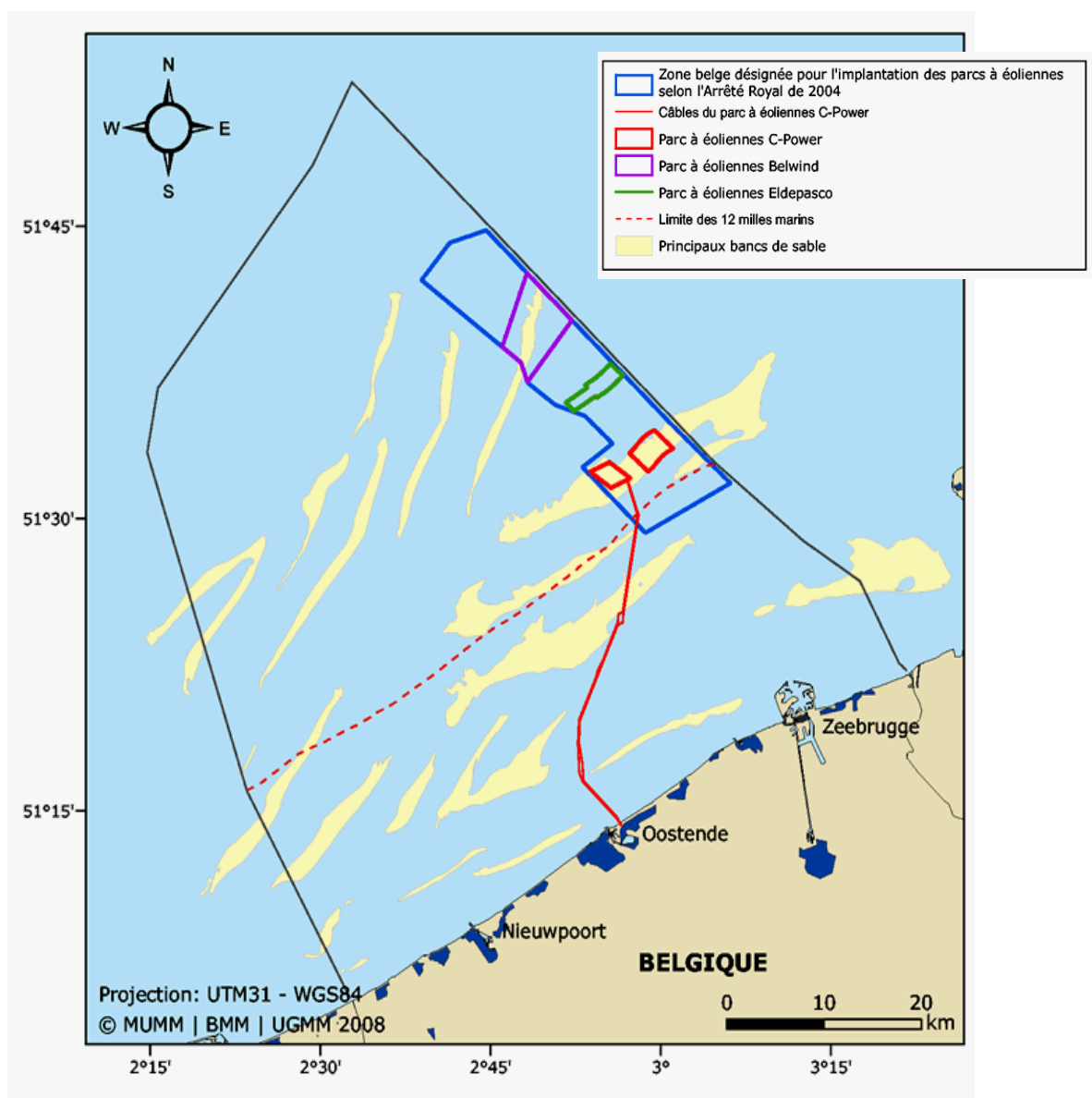
4.2. A l'étranger, des exemples de planification

4.2.1. En Belgique, une zone dédiée aux éoliennes

A la fin des années 90, de nombreux investisseurs ont sollicité les pouvoirs publics belges pour développer des parcs éoliens offshore. Ces projets ont tous été refusés

par le gouvernement pour différents motifs : proximité de la côte, opposition des pêcheurs ou des associations environnementales... Suite à la prise de conscience de la nécessité de produire de l'électricité à partir de ressources renouvelables, le gouvernement a repris les choses en main et a créé en 2003 un Ministère de la Mer du Nord chargé, entre autres, de coordonner toutes les parties prenantes pour définir des zones de développement de l'éolien en mer. Après un processus de concertation de deux ans, au cours duquel ont été pris en compte des critères liés au transport maritime (chenaux d'accès aux ports hanséatiques), aux activités de pêche, d'extraction de granulats, aux passages de câbles sous-marins, aux mesures de protection, un arrêté royal de mai 2004 a défini une zone dédiée de 400 km², en limite du plateau continental belge et au-delà des 12 milles.

Figure 78. Zone dédiée à l'éolien offshore dans les eaux territoriales de Belgique, et premières concessions octroyées.



Source : Unité de gestion du modèle mathématique de la Mer du Nord, 2008.

C'est dans cette zone, et uniquement dans celle-ci, que les investisseurs pourront proposer la création de parcs éoliens. S'il y a plusieurs projets, un comité d'experts indépendants se réunira pour les juger. Le critère de densité énergétique (MW/km²) entrera pour une large part dans ce choix²⁰⁶. D'ailleurs, le premier projet proposé par C-Power est l'un des plus denses au monde, avec 21 MW/km² quand la moyenne des parcs éoliens offshore est de 8 environ.

4.2.2. Au Royaume-Uni, les « rounds »

La volonté du Royaume-Uni de développer l'éolien offshore à grande échelle s'est traduite par un système d'appels d'offres lancés par le Crown Estate et le gouvernement britannique, les « rounds ».

Le premier round a consisté en un appel d'offres sans planification préalable, mais avec des spécifications visant à éviter les zones protégées et les zones d'activités potentiellement incompatibles avec le développement de parcs éoliens offshore, et des spécifications techniques demandant à ne pas dépasser 30 éoliennes par parc, ceci afin de contrôler les premières étapes du développement de l'éolien offshore.

Devant le constat du succès de ce premier appel d'offres (20 projets retenus) mais aussi des questions qu'il soulevait, le gouvernement a engagé en 2002 une consultation intitulée « Future Offshore », dans laquelle il proposait une approche plus stratégique du développement de l'éolien offshore²⁰⁷, s'appuyant notamment sur les résultats d'une évaluation environnementale, la SEA (Strategic Environmental Assessment). La SEA est à la planification stratégique ce que l'étude d'impact est au projet individuel. Expérimentée dans le secteur pétrolier et gazier, le Ministère a proposé de l'étendre aux énergies marines renouvelables afin d'identifier des zones favorables à l'implantation des futurs parcs, d'établir des recommandations aux porteurs de projets, et de fournir des données utiles aux futures études d'impact²⁰⁸.

Trois zones stratégiques pour le développement de l'éolien ont été définies sur la base de cette évaluation : le Greater Wash, l'estuaire de la Tamise et la baie de Liverpool. Le deuxième appel d'offres (round 2) a été lancé par le Crown Estate sur ces trois zones, avec une exclusion des zones côtières visant à diminuer l'impact visuel et à protéger les zones de nurserie de certaines espèces d'oiseaux. Les spécifications techniques limitaient cette fois la puissance totale installée dans ces trois zones. 15 projets sur 41 ont été retenus, pour une puissance totale de 7 200 MW.

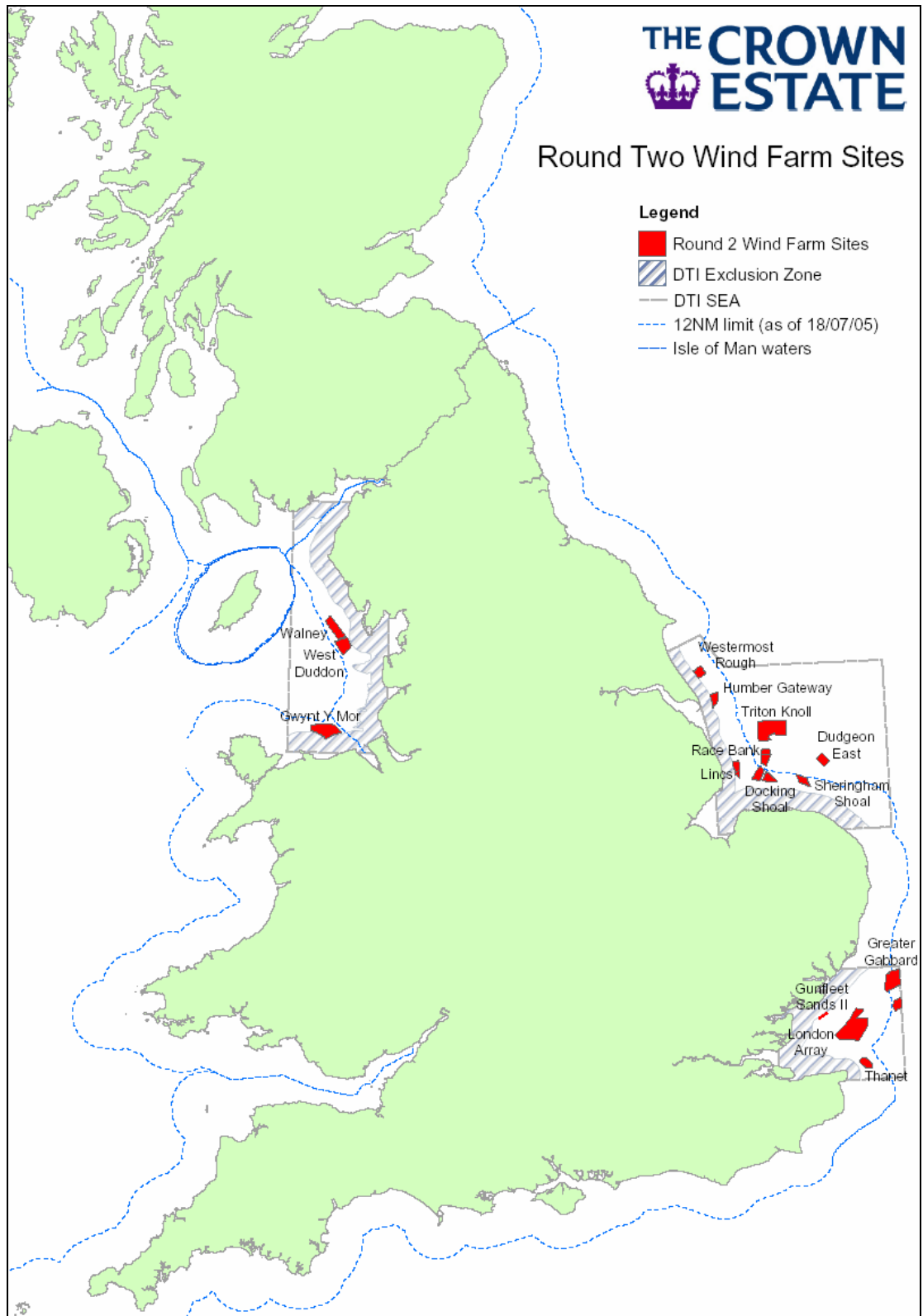
Le 10 décembre 2007, le gouvernement britannique a lancé une seconde stratégie d'évaluation environnementale pour le développement de 33 GW d'énergie éolienne offshore, et un troisième appel d'offres (round 3) a été lancé en juin 2008, dans des zones situées pour la plupart hors des eaux territoriales.

²⁰⁶ D'après la visite organisée par le Conseil régional de Bretagne à Ostende le 24 octobre 2008.

²⁰⁷ DTI, novembre 2002. *Future Offshore*.

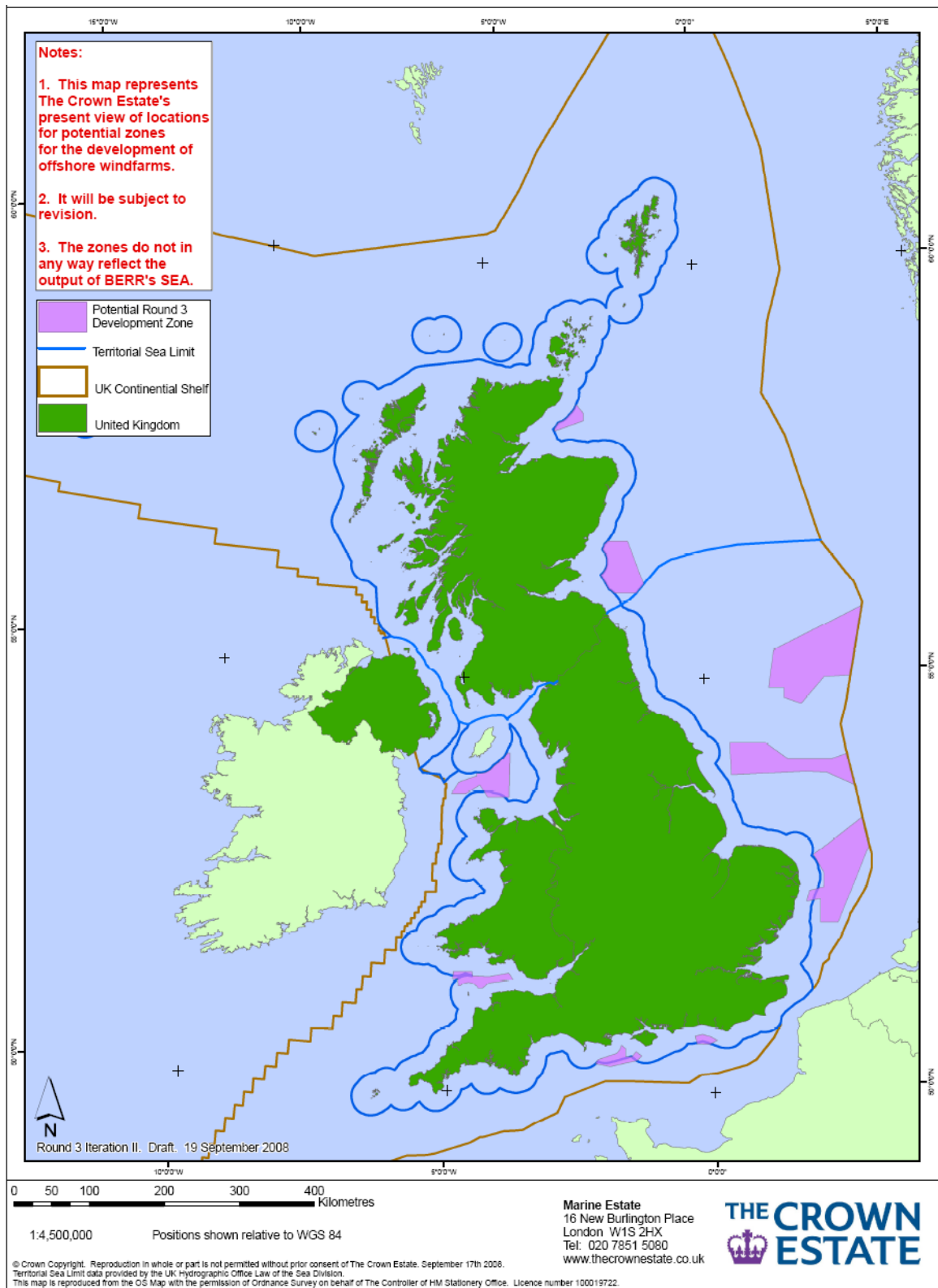
²⁰⁸ *Ibid.*

Figure 79. Le « round 2 » : zones prédéfinies, zones côtières exclues et projets retenus.



Source : The Crown Estate, 2005.

Figure 80. Le « round 3 ».



Source : The Crown Estate, 2008.

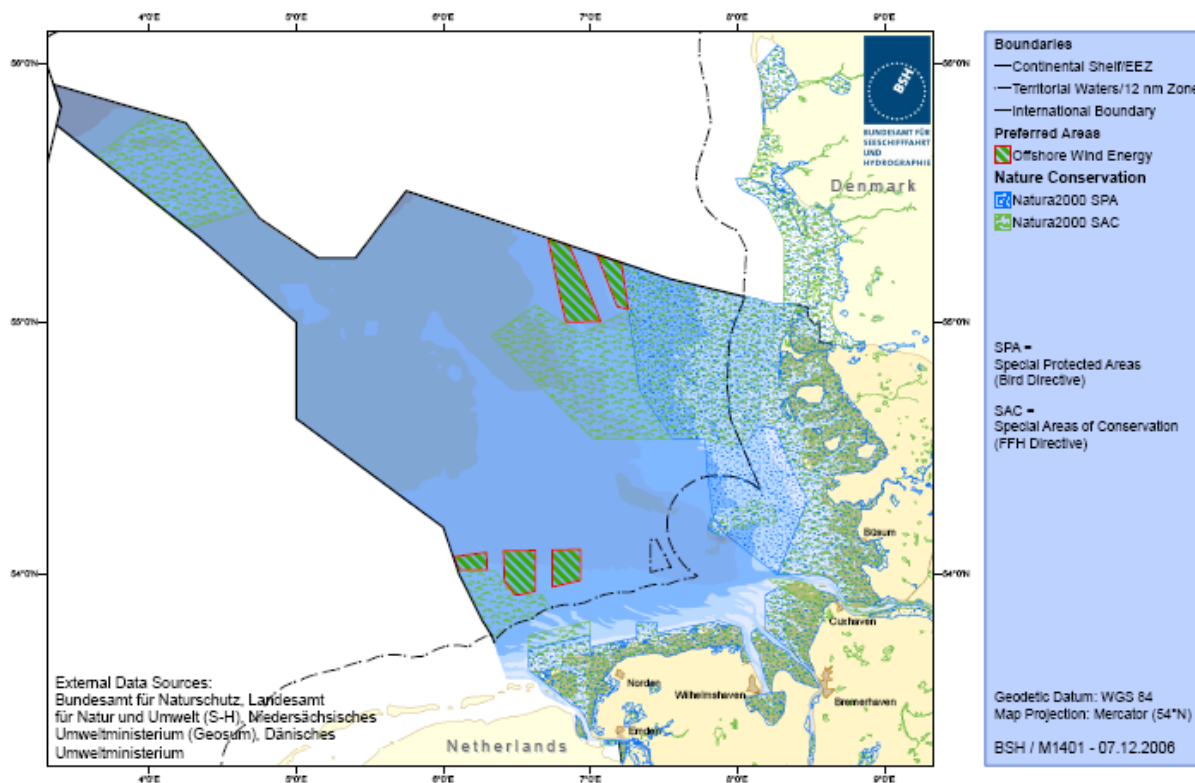
Dans le prolongement de cette démarche, le Crown Estate a lancé en septembre 2008 un appel d'offres pour le développement de concepts exploitant l'énergie des vagues et des courants dans la zone de Pentland Firth, aux Îles Orkney (nord de

l'Ecosse). Cette zone stratégique bénéficie de ressources exceptionnelles en vagues et courants, ainsi que de la présence de l'EMEC. Le Crown Estate a annoncé en février 2009 que 38 avant-projets avaient été retenus et que les premières machines pourraient être installées en 2010²⁰⁹.

4.2.3. En Allemagne, une planification de la production électrique

A la fin 2005, l'Agence maritime et hydrographique allemande (BSH) a identifié des zones favorables au développement de l'éolien offshore en Mer du Nord et en Mer Baltique. La prise en compte de critères environnementaux, de critères liés à la sécurité maritime, et l'étude des gisements venteux a amené à définir des zones très éloignées des côtes, au-delà des eaux territoriales. Cette démarche, qui s'apparente à la SEA britannique, a permis de faciliter le montage de projets dans les zones concernées, sans toutefois l'empêcher en-dehors. Aujourd'hui, les projets planifiés en Allemagne vont bien au-delà de des zones initialement identifiées.

Figure 81. Zones favorables identifiées par la BSH en 2005, en Mer du Nord.



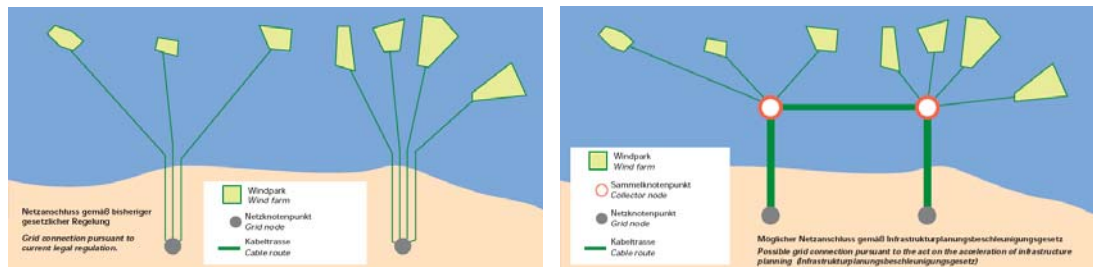
Source : Deutsche Energie-Agentur, 2008.

Afin de faciliter le déploiement de l'éolien offshore, le gouvernement allemand a engagé un processus de planification des infrastructures de transport de l'électricité, dans le but d'offrir aux porteurs de projet la même facilité de connexion au réseau

²⁰⁹ The Crown Estate, 11 février 2009. *Strong Interest in Pentland Firth Marine Energy Development Opportunity.*

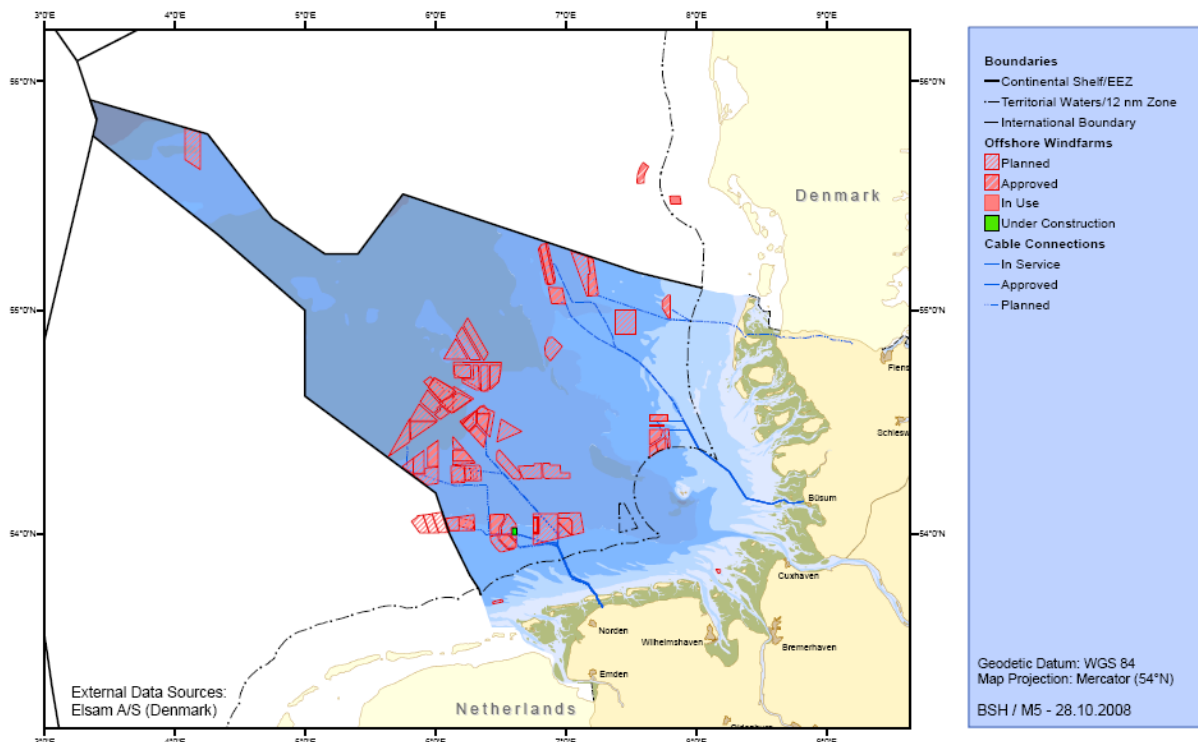
qu'à terre. Jusqu'à présent, chaque porteur de projet devait construire son propre câble. Le processus de planification, entré en vigueur à la fin 2006, consiste à créer en mer un réseau de quelques câbles mutualisés, offrant des postes de connexion à plusieurs parcs, ainsi constitués en grappes, ou « clusters »²¹⁰.

Figure 82. Le principe des clusters en Allemagne.



Source : Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2007.

Figure 83. Les trois clusters de la Mer du Nord en Allemagne.



Source : Deutsche Energie-Agentur, 2008.

²¹⁰ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2007. *Entwicklung der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland. Offshore wind power deployment in Germany.*

Troisième partie

Les énergies marines,
un nouveau pilier de
l'économie bretonne

A l'instar des réflexions actuelles sur les stratégies à adopter en matière de politique énergétique, les réflexions sur l'énergie et la mer en Bretagne reposent sur deux approches complémentaires : d'abord, la maîtrise de la demande en énergie dans les activités maritimes et, ensuite, le recours accru aux énergies renouvelables.

Même si elles sont loin derrière d'autres activités comme l'habitat ou les transports en matière de consommation énergétique, les activités maritimes (pêche, transport maritime, nautisme) ont intégré la problématique de maîtrise de la demande en énergie, notamment pour réduire la dépendance au prix du carburant. Cela se traduit aujourd'hui par des recherches et des innovations technologiques, mais aussi par une prise de conscience des comportements économes.

De la même façon, même si elles n'occupent pas la même place que les énergies renouvelables terrestres, les énergies marines laissent entrevoir d'intéressantes possibilités d'exploitation. L'arrivée de cette nouvelle activité en Bretagne, si elle pose un certain nombre de défis non seulement en termes techniques et économiques, mais aussi en termes d'acceptabilité et d'appropriation, n'en laisse pas moins entrapercevoir de réelles opportunités de développement économique et d'emplois nouveaux. L'objet de cette troisième partie est de comprendre dans quelle mesure et de quelle façon le développement en Bretagne des énergies marines va offrir une réponse originale et performante aux besoins du développement régional.

A l'image d'un capitaine de navire qui, avant d'appareiller, se fixe un objectif et établit sa feuille de route, la mise en œuvre d'une politique énergétique marine devra s'appuyer sur les axes suivants :

- économiser l'énergie (chapitre 8) ;
- définir un objectif ambitieux et identifier les dangers sur la route (chapitre 9) ;
- établir une feuille de route (chapitre 10) ;
- tout en s'appuyant sur un bon équipage et des relais à terre... (chapitre 11).

Chapitre 8

Un rappel : économiser l'énergie

1.	A court terme, une évolution des techniques et des comportements	249
1.1.	Des actions engagées pour des économies d'énergie à la pêche	249
1.1.1.	Les recherches techniques	251
1.1.2.	Les pratiques des professionnels	257
1.2.	Les économies d'énergie dans le transport maritime	261
1.3.	Les économies d'énergie dans le nautisme et la plaisance	265
1.3.1.	Des réflexions sur un nautisme durable	265
1.3.2.	Une évolution des bateaux de plaisance	266
1.3.3.	La voile sportive	267
2.	Des innovations pour le moyen et le long termes	269
3.	Les îles bretonnes, territoires maritimes « tests » pour la maîtrise de la demande en énergie	273

La promotion du développement des énergies marines ne peut être crédible que si des actions fortes sont engagées sur les économies d'énergie. Il serait inutile de produire des énergies renouvelables qui seraient aussitôt absorbées par une hausse des consommations... La maîtrise de la demande en énergie constitue ainsi l'axe principal de la politique énergétique bretonne.

La question des économies d'énergie dans les activités maritimes n'est pas nouvelle, mais elle a jusqu'alors été principalement axée sur la pêche. La hausse du prix du pétrole a renforcé les réflexions sur ce thème, et les a étendues à d'autres secteurs, notamment au transport maritime.

Il nous semble en effet important que tous les secteurs d'activités se saisissent de cette question, en identifiant bien les actions qui peuvent être engagées rapidement, tant en termes d'investissements que de comportements et celles qui, sur le plus long terme, nécessitent des innovations, voire des ruptures technologiques.

Le présent chapitre est dédié à la seule dimension maritime de la question, beaucoup plus large, de la maîtrise de la demande en énergie. Il se concentre, de fait, sur la navigation (pêche, transport maritime, nautisme), et n'aborde qu'à la marge les actions menées sur les îles ou sur le bâtiment, qui relèvent plus du champ général.

1. A court terme, une évolution des techniques et des comportements

1.1. Des actions engagées pour des économies d'énergie à la pêche

Le plan pour une pêche durable et responsable, présenté par Michel BARNIER le 16 janvier 2008, a affecté une enveloppe de 12 millions d'euros à la réduction de la dépendance des navires de pêche au gazole, comprenant les mesures suivantes :

- l'élaboration d'un guide de bonnes pratiques sur la base des expériences et des initiatives individuelles qui ont permis une optimisation de la consommation de gazole ;
- la rédaction d'un cahier des charges pour un « diagnostic énergétique », financé par le Ministère de l'agriculture et de la pêche, pour permettre aux entreprises de pêche de programmer les investissements pertinents afin de réduire leur consommation de gazole ;
- le renforcement de l'engagement de l'Etat dans un plan de recherche et développement pour des moteurs moins consommateurs de gazole ainsi que pour l'utilisation de carburants alternatifs²¹¹.

²¹¹ Plan d'action proposé par Michel BARNIER, Ministre de l'agriculture et de la pêche, 16 janvier 2008. *15 mesures pour une pêche durable et responsable.*

Suite à ce plan, la Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture (DPMA) a soumis en février 2008 un appel à projets sur ce thème. Six propositions ont été retenues et seront donc financées, sur 16 propositions reçues :

- le projet ITSASOA, à Bayonne, sur l'utilisation d'huiles végétales pures par les bateaux de pêche, avec des circuits courts et un ancrage territorial ;
- deux projets de l'Ifremer, OCCE et HYDROPECHE, sur l'hydrodynamique des filets, l'optimisation des engins de pêche, avec trois thèses et un post-doctorat ;
- deux projets, COCHISE et OPTIPERF, portant sur la conception d'un chalutier autonome et l'optimisation de l'hydrodynamique des bateaux ;
- le projet MACH, sur la récupération d'une partie de la chaleur perdue par les moteurs.

En Bretagne, le Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins (CRPMEM) n'a pas attendu ce plan national et s'est impliqué dès 2006 dans plusieurs actions de réflexion et de sensibilisation aux économies d'énergie à la pêche, en lien étroit avec les travaux de recherche menés par l'Ifremer et la politique de soutien au secteur de la pêche du Conseil régional de Bretagne.

Ces initiatives sont certes nées dans le contexte d'une fragilisation du secteur de la pêche due à l'augmentation sensible des coûts du carburant mais elles méritent aussi toute leur place dans les réflexions actuelles sur le défi énergétique.

La consommation de carburant s'élève en moyenne, sur les côtes européennes et nord-américaines, à 0,5 l de fuel par kg de poisson pêché. Cette moyenne recouvre de grandes différences selon les engins de pêche.

Tableau 17. Consommation de carburant lors de l'utilisation de quelques engins de pêche.

Engin de pêche	Consommation (en l) rapportée au kg de poisson pêché
Chalut	0,42 à 3,00
Senne danoise	0,14 à 0,44
Palangre	0,49 à 1,70
Senne	0,10 à 0,14
Casier	0,33 à 0,78
Filet	0,81 à 1,80
Drague	0,35
Ligne	1,70

Source : Ifremer, d'après Tyedmers 2004 et Le Floch 2006.

Selon les métiers pratiqués et le prix du litre de gazole, le coût du carburant peut représenter de 5 à 42% du chiffre d'affaires. En 2006, avec un litre de gazole à 0,44 € en moyenne, il représentait 5% du chiffre d'affaires d'un petit navire, et 27% du chiffre d'affaires d'un chalutier de 16 à 25 m ; en 2008, avec un litre de gazole à 0,70 € en moyenne, et toutes choses égales par ailleurs il représentait 8% du chiffre d'affaires d'un petit navire, et 42% du chiffre d'affaires d'un chalutier de 16 à 25 m.

Le carburant faisant partie des frais communs, cela se traduit par des pertes de rémunération allant de -4 à -30%²¹².

La consommation de carburant est liée à plusieurs facteurs:

- à la disponibilité des ressources ;
- aux évolutions techniques des engins de pêche ;
- à la mécanique (bateau et moteur) ;
- à la réglementation (la jauge et la puissance du navire sont les seuls critères de mesure de l'effort de pêche, et contraignent la forme de la coque) ;
- au comportement du patron pêcheur.

La consommation peut varier d'un facteur 1 à 4 pour des navires et des métiers identiques.

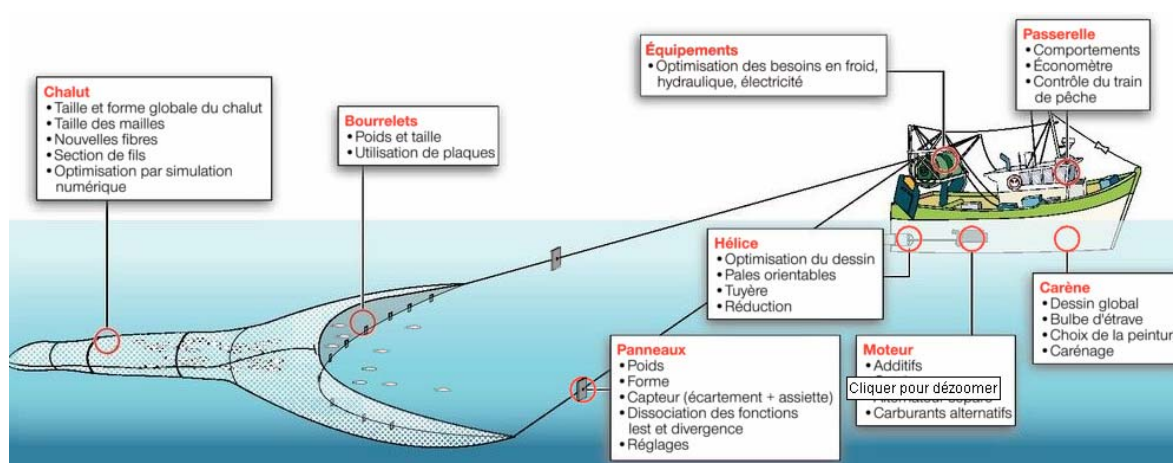
Nous aborderons ici les points qui ont fait l'objet de recherches, d'essais ou de réflexions en Bretagne. La considération propre à la ressource, qui mérite d'être mentionnée ici, ne pourrait pas être développée sans sortir du cadre de cette étude. Mentionnons néanmoins que la hausse du coût du carburant a aujourd'hui des conséquences sur les stratégies des pêcheurs, qui sont amenés à s'adapter en modifiant leurs lieux de pêche et les espèces visées.

1.1.1. Les recherches techniques ²¹³

Les recherches techniques visant à réduire la consommation de carburant à la pêche concernent les trois postes de la navigation :

- le navire (bord, équipements, carène, hélice) ;
- le moteur ;
- le train de pêche.

Figure 84. Les principales sources d'économies d'énergie au chalutage.



Source : Pascal THOMAS, *Le Marin*, 24 mars 2006.

²¹² Observatoire économique régional des pêches de Bretagne, juillet 2008.

²¹³ Ce paragraphe s'appuie sur les auditions de Mme Séverine FARRUGIA (CRPMEM de Bretagne), M. Daniel PRIOUR et M. Pascal LARNAUD (Ifremer) le 25 septembre 2008.

- Le navire

Il existe des possibilités d'amélioration :

- sur l'hélice, avec l'installation d'une tuyère ;
- sur l'étrave, avec l'installation d'un bulbe d'étrave ;
- sur l'hydrodynamisme du bateau, avec une modification du rapport entre longueur et largeur ;
- sur la diminution du déplacement ;
- sur la peinture.

Le CRPMEM de Bretagne a mené avec l'AGLIA, la Région Bretagne et la Région Pays de la Loire, ainsi que le cabinet d'architecture Ship Studio, un programme relatif à l'amélioration de l'efficacité de la propulsion par la tuyère de Schneekluth. Cette piste est désormais écartée car la tuyère n'a pas apporté le gain espéré.

Figure 85. La tuyère de Schneekluth.



Source : CRPMEM, 2008.

Les contraintes dimensionnelles liées à la jauge des navires²¹⁴ soulèvent beaucoup d'interrogations. Spécifiées à une époque où les contraintes énergétiques étaient peu sensibles, elles paraissent aujourd'hui totalement inadaptées, voire pénalisantes : les carènes, raccourcies et élargies, ne sont plus hydrodynamiques. C'est le syndrome des bateaux « carrés » ou de « l'effet sabot » : les bateaux raccourcissent mais consomment (beaucoup) plus²¹⁵. Ce critère constitue un obstacle à lever si l'on veut développer une flotte de navires économes en énergie. Il faudrait pouvoir adopter une mesure réglementaire de l'effort de pêche qui ne contraigne pas l'hydrodynamisme des navires.

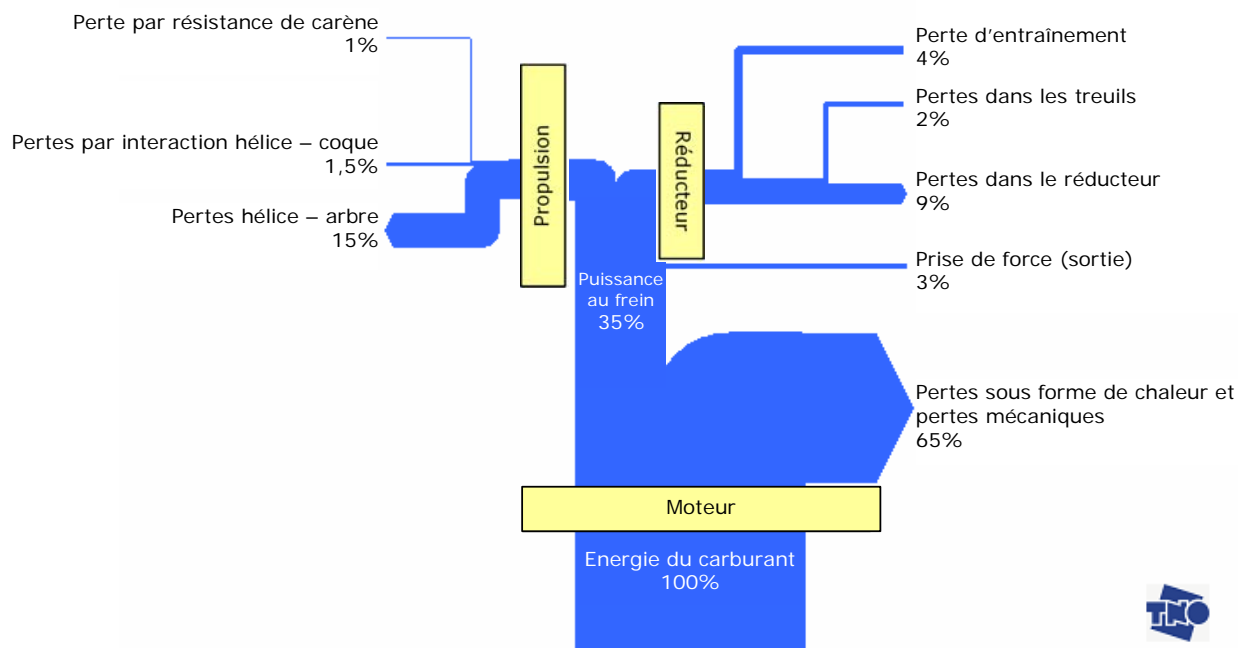
- Le moteur

Sur 100 l consommés par le bateau, 65 l sont perdus sous forme de chaleur, et on ne récupère que 9% de traction effective sur l'engin.

²¹⁴ La jauge est le critère institué pour limiter les capacités de capture.

²¹⁵ Le Marin 18 juillet 2008. *Coût du carburant : des pistes pour la pêche.*

Figure 86. Pertes de rendement d'un moteur thermique.



Les biocarburants sont une alternative au pétrole, et ont pendant quelques temps suscité l'attention des pêcheurs. Mais l'exploitation des biocarburants de première génération a été à l'origine d'une polémique et l'expérience n'est plus aussi mobilisatrice. Toutefois, comme les biocarburants présentent l'avantage majeur de pouvoir être utilisés dans l'alimentation des moteurs diesel classiques, les recherches menées sur les carburants de deuxième et de troisième générations conservent à l'évidence tout leur intérêt.

Le CRPMEM a initié un programme de réalisation d'essais d'additifs au gazole et de catalyseurs de combustion permettant de limiter la consommation de combustibles sur les moteurs marins. Ce programme, porté par le motoriste WARTSILA, s'est déroulé d'août à décembre 2006. Il a été financé par la Région Bretagne, l'ADEME et l'Ifop (Instrument financier d'orientation de la pêche)²¹⁶. Les résultats des essais des additifs et des catalyseurs de combustion sont restés au niveau de la marge d'imprécision des appareils de mesures, soit 2% environ, ce qui a conduit à la conclusion que les essais étaient non significatifs au regard des économies de carburant et des émissions de polluants. Le programme n'a donc pas été reconduit et il ne semble plus y avoir de demandes pour ce genre de produits, malgré les arguments d'une économie de 7 à 10% annoncés et garantis par Optimeca, le fabricant du catalyseur Ecovia²¹⁷.

La voile peut être un complément au moteur. Le patron d'un chalutier de 12 m de Douarnenez a installé un génois avec enrouleur pour économiser du carburant. Selon

²¹⁶ L'Ifop a depuis été remplacé par le Fep (Fonds européen pour la pêche).

²¹⁷ Ouest-France, 10 mai 2008. *Des chalutiers moins gourmands avec Optiméca.*

lui, le gain peut atteindre 20% et le moteur, moins sollicité, s'use moins. Le patron a investi 3000 € pour adapter son navire et n'a pas touché de subvention²¹⁸.

Le projet Grand Largue²¹⁹ vise à réintroduire la voile dans la marine de travail (pêche et petit cabotage), afin de réduire la consommation et la pollution des navires. Il s'appuie sur les technologies d'automatisation des manœuvres, les prévisions météorologiques et l'intelligence artificielle. Le projet est porté par la société Avel Vor Technologie et regroupe cinq PME, trois armements de pêche et deux centres de recherche et de formation. Il est labellisé par le Pôle Mer Bretagne, mais peine à trouver des financements.

La voile permet une économie de carburant et non un gain de vitesse. Elle permet de moins solliciter le moteur pour une vitesse équivalente. La consommation d'un chalutier augmente de manière sensible avec la vitesse de navigation, et même de manière exponentielle lorsque l'on s'approche de la vitesse limite permise par la carène. Les études préliminaires au projet Grand Largue ont ainsi montré que sur un chalutier de 24 m allant à une vitesse de 9,5 nœuds, la voile permettait de réduire la consommation de 64,8 l/h à 41,1 l/h. A la voile s'ajoute un outil de routage, permettant de trouver le meilleur itinéraire pour valoriser au maximum la voile, c'est-à-dire de trouver le compromis entre une économie maximale et un temps de parcours acceptable. Une thèse sur ce sujet, financée par la Région Bretagne, est en cours à l'INSA de Rennes.

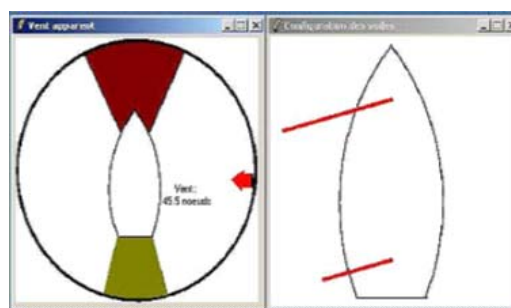
L'étude des plans de voilure porte actuellement sur 8 navires :

- un navire laboratoire de 16 m ;
- 5 navires de pêche dont un à la Réunion ;
- un caboteur de transport d'algues vertes ;
- un navire de plaisance à vocation pédagogique, en Corse.

Il s'agit de voiles auxiliaires, dont la manœuvre est :

- semi-automatique sur un petit navire, avec un écran donnant la position préconisée des voiles, et un bouton « border/choquer » ;
- automatique à partir de 12-13 m, avec les mêmes indications données à l'écran, mais une manœuvre automatique des voiles.

Figure 87. Indication à l'écran de la position des voiles.



Source : Avel Vor Technologie, 2008.

²¹⁸ Ouest France, 18 avril 2007. *Pêche : le P'tit Mousse carbure au vert.*

²¹⁹ Audition de M. Pierre-Yves GLORENNEC (Avel Vor Technologie) le 25 septembre 2008.

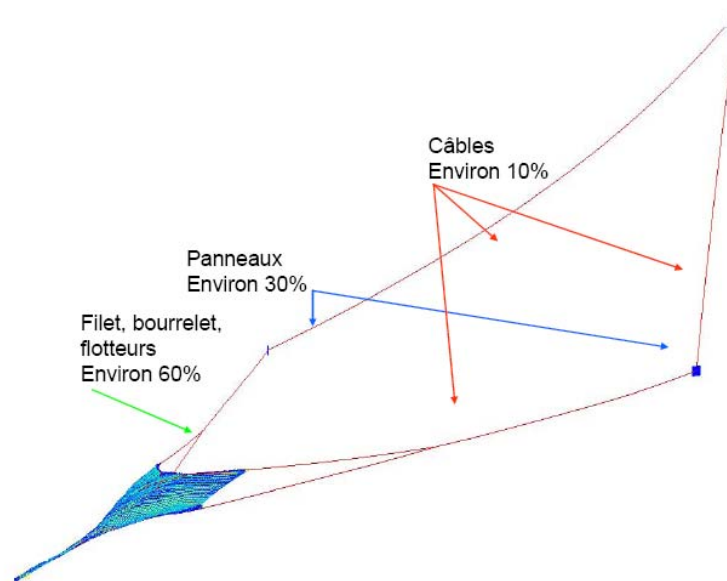
Avel Vor Technologie travaille par ailleurs sur la récupération des gaz d'échappement pour produire de l'électricité. Une thèse CIFRE a démarré le 1^{er} septembre 2008 sur ce projet, qui utilise un cycle de Rankine et non un moteur Stirling. Le rendement théorique est de 30%, ce qui est suffisant pour couvrir les besoins du bord hors propulsion. La société travaille également, en lien avec l'ADEME qui le cofinance, sur un projet d'injection de vapeur d'eau dans l'air d'injection du moteur. Les résultats obtenus, reproductibles, donnent un gain de 5 à 7% d'économies et une élimination des fumées noires. Le travail doit se poursuivre, notamment pour évaluer la résistance du moteur.

- Le train de pêche

Les paramètres pouvant jouer sur la consommation de carburant d'un chalutier sont les câbles, les panneaux, le filet, la prise, les flotteurs, la nature des fonds et la vitesse.

La répartition moyenne de l'utilisation du carburant sur un chalutier est la suivante : 1/3 pour le navire, 2/3 pour le train de pêche (câbles 10%, panneaux 30%, bourrelet 60%).

Figure 88. Répartition de la consommation de carburant selon les composants du train de pêche.



Source : Ifremer, 2008.

Les centres Ifremer de Brest et de Lorient ont donc en toute logique mené des travaux de recherche sur l'optimisation du train de pêche. A court terme, des initiatives simples peuvent être prises :

- utilisation de matériaux plus résistants, donc plus fins ;
- augmentation du maillage de certaines parties du chalut ;
- affinement des formes ;
- diminution de la taille et du poids des panneaux ;
- allègement du bourrelet.

Les travaux de recherche sont conduits en concertation avec les patrons pêcheurs et les fabricants des engins. L'Ifremer a également encadré des travaux menés en partenariat avec le CRPMEM de Bretagne sur un diagnostic énergétique semi-personnalisé des trains de pêche des chalutiers bretons. Ce programme a été financé par la Région Bretagne et mené avec le soutien des Docks de Kéroman, des établissements Le Drezen (Léchiagat – Le Guilvinec), d'IxTrawl (Pont-l'Abbé) et de la société Morgère (Saint-Malo).

L'objectif de ce programme était d'optimiser le train de pêche des chalutiers afin d'obtenir une réduction de consommation de carburant significative sans changement des capacités de capture.

La méthodologie suivie pour l'optimisation des trains de pêche est la suivante :

- collecte des caractéristiques du train de pêche étudié (pouvant inclure des mesures à la mer) ;
- simulation et évaluation des gains d'optimisation à l'aide du logiciel DynamIT ;
- validation par le professionnel des données relatives à son chalut et des choix d'optimisation ;
- fabrication, validation à la mer pour la vérification de la consommation d'énergie et de la qualité de la pêche.

La simulation et l'évaluation des gains d'optimisation se font en tenant compte de l'ouverture verticale et de l'ouverture horizontale du chalut, de l'écartement des panneaux, du volume filtré, et des tensions qui s'exercent sur le train de pêche. Plusieurs configurations sont testées pour chacun de ces paramètres. Sur un chalut à céphalopodes de 67 m sur 90 m, par exemple, la combinaison entre une géométrie modifiée et l'utilisation d'un matériau plus fin, le Dyneema, permet de réduire les tensions de 18% et la consommation de carburant de 30%, pour des caractéristiques de pêche identiques.

17 trains de pêche existants ont été simulés et optimisés sur le logiciel DynamIT, ce qui a permis d'obtenir des données significatives de la réduction de traînée théorique obtenue après simulation. Deux chalutiers du Guilvinec ont ensuite été choisis pour les essais en mer :

- le *Neizhan* (chalutier de 20,40 m, à chalut simple, ciblant la langoustine)
- le *Bara Pemdez 2* (chalutier de 24,90 m, à chaluts jumeaux, ciblant le poisson).

Les optimisations effectuées sur le *Neizhan* concernaient :

- les alèses, avec un agrandissement des côtés de maille dans des zones ciblées, une rationalisation du maillage tout en respectant un nombre maximum de 3 à 4 alèses différentes pour le stockage sur le bateau, un changement de la nature du fil permettant d'utiliser un diamètre plus fin, et enfin une réduction de la taille de certaines pièces ;
- les panneaux, avec une adaptation des dimensions et du poids par rapport aux optimisations réalisées sur les alèses.

Les résultats obtenus sont significatifs et les gains, estimés à 20% avec la simulation sur DynamiT, ont atteint 14% lors des essais en mer²²⁰. Ces gains se traduisent par une économie de 10 l de carburant par heure, soit trois tonnes par marée (sur 21,5 tonnes), ou encore 60 tonnes à l'année.

Les relevés de consommation à l'économètre sur le *Bara Pemdez 2* mettent en évidence une économie de 5 à 7 l/h avec le train de pêche optimisé, et de 3 à 4 l/h avec les chaluts existants mais avec de nouveaux panneaux de taille réduite et plus performants en termes de traînée.

Des calculs théoriques menés dans le cadre de ce programme sur des navires de 12 à 24 m ont montré que la réduction de la traînée pouvait atteindre 7 à 25% et le gain en carburant 5 000 à 100 000 l par an, pour un investissement de 6 000 à 16 000 €. Ces fourchettes montrent tout l'intérêt d'un diagnostic personnalisé des trains de pêche.

Les travaux de recherche de l'Ifremer à moyen terme portent sur :

- des outils de simulation plus précis, permettant de simuler d'autres engins ;
- une optimisation des panneaux ;
- une optimisation des chaluts ;
- le comportement du bourrelet.

Trois thèses ont démarré sur ce sujet en 2008 :

- une sur la simulation des écoulements autour du filet ;
- une sur la validation expérimentale ;
- une sur l'automatisation de l'optimisation.

Les travaux de recherche sur l'optimisation des panneaux sont menés en lien avec l'entreprise Morgère, l'ENSIETA et l'Ifremer. Ils visent à déterminer leur configuration optimale (forme des profils, espacement et position). Deux modèles de panneaux commerciaux sont issus de ces travaux. La réduction de la traînée permet de consommer moins de carburant, et l'augmentation de la portance permet de réduire la taille des panneaux.

1.1.2. Les pratiques des professionnels

Les professionnels se sont saisis de la problématique de la réduction de la dépendance énergétique et ont, pour beaucoup d'entre eux, fait le choix d'équiper leurs navires d'outils de contrôle de la consommation ou d'optimisation des équipements.

- Etat des lieux des pratiques des pêcheurs en matière d'économie de carburant

Ce programme a été porté par le CRPME de Bretagne et financé par la Région Bretagne. Son objectif était de favoriser les investissements dans des dispositifs

²²⁰ Cette différence s'explique en partie parce qu'un chalut était mal réglé au début du diagnostic.

permettant des économies de carburant par le recueil et l'échange d'expériences entre les professionnels de la pêche. Il s'est appuyé sur une enquête à participation volontaire²²¹, sur la base des 450 navires en difficulté en Bretagne dans le contexte du plan de sauvegarde et de restructuration des entreprises de pêche de 2006. L'enquête s'est déroulée aux mois d'avril et de mai 2007. Sur les 450 sollicitations, 51 professionnels ont bien voulu répondre, dont les propriétaires de 41 chalutiers.

Deux tiers des professionnels ayant répondu à l'enquête ont mis en œuvre des modifications en vue de réaliser des économies de carburant. Trois modifications sur quatre apportées par les professionnels concernaient le train de pêche. Les autres modifications portaient sur :

- la carène (installation d'un bulbe d'étrave) et son entretien ;
 - la propulsion (moteurs, hélices, tuyères). La tuyère classique est très répandue et permet des gains de l'ordre de 20% pour un chalutier en pêche, mais certains navires en étaient encore dépourvus ;
 - le comportement (rapprochement des lieux de pêche, installation d'un économètre : la moitié des navires en est équipée, et il y a aujourd'hui un engouement pour cet outil).
- Les possibilités de réduction de la dépendance énergétique à la pêche

La Région Bretagne a confié à Pesca Cornouaille, en 2008, la réalisation d'un travail sur les possibilités de réduction de la dépendance énergétique à la pêche. Elle a émis le souhait de voir ce travail piloté par les professionnels de la pêche, qui sont les plus à même de juger de la pertinence et de la faisabilité des solutions techniques envisagées. Pesca Cornouaille a donc conduit ce travail de mars à juin 2008 et l'a restitué le 4 juillet 2008, en pleine crise du gazole.

C'est la société Avel Vor Technologie qui a réalisé pour le compte de Pesca Cornouaille une étude sur la réduction de la dépendance énergétique à la pêche. 18 propositions ont été émises, parmi lesquelles :

- 8 sont applicables immédiatement ;
- 7 demandent de la R&D ;
- 3 sont d'ordre plus général.

Selon cette étude, les propositions applicables directement sont les suivantes :

1. Une typologie des trains de pêche : recensement des expérimentations, validation par métier ;
2. Des capteurs à bas coût : très peu de bateaux sont équipés car les coûts actuels sont très dissuasifs ;
3. Des économètres sur simulateurs de navigation : cela permet de sensibiliser les élèves aux économies d'énergie, en formation initiale comme en formation continue. Les lycées de Paimpol et du Guilvinec en sont équipés ;

²²¹ L'enquête à participation volontaire peut induire un biais dans le traitement statistique des réponses.

4. Des économètres analytiques : cette mesure proposée par le CRPMEM permettra d'établir des bilans de consommation poste par poste, avec un historique permettant des comparaisons par marée ;
5. Une caractérisation des comportements économes : il est nécessaire d'analyser et de promouvoir les bonnes pratiques ;
6. Le nettoyage des coques à flot : le procédé NavyClean est labellisé par le Pôle Mer PACA. Il faut savoir qu'un dépôt de 1 à 2 mm entraîne une réduction de la vitesse de l'ordre de 10%. Le nettoyage régulier des coques à flot permet d'éviter les immobilisations sur le slipway ;
7. Un bilan énergétique des différents équipements à bord, avec un classement de A à E ;
8. Une maintenance informatisée : un moteur bien entretenu consomme moins. De nouvelles procédures de maintenance pourraient être définies.

Les propositions nécessitant des efforts de R&D sont les suivantes :

9. Un économètre « intelligent », avec un système d'aide à la décision qui permettrait de trouver le meilleur cap et la meilleure vitesse ;
10. Une production « gratuite » d'électricité à partir d'un moteur Stirling ;
11. Une production « gratuite » de froid à partir d'un cycle à absorption ;
12. Un allègement des bateaux existants, en prenant garde à la stabilité ;
13. Une banque de données bibliographiques pour la vulgarisation, la veille technologique ;
14. La création d'un label BHQE (Bateau à haute qualité environnementale), analogue au label HQE pour le bâtiment, pour une promotion des bateaux exemplaires ;
15. Un concours du chalutier économe. Les bateaux actuels ne sont pas conçus pour une énergie chère.

Les mesures d'ordre général, enfin, sont les suivantes :

16. Une modification des contraintes réglementaires : la réglementation actuelle sur la jauge conduit à construire des bateaux non hydrodynamiques ;
17. Quel financement pour la R&D ? Il faudrait pouvoir flécher les thèses ;
18. Un comité de suivi pour avoir une vue d'ensemble sur le secteur.

- Vers le développement de pratiques alternatives ?

Le constat de l'importance du train de pêche dans la consommation de carburant incite à réfléchir à des pratiques alternatives telles que le casier ou la nasse à poissons.

Le casier à langoustines est actuellement testé à Capbreton, avec des captures moyennes par casier similaires aux captures enregistrées en Ecosse, où cette pratique existe. Des travaux sont menés pour développer des casiers pliants, qui pourraient être emportés en grand nombre sur le pont des bateaux. Le principe de

précaution impose toutefois d'encadrer ce type de pêcherie et de s'interroger sur son impact²²².

Figure 89. Casier à langoustines pliant et ensemble de casiers disposés sur le pont.



Source : Ifremer, 2008.

Différents types de nasse à poissons peuvent être développés, sur la base de la nasse norvégienne à deux chambres : nasse pliante, nasse flottante avec extension de la chambre supérieure dans le courant... L'optimisation des nasses se fait grâce à l'observation vidéo et acoustique du comportement des espèces. Les essais seront faits dans des zones ateliers à définir avec les comités locaux des pêches, ou sur des pêcheries spécifiques demandeuses. Des travaux sont menés sur la biodégradabilité des nasses pour limiter les pêches fantômes.

Les projets « Economies d'énergie à la pêche » labellisés par le Pôle Mer

Grand Largue : propulsion mixte voile-moteur pour les navires de pêche

Labellisé le 9 février 2007

Le projet Grand Largue vise à mettre au point, pour les navires de pêche dont les charges d'exploitation sont alourdies par le coût du gazole, un système de propulsion hybride voile-moteur, entièrement automatisé. Pour être financièrement accessible aux armements, Grand Largue adaptera aux contraintes de la pêche des technologies existantes et développera des outils logiciels « intelligents » pour la gestion automatique des voiles et de la propulsion hybride ainsi que des outils d'aide à la décision pour des routages optimisés. Mis au point sur un chalutier déclassé, Grand Largue sera ensuite testé sur des navires en exploitation

Entreprises : Avel Vor Technologie (Quimperlé) ; Cabinet SDA (Quimper) ; Morgère (Saint-Malo) ; EBS (Loctudy) ; Océanite Boat Concept (Vulaines sur Seine, 77) ; armement Scapêche (Lorient) ; armement Wakan Tanka (Lesconil).

Centres de recherche : INSA (Rennes) ; Institut Maritime de Prévention (Lorient).

²²² Les expérimentations montrent que les femelles sont majoritaires dans les casiers, alors que la capture au chalut est équilibrée entre mâles et femelles. Ceci pourrait avoir des conséquences sur la population de langoustines.

Optipêche : trier sur le fond, pas sur le pont

Labellisé le 16 décembre 2005

Comment aider les entreprises de pêche à être rentables sans capturer plus mais en pêchant mieux ? Les patrons pêcheurs pourraient diminuer les coûts d'exploitation, travailler dans de meilleures conditions de sécurité et sans abîmer les fonds, améliorer la qualité du poisson tout en préservant le renouvellement de la ressource. La réponse Optipêche s'appuie sur l'installation à l'avant des navires de capteurs de détection des poissons et de repérage des fonds, mais aussi sur la mise au point de chaluts innovants.

Entreprises : iXTrawl (Pont-l'Abbé) ; iXSea (Brest) ; SODENA (Vitry-sur-Seine) ; Morgère (Saint-Malo) ; Le Drezen (Lechiagat-Le Guilvinec).

Centres de recherche : Ifremer (Brest) ; ENSIETA (Brest) ; ENSTB (Brest et Rennes) ; Institut maritime de prévention (Lorient).

Internet Pêche Bas Coût : valoriser la pêche en ligne

Le projet Internet Pêche Bas Coût vise à développer les communications Internet à bord des petites unités de pêche, afin de valoriser les produits de la pêche par une vente plus rapide, sur le marché de l'ultra-frais notamment. Ce projet pourra avoir des retombées en termes d'économie d'énergie, puisqu'il permettra de disposer en temps réel des données de routage optimal, et permettra une meilleure prévision des ventes et des débarquements.

Entreprises : Kenta Electronic (Quimper) ; Nasca Géomarine (Brest)

Centres de recherche : Ifremer (Brest) ; Laboratoire d'électronique et systèmes de télécommunications, UBO (Brest) ; ENST Bretagne (Brest) ; Institut d'électronique et de télécommunications de l'INSA (Rennes)

Partenaire associé : Cetmef (Compiègne)

Organisations professionnelles de soutien à l'innovation : Technopôle Quimper-Cornouaille ; Pesca Cornouaille (Concarneau).

SOS Stabilité : améliorer la sécurité des petits navires de pêche

Le projet SOS STABILITE a pour objectif de comprendre les problèmes de stabilité dynamique des petits navires et vise à développer des systèmes embarqués capables d'améliorer la sécurité des navires, prenant en compte les contraintes de consommation d'énergie et le comportement de l'équipage, et abordables financièrement pour les petits navires, existants ou à construire. Les résultats de ce projet auront un impact positif sur la conduite du navire et sa consommation.

Entreprises : SIREHNA (Nantes) ; Mauric (Nantes et Marseille) ; Veritas (Nantes et Paris) ; Principia (La Ciotat) ; chantier Merré (Nort sur Erdre)

Centres de recherche : Ifremer (Lorient) ; Institut Maritime de Prévention (Lorient)

Avec le BEAmer. Le Comité local des pêches maritimes et des élevages marins de Loire-Atlantique Sud, l'Armement coopératif artisanal vendéen.

1.2. Les économies d'énergie dans le transport maritime ²²³

Le trafic de marchandises par voie maritime ne cesse de croître, et il n'y a pas aujourd'hui de moyen de substitution adapté pour faire face aux difficultés rencontrées du fait de l'usage des carburants fossiles (émissions de gaz à effet de serre, coût du carburant).

Jusqu'à présent, les scientifiques évaluaient la part du transport maritime à 2,5% des émissions mondiales de gaz à effet de serre, soit l'équivalent du transport

²²³ Ce paragraphe s'appuie sur l'audition de M. Yves GUIGNOT (Ecole de la marine marchande de Nantes) le 25 septembre 2008.

aérien. Or une étude commandée par l'Organisation maritime internationale (OMI) en décembre 2007 a réévalué cette part à 3,5%, avec l'émission en 2007 de plus d'un milliard de tonnes de CO₂, mais aussi de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote²²⁴.

La navigation échappait jusqu'à maintenant à une législation trop contraignante sur ses émissions, mais les chiffres préoccupants dont il est fait état ci-dessus ont conduit l'OMI à réviser la législation en matière de pollution. Un groupe de travail international sur les émissions de gaz à effet de serre des navires a ainsi été constitué, et s'est réuni à Oslo du 23 au 27 juin 2008. Ce groupe de travail a développé un « index de conception CO₂ » pour s'assurer de l'efficacité énergétique des nouveaux navires. Un indice avait déjà été créé en 2005 pour les navires existants afin de permettre aux propriétaires d'évaluer les performances énergétiques de ces navires. L'objectif de l'OMI est d'adopter un instrument contraignant en 2009 et de mettre en place des mesures pour contrôler les émissions de gaz à effet de serre de la navigation internationale avant la fin du protocole de Kyoto, en décembre 2011²²⁵. La teneur en soufre des carburants fera en particulier l'objet d'une réglementation plus sévère à partir du 1^{er} janvier 2012, ce qui obligera les raffineurs à fournir un fuel de qualité, et les armateurs à payer un surcoût lié à cette qualité. Le défi sera alors de conjuguer le respect des normes environnementales et la compétitivité du transport maritime, qui reste le mode de transport le moins polluant²²⁶.

Les impacts de la hausse du coût du carburant dans le secteur du transport maritime ont été palpables pendant l'année 2008. Ainsi, au mois de septembre 2008, on apprenait que la compagnie HD Ferries mettait fin prématurément aux liaisons vers les îles anglo-normandes, en raison du coût très élevé du carburant et de la mauvaise conjoncture économique, pour ne les reprendre qu'à la saison 2009²²⁷. De même, la Brittany Ferries a désarmé l'un de ses navires, le Pont-l'Abbé, plus tôt que prévu, et a suspendu certaines rotations²²⁸, dans l'attente de la livraison d'un nouveau navire, l'Armorique, dont la carène et le système de propulsion permettront d'optimiser la consommation de carburant et de réduire les émissions de CO₂²²⁹.

La prise en compte de la question énergétique par les armateurs est essentiellement dictée par les coûts d'exploitation, mais elle est aussi motivée par l'image que l'armateur veut donner de sa compagnie en termes d'engagement pour la préservation de l'environnement. Aujourd'hui, il existe un département « Environnement » dans toutes les grandes compagnies.

Du côté des navigants, on observe une évolution des mentalités. Les nouvelles générations sont davantage concernées par la protection de l'environnement. La formation dans les écoles commence à prendre en compte l'aspect environnemental de l'exploitation des navires. Cela se traduit par une utilisation plus sobre des équipements techniques, et une plus grande attention au gaspillage.

²²⁴ Journal de l'environnement, 15 février, 25 juin et 1^{er} juillet 2008.

²²⁵ *Ibid.*

²²⁶ Ouest-France, 17 avril 2008. *Moins de soufre dans le fuel de propulsion.*

²²⁷ Ouest-France, 4 septembre 2008. *Gazole cher, HD Ferries suspend ses traversées.*

²²⁸ Le Télégramme, 26 septembre 2008. *Brittany Ferries. Un hiver au régime sec.*

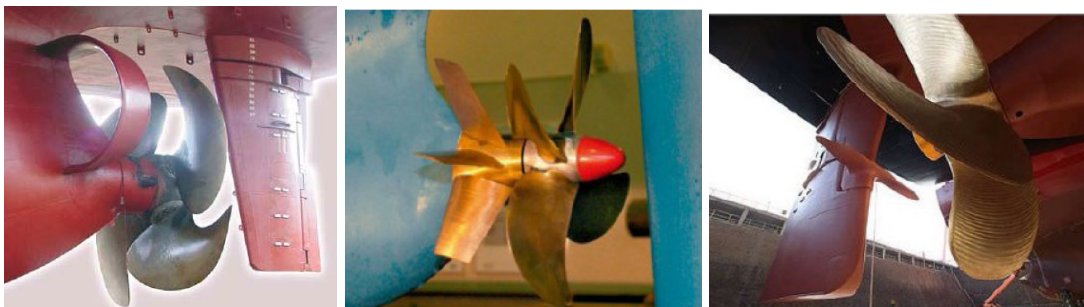
²²⁹ Brittany Ferries, 8 août 2008. Communiqué de presse.

A court terme, la prise de conscience de la nécessité de la gestion de l'énergie à bord se traduira par des changements de comportements et des développements technologiques sur :

- la réduction de la vitesse et l'adaptation des moteurs ;
 - l'optimisation du rendement du moteur ;
 - la récupération d'énergie à l'échappement : les gains de consommation peuvent atteindre 10 à 12% ;
 - la récupération de chaleur des moteurs pour produire du froid (par absorption) sur les navires polythermes ;
 - les peintures de carène à faible coefficient de frottement (silicone, écailles de verre, téflon). La peinture de type téflon est trop fragile pour des navires de travail mais permet des gains de consommation de 5 à 6% sur des navires de ligne ;
 - les systèmes d'amélioration du rendement des hélices ;
 - les premiers systèmes d'assistance vélique ;
 - l'utilisation du gaz naturel comprimé (CNG) comme carburant ;
 - les débuts de la propulsion hybride.
- L'amélioration du rendement des hélices

Les tuyères ou les ailerons permettent des gains minimes, de l'ordre de 1 à 2%.

Figure 90. Tuyère de Schneekluth, ailerons pre-swirl et ailerons thrust-fin.



Source : audition de M. Yves GUIGNOT (ENMM Nantes), 2008.

Les pods sont plus intéressants, car ils font office de gouvernail et permettent des gains de l'ordre de 5%.

Figure 91. Pods.



Source : audition de M. Yves GUIGNOT (ENMM Nantes), 2008.

- L'assistance vélique

Comme le programme Grand Large pour les bateaux de pêche, plusieurs projets visent à réintroduire la voile dans le transport maritime.

La société allemande SkySails teste l'adjonction d'une voile de type kite à la propulsion des navires de commerce. La voile, pouvant faire jusqu'à 640 m², est reliée au navire par un câble en carbone enroulé sur un treuil. Le déploiement se fait au moyen d'un bras vertical télescopique, sur la plage avant du navire, près du treuil et du point de transmission de l'effort de traction. Des tests ont été réalisés en 2006 avec une voile de 160 m². Selon la société SkySails, l'économie de carburant réalisable serait de 10 à 35%²³⁰.

Figure 92. Le concept SkySails.



Source : SkySails.

C'est également en Allemagne qu'un cargo utilisant partiellement le vent comme force motrice complémentaire a été mis à l'eau le 2 août 2008, depuis le chantier naval de la ville portuaire de Kiel. Le navire de 130 m, équipé en outre d'une motorisation diesel conventionnelle, n'est pas un voilier au sens classique du terme : la propulsion vélique ne résulte pas de l'action de voiles traditionnelles, mais de celle de 4 cylindres rotatifs verticaux de 25 mètres de haut, appelés turbovoiles. Développées par le constructeur éolien allemand Enercon, ces voiles tubulaires métalliques doivent permettre, sur les longues distances, de réduire de 30% à 50% la consommation de carburant de ce cargo hybride²³¹.

²³⁰ Le Marin, juin 2007. *Hors-série Propulsion*.

²³¹ Bulletins électroniques, 13 août 2008. *Mise à l'eau du premier « cargo à voile » allemand*.

Figure 93. L'E-ship développé par Enercon.



Source : Enercon.

Inventée dans les années 1920 par Flettner, la technologie utilisée fait appel à l'effet Magnus, c'est-à-dire à la différence de pression liée à l'écoulement de l'air le long du cylindre en rotation. A surface d'attaque équivalente, le cylindre vertical à rotor Flettner génère dix fois la propulsion d'une voile classique. Au début des années 1980, l'océanographe français COUSTEAU avait déjà équipé son navire de recherche l'Alcyone de turbovoiles d'un genre particulier, fixes, qui devaient permettre d'économiser 30 à 35% de carburant.

1.3. Les économies d'énergie dans le nautisme et la plaisance

C'est dans le cadre plus général de l'éco-navigation que s'inscrivent aujourd'hui la plupart des réflexions menées en matière d'économie d'énergie dans le secteur du nautisme. L'éco-navigation englobe l'éco-conception et l'entretien des navires, les rejets, la gestion de l'énergie à bord, les pratiques respectueuses de l'environnement et des activités des autres usagers. Dans l'ensemble des démarches conduites sur ces sujets, et particulièrement en Bretagne où le nautisme motorisé est moins présent que dans d'autres régions, la question de l'énergie est finalement assez peu abordée.

1.3.1. Des réflexions sur un nautisme durable

Dans ses réflexions sur le nautisme et le développement durable, Nautisme en Bretagne s'est cependant saisi de cette question et a conduit, en 2006 et 2007, un travail d'analyse sur la prise en compte de la question énergétique dans les centres nautiques. Cette analyse n'est pas spécifique au milieu maritime et relève plus de considérations générales sur l'énergie dans le bâtiment, mais elle révèle une prise de conscience des acteurs du nautisme. Parmi les postes de dépense des centres nautiques, l'énergie arrive derrière les salaires et l'achat des bateaux. C'est donc un poste important, qui se répartit entre :

- la production d'eau chaude sanitaire pour les douches ;
- le chauffage des locaux ;
- la propulsion des bateaux.

Dans le même esprit, la Fédération française de voile (FFV) a édité, en avril 2008, un guide intitulé « Eco-gestion des centres nautiques », à l'attention des responsables de centres nautiques soucieux de s'engager dans une politique de gestion durable. Ce guide aborde l'activité voile à proprement parler (carburants, moteurs) mais aussi le bâtiment (rénovation, isolation), et les actions de communication.

Nautisme en Bretagne a par ailleurs évalué la consommation annuelle des navires de sécurité qui encadrent les pratiquants. Sur la base de 500 sites exploités, l'association estime qu'en 2004, ce sont 960 000 litres de carburant qui ont été consommés pour les besoins de la sécurité, soit 1,56 l par client accueilli et par an. En 2007, malgré une augmentation du nombre de clients, ce sont 576 000 litres de carburant qui ont été consommés, soit 0,75 l par client accueilli et par an. Cette diminution de la consommation s'explique par la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'enseignement, avec un retour en force de l'encadrement sur support non motorisé ; le remplacement des moteurs hors-bord 2T par des moteurs 4T ou des moteurs au GPL ; et enfin l'arrivée sur le marché de bateaux à moteur plus légers et consommant moins²³².

Aujourd'hui, un certain nombre de réflexions autour du nautisme et du développement durable se structurent :

- la mission confiée par le MEEDDAT à Catherine CHABAUD sur le nautisme et le développement durable, suite au Grenelle de l'environnement. Cette mission « nautisme et développement durable » aura notamment pour but :
 - de préparer un futur appel à projets sur les ports de plaisance exemplaires ;
 - de recenser l'ensemble des actions de sensibilisation menées actuellement sur le terrain par les différents acteurs, afin de lancer une action d'envergure nationale dès l'été 2009 ;
 - de réfléchir à la réforme du droit annuel de francisation et de navigation, dont le produit est affecté au Conservatoire national du littoral, pour parvenir à une taxation plus juste tenant mieux compte de l'empreinte écologique des navires ;
 - de préparer un colloque organisé sous l'égide du Ministère afin de sensibiliser les architectes navals, les équipementiers et les chantiers navals aux problématiques environnementales ;
- le réseau Econav, porté par l'association De Navigatio et soutenu par la Région Bretagne. Lancé lors des fêtes de Douarnenez 2008, il vise à réunir les acteurs de l'éco-navigation²³³ ;
- le projet Nautisme dans l'espace atlantique (NEA2), financé dans le cadre du projet Interreg IV B Espace Atlantique et coordonné par la Région Bretagne.

1.3.2. Une évolution des bateaux de plaisance

La propulsion électrique s'est développée ces dernières années, à la faveur d'une montée des préoccupations environnementales mais aussi de la hausse du coût des

²³² Nautisme en Bretagne, 2008. *Note sur la consommation de carburant.*

²³³ Audition de M. Hervé LA PRAIRIE (De Navigatio) le 25 septembre 2008.

carburants. La demande de bateaux électriques s'est ainsi fortement accentuée dans le secteur fluvial, pour la promenade comme pour le transport de passagers. Six agglomérations françaises possèdent aujourd'hui des navettes urbaines à propulsion électrique (Paris, La Rochelle, Nantes...) ²³⁴.

Les bateaux électriques sont encore peu développés en mer, même si certaines entreprises y travaillent. C'est le cas par exemple de l'entreprise TLB, basée à Brest, qui a longtemps travaillé dans le domaine de la pêche, et conçoit aujourd'hui des bateaux de plaisance électriques.

Le projet Heol, labellisé par le Pôle Mer, vise à équiper un catamaran de promenade d'une motorisation hybride diesel-électrique alimentée, entre autres, par des panneaux solaires et des éoliennes, et de voiles d'appoint.

Le groupe BENETEAU développe également un catamaran hybride diesel-électrique, le Lagoon, vendu au même prix que son homologue diesel. Lorsque le catamaran navigue à la voile, les hélices actionnent des alternateurs qui alimentent des batteries ²³⁵.

AQUUS et FINOT-CONQ envisagent de commercialiser en décembre 2009 un bateau de plaisance électrosolaire de 7 m, doté d'une propulsion électrique et de panneaux photovoltaïques. La chaîne de propulsion électrique offre les performances d'un voilier de la même taille et une autonomie de 8 heures, hors recharge solaire, adaptée à des sorties à la journée ²³⁶.

La Fédération des industries nautiques attribuera le Prix du bateau bleu 2010 (prix annuel de 20 000 € récompensant un projet innovant) à un projet de production et de gestion de l'énergie à bord.

1.3.3. La voile sportive

L'édition 2008-2009 du Vendée Globe n'a pas concrétisé les investissements dans les énergies renouvelables espérés lors de l'édition précédente. Sur les 30 bateaux inscrits au départ, seuls deux ont réellement misé sur les énergies renouvelables et donc l'économie de carburant, et quelques autres les ont adoptées comme solutions de complément ou de secours.

Un hydrogénérateur est installé sur le tableau arrière du monocoque Aquarelle.com, skipé par Yannick BESTAVEN. Il s'agit d'une hélice tripale en carbone, à pas variable, qui traîne dans l'eau et entraîne un moteur à aimant permanent. Dès 8 nœuds, l'hydrogénérateur couvre tous les besoins énergétiques du bord, et la traînée est inférieure à celle d'un safran. Un système de secours similaire, mais moins abouti, est installé sur Foncia (Michel DESJOYEUX).

²³⁴ Eco-life, 30 juin 2008. *Cap sur les bateaux électriques.*

²³⁵ Ouest-France, cahier spécial Nautic. *Le Lagoon hybride, un vrai catamaran militant.*

²³⁶ Aequus et Finot-Conq, communiqué de presse du 5 décembre 2008.

Le monocoque Ocean Vital de Raphaël DINELLI fait, quant à lui, la part belle à l'énergie solaire puisque 13 m² de panneaux solaires sont installés sur le pont. Ces panneaux ont été spécifiquement développés pour améliorer leur fiabilité et leurs conditions de vieillissement dans des conditions très exposées, et réduire leur poids de moitié par rapport à des modèles classiques.

Figure 94. Les panneaux solaires d'Ocean Vital.



Source : Wikipédia, 2008.

Les autres skippers ont presque tous une ou deux éoliennes à bord, sur un mât fixe ou réglable en fonction de la gîte.

Mais la consommation d'énergie fossile en course reste minimale, et sa substitution par les énergies renouvelables le reste également. Le développement des énergies renouvelables à bord des navires de course au large est donc à nuancer au regard de l'énergie grise nécessaire à la construction et à l'entretien du bateau.

La médiatisation de la course au large est telle qu'elle constitue néanmoins un formidable banc d'essai et de démonstration pour des innovations qui pourront, ensuite, être transférées vers l'industrie nautique. C'est là tout l'aspect positif de ce type d'épreuve de l'extrême, à caractère exemplaire et porteur de messages forts.

Les projets « Economies d'énergie » labellisés par le Pôle Mer Bretagne dans le secteur naval et le nautisme

Heol : un navire à passagers respectueux de l'environnement et accessible à tous

Labellisé le 9 février 2007

Le projet Heol vise à construire un catamaran de 50 places, adapté à la navigation dans les espaces naturels sensibles et accessible aux personnes handicapées, qui naviguera dans le Golfe du Morbihan. La carène sera conçue pour réduire la consommation énergétique mais aussi les vagues générées par le bateau afin de préserver la faune, la flore et le linéaire côtier. Afin de réduire la pollution atmosphérique ainsi que les nuisances olfactives et sonores, le navire sera doté d'une motorisation hybride électrique-diesel qui lui permettra de naviguer silencieusement. Panneaux solaires, éoliennes, voile d'appoint contribueront à améliorer le bilan énergétique. Le choix de matériaux recyclables, le système de récupération et de traitement des effluents, l'utilisation des eaux de pluie pour les sanitaires en feront un exemple de navire écologique.

Entreprises : Armement Latitude 56 (Locmariaquer) ; cabinet d'architecture navale Van Peteghem-Laurios-Prévost (Vannes).

Centre de recherche : Ecole Centrale de Nantes.

Association : Syndicat intercommunal d'aménagement du Golfe du Morbihan.

Convenav : des navires respectueux de l'environnement tout au long de leur vie

Le projet Convenav, comme CONception et cycle de Vie Environnemental des NAVires, vise à réduire l'impact environnemental des navires en développant des outils nouveaux. Ils permettront, dès la conception, mais aussi durant l'exploitation, les phases de maintenance ou de modification et lors de la déconstruction, d'évaluer et réduire les impacts environnementaux des navires. Ils faciliteront, grâce à la modélisation, un contrôle pour chacune de ces phases. Ces outils seront utilisés par l'architecte, le constructeur, les équipementiers et les exploitants. Ils pourraient aussi servir à des sociétés de classification comme support d'une démarche d'éco-labellisation.

Entreprises : DCNS (Lorient) ; SITA (Paris, pôle propreté du groupe Suez).

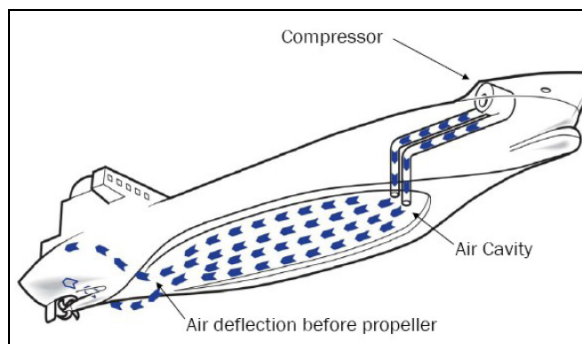
Centres de recherche : Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, sa société d'études et de recherches (SERAM) à Paris et le laboratoire Modélisation, Analyse et Prévention des Impacts Environnementaux (MAPIE) de Chambéry ; Ifremer (Brest).

2. Des innovations pour le moyen et le long termes

A plus long terme, la navigation devrait connaître des innovations permettant de s'affranchir partiellement ou totalement des énergies fossiles, comme :

- de nouvelles hélices ;
- de nouveaux dessins de carène ;
- de nouveaux revêtements de carène ;
- des nappes de bulles ;

Figure 95. Nappes de bulles sous la coque d'un navire.

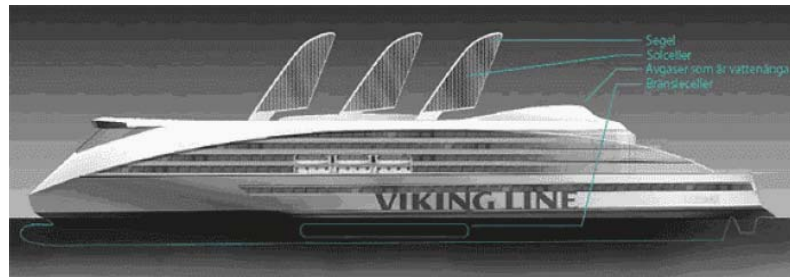


Source : audition de M. Yves GUIGNOT (ENMM Nantes), 2008.

- l'amélioration des moteurs, avec de nouveaux cycles ;
- l'aérodynamisme des superstructures ;
- l'optimisation centralisée des énergies du bord avec contrôle depuis la terre ;
- l'utilisation de nouveaux systèmes de réfrigération (magnétique, acoustique) ;
- de nouvelles routes maritimes ;
- la propulsion au gaz ;
- l'utilisation de piles à combustibles (à gaz ou méthanol, puis à hydrogène), d'abord en remplacement des groupes électrogènes, plus tard en propulsion (électrique) ;

- la généralisation de l'assistance vélique avec des systèmes à gestion automatisée ;

Figure 96. Paquebot à assistance vélique.



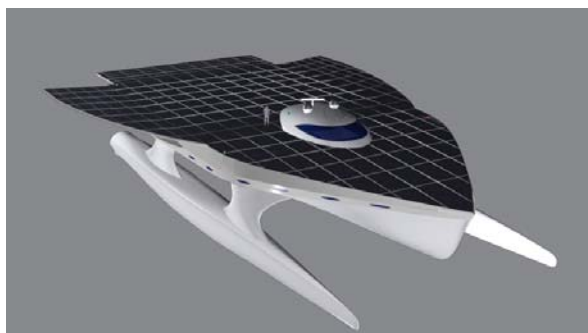
Source : audition de M. Yves GUIGNOT (ENMM Nantes), 2008.

- l'utilisation de panneaux solaires ;
 - la récupération de l'énergie des mouvements du navire ;
 - l'énergie nucléaire.
- L'énergie solaire

La compagnie de transport maritime japonaise Nippon Yusen teste actuellement la génération d'énergie solaire à bord de ses cargos, comme complément aux groupes électrogènes pour les besoins du bord²³⁷.

Le projet PlanetSolar poursuit l'objectif d'accomplir, en 2010, le premier tour du monde avec un bateau solaire, propulsé par une motorisation électrique silencieuse et non polluante, exclusivement alimentée par l'énergie solaire. Le catamaran de 30 m de long, équipé de 470 m² de panneaux solaires, est en cours de construction en Allemagne. L'entreprise implique des développements technologiques dans de nombreux domaines, tels que la production de matériaux et de structures composites ou encore la production et le stockage d'énergie (ou d'électricité) photovoltaïque.

Figure 97. Le prototype PlanetSolar.

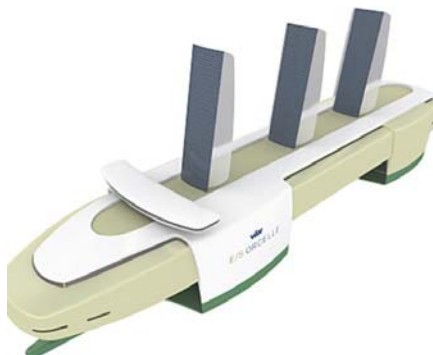


Source : PlanetSolar, 2008.

²³⁷ Energine, 27 août 2008. *Des panneaux solaires pour alimenter un cargo.*

La compagnie maritime scandinave Wallenius Wilhelmsen Logistics (WWL) a, quant à elle, présenté un concept de cargo multi-énergies, l'E/S Orcelle, doté d'ailes rigides couvertes de panneaux photovoltaïques, de systèmes de récupération de l'énergie des vagues, et d'un système hydrogène / pile à combustible²³⁸.

Figure 98. L'E/S Orcelle.



Source : Enerzine, 2008.

- L'hydrogène ²³⁹

Devant le constat des possibilités offertes par la filière hydrogène (voir chapitre 1), le Pôle de recherche et d'innovation de Nantes-Atlantique et d'Atlantpôle (PRINA) a créé la « mission Hydrogène », en partenariat avec la CCI Nantes – Saint-Nazaire et avec le soutien de l'ADEME, de la DRIRE et de la Région Pays de la Loire.

Cette mission poursuit plusieurs objectifs :

- confirmer le potentiel industriel et de recherche de la région dans le domaine de la filière hydrogène ;
- positionner ce potentiel relativement à celui des autres régions françaises et européennes, tout en précisant les retombées économiques attendues ;
- créer et dynamiser une communauté liant les industriels et les chercheurs afin de favoriser l'émergence de projets ;
- représenter les acteurs de la Région Pays de la Loire dans les discussions de mise en place de la filière hydrogène aux niveaux national, européen et mondial.

Au regard des filières et des forces de l'économie locale (industrie, pêche, construction navale, mais aussi développement des énergies marines, microalgues), la mission a jugé intéressant de centrer la filière hydrogène sur des applications maritimes et fluviales. Cette connotation maritime et fluviale permet de développer une complémentarité avec les recherches menées par le CEA et orientées presque exclusivement vers la filière automobile.

²³⁸ Enerzine, 15 avril 2008. *L'Orcelle : un concept de navire-cargo, multi-énergies.*

²³⁹ Ce paragraphe s'appuie en partie sur l'audition de MM. Henri MORA et Frédéric MESLIN (Mission Hydrogène des Pays de la Loire) le 25 septembre 2008.

La mission hydrogène joue un rôle d'animation de la filière, et construit son action autour de projets phares sur différents types de bateaux.

Les projets phares de la Mission Hydrogène

MOST'H : un bateau fluvial pour les loisirs

Le projet Most'H vise à développer un navire de 6 m alimenté par un système hydrogène / pile à combustible, d'une autonomie de 8h.

Partenaires principaux : ICAM, Aker Yards, Alca Torda applications.

NavHybus : un navire à passagers

SHyPER : un chalutier électrique

Le projet SHyPER vise à réaliser un chalutier électrique hydrogène / pile à combustible. L'étude de faisabilité a été réalisée.

Partenaires principaux : Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins, Alca Torda applications, DCNS.

L'application de l'hydrogène aux domaines maritime et fluvial pose encore un certain nombre de questions.

En premier lieu, il n'existe pas en France de réglementation spécifique pour les navires à hydrogène. Aujourd'hui, un chantier qui voudrait livrer un bateau à hydrogène ne le pourrait pas. La délivrance du permis de naviguer ne pourra se faire qu'avec un certain nombre de certifications.

L'hydrogène sous forme gazeuse est inflammable et explosif. Toutefois, la molécule d'hydrogène étant de très petite taille, sa dispersion dans l'atmosphère est extrêmement rapide en milieu non confiné. La réputation de dangerosité de l'hydrogène se justifie lorsqu'il est confiné²⁴⁰.

Les premiers retours d'expérience ne révèlent pas de danger démesuré de l'hydrogène par rapport à d'autres vecteurs énergétiques. Hambourg expérimente ainsi depuis 2003 une flotte de 10 bus urbains utilisant l'hydrogène gazeux, sans problème particulier mais avec des systèmes de contrôle des installations. Les ateliers sont par exemple équipés de détecteurs d'hydrogène et de ventilateurs automatiques.

Une diffusion large des technologies de l'hydrogène impose donc la garantie de leur sûreté, comme c'est aujourd'hui le cas dans leur utilisation à des fins industrielles²⁴¹.

C'est la question du stockage de l'hydrogène à bord qui est sans doute la plus problématique aujourd'hui, et sur laquelle les recherches devront prioritairement se

²⁴⁰ CEA, 28 octobre 2008. *Produire de l'énergie sans gaz à effet de serre.*

²⁴¹ *Ibid.*

tourner. A volume équivalent, l'hydrogène gazeux est 7,7 fois moins énergétique que le pétrole : pour produire la même quantité d'énergie, il en faut donc un volume 7,7 fois plus important. Si le stockage à terre peut facilement s'envisager pour des flottes captives, effectuant de petites rotations et pouvant se ravitailler tous les jours (navettes maritimes ou fluviales, petites unités de pêche sortant à la journée), il n'en est pas de même pour les navires de pêche effectuant des marées de plusieurs jours, voire de plusieurs dizaines de jours. Avec les développements technologiques actuels, il n'est pas possible de stocker sous forme d'hydrogène l'équivalent du pétrole. La piste hydrogène semble bien devoir être explorée, mais il s'agit vraisemblablement d'une solution à long terme, alors que les annonces faites ici et là laissent entendre des développements rapides. Un article de Ouest-France du 17 novembre 2007, notamment, titrait « *Un prototype de chalutier à hydrogène dès 2008* ».

3. Les îles bretonnes, territoires maritimes « tests » pour la maîtrise de la demande en énergie

Ouessant, Molène et Sein sont les seules Îles du Ponant à ne pas être raccordées au réseau. L'électricité y est donc produite par des groupes électrogènes alimentés au fuel et, dans le cas de Sein, une unité de dessalement alimente l'île en eau douce. Malgré le surcoût de la production électrique, les îliens paient l'électricité au même tarif qu'en tout point du territoire.

La Région Bretagne, l'ADEME et EDF ont donc engagé une réflexion conjointe pour, dans un premier temps, conduire des opérations de maîtrise de la demande en énergie et, dans un deuxième temps, appréhender la possibilité de développer une production d'électricité décentralisée à partir de sources renouvelables.

Ce projet n'est pas propre à la dimension maritime des îles, mais plutôt à leur situation énergétique particulière et aux modes de vie des îliens. C'est un vecteur de démonstration des politiques qui peuvent être engagées dans le domaine de l'énergie.

La première étape de maîtrise de la demande en énergie sur l'Île de Sein a porté en toute logique sur :

- la production d'eau chaude solaire ;
- le froid (réfrigérateurs et congélateurs sont particulièrement sollicités par des habitants éloignés du continent) ;
- l'éclairage.

Les habitants ont ainsi pu bénéficier d'aides à l'achat d'ampoules basse consommation et de réfrigérateurs de classe énergétique A+, ainsi que d'appareils économiseurs d'eau. Ces équipements ont été financés par EDF, la Région Bretagne et les habitants. L'unité de dessalement a également été améliorée, et l'ensemble des actions ainsi réalisées a permis de gagner 15% sur la consommation électrique de l'île.

La deuxième étape sera celle de la production décentralisée d'électricité à partir de sources renouvelables. Les pistes suivies sont celles des chauffe-eau solaires thermiques pour les particuliers, des panneaux solaires photovoltaïques individuels ou collectifs, et des éoliennes.

Une démonstration de ce à quoi pourrait ressembler l'autonomie énergétique des îles bretonnes est en cours à Kemenez, en mer d'Iroise. Après le rachat de l'île par le Conservatoire du Littoral, en 2003, une opération emblématique conduite par la Région Bretagne, l'ADEME et EDF a abouti à l'installation d'une éolienne, de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques et d'un système de batteries, couvrant les besoins du seul couple habitant l'île et de ses hôtes.

Dans ce cadre, la proximité des îles non raccordées au réseau avec les ressources en vagues et courants pose logiquement la question de la faisabilité d'une production de proximité à partir d'hydroliennes ou de systèmes de récupération de l'énergie des vagues. Les précédents développements de ce rapport ont toutefois montré que les technologies n'en sont encore, pour les plus avancées, qu'au stade de la démonstration, et que les projets d'implantation en mer posent un ensemble de questions que l'on ne peut traiter à la seule échelle de l'île.

Le Conseil régional de Bretagne a engagé des actions volontaristes pour la maîtrise de la demande en énergie dans les activités maritimes, notamment dans la pêche pour réduire la dépendance énergétique, mais aussi dans le domaine du nautisme et de l'éco-navigation. Ces actions doivent être pérennisées, en lien avec le Pôle Mer Bretagne.

Chapitre 9

Un objectif ambitieux... et des dangers sur la route

1.	Des atouts et des opportunités pour définir un objectif ambitieux	279
2.	Des dangers sur la route : complexité, incertitude, acceptabilité et prise de risques	280

Pour la première fois depuis longtemps, l'occasion nous est donnée d'envisager une nouvelle forme d'exploitation des ressources de la mer. En effet, les approches sectorielles classiques, comme les approches transversales plus récentes (développement durable, gestion intégrée de la zone côtière, etc.), ont toujours concerné des usages certes en évolution, mais présents depuis toujours (exploitation des ressources halieutiques, extraction de granulats, transport maritime, etc.)

La possibilité d'exploiter le formidable potentiel énergétique de la mer nous oblige à définir de nouveaux cadres de pensée et d'action car nous ne savons encore que peu de choses des perspectives qu'offre cette nouvelle activité. Si l'intérêt porté aux énergies de la mer connaît une certaine récurrence depuis les moulins à marée du Moyen-Âge, l'usine marémotrice de la Rance dans les années 60, ou les systèmes d'exploitation de l'énergie thermique des mers dans les années 80, il a vraisemblablement atteint ces dernières années un point de non retour, et c'est bien une rupture qu'il nous faut envisager. Cette rupture est déjà amorcée dans un certain nombre de pays du Nord de l'Europe. La compétition s'annonce rude avec nos voisins britanniques, allemands et scandinaves qui inscrivent le développement des énergies marines dans leurs feuilles de route nationales.

1. Des atouts et des opportunités pour définir un objectif ambitieux

La médiatisation sans précédent des énergies marines, mettant chaque jour en lumière de nouvelles technologies, de nouveaux projets, de nouvelles annonces en tous genres, nous apporte une mine d'informations essentiellement techniques, mais contribue finalement assez peu à instaurer un vrai débat. Le sentiment général de complexité et d'incertitude qui se dégage d'une année de travail sur ce thème doit nous amener, collectivement, à nous saisir de cet enjeu et imaginer ce que sera, demain, le développement d'une nouvelle économie maritime en Bretagne fondée sur les énergies marines.

Parmi les choix qui seront faits, beaucoup relèvent d'une stratégie européenne et nationale. Mais dans un contexte peu structuré et peu lisible, la Bretagne a vocation à jouer un rôle de tout premier plan et doit affirmer une position volontariste et structurante.

Un regard maritime porté sur la Bretagne met en évidence les atouts dont la région dispose pour susciter le développement de nouvelles activités liées à la mer : des ressources naturelles exceptionnelles, des compétences scientifiques, technologiques et industrielles reconnues, une identité maritime forte et porteuse, des acteurs qui s'engagent. Ces atouts sont à valoriser et à transformer en avantages attractifs pour l'ensemble des parties prenantes, dans chacun de leurs domaines d'intervention : porteurs de projets, chercheurs, formateurs, décideurs publics, entreprises, associations, société civile...

Avec les énergies marines, la Bretagne pourra devenir une référence dans le développement des énergies renouvelables, et contribuer ainsi à la lutte contre le changement climatique. Mais il peut être parfois difficile pour les décideurs

d'assumer, auprès de l'opinion publique, le choix de l'incertain, de l'hypothétique et de l'invisible, au détriment de projets aux effets immédiats et visibles. La difficulté de promouvoir un développement durable réside dans ce dilemme. Avec les énergies marines, la Bretagne a l'opportunité de faire la démonstration que le développement durable peut être créateur de richesses.

Que ce soit par l'implantation de parcs de production en mer, par le déploiement d'une filière industrielle, ou par la création d'un groupement de recherche et d'expertise, les énergies marines deviendront une nouvelle branche de l'économie maritime bretonne.

Accompagner le changement pour faire évoluer l'ensemble des parties prenantes vers un nouveau cadre de pensée et d'action sera un élément-clé pour relever ce défi et saisir une opportunité majeure de développement pour la Bretagne.

2. Des dangers sur la route : complexité, incertitude, acceptabilité et prise de risques

D'après Hugues DE JOUVENEL, nous vivons dans un monde d'incertitudes. Or, « *pour l'individu agissant, l'incertitude est une chance. Car c'est là où les jeux ne sont pas déjà faits qu'il trouve des possibilités d'agir !* »²⁴².

Prendre toute la mesure de la complexité d'un sujet tel que celui des énergies marines et appréhender les incertitudes inhérentes à une activité émergente est un préalable indispensable à toute réflexion constructive. Paradoxalement, l'accroissement des recherches dans le domaine des énergies marines conduit à étendre autant le champ des connaissances que celui des incertitudes.

Une incertitude sur les ressources, d'abord. Certaines évaluations avancent le fait que les ressources énergétiques de la mer, toutes confondues, pourraient permettre de couvrir les besoins de la population mondiale en électricité. Mais la plupart des énergies marines sont diffuses et irrégulières, et il est difficile de faire la part des choses entre les ressources théoriques, les ressources potentiellement exploitables et les ressources objectivement exploitables.

Une incertitude sur les technologies, ensuite. Dans le foisonnement de technologies en développement dont nous avons dressé un panorama dans la première partie, il est impossible aujourd'hui d'identifier les technologies les plus prometteuses. Les développements technologiques sont le fruit d'initiatives dispersées et cloisonnées, prises par des acteurs aux statuts et aux moyens hétérogènes. Le banc d'essais que constitue cette multitude de projets d'intérêt immédiat très inégal, à des coûts très variés, plus ou moins crédibles, plus ou moins

²⁴² Hugues DE JOUVENEL cité par Jean-Claude FLAMANT, mai 2008. *Les signaux faibles : de l'intuition à la co-construction*. Billet de la mission Agrobiosciences.

soutenus, n'a pas encore permis de dégager les technologies dominantes. Il a cependant permis d'identifier quelques invariants qui feront la technologie de demain (robustesse, efficacité, maintenance aisée, faible impact visuel, etc.) et guideront très certainement les développements à venir.

Une incertitude sur les enjeux maritimes et côtiers, également. La concrétisation des projets pose un grand nombre de questions liées à l'insertion d'une activité nouvelle dans une zone côtière déjà densément utilisée. Les ressources, les critères de faisabilité technique des projets, l'adaptabilité des technologies aux sites, mais aussi les critères d'intégration commencent à être décrits. La notion d'acceptabilité sociale des énergies marines est au cœur des enjeux maritimes et côtiers.

Une incertitude sur les enjeux économiques et industriels, par ailleurs. Il est difficile aujourd'hui de connaître ou d'évaluer un marché des énergies marines qui ne fait qu'émerger dans les pays les plus volontaires. Les effets d'annonce sont monnaie courante et il est difficile de connaître précisément le développement réel des projets annoncés. Malgré les premiers retours d'expérience, de nombreuses incertitudes demeurent sur les modèles économiques, l'évolution des coûts d'installation et d'exploitation, la mobilisation possible des industriels, l'accès à des marchés mondiaux, les retombées en termes d'emplois, etc. Les désordres économiques et financiers actuels accentuent ces incertitudes.

Une incertitude sur la capacité à faire converger les opinions et sur la gouvernance d'une politique des énergies marines, enfin. L'arrivée d'une activité nouvelle nécessite une adaptation du cadre habituel de gestion, voire de gouvernance. La transposition de règles ou d'habitudes prises pour d'autres activités conduit à une multitude de parties prenantes dont les rôles, les intérêts, les objectifs, les attentes ou les craintes sont peu lisibles, parfois contradictoires. La confusion entre enjeu énergétique et enjeu industriel ajoute à ce manque de lisibilité. A défaut d'une sensibilisation et d'une mobilisation cohérente de tous, le risque est de laisser la place aux tensions ou au désintérêt, de provoquer le désengagement des acteurs concernés par cette nouvelle activité et de voir d'autres régions et d'autres pays saisir cette opportunité. Malgré des signes positifs tels que ceux exprimés par le Grenelle de l'environnement, le contexte national ne paraît pas être à la mesure des enjeux identifiés.

A ces incertitudes du présent s'ajoutent, selon Pierre GONOD, les incertitudes du futur²⁴³ :

- des incertitudes liées aux émergences et aux ruptures, aux continuités et aux discontinuités, aux réversibilités et aux irréversibilités ;
- des incertitudes liées aux découvertes scientifiques, aux innovations technologiques et à leur diffusion ;
- des incertitudes liées aux innovations sociales ;

²⁴³ Pierre GONOD, mars 2000. *Penser l'incertitude*. Réseau Intelligence de la Complexité.

- des incertitudes liées à l'évolution des contradictions dans la société, aux modes de pensée, aux valeurs, aux comportements des générations dans l'avenir ;
- des incertitudes liées au temps, aux délais, aux vitesses des processus.

Ces incertitudes ne doivent pas être perçues comme des éléments transitoires amenés à disparaître à mesure que la connaissance progresse, mais comme une dimension essentielle à laquelle il est nécessaire de s'adapter pour avancer, et ce sur le registre affectif (la peur de l'inconnu), le registre cognitif (la conscience de l'existence de risques) et le registre comportemental (la prise de risque)²⁴⁴.

C'est bien la prise de risques qui est au centre des enjeux liés au développement des énergies marines :

- le risque juridique ;
- le risque administratif (délais d'instruction) ;
- le risque financier (maîtrise des coûts, rentabilité) ;
- le risque technique (qualité des études préalables, qualité de la construction, assurances, rendement et durée de vie des machines) ;
- le risque humain (maintenance, sécurité maritime) ;
- le risque environnemental (impacts)²⁴⁵.

Toutes les parties prenantes y sont confrontées : les développeurs de technologies, les opérateurs énergétiques, les investisseurs, les acteurs politiques, les usagers de la mer, et l'ensemble de la population. La question est donc de savoir si l'on accepte collectivement de prendre ces risques, et comment on les partage.

Qui dit prise de risques dit aussi bénéfices possibles. Le développement des énergies marines doit donc également être vu comme une opportunité de tirer de nouvelles richesses de la mer et de créer une nouvelle activité économiquement rentable, socialement acceptable et respectueuse de l'environnement. Si les risques sont partagés, les retombées doivent l'être également.

Au-delà des forces économiques et des décideurs politiques, c'est l'ensemble de la société civile qui est concernée par cette mobilisation et qui doit être associée à la gouvernance des énergies marines selon des modalités appropriées.

²⁴⁴ Patrick DENOIX, 20 janvier 2008. Intervention devant la mission Agrobiosciences (Région Midi-Pyrénées).

²⁴⁵ Philippe GOUVERNEUR, 28 octobre 2008. *Eolien offshore : risques et rentabilité ?* Conférence du Bureau franco-allemand de coordination énergie éolienne.

Chapitre 10

Trois défis
pour une feuille de route

1.	Exploiter les énergies marines en Bretagne	287
1.1.	Une évaluation stratégique des ressources et des potentiels de production	287
1.1.1.	Une compilation des données existantes, produites dans d'autres cadres	289
1.1.2.	Une évaluation stratégique ciblée	289
1.1.3.	Une complémentarité avec d'autres outils développés en Bretagne	290
1.2.	Une planification stratégique spatialisée	291
1.2.1.	La définition d'objectifs partagés	292
1.2.2.	Une optimisation de l'intégration dans l'existant	293
1.2.3.	Une clarification de la réglementation	295
1.2.4.	Une optimisation technique des projets	296
1.2.5.	Une démarche évolutive	300
1.3.	Un soutien à l'émergence des projets	300
1.3.1.	Un appui à la démonstration	300
1.3.2.	Une adaptation du tarif de rachat aux prototypes en démonstration	300
1.3.3.	Un appui aux jeunes entreprises innovantes	301
1.4.	Des objectifs ambitieux pour une nouvelle activité créatrice de richesses	301
2.	Définir une stratégie de déploiement industriel	302
2.1.	Une ambition et une visibilité à l'international	302
2.2.	Une définition et une anticipation des besoins	304
3.	Créer un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale	305
3.1.	Un renforcement significatif des forces de R&D	305
3.2.	Vers un groupement de recherche et d'expertise en Bretagne	307
3.3.	Une politique de démonstration	308

La feuille de route à construire devra offrir un cadre propice à l'émergence, à la concrétisation et à l'accompagnement de projets, dans les trois défis que la Bretagne peut relever grâce ses ressources, à ses compétences et à ses savoir-faire :

- **exploiter les énergies marines en Bretagne** pour relever le défi énergétique et participer au respect des engagements de la France en matière d'énergies renouvelables tout en bénéficiant des retombées locales ;
- **définir une stratégie de déploiement industriel** s'appuyant sur la mise en place et l'accompagnement d'une filière industrielle pour développer une nouvelle économie maritime source de richesses et d'emplois ;
- **créer un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale**, et faire de la Bretagne une référence en la matière.

1. Exploiter les énergies marines en Bretagne

Les objectifs chiffrés avancés dans les textes de programmation énergétique et les différents scénarios prospectifs de développement des énergies marines en France laissent penser que la part des énergies marines dans le bouquet énergétique pourrait devenir significative et, en tout état de cause, participer à la diversification de ce bouquet.

Bénéficiant de ressources naturelles exceptionnelles et reconnues en vents, vagues et courants, la Bretagne semble particulièrement bien située pour jouer la carte des énergies marines, et contribuer, à son niveau, à relever le défi énergétique.

La production d'électricité à partir des énergies de la mer est une activité nouvelle dans des espaces maritimes et côtiers utilisés pour une multiplicité d'usages, fortement convoités et soumis à une pression croissante. Faute d'une politique d'ensemble, c'est aujourd'hui à chaque porteur de projet qu'il revient de prospecter pour identifier les sites qui lui paraissent favorables. Face à ces initiatives dispersées, il nous semble important de construire collectivement un cadre de référence pour l'implantation de parcs de production électrique en mer, définissant à la fois une stratégie de connaissance des potentiels et de valorisation des ressources de la Bretagne, une stratégie d'optimisation collective des projets d'implantation de parcs en mer, et ce dans le but de maximiser les retombées pour le territoire.

A ce titre, l'initiative de la Région Bretagne d'animer un processus de concertation pour la planification du développement des énergies marines mérite d'être saluée car elle est le signe d'une volonté politique forte de fédérer des initiatives et des acteurs dispersés.

1.1. Une évaluation stratégique des ressources et des potentiels de production

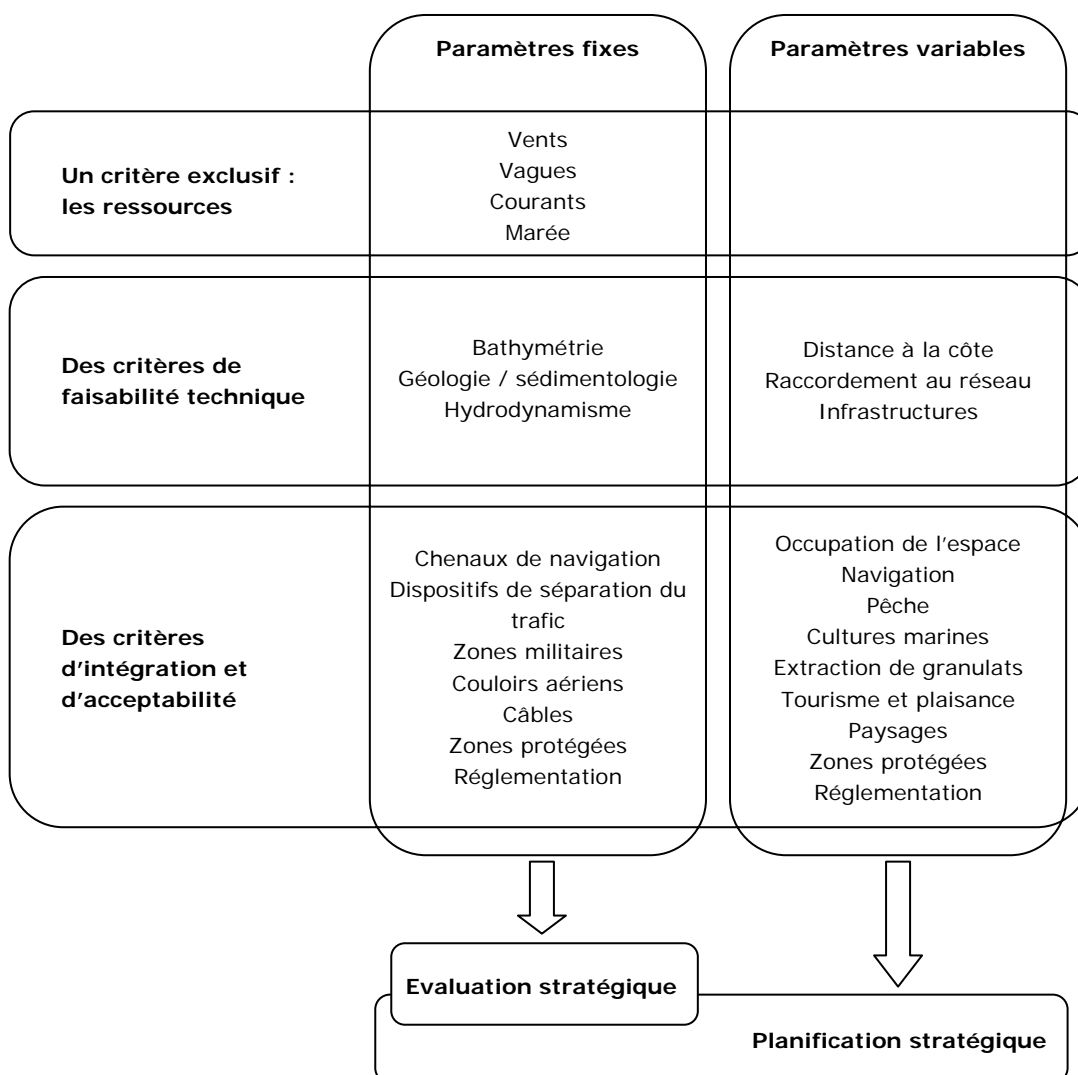
Le terme d'évaluation stratégique est souvent utilisé pour désigner l'évaluation stratégique environnementale, outil préconisé par la directive européenne de 2001 relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur

l'environnement. Elle constitue un outil important d'intégration des considérations en matière d'environnement dans l'élaboration et l'adoption des plans et des programmes. C'est donc un outil d'évaluation des politiques publiques.

Le sens qui lui est donné ici est sensiblement différent, car il s'agit d'établir une base de données exhaustive sur les conditions d'implantation des systèmes d'exploitation des énergies marines. Dans ce cadre, l'évaluation stratégique vise à rendre disponible l'information sur tous les paramètres fixes, qui sont des données *a priori* du problème (voir chapitre 7, paragraphe 3) :

- l'évaluation des ressources ;
- les critères de faisabilité technique liés aux caractéristiques des côtes ;
- les critères d'intégration liés aux « impondérables » (chenaux de navigation, zones militaires, couloirs aériens, patrimoine naturel et zones protégées, zones réglementées).

Figure 99. Représentation schématique des enjeux maritimes et côtiers de l'exploitation des énergies marines.



L'évaluation des ressources et des potentiels d'exploitation, au niveau de la Bretagne comme au niveau national, est aujourd'hui principalement du ressort d'une démarche individuelle des porteurs de projets et les connaissances sont de fait dispersées et inaccessibles.

L'évaluation stratégique part du postulat que si l'on offre en amont le maximum de données partagées et objectives sur les milieux maritimes et côtiers, les projets n'en seront que mieux calibrés, plus adaptés et donc plus pertinents. Elle constitue de ce fait un préalable à la planification stratégique qui vise, elle, à définir des objectifs et des espaces de réalisation.

1.1.1. Une compilation des données existantes, produites dans d'autres cadres

Le développement important des sciences de la mer en Bretagne a conduit à produire un grand nombre de connaissances et de données sur les milieux marins et côtiers. Des données existent ainsi d'ores et déjà sur les caractéristiques des côtes (bathymétrie, géologie, sédimentologie, géomorphologie, hydrodynamisme), sur la réglementation et sur la protection du patrimoine naturel. Ces données, produites par différents acteurs, à d'autres fins que le développement des énergies marines, sont difficilement accessibles mais constituent néanmoins une base de connaissances à capitaliser.

Tous les exercices de compilation de données concernant le milieu marin, produits par exemple dans le cadre de la définition de zones Natura 2000 ou d'aires marines protégées, devront également servir de base à l'évaluation stratégique.

Les actions de Bretagne Environnement pour le rassemblement, la vulgarisation et la diffusion des données concernant l'environnement en Bretagne méritent d'être rappelées, car elles constituent un outil d'information accessible à tous²⁴⁶.

En complémentarité avec les actions de Bretagne Environnement, les données intéressant directement le développement des énergies marines mais produites dans d'autres cadres devraient être rassemblées et rendues accessibles.

1.1.2. Une évaluation stratégique ciblée

La compilation des données existantes n'est qu'un préalable car, on l'a vu, l'évaluation nécessite de prendre en compte un ensemble de critères de faisabilité technique et d'intégration (voir chapitre 7, paragraphes 2 et 3) et demande donc des études ciblées.

²⁴⁶ Bretagne Environnement est un groupement d'intérêt public fondé par l'Etat et le Conseil régional de Bretagne. www.bretagne-environnement.org

L'ADEME avait engagé à la fin des années 90 des études d'identification de zones propices à l'implantation de parcs éoliens offshore. Mais il s'agissait d'évaluations ponctuelles et conduites selon des méthodes *a priori* non uniformisées et difficilement exploitables, devenues en outre obsolètes.

L'initiative la plus significative en termes d'évaluation des ressources et des potentiels de production est l'étude de zonage commandée par le CIADT de septembre 2004 à l'ADEME et à l'Ifremer. Cette étude vise non seulement à évaluer les ressources (vents, vagues et courants), mais aussi à considérer un certain nombre de critères de faisabilité et d'intégration dans le but de développer un outil d'aide à la décision.

Cette étude de zonage est semble-t-il en passe d'être terminée, mais les conditions de sa diffusion restent très incertaines : elle pourrait n'être diffusée qu'aux services de l'Etat instructeurs. La diffusion de cette étude de zonage est pourtant très attendue car elle devrait être d'un grand intérêt pour l'émergence des projets et leur appropriation collective. Le fait qu'elle soit portée par un acteur public, et conduite avec la même méthodologie sur l'ensemble des côtes françaises, lui donne en effet une légitimité que n'ont pas toujours les études menées par les porteurs de projets. Sa diffusion restreinte pourrait être mal comprise, d'autant que d'autres pays comme l'Allemagne, le Royaume-Uni ou la Belgique ont entrepris la réalisation de telles études et les ont rendues accessibles à tous, suscitant ainsi l'émergence d'un nombre important de projets, portés par des acteurs nationaux mais aussi des entreprises étrangères. La capacité d'entraînement d'une telle démarche, au-delà des frontières françaises, ne doit pas être sous-estimée.

Les résultats de cette étude de zonage doivent en conséquence être rendus publics et présentés non pas uniquement comme un outil d'aide à la décision, mais aussi comme la base d'une réflexion collective qui viendrait l'enrichir et la faire évoluer.

Cette réflexion collective sur les ressources et les potentiels est en lien direct avec la notion d'acceptabilité sociale, car elle légitime les démarches de prospection des porteurs de projets sur les sites et les choix qui pourront être faits par les décideurs publics. Une déclinaison régionale de cette étude de zonage pourrait ainsi apporter l'information préalable nécessaire aux processus de concertation à mettre en œuvre. Elle permettrait, en outre, de dessiner le profil énergétique marin de la Bretagne qui, au vu de sa situation à la croisée de grands systèmes océaniques, bénéficie de ressources spécifiques, en particulier de courants tout à fait significatifs.

La déclinaison régionale de l'étude de zonage ADEME/ Ifremer, menée à une échelle plus fine mais réalisée avec la même méthodologie et conservant les mêmes critères, serait un apport précieux à la réflexion qui s'engage en Bretagne.

1.1.3. Une complémentarité avec d'autres outils développés en Bretagne

La Préfecture de région et le Conseil régional de Bretagne ont mis en place une démarche partenariale pour créer une plateforme d'échange de données baptisée

GéoBretagne. La vocation fondamentale de GéoBretagne est de permettre l'échange et l'utilisation de l'information géographique dans une perspective de connaissance et d'analyse des territoires. L'échelon régional a été jugé le plus pertinent pour partager et mutualiser l'information. GéoBretagne est un outil d'aide à la décision dans le cadre de la mise en oeuvre des politiques publiques.

Au sein de cette démarche partenariale, des groupes thématiques appelés « pôles métiers » peuvent être mis en place afin de réfléchir à la création de données nouvelles dans un domaine précis. Un pôle métier « Gestion intégrée de la zone côtière » a été créé, qui a vocation à rassembler, à uniformiser et à diffuser toutes les données relatives à la zone côtière.

L'intégration des données spécifiques aux énergies marines, obtenues par cet exercice d'évaluation stratégique, dans le pôle métier GIZC de la plateforme GéoBretagne, devra être recherchée.

La mise en place de cette démarche favorise la mutualisation des systèmes d'informations géographiques préconisée au niveau national et européen, avec la directive européenne INSPIRE du 25 avril 2007. Cette directive impose à tout acteur public de mettre en place progressivement, selon des normes d'interopérabilité, des services de recherche, de consultation et de téléchargement de ses données²⁴⁷.

1.2. Une planification stratégique spatialisée

La planification stratégique est un terme générique désignant un ensemble de stratégies déployées en vue d'atteindre un objectif. Il a été très utilisé dans les réflexions préalables au Grenelle de l'environnement.

Le terme de « planification stratégique spatialisée » pourrait lui être préféré. Cette dénomination récente, surtout utilisée en urbanisme, a été définie par Louis ALBRECHTS en 2004 comme étant « *un processus, dirigé par le secteur public, à travers lequel sont élaborés une vision, des actions et des moyens de mise en oeuvre pour donner forme et organiser un lieu et ce qu'il doit devenir* »²⁴⁸.

La planification stratégique spatialisée ne se résume pas à une analyse spatiale qui aboutirait à un simple zonage cartographique. La démarche donne plus d'importance au processus d'élaboration de la planification qu'à la planification elle-même. C'est le processus par lequel elle est élaborée qui permet la confrontation des points de vue et la construction d'une vision partagée de l'avenir du territoire. D'ailleurs, cette simple confrontation des points de vue apportera très probablement un certain nombre de solutions aux problèmes les plus simples et fera émerger les questions les plus stratégiques et les plus déterminantes pour l'avenir.

²⁴⁷ Sign@ture hors-série n°12, octobre 2008. *GéoBretagne, plateforme d'échange et de consultation des informations géographiques.*

²⁴⁸ Définition citée par Alain MOTTE, 2007. *La notion de planification stratégique spatialisée en Europe (1995-2005) - (Strategic Spatial Planning).* Editions PUCA, Paris.

En fait, la planification stratégique revient à développer le présent vers un futur choisi ensemble²⁴⁹.

1.2.1. La définition d'objectifs partagés

La vision partagée de l'avenir du territoire doit être une vision intégrée de tous les usages de la mer et de la zone côtière, présents et à venir. La planification stratégique doit, à ce titre, permettre de réfléchir à l'utilisation optimale de la capacité d'accueil du milieu. Mais l'exercice est rendu difficile par la multitude de paramètres à prendre en compte et par le manque de connaissances.

La planification stratégique repose donc sur une analyse multicritères de scénarios d'implantation des énergies marines qui restent à imaginer. Cette analyse doit prendre en compte les critères propres au développement des énergies marines, mais aussi l'ensemble des critères liés au contexte dans lequel cette activité s'insère. En prenant en compte les paramètres variables, c'est-à-dire sur lesquels on peut trouver des ajustements ou des compromis, la planification stratégique va plus loin que l'évaluation stratégique qui visait à connaître et à faire connaître les paramètres fixes, sur lesquels on ne peut pas agir.

Les paramètres variables sont (voir figure 99) :

- les critères liés au choix du site (distance à la côte, raccordement au réseau, infrastructures) et à la configuration des futurs parcs ;
- les critères d'intégration et d'acceptabilité liés à l'occupation de l'espace, aux interactions avec les autres activités (navigation, pêche, cultures marines, extraction de granulats, loisirs et tourisme), aux impacts sur l'environnement (paysage, zones protégées) et à la réglementation.

L'enjeu de la planification stratégique est donc d'identifier tous ces critères, et surtout de les pondérer, c'est-à-dire de leur donner une importance relative. C'est cette pondération qui permettra d'identifier, parmi différentes hypothèses, celle qui offrira le maximum de retombées économiques, sociales et environnementales, tout en minimisant les coûts, les impacts sur l'environnement et sur les autres usages.

Par la confrontation des points de vue et le partage des connaissances qu'elle permet, la concertation est un puissant outil d'action collective permettant de réduire les incertitudes et de partager la prise de risques dans l'élaboration d'un scénario de référence.

Ce scénario de référence, partagé par tous, ne peut pas être connu à l'avance mais on peut suggérer qu'il comprenne une démarche d'optimisation des projets. L'optimisation des projets doit se traduire par la certitude, non pas que les projets sont les bons, mais qu'ils sont les meilleurs possibles compte tenu des connaissances du moment. Elle vise ainsi à maximiser les bénéfices (à tous niveaux) de l'exploitation des énergies de la mer. Savoir que les choix qui sont faits sont les

²⁴⁹ Alain MOTTE, 8 février 2008. *Repenser la planification territoriale en prenant appui sur les pratiques innovantes en Europe*. 4^{èmes} rencontres internationales en urbanisme, Institut d'Urbanisme de Grenoble.

meilleurs possibles permet en outre de mieux les accepter : sur ce point, l'optimisation des projets est un préalable à leur acceptabilité sociale.

1.2.2. Une optimisation de l'intégration dans l'existant

C'est sans doute là l'enjeu majeur du développement des énergies marines en Bretagne, et l'élément central de la planification stratégique spatialisée. L'intégration pose en effet la question de l'acceptabilité des projets par les usagers de la mer et les populations riveraines, et celle des impacts environnementaux de l'implantation de parcs en mer.

Si les possibilités techniques de développer les énergies marines sont incontestables, si leur intérêt économique est indiscutable, l'acceptabilité des énergies marines est au cœur d'enjeux sociétaux qui détermineront l'avenir de cette activité émergente. L'acceptabilité sociale des énergies marines est l'enjeu central de la planification stratégique.

- Une évaluation des interactions avec les autres usages de la zone côtière

L'exercice de planification stratégique devra considérer tous les enjeux exprimés par les acteurs qui se sentent les plus menacés, dans la pratique de leur activité, par l'implantation de parcs en mer, dans le but de parvenir à un partage de la mer qui se fasse en bonne intelligence.

Cet enjeu semble déjà pris en compte par les porteurs de projets qui prospectent sur les côtes de Bretagne à la recherche de sites favorables, mais la façon de le prendre en compte dépend fortement des capacités des porteurs de projets à animer un processus de concertation.

L'enjeu de la planification stratégique est d'animer en amont, et de façon neutre et objective, ce processus de concertation visant à associer l'ensemble des parties prenantes dans la définition d'objectifs partagés et de moyens de les atteindre.

Il est nécessaire en premier lieu de connaître les activités présentes, voire même d'anticiper leurs développements futurs, et de caractériser leur relation avec les zones définies comme étant *a priori* favorables dans l'évaluation stratégique. L'objectif est d'appréhender leur sensibilité à l'arrivée d'une nouvelle activité et le degré de conflit potentiel : est-ce une zone de travail ? Une zone de passage ? Une zone protégée ou réglementée ? Une zone importante pour le fonctionnement de l'écosystème ? Une zone touristique ?

A ce titre, l'outil de simulation du déroulement des activités humaines en zone côtière développée par l'entreprise Terra-Maris, en lien avec le laboratoire Géomer (IUEM-UBO/CNRS), semble être un outil pertinent pour évaluer les interactions possibles et probables entre les futurs parcs éoliens et les activités existantes. L'originalité conceptuelle de l'outil, qui consiste à coupler un système d'information géographique à un système multi-agents, permet d'appréhender ces interactions dans l'espace et dans le temps en prenant en compte des contraintes réglementaires,

physiques, économiques, sociales, biologiques, mais aussi météorologiques. Il serait pertinent d'enrichir cet outil avec des données existantes mais dispersées, y compris des données prévisionnelles comme les données relatives aux prévisions des vagues et des courants produites par Prévimer.

A partir de la plateforme d'échanges GéoBretagne et de son pôle métier GIZC, le développement d'outils de simulation et d'applications d'aide à la décision pour l'implantation des énergies marines devrait être encouragé.

Une carte est un outil puissant de discussion. Elle fait réagir et permet d'engager le dialogue. Il est important, dans un processus de concertation, que tout le monde puisse se retrouver autour d'informations de référence, reconnues par tous.

Le dialogue avec les différentes parties prenantes doit permettre de définir ensemble les solutions pour une bonne cohabitation, voire pour des synergies entre activités comme :

- l'éloignement des zones de pêche ;
- l'ensouillage des câbles au maximum ;
- une configuration dense des parcs pour limiter l'emprise spatiale, ou au contraire diffuse pour autoriser la navigation entre les machines ;
- une signalisation des machines permettant la sécurité de la navigation ;
- l'utilisation de machines immergées laissant un tirant d'eau suffisant pour la navigation ;
- le couplage avec de nouvelles pratiques de pêche ou d'aquaculture ;
- l'éloignement des bassins de navigation les plus significatifs ;
- le couplage avec des activités touristiques ;
- etc.

La concertation entre les différentes parties prenantes doit permettre d'envisager des ajustements, des adaptations, des compromis de la part des uns et des autres, voire des compensations financières. L'affectation de la taxe spéciale aux activités de pêche et de plaisance est une première forme de compensation. D'autres formes d'arrangements, comme celles qui ont été identifiées par EDF et le comité local des pêches de Paimpol, doivent être discutées car elles ne pourront sans doute pas se généraliser et se pérenniser sous cette forme.

- Une prise en compte des impacts paysagers

Du fait que seuls des parcs éoliens offshore sont pour le moment installés, et souvent assez proches des côtes (parcs éoliens du Danemark par exemple), l'impact paysager suscite des inquiétudes légitimes. Les paysages littoraux sont en effet des paysages emblématiques qu'il convient de préserver.

Les développeurs de technologies ont intégré cette contrainte et tendent à réduire fortement l'impact paysager de leurs machines, avec des hydroliennes totalement immergées, des systèmes de récupération de l'énergie des vagues ayant un faible tirant d'air, ou des éoliennes flottantes qui pourront être implantées à de grandes distances du littoral. Ces machines devront être privilégiées.

- La prise en compte des impacts écologiques et environnementaux

Elle doit se traduire par un bilan entre les avantages apportés par la production d'énergie en mer (énergie renouvelable, n'émettant pas de CO₂) et les inconvénients en termes d'impact sur le milieu (impacts sur les habitats et les espèces principalement). L'éloignement des parcs vers le large devrait permettre de préserver les écosystèmes côtiers qui sont parmi les plus riches. Les technologies qui ont les impacts les plus faibles sur l'environnement et la qualité du milieu devront être privilégiées.

1.2.3. Une clarification de la réglementation

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, par la complexité des procédures, le nombre d'actes et d'interlocuteurs à solliciter, peut décourager les porteurs de projets et ainsi être un frein à l'émergence des projets : l'instruction administrative du premier projet de parc éolien offshore en France prévoyait 8 enquêtes publiques différentes...

Les lois Grenelle n'ont pas intégré, en ce qui concerne les énergies marines et l'éolien offshore en particulier, de dispositions relevant du champ réglementaire, les renvoyant soit à une ordonnance, soit à un décret ultérieurs. La suppression des zones de développement de l'éolien (ZDE) semble décidée, même si les textes n'existent pas encore, mais la non-application du droit de l'urbanisme qui se traduirait par l'abandon du permis de construire en mer reste à confirmer.

L'exploitation de l'énergie des marées, des lacs et des cours d'eau avait fait l'objet en 1919 d'une loi dédiée²⁵⁰, toujours en vigueur, et qui s'applique par défaut à l'exploitation de l'énergie des courants de marée. L'exploitation des énergies marines rend nécessaire une nouvelle révision de cette loi.

La clarification de la réglementation au niveau national est indispensable. Elle doit prévoir le cadre particulier de l'installation en mer des systèmes d'exploitation de l'énergie des vents, des vagues et des courants, tant pour ce qui concerne les autorisations d'installation sur le domaine public maritime, l'évaluation des impacts sur l'environnement, que pour les mécanismes incitatifs, les taxes et les redevances.

Dans ce contexte national peu lisible, l'élaboration par les services de l'Etat en région Bretagne d'un guide à l'attention des porteurs de projets doit être soulignée. Ce guide, qui doit être publié au printemps 2009, n'a pas de valeur réglementaire mais il a vocation à clarifier l'ensemble des démarches relevant de l'instruction

²⁵⁰ Loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique.

administrative, afin de les rendre lisibles par le porteur de projet et ainsi gagner du temps.

Il faut espérer que cette démarche d'élaboration d'un guide à l'attention des porteurs de projets, initiée en Bretagne, aboutisse au niveau central à l'uniformisation des recommandations de l'Etat aux porteurs de projets.

Il importe également que la complémentarité initialement recherchée entre cette démarche des services de l'Etat en région et la démarche du Conseil régional de Bretagne d'élaborer un plan de développement des énergies marines soit clarifiée et dépourvue d'ambiguïtés.

Aujourd'hui en France, tous les parcs éoliens offshore en projet se situent à l'intérieur des eaux territoriales (12 milles), ce qui n'est pas le cas dans des pays comme la Belgique ou l'Allemagne qui, disposant de plateaux étendus et peu profonds, implantent des parcs à plusieurs dizaines de km des côtes.

Une réflexion devra être conduite sur la possible implantation de parcs dans la zone économique exclusive (ZEE), comme le prévoit le Plan national de développement des énergies renouvelables présenté en novembre 2008. L'éloignement des zones d'implantation des parcs devrait en effet contribuer à limiter les impacts sur les paysages, sur l'environnement et sur les autres usages.

1.2.4. Une optimisation technique des projets

L'optimisation technique des projets doit chercher à valoriser au mieux le potentiel de chaque site, en recherchant notamment les technologies les plus adaptées, les complémentarités entre les technologies et entre les sites, ainsi que les possibilités de mutualisation de certaines infrastructures.

- Un inventaire des technologies adaptées

Si les technologies de l'éolien offshore classique sont relativement uniformes (ce sont essentiellement le type de fondations et la taille de la machine qui varient), il existe pour les technologies hydroliennes et houlomotrices un foisonnement de concepts plus ou moins avancés. Même si certains ne verront jamais le jour, il est probable qu'il y aura toujours plusieurs grandes familles de machines.

L'inventaire des technologies existantes, de leurs caractéristiques, de leur stade de développement, et de leurs atouts et faiblesses au regard des sites d'implantation possibles devra être poursuivi et mis à jour régulièrement, et ceci afin d'être sûr que les technologies choisies soient les meilleures pour un site donné.

- Une anticipation des infrastructures nécessaires

Les aspects dimensionnants et logistiques sont très importants à prendre en compte et nécessitent des infrastructures adaptées. En Bretagne, il est probable que les ports de Brest et de Lorient soient les seuls à disposer des infrastructures nécessaires à la phase de construction de projets comme celui de Powéo en baie de Saint-Brieuc ou d'EDF à Paimpol-Bréhat. D'ailleurs, une confrontation des besoins et des possibilités existantes, menée avec la Chambre de commerce et d'industrie et le Conseil général des Côtes d'Armor, a montré qu'aucun port ne convenait idéalement au projet d'EDF²⁵¹.

En tant que propriétaire des ports de Lorient, Brest et Saint-Malo, le Conseil régional de Bretagne devrait mener une évaluation de la capacité des ports à accueillir des activités d'assemblage et/ou de construction des éoliennes offshore dans un premier temps, des autres technologies à moyen terme et, si besoin, envisager des mesures d'aménagement portuaire. La même démarche devrait être menée dans les ports départementaux.

Les possibilités de coopération avec les ports des régions voisines pourront être envisagées.

- Des complémentarités technologiques, dans l'espace et dans le temps

La prospection de sites favorables à l'implantation de parcs éoliens offshore, menée de façon individuelle par les porteurs de projets, ne permet pas aujourd'hui d'appréhender de manière globale la répartition future des zones d'implantation. Il paraît pourtant important de penser globalement le développement des énergies marines en Bretagne et dans le reste du pays, notamment par une réflexion sur les complémentarités entre les différentes technologies, en lien avec les caractéristiques des futurs sites d'implantation.

Il est en effet opportun de distribuer les différents projets sur des gisements de ressources différents et complémentaires, de façon à lisser la production d'énergie. Il s'agit par exemple d'implanter des parcs hydroliens le long de la progression de l'onde de marée sur la façade Manche, ou d'implanter des parcs éoliens offshore sur différents gisements de vents (Manche, Atlantique, Méditerranée).

Une meilleure connaissance des ressources et des potentiels devra permettre d'identifier des zones privilégiées et complémentaires pour l'exploitation des vents, des vagues et des courants, de façon à valoriser au maximum le potentiel énergétique de chaque site et de maximiser la production globale.

La différence de maturité entre les différentes technologies laisse à penser que, dans un premier temps, ce sont des parcs éoliens offshore classiques, avec fondations, qui

²⁵¹ Compte-rendu du Comité de liaison du projet pilote Paimpol-Bréhat du 11 décembre 2008.

seront implantés le long des côtes bretonnes. Des parcs hydroliens ou houlomoteurs, ou des parcs éoliens d'un type nouveau ne devraient voir le jour que dans un second temps. Il pourra ainsi y avoir une complémentarité des technologies dans le temps, les moins matures aujourd'hui prenant le relais plus tard.

Ces considérations sont importantes du point de vue de la planification stratégique spatialisée, car elles impliquent d'anticiper les évolutions technologiques probables dans le dimensionnement des projets. On sait par exemple que la taille des machines devrait globalement augmenter : il sera donc pertinent de surdimensionner les fondations, les ancrages et les câbles électriques de façon à ce que les machines puissent être remplacées plus tard par des machines plus puissantes, en réduisant au maximum les impacts sur l'environnement.

La réversibilité, l'évolutivité et l'adaptabilité des installations sont des paramètres importants à considérer prioritairement lors de la planification stratégique spatialisée.

La complémentarité des technologies entre elles, sur une même zone, est parfois évoquée comme étant une configuration optimale. Il est tentant en effet de chercher à exploiter le maximum d'énergie sur une même zone et de vouloir, par exemple, développer sur un même pieu une éolienne et une hydrolienne. Cette hypothèse semble cependant peu probable au vu des développements technologiques actuels. Les ressources les plus intéressantes en vents et en courants ne se trouvent probablement pas sur les mêmes sites, ce qui reviendrait à investir dans des machines dont on sait qu'elles ne fonctionneront pas de façon optimale. De surcroît, avant de coupler deux innovations, il est sans doute préférable de les valider séparément au préalable pour limiter la prise de risques.

- Des complémentarités entre production et transport de l'électricité

L'exercice de planification stratégique ne saurait se passer de réflexions sur la capacité d'absorption du réseau de transport d'électricité. Si la capacité du réseau est bien l'un des critères de faisabilité technique des projets, la problématique générale du couplage entre production et transport d'électricité est relativement peu présente dans les débats, qui se focalisent davantage sur les technologies et sur l'acceptabilité sociale. Or le développement des énergies marines à hauteur des objectifs fixés tant au plan régional qu'au niveau national impose dès à présent de réfléchir à l'évolution du réseau qui devra être capable de recevoir des productions décentralisées (comme c'est le cas pour les autres énergies renouvelables), mais aussi périphériques, car venant de zones situées à l'extrémité du réseau de distribution.

Actuellement, aucun parc éolien offshore n'est construit mais RTE a été saisi en 2008 de 15 demandes d'études de faisabilité, de 100 à 600 MW, et plusieurs projets de 72 à 740 MW ont déjà été acceptés, portant à 1 250 MW la puissance cumulée des projets acceptés, à 1 250 MW la puissance cumulée des projets en cours, et à 4 100 MW la puissance cumulée des études de faisabilité. Ces puissances nécessitent à la fois un développement du réseau vers les zones côtières et un renforcement du

réseau terrestre. En particulier, le développement de l'éolien farshore de forte puissance nécessitera la mise en œuvre de technologies particulières, voire d'une nouvelle structure de réseau²⁵².

La planification stratégique spatialisée doit prendre en compte très tôt la problématique du réseau de transport d'électricité et lui donner toute sa place dans le débat, car son développement et son renforcement, indispensables pour atteindre les objectifs fixés, s'inscrivent dans un temps long.

Deux initiatives récentes sont toutefois à noter :

- la loi Grenelle 2 prévoit, dans son article 25, que « *le gestionnaire du réseau public de transport élabore, après consultation des gestionnaires des réseaux publics de distribution concernés, un schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables. [...] Il tient compte des objectifs définis par le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie* »²⁵³ ;
- aujourd'hui, RTE propose une liaison exclusive par projet, mais une étude technico-économique est en cours afin de déterminer la faisabilité d'un véritable réseau offshore²⁵⁴.

Actuellement, le raccordement est à la charge de chaque exploitant et se traduit par des coûts élevés et le risque de voir se multiplier les câbles sous-marins et les difficultés d'atterrissage qui en résultent.

A l'image de ce qu'a entrepris l'Allemagne pour anticiper le déploiement et le raccordement au réseau des futurs parcs éoliens offshore, il pourrait y avoir au niveau national une optimisation des infrastructures de transport de l'électricité se traduisant par l'installation et la prise en charge financière de câbles desservant plusieurs parcs en mer.

C'est le souci de la complémentarité entre les sites de production et de l'optimisation du réseau de transport d'électricité qui est à la base des réflexions menées en Mer du Nord sur l'interconnexion des parcs éoliens offshore. L'objectif de l'interconnexion est de compenser les fluctuations de la production, d'envisager un couplage avec les autres énergies marines, ainsi qu'avec la production hydraulique, et d'optimiser l'utilisation des câbles²⁵⁵.

- Des complémentarités entre production et stockage de l'électricité

Comme l'ensemble des énergies renouvelables, les énergies marines sont des énergies intermittentes, plus ou moins prévisibles. L'intermittence de la production

²⁵² Gro de SAINT-MARTIN, 28 octobre 2008. *Vers un réseau offshore ?* Conférence du Bureau franco-allemand de coordination énergie éolienne.

²⁵³ Projet de loi portant engagement national pour l'environnement présenté au Conseil des ministres du 7 janvier 2009.

²⁵⁴ Gro de SAINT-MARTIN, 28 octobre 2008. *Vers un réseau offshore ?* Conférence du Bureau franco-allemand de coordination énergie éolienne.

²⁵⁵ Greenpeace, septembre 2008. *A North Sea Electricity Grid Revolution.*

électrique est régulièrement dénoncée, mais on entend paradoxalement très peu parler de la problématique du stockage de l'électricité. Tous les efforts semblent orientés vers le développement de technologies de production d'électricité, alors qu'il existe manifestement un enjeu d'égale ampleur pour le développement de technologies de stockage.

Le stockage de grande ampleur de l'électricité n'est certes pas maîtrisé, mais les recherches scientifiques et techniques sur cette problématique doivent converger avec les recherches dédiées à la production d'électricité en mer, pour permettre une appréhension globale de la qualité de la production électrique.

1.2.5. Une démarche évolutive

La planification stratégique est, par définition, une démarche évolutive. Elle devra suivre les évolutions du contexte économique et social, les évolutions technologiques, les évolutions réglementaires. Ses propres effets sur l'émergence des projets, sur l'acceptabilité sociale, sur l'implication des parties prenantes dans le développement des énergies marines modifieront le contexte dans lequel elle s'inscrit et devra évoluer.

1.3. Un soutien à l'émergence des projets

Créer un contexte favorable à l'émergence de projets ne suffit pas à franchir la « vallée de la mort », phase qui désigne les difficultés à passer des programmes de R&D à la mise en exploitation et au cours de laquelle les innovations peuvent échouer faute d'appuis externes.

1.3.1. Un appui à la démonstration

La démonstration en mer d'un prototype ou d'une machine pré-industrielle est une étape cruciale de la vie des projets car elle permet de valider plusieurs années de recherche et développement. Nous évoquerons plus loin la nécessité d'afficher une véritable politique de démonstration comme lien entre les recherches scientifiques et techniques et le déploiement industriel.

1.3.2. Une adaptation du tarif de rachat aux prototypes en démonstration

La fixation d'un tarif de rachat unique pour l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants ne prend pas à compte la phase transitoire qui précède la pleine exploitation. Globalement perçu comme trop faible au regard des tarifs fixés dans d'autres pays, le tarif d'achat fixé à 15 c€/kWh en France est en outre perçu comme inadapté aux prototypes dont les coûts sont, par définition, très supérieurs aux coûts de ce que seront les machines commerciales. Or, en France comme dans les autres pays, les développements en sont justement au stade des prototypes.

Bien qu'issu d'un décret récent, et signe d'une volonté de l'Etat d'encourager le développement des énergies marines, ce tarif de rachat devrait être revu à la hausse et modulé en fonction du degré de maturité technologique.

1.3.3. Un appui aux jeunes entreprises innovantes

Les fonds de capital-risque régionaux, s'ils financent déjà des éco-entreprises en Bretagne²⁵⁶, ne se sont pas encore intéressés aux entreprises impliquées ou susceptibles d'être impliquées dans le développement des énergies marines.

La stratégie régionale de développement économique du Conseil régional de Bretagne affirme un soutien à la création d'entreprises et au renforcement de leur compétitivité. Divers outils ont ainsi été mis en place pour donner aux PME les capacités financières d'assurer leur développement, et en particulier des fonds et sociétés de capital-investissement destinés à soutenir l'apport en fonds propres d'entreprises bretonnes en phase de création ou de transmission²⁵⁷ :

- Bretagne Capital Solidaire, pour le développement de petits projets à fort taux de création d'emplois dans l'artisanat, le service, le commerce et l'industrie (le Conseil régional en détient 46% du capital) ;
- Bretagne Jeunes Entreprises, fonds de capital-risque pour le soutien à des sociétés en création ou le lancement d'un nouveau projet à fort potentiel dans les industries et services, logiciels et TIC, énergie, sciences de la vie et technologies (le Conseil régional en détient 26% du capital) ;
- Bretagne Participations, pour des sociétés en reprise, transmission, développement (le Conseil régional en détient 21% du capital) ;
- Ouest Ventures 2, fonds commun de placement à risque pour le développement de sociétés à très fort potentiel visant des marchés internationaux dans le domaine des logiciels et services aux entreprises, sciences de la vie et télécoms (le Conseil régional en détient 10% du capital, en lien avec Conseil régional des Pays de la Loire).

La Région Bretagne devrait initier la mise en place d'un fonds régional spécifique au développement des énergies renouvelables, tel qu'elle l'avait proposé dans le plan Energie pour la Bretagne de juillet 2007, en y intégrant les énergies marines.

1.4. Des objectifs ambitieux pour une nouvelle activité créatrice de richesses

L'évaluation stratégique, l'animation de la planification stratégique, l'optimisation des projets et le soutien à l'émergence de projets s'intègrent dans une approche globale

²⁵⁶ Voir, à ce sujet, le rapport du CESR de Bretagne sur les éco-activités à paraître en juin 2009.

²⁵⁷ Conseil régional de Bretagne, décembre 2008. *Pour une économie dynamique au service de filières fortes et créatrice d'un emploi de qualité. Budget primitif 2009.*

d'exploitation des énergies marines en Bretagne permettant de contribuer à relever le défi énergétique. Cette approche globale contribuera aussi à créer des richesses dans les territoires qui accueillent cette nouvelle activité, par des retombées financières directes (versement de la taxe spéciale), des retombées en termes de création d'emplois, mais aussi des retombées en termes d'image et de comportement citoyen.

Compte tenu des développements technologiques actuels, et notamment des projets de démonstration de technologies utilisant l'énergie des vagues ou des courants, les objectifs programmés dans le plan Energie pour la Bretagne²⁵⁸ sont finalement assez modestes et, en tout état de cause, trop timides par rapport aux perspectives, il est vrai peu lisibles, affichées au plan national pour une région qui *a priori* possède des ressources intéressantes.

Il nous apparaît donc que les objectifs du plan Energie pour la Bretagne doivent être revus à la hausse, en particulier pour ce qui concerne l'énergie des vagues et des courants. Le processus de planification stratégique devra permettre d'affiner et de s'approprier collectivement des objectifs plus ambitieux.

2. Définir une stratégie de déploiement industriel

Les acteurs industriels français n'ont pas su se mobiliser sur le segment de l'éolien terrestre et, par extension, sur celui de l'éolien offshore classique.

Mais grâce à leurs compétences dans l'offshore, le naval, le nautisme, les technologies de l'information et de la communication, les industriels bretons doivent faire le pari de la rupture qui leur permettra de se positionner sur le marché émergent des autres technologies, développées spécifiquement pour le milieu marin.

Les énergies marines doivent être considérées comme une opportunité majeure de développement dans un contexte où les quatre piliers de l'industrie bretonne (agroalimentaire, automobile, électronique et télécoms, construction et réparation navale)²⁵⁹ sont confrontés, à des degrés divers, à des enjeux pouvant remettre en cause leur importance dans l'avenir et fragiliser l'économie bretonne.

2.1. Une ambition et une visibilité à l'international

Le déploiement industriel ne doit pas s'envisager seulement au regard du potentiel de production des énergies marines en Bretagne, mais aussi au regard du marché de l'exploitation des énergies de la mer. Au vu des tendances fortes concernant l'essor

²⁵⁸ Voir le chapitre 4.

²⁵⁹ Voir à ce sujet le rapport du CESR de Bretagne de décembre 2005. *Prospective des bases de l'industrie bretonne à l'horizon 2021*. Rapporteurs : Michel DAVID et Jean-Luc LE GUELLEC.

des énergies marines dans les pays industrialisés, et compte tenu du potentiel probable de production dans les pays en voie de développement, ce marché est mondial. Seule cette projection à l'export permettra de créer une filière industrielle pérenne.

Les atouts de la Bretagne doivent donc être valorisés et visibles à l'international, sur tous les pans constitutifs de la filière : une R&D performante et valorisée par le Pôle Mer Bretagne, des compétences dans les études amont, les savoir-faire des industriels, une main d'œuvre qualifiée, des infrastructures disponibles pour accueillir toute la chaîne logistique (construction, assemblage, installation et maintenance) comme les sites portuaires et les moyens de transport, et aussi, ne l'oublions pas, l'attrait de la qualité de vie en Bretagne pour les travailleurs, une forte identité maritime, et une volonté politique régionale affirmée.

D'autres pays se sont engagés dans des politiques volontaristes très ambitieuses de développement des énergies marines, qui se traduiront non seulement par la contribution à l'atteinte des objectifs fixés en matière d'énergies renouvelables, mais aussi par un développement économique s'appuyant sur la création de nouvelles filières. Le rayonnement de ces pays ira sans doute bien au-delà de leurs frontières et les porteurs de projets chercheront peut-être des diversifications vers d'autres marchés.

La veille économique conduite par l'Agence économique de Bretagne sur l'éolien offshore doit se poursuivre et s'élargir aux autres énergies marines en temps voulu afin, d'une part, de toujours savoir se situer sur les marchés, et, d'autre part, de savoir capter les industriels qui cherchent à s'implanter près des sites d'exploitation potentiels.

La démarche de promotion territoriale à l'international confiée à l'Agence économique de Bretagne, en lien avec l'Agence française pour les investissements internationaux et Bretagne International, ainsi que l'accompagnement des entreprises bretonnes à l'international, doivent intégrer pleinement la thématique des énergies marines.

Par ailleurs, la Bretagne pourrait faire connaître et faire valoir le thème des énergies marines dans les réseaux interrégionaux et internationaux auxquels elle appartient, et particulièrement ceux qui peuvent avoir une dimension marine comme la Conférence des régions périphériques maritimes et l'Arc Atlantique, l'Arc Manche, le groupe de travail Aquamarina²⁶⁰ ou le réseau NRG4SD²⁶¹.

²⁶⁰ Aquamarina : groupe permanent créé au sein de la CRPM pour le suivi de la mise en œuvre de la politique maritime européenne, présidé par la Région Bretagne.

²⁶¹ NRG4SD : Network of Regional Governments for Sustainable Development (Association de Régions pour le développement durable), composé de 250 régions des 5 continents.

2.2. Une définition et une anticipation des besoins

Le déploiement industriel est un défi majeur pour l'économie maritime bretonne, et son anticipation est nécessaire. Comme pour tout marché émergent, l'anticipation des besoins est un exercice difficile car elle veut que l'on soit prêt au bon moment, ni trop tôt, ni trop tard, en limitant la prise de risques.

C'est pour cette raison qu'une sensibilisation des acteurs potentiels de la filière aux enjeux du développement des énergies marines est primordiale. Certaines entreprises, comme DCNS, ont déjà franchi le pas de la diversification de leurs activités vers ce nouveau segment, mais de nombreuses entreprises sont encore à mobiliser.

La disponibilité d'une main d'œuvre qualifiée pour ce secteur nouveau doit être anticipée, dans tous les domaines de compétences nécessaires. La Région Bretagne a un rôle à jouer dans l'adaptation de la formation initiale et continue à ce domaine, y compris dans l'enseignement supérieur.

Tous les niveaux de formation sont concernés. Si les lycées maritimes peuvent jouer un rôle important dans la formation à de nouveaux métiers, l'enseignement supérieur doit également s'engager pour la mise en place de nouvelles disciplines.

Ceci suppose que des postes de professeurs et de maîtres de conférences, entre autres, soient créés, voire redéployés, en faveur de ces nouvelles disciplines encore peu représentées dans l'éventail des secteurs scientifiques couverts par les enseignements des universités et des grandes écoles. Une telle inflexion suppose que des impulsions soient données tant par les directions des établissements concernés que par les instances nationales (ministère de tutelle, grands organismes, notamment le CNRS). La difficulté tient au fait que l'on peut difficilement envisager le développement des disciplines qui permettront le décollage scientifique des énergies marines en Bretagne sans la création de laboratoires de recherche dédiés à celles-ci, reconnus par les instances d'évaluation et correctement financés. Il paraît impossible de concevoir la naissance de ces laboratoires, réunissant d'assez nombreux chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs et techniciens, sans le concours de l'Etat et celui du Conseil régional. En outre, les potentiels actuels, en termes d'enseignement et de recherche, restent plutôt « éclatés », de sorte qu'un vrai démarrage, appuyé sur une large pluridisciplinarité, ne semble possible que par la convergence des forces déjà existantes et méritant d'être étoffées. Ceci suppose le développement de fédérations de recherche, éventuellement multi-sites, comme c'est le cas actuellement en d'autres domaines, avec une dynamique collective appuyée sur plusieurs établissements. Les établissements brestois d'enseignement supérieur et de recherche seront évidemment appelés à jouer un rôle majeur dans cette perspective, même s'ils ne sont pas les seuls concernés. L'Institut universitaire européen de la mer (IUEM-UBO/CNRS), en lien avec l'Ifremer, devrait avoir un rôle moteur en termes de propositions, sachant que les secteurs universitaires actuels reconnus comme particulièrement performants n'y relèvent pas encore des formations et domaines de recherche susceptibles de permettre le développement des énergies marines.

En d'autres termes, il faudrait initier en France et en Bretagne une dynamique voisine de celle récemment mise en œuvre en Allemagne. Philippe GOUVERNEUR, directeur d'Enertrag France, indique que, dans ce pays, l'Université fournira ce dont l'industrie aura besoin sur des métiers porteurs d'avenir et que de nombreux managers verront leur carte de visite enrichie d'un « Herr Doktor »²⁶²! Il conviendrait de s'inspirer du modèle allemand et aussi de voir précisément comment opèrent les Danois et les Britanniques dans l'articulation entre formation universitaire, recherche, innovation et développement économique dans un tel domaine encore pionnier et, de ce fait, non appuyé sur des forces existantes bien stabilisées.

A tous les niveaux de l'enseignement supérieur, en rapport étroit avec les recherches fondamentales ou plus finalisées qui sont liées à ce type d'enseignement, il devient urgent d'étoffer les formations existantes, de les diversifier et de mieux les structurer. Compte tenu des carences actuelles, consécutives à la nouveauté des secteurs disciplinaires émergents concernés, il est indispensable d'amorcer une politique volontariste de développement des équipes pédagogiques et des laboratoires consacrés aux énergies marines. Il est désormais essentiel d'agrèger les forces des établissements bretons et de les dynamiser, en y associant celles de Loire-Atlantique. La Région Bretagne pourrait soutenir une impulsion donnée au départ par l'Université Européenne de Bretagne (UEB) et/ou par le Réseau des Universités de l'Ouest Atlantique (RUOA).

3. Créer un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale

Le défi de la recherche dans le domaine des énergies marines n'est pas sans lien avec les deux défis qui viennent d'être exposés, à savoir l'exploitation des énergies marines en Bretagne, d'une part, et le déploiement d'une filière industrielle, d'autre part. Susciter la concrétisation de projets dans un domaine émergent comme l'est celui des énergies marines impose en effet de s'appuyer sur une R&D performante capable d'innover dans les technologies, de valider les modèles économiques, d'appréhender l'acceptabilité des projets en explorant un champ très large de disciplines (sciences et techniques, sciences humaines et sociales, etc.)

3.1. Un renforcement significatif des forces de R&D

A l'image de ce qu'a réalisé le Centre de recherche sur l'énergie du Royaume-Uni (UK Energy Research Center), il serait intéressant de procéder à l'inventaire précis des forces de recherche impliquées dans le développement des énergies marines en France et plus particulièrement en Bretagne, dans les recherches amont et les recherches finalisées comme dans les projets de démonstration, et d'évaluer leur présence dans les réseaux européens et internationaux de R&D sur les énergies de la

²⁶² Billet de Philippe GOUVERNEUR, octobre 2006. www.offshore-enertrag.fr

mer. Au même titre que l'évaluation des ressources ou de la clarification de la réglementation, cette démarche relève de la recherche d'une connaissance objective du paysage dans lequel s'inscrit le développement des énergies marines, indispensable à la définition d'une stratégie de suscitant de l'émergence de projets.

Il est nécessaire de replacer les forces de recherche actuelles dans le secteur dédié aux énergies renouvelables, et plus globalement à l'énergie. Il y a manifestement aujourd'hui un fossé entre les volontés politiques de développer les énergies marines et les moyens réellement mis en œuvre dans la R&D publique. Dans le foisonnement des développements technologiques, les acteurs français sont actuellement très peu nombreux et très peu visibles. Alors qu'Areva s'apprête à engager 10 000 personnes par an pendant 5 ans pour préparer la relance du nucléaire²⁶³, que le CEA a relocalisé ses 150 chercheurs sur l'énergie solaire à l'Institut national de l'énergie solaire (INES) de Chambéry, le nombre de personnes conduisant des recherches dans le domaine des énergies marines dans des centres de recherches ou des laboratoires publics ne semble pas dépasser une vingtaine de personnes en équivalent temps plein, doctorants compris. De même, les entreprises privées qui développent des technologies sont souvent des entreprises de très petite taille. Manifestement, les ordres de grandeur ne sont pas les mêmes.

La création de l'INES n'a pu se faire et il n'a pu devenir un acteur important dans le domaine de la recherche sur l'énergie solaire que parce que le CEA y a transféré ses chercheurs. Autrement dit, le développement d'une recherche de pointe, innovante dans le domaine des énergies marines, ne pourra se faire que par la mobilisation de réels moyens et la constitution d'équipes de chercheurs plus étoffées.

L'initiative nationale IPANEMA, dans sa volonté de mettre en place un réseau coordonné des acteurs français des énergies marines et de concrétiser ce réseau par la création d'une structure d'envergure nationale, ne doit pas faire oublier ces ordres de grandeur. La fédération des moyens de recherche ne peut être qu'une première étape vers un renforcement significatif des moyens alloués à la R&D, tant humains que financiers.

Force est de constater que si la Grande-Bretagne est en avance dans le domaine des énergies marines, c'est grâce à un fort investissement en R&D.

Seule une volonté politique affirmée peut permettre le renforcement de la R&D. La volonté politique nationale est essentielle pour le renforcement de la recherche publique dans le domaine. Mais il existe aussi d'autres moyens, à d'autres niveaux, comme les projets européens (PCRD et FEDER). Les projets Interreg peuvent constituer un moyen de renforcer la R&D par l'attribution de moyens et le financement d'échanges entre pays. A ce sujet, les possibilités de coopération transfrontalière entre la France et le Royaume-Uni, pays en pointe dans la recherche sur les énergies marines, devraient être explorées.

²⁶³ Audition de M. Patrice JUDE (Areva) le 11 septembre 2008.

Engagé dans une politique de soutien à l'émergence des activités et à la construction de stratégies de filière, le Conseil régional de Bretagne possède certains leviers d'action pour financer la recherche dans le domaine des énergies marines, stimuler l'innovation, développer « l'économie de la connaissance », et soutenir les pôles de compétitivité, en particulier le Pôle Mer Bretagne qui s'est clairement positionné sur le développement des énergies marines dans toutes ses dimensions.

3.2. Vers un groupement de recherche et d'expertise en Bretagne

La Bretagne dispose d'atouts certains dans le domaine des sciences de la mer et du littoral, ainsi que dans les actions de recherche et développement. L'enjeu est fort, pour la région, de développer autour du Pôle Mer Bretagne un réseau de compétences dans ce domaine, avec des moyens humains et financiers à la hauteur des enjeux.

Il est nécessaire d'envisager une coalescence des forces de recherche en Bretagne pour créer le noyau d'un groupement de recherche et d'expertise d'envergure nationale et internationale.

Suite à la contribution au Grenelle de l'environnement portée par le Pôle Mer Bretagne, le Conseil régional de Bretagne s'est fortement mobilisé pour la création d'un centre de recherche et d'essais sur les énergies marines, qui aurait vocation à fédérer les forces de recherche nationales publiques et privées et à assurer un transfert technologique vers les partenaires industriels. Dans ses réflexions, il s'est appuyé sur la structuration de l'Institut national de l'énergie solaire (INES) de Chambéry qui propose trois plateformes complémentaires : une plateforme R&D, une plateforme démonstration, une plateforme formation et information. La Région suggérerait en outre d'y ajouter une plateforme sur l'acceptabilité environnementale.

Ces réflexions doivent se poursuivre en lien avec les acteurs concernés, afin de préciser les modalités et les conditions nécessaires au regroupement (physique ou non) des équipes de recherche.

La très grande majorité des réflexions récentes menées sur les énergies marines met l'accent sur le développement technologique. Or nous avons vu qu'un grand nombre d'autres disciplines entrent en jeu dans le montage de projets. Si ces disciplines sont moins porteuses d'un point de vue médiatique, elles n'en sont pas moins indispensables. Les questions de recherche doivent donc être abordées de façon intégrée, avec la recherche d'une complémentarité des axes de recherche et des disciplines concernées.

Des grands axes transversaux de recherche pourraient être ainsi définis, et ce dans l'ensemble des domaines susceptibles d'apporter leur contribution au développement des énergies marines. Il y a en particulier un champ d'expertise à développer et à valoriser dans le domaine des sciences de l'environnement et dans le domaine des sciences humaines et sociales, peu identifiées jusqu'à présent.

3.3. Une politique de démonstration

La démonstration en mer est le seul moyen de valider en conditions réelles les performances et la robustesse des machines qui ont été imaginées, modélisées et testées en bassin. Qu'il s'agisse d'une démonstration en site pilote ou, plus en amont, en site d'essais, c'est une étape préalable indispensable à la mise sur le marché. En cela, elle constitue le lien entre la R&D et le déploiement industriel. Aujourd'hui, le seul centre d'essais opérationnel est l'EMEC, en Ecosse. A côté de ce centre, de nombreux prototypes sont testés sur des sites isolés ou sur des sites pilotes.

La Bretagne se caractérise par un nombre important de projets d'exploitation des énergies marines sur ses côtes à différents stades de développement, de la recherche amont au stade industriel. Parmi ces projets, quelques-uns en sont déjà au stade de la démonstration en mer, comme les prototypes à échelle réduite Sabella D03 ou Hydro-Gen, ou le projet pilote pré-industriel porté par EDF à Paimpol-Bréhat. Cette diversité est un atout certain, d'autant que, dans les régions voisines, d'autres projets laissent entrevoir d'intéressantes synergies.

Les réflexions menées par EDF sur le site de Paimpol-Bréhat ont beaucoup évolué depuis les premiers calibrages du projet. Après le choix du site, qui donne incontestablement un avantage concurrentiel à la Bretagne, et le choix de la technologie OpenHydro, les réflexions actuelles visent à élargir les objectifs initiaux pour faire du site pilote de Paimpol-Bréhat un site d'essais en mer pour les technologies hydroliennes. Le principe de l'élargissement vers un tel site d'essais est acquis mais le projet reste dans une configuration *a minima* tant que les moyens financiers et techniques de cette ouverture ne sont pas acquis. Il faut rappeler que la Région Bretagne a alloué 3,1 M€ au projet dans sa configuration initiale.

Ceci mérite une attention particulière car un tel site d'essais pour l'énergie des courants permettrait de créer des synergies avec la Région Pays de la Loire et le site d'essais en mer Semrev pour l'énergie des vagues qu'elle finance à hauteur de 2,2 M€ (sur 5,5 M€) dans le contrat de projets.

Les recherches sur les algo-carburants ne sont pas en reste puisque une culture expérimentale de microalgues à visée énergétique devrait être réalisée à Ploemeur dans le cadre du projet Safe Oil labellisé par le Pôle Mer Bretagne.

Les projets de R&D qui se développent actuellement autour de l'éolien flottant devront également passer par une étape de validation en mer. Les projets Diwet et Winflo, labellisés eux aussi par le Pôle Mer Bretagne, visent à développer des prototypes qui devraient être testés en Bretagne. Mais il existe des projets de démonstration de l'éolien flottant dans d'autres pays, au Royaume-Uni notamment. La Bretagne devra donc affirmer une politique de démonstration, assortie de moyens financiers, qui soit attractive pour les développeurs de technologies.

Afin d'affirmer son positionnement dans l'exploitation des énergies marines, et au vu de ses importantes ressources en courants, la Bretagne doit se donner tous les moyens pour créer un site d'essais en mer pour les hydroliennes, s'appuyant sur l'expérience prochaine de Paimpol-Bréhat,

complémentaire à celui du Croisic pour les systèmes houlomoteurs, et en lien avec les moyens d'essais européens, notamment britanniques. Le fonds démonstrateur de l'ADEME pourrait être utilement mobilisé à cette fin.

La labellisation de projets de R&D sur l'éolien flottant impose également d'envisager la faisabilité d'un site d'essais en mer dédié à cette nouvelle technologie.

Par l'attraction qu'elle peut susciter auprès des chercheurs, des industriels et des décideurs, une véritable politique de démonstration, en lien avec des possibilités d'exploitation ultérieures, permet d'affirmer le rôle moteur d'un pays ou d'une région. La démonstration pourrait ainsi marquer un pas décisif vers le développement d'une nouvelle activité en zone côtière et le déploiement d'une filière industrielle.

Chapitre 11

Un bon équipage et des relais à terre pour accompagner le changement

1.	Le développement des énergies marines en tant qu'innovation sociale : les apports de la sociologie de l'innovation	315
1.1.	L'analyse du contexte : des parties prenantes nombreuses, des espaces de concertation en construction	316
1.1.1.	Une multiplication des espaces de discussion autour des énergies marines	316
1.1.2.	Des parties prenantes nombreuses	318
1.2.	La problématisation, ou la définition d'un objectif ambitieux	318
1.2.1.	Un enjeu : bien poser le problème	318
1.2.2.	A qui revient le rôle du « traducteur » ? De la gouvernance des énergies marines	319
1.3.	La mobilisation : impliquer toutes les parties prenantes pour faire des énergies marines un pilier de l'économie bretonne	322
1.3.1.	La formalisation d'un espace de concertation dédié	322
1.3.2.	Une appropriation collective par la population et les acteurs de la zone côtière	323
1.3.3.	Une volonté politique des décideurs	324
2.	Un enjeu : la pérennité de l'intérêt porté aux énergies marines	328

L'Ifop a réalisé pour la Région Bretagne un sondage sur la perception de la zone côtière et de ses enjeux par les Bretons. Ce sondage a été réalisé en mars 2007 auprès d'un panel représentatif de 800 personnes. D'après ce sondage, la mer et le littoral représentent pour trois Bretons sur quatre le principal atout de leur région, devant la qualité de vie, les espaces naturels et la culture bretonne. Si le littoral est essentiellement perçu comme une opportunité offerte par ses espaces de loisirs et ses ressources halieutiques, les Bretons estiment que la région aurait intérêt à tirer davantage parti de sa dimension maritime et de l'ensemble de ses ressources maritimes : 72% des Bretons estiment ainsi que la région pourrait exploiter davantage ses ressources en matière d'énergies renouvelables en mer²⁶⁴.

Un deuxième sondage, réalisé en octobre 2008 par TMO Régions pour la Région Bretagne auprès de 1200 personnes, portant sur le développement durable, a montré qu'en termes d'énergies renouvelables, 80% des Bretons sont favorables (36%) ou très favorables (44%) au développement des éoliennes en mer, après les panneaux solaires (95%) et avant les éoliennes terrestres (76%) et le bois-énergie (69%)²⁶⁵.

Mais les énergies marines sont un nouvel entrant dans un paysage complexe et leur développement pose un grand nombre de questions, auxquelles on a encore peu de réponses. Faute d'un cadre d'action approprié, et devant le manque d'informations, les incertitudes que génère cette activité nouvelle sont susceptibles de se transformer en craintes, voire en conflits. C'est ce que l'on peut appeler un conflit par anticipation : alors même que les projets sont loin d'aboutir, des informations partielles et l'absence initiale de concertation entraînent des situations de conflit ou de blocage²⁶⁶.

Accompagner le changement pour faire évoluer l'ensemble des parties prenantes d'une légitime méfiance vers une appropriation collective sera un élément-clé pour relever ces défis et saisir une opportunité majeure de développement pour la Bretagne.

1. Le développement des énergies marines en tant qu'innovation sociale : les apports de la sociologie de l'innovation

Le développement des énergies marines peut être vu comme une innovation au sens où l'entendent CALLON et LATOUR²⁶⁷. La sociologie de l'innovation, née au début des

²⁶⁴ Sondage Ifop pour la Région Bretagne, réalisé auprès de 800 personnes en mars 2007, dans le cadre de l'élaboration de la charte des espaces côtiers bretons www.labretagneetlamer.fr

²⁶⁵ Sondage TMO Régions pour la Région Bretagne, réalisé auprès de 1200 personnes en octobre 2008, et présenté lors des Rencontres du développement durable et des Agendas 21 en Bretagne le 28 février 2009.

²⁶⁶ PENNANGUER S. *et al.*, 2008. *Se confronter pour construire ? Itinéraire d'un conflit en mer d'Iroise*. In KIRAT T. et TORRE A. (Dir.) *Territoires de conflits*. L'Harmattan, Paris.

²⁶⁷ CALLON M., LATOUR B. (Eds), 1991. *La science telle qu'elle se fait*. La Découverte, Paris et LATOUR B. (Ed), 1992. *Ces réseaux que la raison ignore*. L'Harmattan, Paris.

années 1990, s'intéresse aux conditions nécessaires pour que des acteurs d'une situation quelconque se retrouvent en convergence autour d'un changement ou d'une innovation. Les sociologues de l'innovation se sont intéressés au parcours qui a conduit des innovations techniques ou sociales soit à s'imposer, soit à tomber dans l'oubli.

D'après la sociologie de l'innovation, ce n'est pas la qualité intrinsèque de l'innovation qui fait qu'elle va ou non s'imposer, mais le processus sur lequel elle s'appuie et en particulier la consolidation et l'élargissement du réseau d'acteurs qui la porte. Ce processus est fait de controverses à travers lesquelles les faits se construisent et l'innovation s'élabore. Le réseau d'acteurs se consolide en intégrant de nouvelles entités, jusqu'à l'irréversibilité du processus²⁶⁸.

La construction du réseau autour d'un fait met en jeu des opérations de « traduction », qui recouvrent trois grandes étapes²⁶⁹ :

- une analyse du contexte ;
- une étape de problématisation ;
- une étape de mobilisation des acteurs dans le processus.

1.1. L'analyse du contexte : des parties prenantes nombreuses, des espaces de concertation en construction

L'analyse du contexte permet de repérer les acteurs en présence et leurs intérêts. Dans cette analyse, les sociologues de l'innovation invitent à prendre en compte les bonnes raisons qu'ont les acteurs de faire ce qu'ils font. Cette analyse permet l'émergence d'un premier réseau d'acteurs autour d'une problématique.

1.1.1. Une multiplication des espaces de discussion autour des énergies marines

Le domaine des énergies marines émerge et dans cette phase pionnière il est encore difficile d'appréhender l'articulation entre les différentes initiatives qui sont en cours de formalisation au niveau national et au niveau régional.

Au-delà de la décision du CESR de Bretagne de réaliser la présente étude, rappelons les initiatives suivantes, dans l'ordre chronologique :

- l'étude de zonage ADEME/Ifremer, commandée en septembre 2004, présentée comme un outil d'aide à la décision, pas encore publiée et qui sera diffusée *a priori* auprès des préfets seulement ;

²⁶⁸ CALLON M., 1994. *Réseaux technico-économiques et irréversibilités*. In BOYER, CHAVANCE, GODARD (Dir.), *Les figures de l'irréversibilité en économie*. EHESS, Paris.

²⁶⁹ BEURET J.-E., 2006. *La conduite de la concertation pour la gestion de l'environnement et le partage des ressources: pour la gestion de l'environnement et le partage des ressources*. L'Harmattan, Paris et PENNANGUER S., 2005. *Incertitude et concertation dans la gestion de la zone côtière*. Thèse de doctorat en halieutique, Rennes.

- l'étude prospective menée par l'Ifremer de mars 2007 à octobre 2008, qui a regroupé une vingtaine de partenaires représentant les principaux acteurs du domaine des énergies marines, visant à esquisser des scénarios d'implantation à l'horizon 2030 ;
- la publication du plan Energie pour la Bretagne et de la charte des espaces côtiers bretons en 2007, dans lesquels le déploiement des énergies marines est annoncé comme une priorité ;
- la constitution, au sein du Cluster maritime français, d'un groupe de travail sur les énergies marines renouvelables, dont les travaux sont toujours en cours ;
- la tenue d'une réunion du Grenelle de l'environnement en octobre 2007 à Brest, suite à laquelle les Présidents du Conseil régional de Bretagne, du Conseil général du Finistère et de Brest Métropole Océane ont demandé à l'Etat de s'engager dans la création d'un centre de recherche sur les énergies marines. Une contribution au Grenelle de l'environnement sur ce sujet a été portée par le Pôle Mer Bretagne, sur la base de réflexions menées entre autres avec le Conseil régional de Bretagne, la DRIRE, EDF, Ifremer et l'ADEME ;
- l'initiative conjointe entre le Président du Conseil régional de Bretagne, le Préfet de région et le Préfet maritime d'élaborer un guide à l'attention des porteurs de projets ;
- les travaux du comité opérationnel n°10 du Grenelle de l'environnement, en mars 2008, qui a proposé une décomposition de l'objectif des 20% entre les différentes sources d'énergies renouvelables, dont les énergies marines, mais dont les propositions n'ont pas été reprises dans les textes de loi ;
- l'annonce par la Région Bretagne, en mars 2008, du lancement d'un plan de développement des énergies marines mené sur la base d'une concertation technique et politique, dont le premier comité de pilotage a eu lieu en février 2009 ;
- l'initiative nationale IPANEMA, officialisée en octobre 2008, dans laquelle les signataires s'engagent collectivement pour favoriser l'émergence des énergies marines. Fortement portée par le Conseil régional de Bretagne, l'Ifremer et EDF, elle regroupe aujourd'hui l'Etat, l'ADEME, des collectivités, des centres de recherche, des porteurs de projets et des industriels qui reconnaissent la nécessité de développer des stratégies partagées et le besoin d'échange et de coordination des différentes parties prenantes ;
- le plan national de développement des énergies renouvelables, présenté en novembre 2008, qui prévoit dans sa mesure 27 qu'une instance de concertation et de planification sera créée pour chaque façade maritime, sous l'égide du Préfet maritime et des préfets de département. Cette instance, qui rassemble l'ensemble des parties prenantes, a pour mission d'identifier des zones propices au développement de l'éolien en mer, au regard des différentes contraintes (usage de la mer, radars, réseau électrique, ...). Les porteurs de

projets seront invités à privilégier ces zones. La planification 2010-2015 devrait être établie pour la fin 2009 ;

- la loi Grenelle 2, examinée par le Conseil des ministres de janvier 2009, qui confirme la délimitation de façades maritimes pour la mise en œuvre de la stratégie nationale pour la mer, et précise que les plans, programmes et schémas applicables dans le périmètre d'une façade maritime, les autorisations délivrées et les actes administratifs pris pour la gestion de cet espace devront être compatibles avec les objectifs et mesures du document stratégique de façade (article 60), mais qui exclut par ailleurs les énergies marines des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (article 23).

La thématique des énergies marines a donc gagné tant des sphères d'actions volontaires, partenariales ou de consultation que des sphères juridiques et réglementaires, donnant plus ou moins d'espace à la concertation.

1.1.2. Des parties prenantes nombreuses

Les parties prenantes potentiellement concernées par le développement des énergies marines, dans une acception très large de cette thématique, sont très nombreuses : il s'agit bien sûr des porteurs de projets et des industriels pour la production énergétique proprement dite, de l'Etat et des collectivités pour la programmation, la réglementation et l'aménagement du territoire, du monde de la recherche, mais aussi de l'ensemble des usagers directement concernés dans la pratique de leur activité ou dans leur rapport plus général au développement durable.

Tous ont, dans ce contexte, des intérêts, des objectifs, des craintes et des attentes différents, parfois peu lisibles. Comment pourront-ils tous apporter leur pierre à l'édifice ?

1.2. La problématisation, ou la définition d'un objectif ambitieux

D'après les sociologues de l'innovation, la problématisation vise à repérer, dans une situation donnée, ce qui unit et ce qui sépare, et à formuler une question susceptible de produire la convergence des acteurs et l'acceptation de la coopération.

1.2.1. Un enjeu : bien poser le problème

La question des énergies marines n'est pas abordée sous le même angle dans chacun des différents espaces de discussion que nous avons abordés plus haut.

Elle a, globalement, trouvé son origine dans les engagements européens et nationaux dits « des trois 20 » imposant un recours accru aux énergies renouvelables dans la lutte contre le changement climatique. Compte tenu du gisement potentiel considérable qu'elles représentent, les énergies marines sont vues comme pouvant apporter une contribution significative à la diversification du bouquet

énergétique. Au-delà du strict enjeu de la production d'électricité, qui prend en Bretagne une dimension particulière du fait de son profil énergétique, le développement des énergies marines offre une opportunité de déploiement d'une filière industrielle s'appuyant sur le renforcement d'une recherche d'excellence dans ce domaine.

L'objectif que nous nous fixons est, au total, beaucoup plus ambitieux que la seule problématique énergétique : il s'agit d'éveiller l'intérêt de tous et de susciter l'émergence de projets pour faire des énergies marines un nouveau pilier de l'économie bretonne, de faire en sorte aussi que l'image de la Bretagne et celle, dynamique, des énergies marines en devenir se superposent et se renforcent mutuellement.

C'est la définition de cet objectif qui constitue la « problématisation » au sens de la sociologie de l'innovation. L'enjeu est de faire comprendre et reconnaître cet objectif et les défis qu'il recouvre à toutes les parties prenantes, et plus globalement à l'ensemble de la population. Or, aujourd'hui, il y a confusion entre ces grands défis qui se posent aux territoires.

1.2.2. A qui revient le rôle du « traducteur » ? De la gouvernance des énergies marines

La problématisation ne peut s'opérer que sous l'effet d'un « traducteur », c'est-à-dire d'un acteur disposant d'une légitimité suffisante aux yeux des protagonistes pour poser le problème afin qu'il soit compris par tous et que tous se l'approprient.

Aujourd'hui, la multiplicité des parties prenantes rend difficile la compréhension du rôle et de l'implication de chacun. Seul un pilotage en amont, et dans la concertation, permettra une définition collective des objectifs et des moyens de les atteindre. Deux initiatives progressent en parallèle pour l'animation de cette démarche : celle de l'Etat et de ses services déconcentrés dans l'élaboration d'une planification à l'échelle de la façade maritime ; celle du Conseil régional de Bretagne dans l'élaboration d'un plan de développement des énergies marines.

L'Etat a toute légitimité à intervenir pour encadrer et réguler l'implantation d'installations sur le domaine public maritime. Ce sont les préfets qui prendront, *in fine*, la décision d'autoriser ou non l'implantation des parcs. C'est d'ailleurs afin de faciliter les démarches des porteurs des projets et de rendre visible le niveau d'exigence qualitative de la puissance publique que les services de l'Etat en région Bretagne ont élaboré un guide à l'attention des porteurs de projets.

Par ses missions régaliennes, comme celle récemment confiée au Préfet maritime et aux préfets de départements de créer une instance de concertation et de planification à l'échelle de la façade maritime, le rôle de l'Etat dans une démarche visant à planifier l'implantation des installations en mer reste essentiel.

Il nous semble aussi que le débat sur les énergies marines va bien au-delà de la simple production d'énergie en mer et qu'il pose des questions qui concernent

directement les territoires, la gestion intégrée de la zone côtière, le développement économique, la recherche et l'innovation, la formation, domaines dans lesquels le Conseil régional de Bretagne a toute légitimité à intervenir.

Le groupe de travail Poséidon avait, dans son rapport intitulé « *Une ambition maritime pour la France* »²⁷⁰, souhaité donner un rôle nouveau à la collectivité régionale, « *dont l'échelle est pertinente et les limites en mer sont connues* ». Le groupe de travail avait ainsi identifié l'échelon régional comme un échelon pertinent pour la mise en place de schémas régionaux de mise en valeur de la mer, dans la continuité de la compétence que la loi lui reconnaissait déjà en matière d'aménagement du territoire. Il faisait par ailleurs le constat que dans ce domaine, une nouvelle forme de coopération entre les représentants de l'Etat et les autorités locales étaient à inventer. « *L'Etat étant représenté en mer par le Préfet maritime, qui a autorité sur une façade maritime, son interlocuteur naturel devrait être la région, à laquelle la loi confie déjà une compétence générale en matière d'aménagement du territoire. Sur cette base, il est envisageable de confier à la région le soin d'organiser la planification de certaines activités économiques, dans le cadre défini par l'Etat ; l'éolien en mer pourrait être un exemple pertinent. L'article L.553-4 du Code de l'environnement précise déjà que les régions peuvent mettre en place un schéma régional éolien, qui a une valeur indicative et doit respecter les zones de développement de l'éolien. Il conviendrait de renverser ce dispositif au demeurant assez critiquable en mer par la primauté qu'il donne au niveau communal, en donnant au schéma régional une valeur normative et en demandant que les autres documents (ZDE, SMVM) soient en conformité avec lui* »²⁷¹.

Une telle préconisation mérite d'être rappelée à l'heure où l'on cherche à redéfinir les missions centrales des collectivités territoriales et leurs relations entre elles et avec l'Etat²⁷².

Il nous semble important de retrouver l'ancrage avec les territoires. Alors que l'implantation des énergies renouvelables à terre implique de fait un ancrage territorial direct (l'éolien sur la commune, les panneaux solaires sur les toits des habitations...), l'exploitation des énergies marines et les enjeux qui y sont liés semblent se faire à un autre niveau, déconnecté des préoccupations des citoyens, jusqu'à ce que l'on se pose, mais ensuite seulement, la question de l'acceptabilité sociale. Pourtant, cet ancrage est nécessaire si l'on veut que l'objectif que l'on se fixe soit partagé par tous.

Les textes récents indiquent que les énergies renouvelables terrestres feront l'objet d'un schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie²⁷³ tandis que les énergies renouvelables marines²⁷⁴ feront l'objet d'une planification menée à l'échelle de la

²⁷⁰ Rapport du groupe de travail Poséidon, décembre 2006. *Une ambition maritime pour la France*.

²⁷¹ *Ibid.*

²⁷² Voir les travaux en cours du comité de réflexion et de proposition sur la modernisation et le rééquilibrage des institutions de la V^e République.

²⁷³ MEEDDAT, 17 novembre 2008. *Grenelle Environnement : réussir la transition énergétique. 50 mesures pour un développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale*.

²⁷⁴ Le texte concerne l'éolien offshore uniquement mais il est probable que les autres énergies marines seront concernées à l'avenir.

façade maritime²⁷⁵. Nous aurions donc, d'un côté, un document de programmation pour les énergies renouvelables marines, de l'autre, un document de programmation pour les énergies renouvelables terrestres. Dans un souci de cohérence, plusieurs Régions ont pourtant d'ores et déjà intégré les énergies marines dans leurs schémas²⁷⁶ :

- la Bretagne, qui a adopté son plan Energie en juillet 2007, et qui lance l'élaboration d'un plan de développement des énergies marines ;
- les Pays de la Loire, qui ont adopté en mars 2007 un rapport d'orientation sur la maîtrise de l'énergie et le développement des énergies renouvelables, incluant les énergies marines ;
- la Haute-Normandie, qui a adopté en juin 2007 un Plan Climat Energies dont l'une des priorités est de favoriser le développement des énergies renouvelables, notamment les énergies marines ;
- la Réunion, qui se fixe des objectifs ambitieux de production d'énergies renouvelables, dont les énergies marines, à l'horizon 2030 ;
- la Martinique, la Guadeloupe, la Polynésie française qui s'y intéressent également...

Sans remettre en question l'intérêt du découpage par façades pour l'application de la directive européenne « Stratégie marine »²⁷⁷ sur des entités écologiquement fonctionnelles, on peut craindre que cette double échelle rende plus difficile l'appréhension de la dimension territoriale de la gestion de la zone côtière, et, plus globalement, les interactions entre terre et mer, alors que les énergies marines entraînent justement de nouvelles dépendances terre-mer.

L'interaction entre terre et mer est l'un des fondements du concept de gestion intégrée de la zone côtière (GIZC), qui offre un cadre de référence pour l'action en zone côtière²⁷⁸. La gestion intégrée des zones côtières, concept apparu dès 1992 mais encore récemment réservé aux « initiés », a trouvé sa concrétisation dans les territoires avec l'appel à projets de la DIACT qui visait à appuyer financièrement le démarrage de projets « labellisés GIZC ». Plusieurs projets ont été retenus en Bretagne, dont la charte des espaces côtiers bretons, seul projet de dimension régionale présenté et retenu dans l'appel à projets, publié en décembre 2007 par le Conseil régional et adopté depuis par près de 120 organismes bretons²⁷⁹.

Projets locaux et projet régional ont créé des habitudes de travail fondées sur la concertation, et cela renforce la légitimité de la Région à intervenir pour initier la construction collective d'un projet de développement des énergies marines.

²⁷⁵ Projet de loi portant engagement national pour l'environnement présenté au Conseil des ministres du 7 janvier 2009.

²⁷⁶ Convention IPANEMA, 17 octobre 2008.

²⁷⁷ Directive du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire pour le milieu marin, qui devrait être transposée dans le droit français avant 2010.

²⁷⁸ Voir à ce sujet le rapport du CESR de Bretagne de juin 2004. *Pour une gestion concertée du littoral en Bretagne*. Rapporteurs : MM. François LE FOLL et Pierre EUZENES.

²⁷⁹ Conseil régional de Bretagne, décembre 2007. *La charte des espaces côtiers bretons*.

Il nous semble donc indispensable de repenser le rapport au territoire dans le développement des énergies marines, aussi bien pour la production énergétique, le déploiement d'une filière industrielle, et la constitution d'un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale.

A cet effet, le rôle des collectivités territoriales dans une démarche de planification stratégique spatialisée est essentiel. Les initiatives prises par l'Etat et par le Conseil régional de Bretagne doivent donc converger dans une approche globale et proactive des enjeux posés par le développement des énergies marines, dans toutes ses dimensions.

La coopération interrégionale devra être encouragée afin de rechercher une cohérence entre l'action des Régions et l'approche menée par l'Etat à l'échelle des façades maritimes.

1.3. La mobilisation : impliquer toutes les parties prenantes pour faire des énergies marines un pilier de l'économie bretonne

D'après la sociologie de l'innovation, la mobilisation permet d'affecter aux acteurs du réseau un rôle précis, une tâche, une mission qui en font des acteurs essentiels d'un système en devenir et non pas les agents passifs d'une structure qui pourrait fonctionner sans eux.

1.3.1. La formalisation d'un espace de concertation dédié

La complexité du sujet, le nombre important des parties prenantes, et la multiplication des espaces de discussion imposent de formaliser un espace de concertation dédié aux énergies marines

Afin de ne pas créer une instance supplémentaire, cet espace pourrait s'inscrire dans le cadre de la Conférence régionale de la mer et du littoral, proposée dans la charte des espaces côtiers bretons. Cette instance pérenne sera un lieu d'information, de réflexion et de débat pour proposer, définir et évaluer les actions stratégiques à mettre en œuvre pour la gestion durable de la zone côtière. Elle sera composée de représentants des collectivités, de l'Etat et des établissements publics, des organisations socioprofessionnelles, du milieu associatif, ainsi que des experts²⁸⁰.

Cette conférence devra se décliner dans un groupe thématique dédié aux énergies marines, auquel pourront se joindre les représentants des différentes parties prenantes concernées par le sujet.

²⁸⁰ Conseil régional de Bretagne, décembre 2007. *La charte des espaces côtiers bretons.*

1.3.2. Une appropriation collective par la population et les acteurs de la zone côtière

Le terme d'acceptabilité sociale est souvent utilisé lorsque l'on parle des énergies marines, et semble parfois être l'ultime but à atteindre. Ce terme ne nous paraît pas exact au sens où il est restreint aux conflits d'usage potentiels créés par l'implantation de machines en mer côtière. Il nous semble plus exact de parler d'un enjeu d'appropriation collective car, au-delà de l'acceptabilité, c'est bien l'appropriation de cette nouvelle activité qui enclenchera une dynamique territoriale de création de richesses, de création d'emplois, de diversification de l'économie bretonne vers un domaine porteur.

L'enjeu est donc que la population et les acteurs de la zone côtière passent d'une méfiance légitime à une appropriation collective.

- Une éducation aux énergies marines

Bien que fortement médiatisées depuis quelques années, et surtout en 2008, les énergies marines sont peu ou mal connues du grand public, tant en termes de ressources (qu'est un courant de marée ? qu'est un gradient de température ?) que de technologies (qu'est une hydrolienne ?). L'éolien offshore est sans doute la plus connue de tous, mais les systèmes de récupération de l'énergie des vagues, des courants, de la chaleur ou de la biomasse sont peu connus.

L'évaluation stratégique des ressources et des potentiels, et la planification stratégique devront donc s'accompagner d'une démarche de vulgarisation et de diffusion des informations vers le grand public.

Plus globalement, des moyens d'information et de diffusion des connaissances, des progrès réalisés, des enjeux du développement des énergies marines pour les territoires sont à mettre en œuvre tant en direction des publics scolarisés que du public adulte. A ce titre, les énergies marines devront être intégrées dans tous les outils d'information sur les énergies renouvelables, et notamment dans l'observatoire régional de l'énergie prévu dans le plan Energie pour la Bretagne.

La connaissance par tous des retombées possibles pour les territoires du développement des énergies marines serait un pas important vers une appropriation collective : pour schématiser, se rendre compte que l'on peut gagner de l'argent en vendant ses vagues et ses courants serait à coup sûr très mobilisateur... C'est d'un changement de regard sur la mer qu'il s'agit : la mer est un endroit où il y a des ressources, et aujourd'hui on découvre la ressource en énergie.

- Une mobilisation des différents secteurs d'activités autour des énergies marines

La question des énergies marines progresse, mais reste relativement cantonnée aux sphères des « initiés ». Or le déploiement industriel ou la constitution d'un pôle de recherche et d'expertise d'envergure internationale nécessitent de mobiliser des acteurs dans de nombreux domaines liés plus ou moins directement au thème des

énergies marines, et donc plus ou moins visibles. Si le thème des énergies marines devient suffisamment visible, les différents secteurs d'activité sauront se mobiliser.

1.3.3. Une volonté politique des décideurs

2020, c'est demain. Les décideurs, à quelque niveau qu'ils se situent, doivent s'emparer de la question des énergies marines car ils ont en main des leviers pour agir au nom de la collectivité et des générations futures.

Ils doivent en conséquence être sensibilisés, voire même imprégnés des enjeux du développement des énergies marines pour les territoires :

- les décideurs politiques nationaux et régionaux qui porteront ou non dans le temps les réflexions amorcées, et décideront ou non d'apporter des soutiens à la production d'énergies renouvelables, à la recherche, à l'innovation, au développement économique des territoires ;
- les élus locaux qui seront sollicités pour l'implantation de parcs au droit de leurs communes et devront choisir de s'impliquer ou non ;
- les représentants professionnels qui devront déterminer leur position ;
- les dirigeants d'entreprises qui choisiront ou non de diversifier leurs activités ;
- les directions des organismes de recherche nationaux, en lien avec les instances nationales, qui décideront ou non de déployer sur ce thème des moyens humains et financiers ;
- les directions des établissements d'enseignement secondaire et supérieur, en lien avec les instances nationales, qui décideront ou non de la mise en place de formations spécifiques ;
- ...

Le tableau qui suit résume l'ampleur du défi qui nous attend : identifier, comprendre et mobiliser les parties prenantes concernées dans la construction collective d'un projet pour la Bretagne, défi auquel ce rapport apporte une première contribution du Conseil économique et social régional.

Tableau 18. Les parties prenantes du développement des énergies marines : caractéristiques, actions engagées, objectifs et implication possible.

Partie prenante	Caractéristiques en lien avec les énergies marines	Premières réalisations dans le domaine des énergies marines	Objectifs poursuivis	Implication dans le projet collectif
Union européenne	<ul style="list-style-type: none"> • Règlements et directives • Programmes cadres • Fonds structurels européens 	<ul style="list-style-type: none"> • Directive énergies renouvelables du paquet Energie-Climat • Politique maritime intégrée • Communication sur l'éolien offshore • Communication sur la planification de l'espace maritime • Etude sur l'interconnexion Mer du Nord - Mer Baltique 	<ul style="list-style-type: none"> • Atteinte des objectifs européens en matière d'énergies renouvelables • Mise en œuvre de la politique maritime intégrée 	<ul style="list-style-type: none"> • Financement de la R&D via les programmes cadres, les fonds structurels européens
Etat	<ul style="list-style-type: none"> • Lois, règlements et décrets • Programmation énergétique • Grenelle de l'environnement : lois Grenelle 1 et Grenelle 2, plan national de développement des énergies renouvelables 	<ul style="list-style-type: none"> • Appel d'offres pour l'éolien en mer en 2004 • Commande d'une étude de zonage ADEME/Ifremer en 2004, non publiée • Objectifs chiffrés dans la PPI 2005, attente de la PPI 2009 • Tarifs de rachat publiés en 2006 et 2007 • Signataire d'IPANEMA • Pas d'objectifs dans les lois Grenelle 1 et 2, malgré les recommandations du comop 10 • Création d'un fonds démonstrateur pour les énergies renouvelables • Planification du développement de l'éolien offshore à l'échelle des façades 	<ul style="list-style-type: none"> • Atteinte des objectifs nationaux et européens en matière d'énergies renouvelables 	<ul style="list-style-type: none"> • Affirmation d'une ambition maritime • Précision des objectifs propres aux énergies marines dans les documents de programmation • Publication des données disponibles • Clarification de la réglementation • Clarification de l'articulation des niveaux de gouvernance • Encouragement de l'émergence des projets par des tarifs de rachat spécifiques aux prototypes • Animation de la concertation
Préfecture maritime	<ul style="list-style-type: none"> • Représentant de l'Etat en mer • Exécution des lois et règlements • Police administrative générale • Coordination des administrations • Portage des politiques publiques en mer • Instruction des dossiers 	<ul style="list-style-type: none"> • Instruction des premières demandes d'occupation du DPM • Signataire d'IPANEMA • Réalisation d'un guide à l'attention des porteurs de projets (à paraître prochainement) • Planification du développement de l'éolien offshore à l'échelle des façades 	<ul style="list-style-type: none"> • Intérêt général et acceptabilité • Sécurité maritime • Régulation des usages • Harmonisation des pratiques et lisibilité des objectifs • Réglementation maritime • Protection de l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification de l'articulation des niveaux de gouvernance • Etablissement et mise à jour d'une planification pour les énergies marines à l'échelle de la façade • Animation de la concertation • Assentiment sur l'occupation du DPM
Préfectures de région et de départements	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion du domaine public maritime • Portage des politiques publiques • Police des pêches • Balisage • Qualité de l'eau • Autorisations et contentieux 	<ul style="list-style-type: none"> • Instruction des premières demandes d'occupation du DPM • Signataire d'IPANEMA • Réalisation d'un guide à l'attention des porteurs de projets (à paraître prochainement) • Planification du développement de l'éolien offshore à l'échelle des façades 	<ul style="list-style-type: none"> • Intérêt général et acceptabilité • Guichet unique • Occupation du DPM • Enquêtes publiques • Autorisations administratives terrestres 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification de l'articulation des niveaux de gouvernance • Etablissement et mise à jour d'une planification pour les énergies marines à l'échelle de la façade • Animation de la concertation • Instruction des demandes
Services de l'Etat en région et en départements	<ul style="list-style-type: none"> • Instruction des dossiers (Affaires maritimes, Energie, Environnement, Equipement, etc.) • Restructuration des services en cours • Plateforme d'information géographique GéoBretagne 	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation d'un guide à l'attention des porteurs de projets (à paraître prochainement) • Planification du développement de l'éolien offshore à l'échelle des façades 	<ul style="list-style-type: none"> • Instruction technique et administrative 	<ul style="list-style-type: none"> • Concours apporté à la planification par façade • Publication des données disponibles • Instruction des dossiers
SHOM (Service hydrographique de la Marine)	<ul style="list-style-type: none"> • Cartographie (bathymétrie) 			<ul style="list-style-type: none"> • Etudes préalables • Cartographie • Concours apporté à la planification par façade

Partie prenante	Caractéristiques en lien avec les énergies marines	Premières réalisations dans le domaine des énergies marines	Objectifs poursuivis	Implication dans le projet collectif
ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)	<ul style="list-style-type: none"> • Management environnemental • Animation • Suivi de la R&D 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu d'actions spécifiques énergies marines • Réalisation d'une étude de zonage en partenariat avec l'Ifremer • Signataire d'IPANEMA 		<ul style="list-style-type: none"> • Publication des données disponibles • Promotion des énergies marines • Animation • Cofinancement de projets • Gestion du fonds démonstrateur • Concours apporté à la planification par façade
Cetmef (Centre d'études techniques maritimes et fluviales)	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité maritime (phares et balises) • Réseau de mesure de houle 		<ul style="list-style-type: none"> • Sécurité maritime 	<ul style="list-style-type: none"> • Publication des données disponibles • Balisage
Agence des aires marines protégées	<ul style="list-style-type: none"> • Appui aux politiques publiques pour la création d'AMP • Appui à la mise en place de Natura 2000 en mer • Appui au Parc naturel marin de la mer d'Iroise 			<ul style="list-style-type: none"> • Publication des données disponibles • Evaluation des interactions avec les zones protégées • Concours apporté à la planification par façade
Conseil régional de Bretagne	<ul style="list-style-type: none"> • Politiques volontaristes dans le domaine de l'énergie et de la mer • Soutien à la recherche et à l'innovation • Soutien au développement économique • Aménagement du territoire • Politique portuaire • Formation • Agenda 21 • Plateforme GéoBretagne 	<ul style="list-style-type: none"> • Plan Energie pour la Bretagne • Charte des espaces côtiers bretons • Plan de développement des énergies marines en cours • Signataire d'IPANEMA 	<ul style="list-style-type: none"> • Atteinte des objectifs du plan Energie pour la Bretagne • Mise en œuvre de la charte des espaces côtiers bretons • Développement économique et industriel • Développement de la recherche • Attractivité • Exemplarité • Image 	<ul style="list-style-type: none"> • Animation d'une démarche collective • Concours apporté à la planification par façade • Soutien financier aux projets • Intégration des énergies marines dans les politiques régionales • Ancrage du développement des énergies marines dans les territoires • Prospective des capacités portuaires et logistiques • Publication des données disponibles
Conseil économique et social régional de Bretagne	<ul style="list-style-type: none"> • Assemblée consultative auprès du Conseil régional de Bretagne 	<ul style="list-style-type: none"> • Etude sur les énergies marines • Etude sur la politique énergétique régionale 		<ul style="list-style-type: none"> • Expression de la société civile organisée
Agence économique de Bretagne	<ul style="list-style-type: none"> • Veille économique 	<ul style="list-style-type: none"> • Etude de filière sur l'éolien offshore 	<ul style="list-style-type: none"> • Repérage des potentialités de développement • Accompagnement des entreprises • Développement d'une filière industrielle 	<ul style="list-style-type: none"> • Poursuite et renforcement de la veille économique sur l'éolien offshore • Promotion des atouts de la Bretagne à l'international • Elargissement de la réflexion aux autres énergies marines en temps voulu
Conseils généraux 22, 29, 35 et 56	<ul style="list-style-type: none"> • Politiques volontaristes dans le domaine de l'énergie et de la mer • Politiques portuaires 		<ul style="list-style-type: none"> • Défi énergétique • Développement économique et industriel • Retombées financières de la taxe spéciale • Image 	<ul style="list-style-type: none"> • Concours apporté à la planification par façade • Prospective des capacités portuaires et logistiques • Soutien financier aux projets • Intégration des énergies marines dans les politiques départementales • Ancrage du développement des énergies marines dans les territoires • Publication des données disponibles
Communes et agglomérations	<ul style="list-style-type: none"> • Permis de construire pour les infrastructures à terre • SCOT/PLU 		<ul style="list-style-type: none"> • Défi énergétique • Développement économique et industriel • Retombées financières de la taxe spéciale • Image 	<ul style="list-style-type: none"> • Leader d'opinion • Acceptabilité sociale • Appropriation collective

Partie prenante	Caractéristiques en lien avec les énergies marines	Premières réalisations dans le domaine des énergies marines	Objectifs poursuivis	Implication dans le projet collectif
Chambres de commerce et d'industrie	<ul style="list-style-type: none"> • Concessionnaires des ports 			<ul style="list-style-type: none"> • Prospective des capacités portuaires et logistiques
Pôle de compétitivité Mer Bretagne	<ul style="list-style-type: none"> • Regroupement d'entreprises, de centres de recherche et de centres de formation • Axe « Energies marines renouvelables » 	<ul style="list-style-type: none"> • Compétences regroupées • Labellisation des projets Marénergie, Winflo, Diwet, Safe Oil, Grand Large, Heol, Convenav • Impulsion sur des formations spécialisées 	<ul style="list-style-type: none"> • Création de plateformes technologiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Appui à la recherche, au développement et à l'innovation dans le domaine des énergies marines • Appui au déploiement industriel • Appui à la coopération internationale • Animation et soutien des PME • Mutualisation des moyens de recherche et d'expérimentation • Emergence de démonstrateurs • Formation • Communication
Ifremer	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche appliquée marine • Veille technologique • Etudes d'impact 	<ul style="list-style-type: none"> • Connaissance de la ressource • Réalisation d'une étude de zonage en partenariat avec l'ADEME • Réalisation d'une étude prospective à l'horizon 2030 • Thèses sur le sujet • Essais en bassins • Essais technologiques • Projets de recherche sur les algo-carburants 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouvel axe de développement 	<ul style="list-style-type: none"> • Publication des données disponibles • Réalisation d'études préalables, d'études d'impact • Assistance à maîtrise d'ouvrage • Concours apporté à la planification par façade • Noyau de coalescence des recherches sur les énergies marines • Médiatisation
Autres laboratoires de recherche (universités, grandes écoles, grands organismes)	<ul style="list-style-type: none"> • Sciences de la mer particulièrement développées • Disciplines variées et complémentaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Connaissance de la ressource • Recherches sur les technologies • Expertise juridique • Thèses sur le sujet 	<ul style="list-style-type: none"> • Nouvel axe de développement 	<ul style="list-style-type: none"> • Publication des données disponibles • Emergence de projets • Contribution au développement technologique
Lycées professionnels, universités, grandes écoles	<ul style="list-style-type: none"> • Formations techniques • Formations supérieures 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de formation spécifique étoffée, mais un axe pris en compte 		<ul style="list-style-type: none"> • Anticiper un redéploiement vers la thématique des énergies marines
Pêcheurs	<ul style="list-style-type: none"> • Usagers des zones côtières • Zones réglementées • Secteur sensible 	<ul style="list-style-type: none"> • Prise de position au niveau national et au niveau régional • Au niveau local, concernés directement par plusieurs projets 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de concurrence et de perte d'activité • Retombées financières de la taxe spéciale • Indemnisation pour perte d'activité 	<ul style="list-style-type: none"> • Apport de la connaissance terrain • Participation aux campagnes de mesures • Mobilisation des pêcheurs pour la petite logistique • Compromis et synergies à envisager selon les zones
Conchyliculteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Usagers des zones côtières 		<ul style="list-style-type: none"> • Risque de concurrence dans les prospections à l'offshore • Retombées financières de la taxe spéciale 	<ul style="list-style-type: none"> • Apport de la connaissance terrain • Mobilisation pour la petite logistique • Compromis et synergies à envisager selon les zones
Nautisme	<ul style="list-style-type: none"> • Usagers des zones côtières 		<ul style="list-style-type: none"> • Retombées financières de la taxe spéciale 	<ul style="list-style-type: none"> • Vulgarisation, information du public
Associations de protection de l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Protection des écosystèmes, de l'environnement, des sites, du patrimoine naturel, de la faune et de la flore 		<ul style="list-style-type: none"> • Préservation des écosystèmes • Interaction avec les zones protégées et inventoriées 	<ul style="list-style-type: none"> • Instance de concertation, d'information, de communication sur les projets • Interpellation pour la limitation et la réduction des impacts
Associations de lobbying		<ul style="list-style-type: none"> • Groupe énergies marines du Cluster maritime français 		<ul style="list-style-type: none"> • Promotion des énergies marines

Partie prenante	Caractéristiques en lien avec les énergies marines	Premières réalisations dans le domaine des énergies marines	Objectifs poursuivis	Implication dans le projet collectif
Porteurs de projets	<ul style="list-style-type: none"> • Production et vente d'électricité 	<ul style="list-style-type: none"> • Portage des premiers projets (EDF à Paimpol-Bréhat, Powéo en baie de Saint-Brieuc, Nass&Wind Offshore, Direct-Energie-Neoen) • Prise de risque • Moyens financiers • Certains signataires d'IPANEMA • Projets désordonnés 	<ul style="list-style-type: none"> • Rentabilité économique • Acceptabilité sociale des projets • Cadre réglementaire clair • Augmentation des tarifs de rachat pour les prototypes • Image « verte » 	<ul style="list-style-type: none"> • Concertation • Montage des projets en adéquation avec des objectifs définis collectivement
Financeurs	<ul style="list-style-type: none"> • Sociétés de capital-risque • Investissement socialement responsable 		<ul style="list-style-type: none"> • Développement du marché • Rentabilité économique 	
Réseau de transport d'électricité	<ul style="list-style-type: none"> • Réseau non conçu pour l'accueil de productions de proximité 	<ul style="list-style-type: none"> • Schéma régional de transport d'électricité prévu dans la loi Grenelle 2 		<ul style="list-style-type: none"> • Intégration des énergies marines dans les schémas régionaux de transport d'électricité • Mutualisation des câbles dans un réseau offshore
Développeurs de technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de technologies innovantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Premiers démonstrateurs en Bretagne (Sabella, Hydro-Gen, OpenHydro) 	<ul style="list-style-type: none"> • Développement et mise sur le marché • Acceptabilité sociale des projets • Partenariats • Soutien financier 	<ul style="list-style-type: none"> • Emergence de démonstrateurs • Emergence de projets
Industriels	<ul style="list-style-type: none"> • Construction navale, équipements, systèmes embarqués • Services (installation, maintenance, surveillance) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regroupement dans Bretagne Pôle Naval de sociétés qui visent une diversification, entre autres vers les énergies marines • Premiers démonstrateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversification • Nouveau segment et nouveaux marchés (machines, services) • Exportation 	
Bureaux d'études	<ul style="list-style-type: none"> • Etudes préalables • Etudes d'impact 	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation des premières études préalables 		<ul style="list-style-type: none"> • Etudes préalables, études d'impact
Cabinets de conseil		<ul style="list-style-type: none"> • Entretiens science et éthique sur les énergies de la mer • Blog des énergies de la mer 		<ul style="list-style-type: none"> • Médiatisation
CCSTI (Centre de culture scientifique, technique et industrielle)	<ul style="list-style-type: none"> • Apport culturel et éducatif envers le public 	<ul style="list-style-type: none"> • Médias, expositions sur les énergies marines 	<ul style="list-style-type: none"> • Appropriation collective 	<ul style="list-style-type: none"> • Médiatisation, vulgarisation, diffusion de la connaissance • Education aux énergies marines
Bretagne Environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Collecte et diffusion des informations liées à l'environnement 			<ul style="list-style-type: none"> • Collecte et diffusion des données
Population				<ul style="list-style-type: none"> • Appropriation collective

N.B. Ce tableau ne saurait être exhaustif.

2. Un enjeu : la pérennité de l'intérêt porté aux énergies marines

L'intérêt pour les énergies marines n'est pas nouveau. Sans remonter à l'utilisation ancestrale de la force des marées, il y a eu par le passé des réflexions et des projets dont l'intensité était proportionnelle au prix du baril de pétrole.

Les choses ont un peu changé aujourd'hui du fait de la prise de conscience du défi climatique et énergétique, ainsi que des engagements européens et nationaux en faveur des énergies renouvelables, qui expliquent l'intérêt porté aux énergies

marines. Mais le prix du baril de pétrole, qui a atteint des sommets en 2008, n'y est pas étranger²⁸¹.

Les innovations technologiques sont en conséquence très médiatisées. Les dimensions économiques, sociales et environnementales le sont beaucoup moins. En particulier, l'appréhension des retombées possibles de l'exploitation des énergies marines sur les territoires est très peu mise en avant. Le défi industriel doit être traité à hauteur du défi énergétique.

La pérennité de l'intérêt porté aux énergies marines est l'une des clés de leur succès. Soutenue par une couverture médiatique renouvelée, celle-ci dépendra essentiellement d'une volonté politique constamment réaffirmée. L'objectif est d'inscrire les démarches dans la durée et de veiller à la continuité des décisions. Il en résultera un renforcement de la recherche, une extension des formations, une consolidation de la filière industrielle et, à terme, une multiplication et une diversification des emplois.

L'enjeu de la démarche est de savoir combiner une vision stratégique de long terme et des actions de court terme, de savoir articuler les temps courts et les temps longs : le temps court des marchés économiques et le temps long des innovations technologiques ; les préoccupations immédiates des porteurs de projets et le temps long de l'instruction administrative ; le temps court des décideurs et le temps long de la concertation et de l'appropriation collective...

Nul doute que la forte identité maritime de la Bretagne garantira la pérennité de cet intérêt porté aux énergies marines.

²⁸¹ Le prix du baril de pétrole a dépassé 147 \$ en juillet 2008.

Conclusion

La question des énergies marines a, globalement, trouvé son origine dans les engagements européens et nationaux dits « des trois 20 » imposant un recours accru aux énergies renouvelables dans la lutte contre le changement climatique. Compte tenu du gisement potentiel considérable qu'elles représentent, les énergies marines sont vues comme pouvant apporter une contribution significative à la diversification du bouquet énergétique. Au-delà du strict enjeu de la production d'électricité, qui prend en Bretagne une dimension particulière du fait de son profil énergétique, le développement des énergies marines offre une opportunité de déploiement d'une filière industrielle s'appuyant sur le renforcement d'une recherche d'excellence dans ce domaine.

L'objectif que nous nous fixons est, au total, beaucoup plus ambitieux que la seule problématique énergétique : il s'agit d'éveiller l'intérêt de tous et de susciter l'émergence de projets pour faire des énergies marines un nouveau pilier de l'économie bretonne.

La prise de risques (juridique, administratif, financier, technique, humain, environnemental...) est au centre des enjeux liés au développement des énergies marines et concerne toutes les parties prenantes. La question est de savoir si l'on accepte collectivement de prendre ces risques, et comment on les partage.

Face à des initiatives jusqu'à présent dispersées, il nous semble important de construire collectivement un cadre de référence définissant une stratégie de connaissance des potentiels et de valorisation des ressources de la Bretagne dans le but de maximiser les retombées pour le territoire. A ce titre, l'initiative de la Région Bretagne d'animer un processus de concertation pour la planification du développement des énergies marines mérite d'être saluée.

Si les possibilités techniques de développer les énergies marines sont incontestables, si leur intérêt économique est indiscutable, leur acceptabilité est au cœur d'enjeux sociétaux qui détermineront l'avenir de cette activité émergente. Accompagner le changement pour faire évoluer l'ensemble des parties prenantes d'une légitime méfiance vers une appropriation collective sera un élément-clé de la feuille de route à construire.

2020, c'est demain. Les décideurs, à quelque niveau qu'ils se situent, doivent s'emparer de la question des énergies marines car ils ont en main des leviers pour agir au nom de la collectivité et des générations futures.

La pérennité de l'intérêt porté aux énergies marines est l'une des clés du succès de celles-ci. Soutenue par une couverture médiatique renouvelée, celle-ci dépendra essentiellement de la volonté politique constamment réaffirmée des acteurs régionaux. L'objectif est d'inscrire les démarches dans la durée et de veiller à la continuité des décisions. Il en résultera un renforcement de la recherche, une extension des formations, une consolidation de la filière industrielle et, à terme, une multiplication et une diversification des emplois.

**Et puisque l'une des clés du développement des énergies marines réside dans leur appropriation collective, maintenant, c'est à vous de jouer !
Rendez-vous à la fin du rapport...**

Auditions

Nous remercions toutes les personnes auditionnées par la section Mer Littoral de novembre 2007 à septembre 2008 (les titres et mandats correspondent à la situation au moment de l'audition) :

Cyrille ABONNEL	Chef de projet Energies marines, EDF R&D, Chatou
Jean-Luc ACHARD	Responsable du projet HARVEST, Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels (LEGI), Grenoble
Jacques-André ASTOLFI	Institut de recherche de l'Ecole Navale (IRENav), Brest
Hervé BALUSSON	Président Directeur Général d'OLMIX, Bréhan
Isabelle BALUSSON	OLMIX, Bréhan
Yvon BASSET	Délégation régionale de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), Rennes
Mohamed BENBOUZID	Laboratoire d'ingénierie mécanique et électrique (LIME), IUT de Brest, UBO, Brest
Catherine BERSANI	Inspectrice générale de l'équipement, Conseil général des Ponts et Chaussées, Paris
Marc BŒUF	Responsable R&D, DCNS Services, Brest
Julie BONGARD	WPD Offshore, Boulogne Billancourt
Yvon BONNOT	Maire de Perros-Guirec, Président de l'Association nationale des élus du littoral (ANEL)
Jean-Paul CADORET	Laboratoire de physiologie et biotechnologie des algues, Ifremer, Nantes
Alain CLEMENT	Responsable du projet Searev, Ecole Centrale de Nantes
Ferdinand COSTES	Chef du service de l'air, des déchets et de l'énergie, Conseil régional de Bretagne, Rennes
Alain COUDRAY	Vice-président du Comité local des pêches de Saint-Brieuc
Alain DAHER	Président de la CCI des Côtes d'Armor, Saint-Brieuc
Jean-François DAVIAU	HydroHelix Energies, Quimper
Grégoire DURAND	Responsable de l'Agence Ouest Espace Eolien Développement, Rennes
Séverine FARRUGIA	Comité régional des pêches et des élevages marins de Bretagne, Rennes
Pierre-Yves GLORENEC	Avel Vor Technologie, Chartres de Bretagne
Yves GUIGNOT	Professeur, Ecole de la marine marchande de Nantes
Philippe GUILLAUDEUX	Délégation régionale EDF
Louis GUILLEMOT	CCI des Côtes d'Armor
Yannick HEMEURY	Président du Comité local des pêches de Paimpol
Gérald HUSSENOT	Secrétaire général du Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins
Patrice JUDE	Direction de la recherche et de l'innovation, Areva, Paris
Christophe JURCZAK	Directeur Energies renouvelables, Powéo, Paris
Frédéric LANOE	Directeur général, WPD Offshore, Boulogne Billancourt
Hervé LA PRAIRIE	Président de l'association De Navigatio, Douarnenez
Xavier LA PRAIRIE	Chef du Service maritime interdépartemental de Bretagne, Brest
Pascal LARNAUD	Ifremer, Lorient
Jean-Jacques LE NORMENT	Chef de projet, Agence économique de Bretagne, Rennes
Matthieu LE TIXERANT	Terra Maris, Brest

Frédéric MESLIN	Mission Hydrogène des Pays de la Loire, Nantes
Henri MORA	Président de la Mission Hydrogène des Pays de la Loire, Nantes
Raymond NERZIC	Directeur d'Actimar, Brest
Jacques NICOLLET	Président de l'Association Paimpol Ploubazlanec des Plaisanciers
Michel PAILLARD	Ifremer, Brest
Anicette PAI SAINT-BEASSE	Responsable de la division Energie, DRIRE Bretagne
Gilles PETITJEAN	Délégué régional, ADEME Bretagne (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), Rennes
Pierre PEYSSON	Chef de projet, WPD Offshore, Boulogne Billancourt
Daniel PRIOUR	Ifremer, Brest
Michel RICARD	Président du Conseil national du développement durable, Paris
Laure ROBIGO	Comité local des pêches de Paimpol
Jacques RUER	Directeur adjoint Innovation et technologies émergentes, Saipem s.a., Saint-Quentin en Yvelines
Côme SOULEZ	Service de l'air, des déchets et de l'énergie, Conseil régional de Bretagne, Rennes
Cyril TISSOT	Laboratoire Géomer (IUEM-UBO)
Gérard YVE	Délégué régional, Gaz de France

Nous remercions également :

John COLEMAN	La Tene Maps, Dublin, Irlande
Philippe DECHELOTTE	Responsable Energies marines, Direct Energie – Neoen, Paris
Philippe GOUVERNEUR	Président d'Enertrag France, Cergy-Pontoise
Stéphane JEDREC	Nass&Wind Offshore, Ploemeur
Emmanuelle LEFEVRE	Mission Agenda 21, Conseil régional de Bretagne, Rennes
Georges LE LEC	Observatoire économique régional des pêches de Bretagne
Ronan LE LOUARN	Mission Agenda 21, Conseil régional de Bretagne, Rennes
Stéphane PENNANGUER	Mission Mer, Conseil régional de Bretagne, Rennes
Michaël PIERROT	The Wind Power

Tables

Glossaire

- AAMP** Agence des aires marines protégées
- ADEME** Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- AEB** Agence économique de Bretagne
- ANFR** Agence nationale des fréquences radioélectriques
- AGLIA** Association pour le grand littoral atlantique
- AOT** Autorisation d'occupation temporaire
- BERR** Business Enterprise and Regulatory Reform (Royaume-Uni)
- BHQE** Bateau à haute qualité environnementale
- BSH** Agence maritime et hydrographique (Allemagne)
- BWEA** British Wind Energy Association (Royaume-Uni)
- CA-OE** Action concertée sur l'énergie des océans
- CEA** Commissariat à l'énergie atomique
- CEI** Commission électronique internationale
- CETMEF** Centre d'études techniques maritimes et fluviales
- CIADT** Comité interministériel pour l'aménagement et le développement du territoire
- CNG** Gaz naturel comprimé (en anglais)
- CNRS** Centre national de recherche scientifique
- COWRIE** Collaborative Offshore Windform Research into the Environment (Royaume-Uni)
- CRE** Commission de régulation de l'énergie
- CROSS** Centre régional opérationnel de surveillance et de sauvetage
- CRPM** Conférence des régions périphériques maritimes
- CRPMEM** Comité régional des pêches maritimes et des élevages marins
- DDAM** Direction départementale des affaires maritimes
- DDASS** Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
- DDEA** Direction départementale de l'équipement et de l'agriculture
- DDT** Direction départementale des territoires
- DGEC** Direction générale de l'énergie et du climat
- DIREN** Direction régionale de l'environnement
- DIWET** Deepwater Innovative Wind Energy Technology
- DPAM** Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture
- DPM** Domaine public maritime
- DRAC** Direction régionale des affaires culturelles
- DRASSM** Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines

DRIRE	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
EMEC	European Marine Energy Centre (Ecosse)
ENIB	Ecole nationale des ingénieurs de Brest
ENSIETA	Ecole nationale supérieure des ingénieurs des études et techniques d'armement
ENSTB	Ecole nationale supérieure des télécommunications de Bretagne
ERDF	Electricité Réseau Distribution de France
ETI	Institut pour les technologies de l'énergie (Royaume-Uni)
ETM	Energie thermique des mers
EWEA	European Wind Energy Association
EWEC	Conférence européenne sur l'énergie éolienne
FEDER	Fonds européen de développement régional
FEE	France Energie Eolienne
FERN	Fishermen's Energy of New Jersey (Etats-Unis)
FFV	Fédération Française de Voile
FINO	Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee (Allemagne)
GES	Gaz à effet de serre
GIZC	Gestion intégrée des zones côtières
GWh	Gigawattheure
ICOE	International Conference on Ocean Energy
ICPE	Installations classées par la protection de l'environnement
IEA	International Energy Agency - Agence internationale de l'énergie
IEA-OES	International Energy Agency - Ocean Energy Systems
IFOP	Instrument financier d'orientation de la pêche
IFREMER	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
INORE	International Network on Offshore Renewable Energy
INRIA	Institut national de recherche en informatique et en automatique
INES	Institut national de l'énergie solaire
INSA	Institut national des sciences appliquées
IPANEMA	Initiative partenariale nationale pour l'émergence des énergies marines
IRENA	Agence nationale pour les énergies renouvelables
IRENav	Institut de recherche de l'Ecole navale
ISR	Investissement socialement responsable
ktep	Kilo tonne équivalent pétrole
kW - kWh	Kilowatt – kilowattheure
LEGI	Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels
Loi POPE	Loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique
MEA	Marine Energy Accelerator (Royaume-Uni)
MEC	Marine Energy Challenge (Royaume-Uni)
MEEDDAT	Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire
METRI	Marine Environment Tests and Research Infrastructure

MISE	Mission interservices de l'eau
MW	Mégawatt
NRG4SD	Network of Regional Governments for Sustainable Development
NTE	Nouvelles technologies de l'énergie
NVCA	National Venture Capital Association
OMI	Organisation maritime internationale
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion (Energie thermique des mers)
OWA	Offshore Wind Accelerator (Royaume-Uni)
PACA	Provence Alpes Côte d'Azur
PCRD	Programme cadre pour la recherche et le développement
PNUE	Programme des nations unies pour l'environnement
PPI	Programmation pluriannuelle des investissements
PRINA	Pôle de recherche et d'innovation de Nantes-Atlantique
RAVE	Research at Alpha Ventus (Allemagne)
ROC	Renewable Obligation Certificate (Royaume-Uni)
RTE	Réseau de transport d'électricité
RUOA	Réseau des universités de l'Ouest Atlantique
SATIE	Systèmes et applications des technologies de l'information et de l'énergie
SDAP	Service départemental de l'architecture et du patrimoine
SDIS	Service départemental d'incendie et de secours
SEA	Strategic Environmental Assessment
SEEDS	Systèmes d'énergie électrique dans leur dimension sociétale
SEMREV	Site d'expérimentation en mer pour la récupération des vagues
SER	Syndicat des énergies renouvelables
SERAM	Société d'étude et de recherche adossée à l'ENSAM
SHOM	Service hydrographique et océanographique de la Marine
SIDPC	Service interministériel de défense et de protection civile
SMIB	Service maritime interdépartemental de Bretagne
SMVM	Schéma de mise en valeur de la mer
SWRDA	South West Regional Development Agency (Royaume-Uni)
tep	Tonne équivalent pétrole
THESE	Thermal Energy Storage of Electricity
TRI	Taux de rentabilité interne
TWh	Terawattheure
UEB	Université européenne de Bretagne
UTE	Union technique de l'électricité
W/Wh	Watt / Wattheure
ZDE	Zone de développement de l'éolien
ZEE	Zone économique exclusive
ZICO	Zone importante pour la conservation des oiseaux
ZNIEFF	Zone naturelle d'intérêt faunistique et floristique

Liste des tableaux et figures

Tableau 1. Stades de développement.	18
Tableau 2. Quelques exemples de densité énergétique.	29
Tableau 3. Projets éoliens offshore de la Picardie à la Vendée.	75
Tableau 4. Situation actuelle et objectifs de mise en service à différents horizons.	120
Tableau 5. Comparaison des objectifs publiés dans différents travaux.	124
Tableau 6. Répartition des coûts d'un projet éolien terrestre et d'un projet éolien offshore.	130
Tableau 7. Evolution des coûts d'installation de l'éolien offshore depuis 3-5 ans.	131
Tableau 8. Mécanismes incitatifs de quelques pays pour l'éolien offshore.	139
Tableau 9. Mécanismes incitatifs de quelques pays pour l'énergie des vagues et des courants.	140
Tableau 10. Chaîne de valeur moyenne d'une éolienne terrestre.	141
Tableau 11. Engagements d'acteurs économiques en Bretagne.	142
Tableau 12. Priorités de recherche sur les énergies marines.	168
Tableau 13. Quelques acteurs de la recherche publique et privée au niveau national.	170
Tableau 14. Implication des acteurs de la recherche publique et privée en Bretagne.	173
Tableau 15. Sites retenus comme potentiellement intéressants en Bretagne pour l'éolien.	200
Tableau 16. Quelques indicateurs théoriques au sujet des projets éoliens offshore classiques.	207
Tableau 17. Consommation de carburant lors de l'utilisation de quelques engins de pêche.	250
Tableau 18. Les parties prenantes du développement des énergies marines.	325
Figure 1. Le moulin à marée du Birlot, à Bréhat.	17
Figure 2. Nombre de concepts en développement en 2006 (hors éolien).	17
Figure 3. Nombre de technologies par stade de développement en 2006 (hors éolien).	18
Figure 4. Estimation de la ressource éolienne en mer.	21
Figure 5. Le parc de Vindeby, au Danemark, premier parc éolien offshore.	22
Figure 6. Les différents types de fondations.	23
Figure 7. Une éolienne de 5 MW sur une structure jacket : le projet Beatrice.	23
Figure 8. Le parc de Middelgrunden au Danemark.	24
Figure 9. Evolution de la taille des éoliennes en 20 ans.	25
Figure 10. L'éolienne REpower de 5 MW, et un ligneur de 9 m à l'échelle.	25
Figure 11. Evolution de la profondeur d'eau en fonction de l'éloignement de la côte.	26
Figure 12. Intensité du transfert technologique entre les différents champs éoliens.	27
Figure 13. Concepts de turbines Hywind, Sway et Windsea.	28
Figure 14. Barrages (en rouge) et lagons (en bleu) en projet dans l'estuaire de la Severn.	31
Figure 15. Les « spots » de courants de marée dans le monde.	32
Figure 16. Carte des courants de marée.	33
Figure 17. Comparaison de la taille d'une éolienne et d'une hydrolienne de même puissance.	33
Figure 18. Vue d'artiste du prototype Seagen et du concept multi-rotors immergé.	35
Figure 19. Les concepts OpenHydro et Sabella.	35
Figure 20. Les concepts Hammerfest Strom et Lunar Energy.	36
Figure 21. Le concept de turbine à axe vertical.	36
Figure 22. Puissance annuelle moyenne exprimée en kW/m.	37
Figure 23. Principe de la colonne d'eau oscillante.	39
Figure 24. Le parc d'Aguçadoura, au Portugal.	40
Figure 25. Principe de fonctionnement d'une centrale osmotique.	43
Figure 26. Exemples d'intervention sur des éoliennes fixes.	47
Figure 27. Concept d'éolienne flottante permettant l'amarrage du navire de maintenance.	47
Figure 28. Barge d'installation OpenHydro.	48
Figure 29. Rendements en g/m ² /jour.	52
Figure 30. Rendements en litres d'huile par ha et par an.	53
Figure 31. Vue d'artiste d'une usine de production d'algo-carburants aux Etats-Unis.	55
Figure 32. Les projets « énergies marines » en Bretagne et dans les régions voisines.	61
Figure 33. Projet d'implantation des éoliennes en baie de Saint-Brieuc.	63
Figure 34. Implantation du site de démonstration de Paimpol-Bréhat.	66
Figure 35. Les turbines à centre ouvert OpenHydro.	67
Figure 36. Le concept Marénergie.	68
Figure 37. Le prototype Sabella D03.	69
Figure 38. Hydro-Gen 10 et Hydro-Gen 1000.	70
Figure 39. Le concept Diwet.	72
Figure 40. Le concept Winflo.	73
Figure 41. La technologie RIM-DRIVEN.	74

Figure 42. Le concept Searev, et un ligneur de 9 m à l'échelle.	76
Figure 43. Légende des cartes de La Tene Maps.	100
Figure 44. Panorama des développements : Royaume-Uni et Irlande.	101
Figure 45. Panorama des développements: de la Belgique à la Norvège.	102
Figure 46. Panorama des développements: France, Espagne et Portugal.	103
Figure 47. Part des énergies renouvelables dans la consommation intérieure d'électricité.	116
Figure 48. Profil de la production d'électricité en France en 2007.	121
Figure 49. Esquisse du profil de la production d'électricité en France en 2015.	121
Figure 50. Production d'électricité en Bretagne en 2007.	122
Figure 51. Intensité des courants de marée en Bretagne (en m/s).	123
Figure 52. Répartition des coûts d'un projet éolien terrestre et d'un projet éolien offshore.	130
Figure 53. Coût initial de l'énergie des vagues et des courants.	134
Figure 54. Exemples de courbes d'apprentissage pour l'énergie des vagues.	135
Figure 55. Développement prévisible de l'éolien terrestre et de l'éolien offshore.	143
Figure 56. Parcs éoliens offshore opérationnels ou en projet pour 2008-2009.	144
Figure 57. Capacités annuelles et cumulées installées en Europe entre 1998 et 2007.	145
Figure 58. Capacités installées en janvier 2009 et planifiées pour 2015 (MW).	146
Figure 59. Nombre de projets en développement en 2006 par type et par pays.	148
Figure 60. Comparaison des profils de plusieurs pays d'Europe et de leurs engagements.	150
Figure 61. Nombre d'emplois générés par le secteur éolien terrestre et offshore.	155
Figure 62. Evolution des budgets publics alloués à la R&D.	177
Figure 63. Evolution, par pays, des budgets publics alloués à la R&D sur les énergies marines.	178
Figure 64. Le site d'essais EMEC pour l'énergie des courants.	183
Figure 65. Vue d'artiste du Wave Hub.	183
Figure 66. La plateforme FINO1 en Mer du Nord.	185
Figure 67. La plateforme FINO 3 et la localisation des trois plateformes sur les côtes allemandes.	186
Figure 68. Les ressources en courants du Royaume-Uni (en m/s).	198
Figure 69. Les ressources énergétiques liées aux courants au Royaume-Uni (en kW/m ²).	199
Figure 70. Bathymétrie des eaux maritimes bretonnes.	202
Figure 71. Approvisionnement et transport d'énergie en Bretagne en 2006.	204
Figure 72. Construction et manutention sur le port d'Ostende.	205
Figure 73. Transport sur barge de fondations tripodes.	205
Figure 74. Vue du parc de Horns Rev, au Danemark, situé à 22 km des côtes.	222
Figure 75. Projet d'extension du réseau Natura 2000 en mer en Bretagne.	223
Figure 76. Les futures cartes de ressources.	234
Figure 77. Principe de réalisation de la base de données ADEME/Ifremer.	234
Figure 78. Zone dédiée à l'éolien offshore dans les eaux territoriales de Belgique.	235
Figure 79. Le « round 2 » : zones prédéfinies, zones côtières exclues et projets retenus.	237
Figure 80. Le « round 3 ».	238
Figure 81. Zones favorables identifiées par la BSH en 2005, en Mer du Nord.	239
Figure 82. Le principe des clusters en Allemagne.	240
Figure 83. Les trois clusters de la Mer du Nord en Allemagne.	240
Figure 84. Les principales sources d'économies d'énergie au chalutage.	251
Figure 85. La tuyère de Schneekluth.	252
Figure 86. Pertes de rendement d'un moteur thermique.	253
Figure 87. Indication à l'écran de la position des voiles.	254
Figure 88. Répartition de la consommation de carburant selon les composants du train de pêche.	255
Figure 89. Casier à langoustines pliant et ensemble de casiers disposés sur le pont.	260
Figure 90. Tuyère de Schneekluth, ailerons pre-swirl et ailerons thrust-fin.	263
Figure 91. Pods.	263
Figure 92. Le concept SkySails.	264
Figure 93. L'E-ship développé par Enercon.	265
Figure 94. Les panneaux solaires d'Ocean Vital.	268
Figure 95. Nappes de bulles sous la coque d'un navire.	269
Figure 96. Paquebot à assistance vélique.	270
Figure 97. Le prototype PlanetSolar.	270
Figure 98. L'E/S Orcelle.	271
Figure 99. Représentation schématique des enjeux maritimes et côtiers de l'exploitation des énergies marines.	288

Table des matières

Avant-propos

La section Mer Littoral

Sommaire

Synthèse

Introduction générale	
Pourquoi les énergies marines en Bretagne ?	1

1. Le défi énergétique et climatique : les énergies marines, une réponse à des enjeux planétaires	3
2. Le défi industriel, le défi pour la recherche : les énergies marines, une opportunité de développement pour la Bretagne	5
3. Une opportunité majeure pour la Bretagne	6

Première partie	
De l'émergence des concepts... vers la maturité technologique	9

Chapitre 1

Un foisonnement de technologies en développement **13**

1. Des stades de développement disparates	17
2. Des évolutions technologiques sensibles mais inabouties	19
2.1. L'exploitation de l'énergie éolienne offshore	19
2.1.1. La ressource éolienne	20
2.1.2. Les évolutions technologiques	21
2.1.3. La production éolienne offshore	28
2.2. L'exploitation de l'énergie de la marée	30
2.2.1. La ressource	30
2.2.2. Les évolutions technologiques	30
2.3. L'exploitation de l'énergie des courants	32
2.3.1. La ressource hydrolienne	32
2.3.2. Les évolutions technologiques	33
2.3.3. La production hydrolienne	36
2.4. L'exploitation de l'énergie des vagues	37
2.4.1. La ressource	37
2.4.2. Les évolutions technologiques	38
2.4.3. La production houlomotrice	41
2.5. L'exploitation de l'énergie thermique des mers	41
2.5.1. La production d'électricité	41
2.5.2. La mer, source froide	42
2.6. L'exploitation des gradients de salinité	42
3. L'installation et la maintenance, étapes-clés vers le déploiement industriel	43
3.1. L'installation et la maintenance d'un parc éolien offshore	44
3.1.1. Les fondations	44

3.1.2.	Le montage de l'éolienne	45
3.1.3.	L'ensouillage et le raccordement	46
3.1.4.	La maintenance	46
3.2.	L'installation et la maintenance d'un parc hydrolien	48
3.3.	L'installation et la maintenance d'un parc houlomoteur	49
4.	Le stockage de l'énergie	49
4.1.	Le stockage thermique	49
4.2.	Le stockage hydrogène	50
5.	La production d' « algo-carburants » à partir de la biomasse algale	51
Chapitre 2		
La Bretagne en effervescence		57
1.	Des projets au stade industriel	61
1.1.	Le projet éolien de Powéo en baie de Saint-Brieuc	61
1.2.	Les projets éoliens de Nass&Wind Offshore	64
1.3.	Les projets éoliens de Direct Energie - Neoen	65
2.	Un projet pré-industriel de démonstration	65
3.	Des prototypes à l'essai	68
3.1.	Le projet Marénergie et le prototype Sabella	68
3.2.	Le prototype Hydro-Gen	70
3.3.	Le prototype Morgane de production de biogaz	70
4.	Des projets en R&D	72
4.1.	Vers l'éolien flottant	72
4.2.	Le projet Safe Oil	73
4.3.	Les recherches amont de l'IRENav	73
5.	Et chez nos voisins...	75
5.1.	Des projets de parcs éoliens dans la Manche et l'Atlantique	75
5.2.	Le projet houlomoteur Searev à Nantes	76
5.3.	Des projets de recherche sur les microalgues	77
Chapitre 3		
Panorama des technologies et des développements		79
1.	L'exploitation de l'énergie éolienne offshore	84
2.	L'exploitation de l'énergie des courants	86
3.	L'exploitation de l'énergie des vagues	94
4.	Panorama des développements en Europe	100
Deuxième partie		
Un nouvel entrant dans un paysage complexe		105
Chapitre 4		
Des enjeux énergétiques		109
1.	Des engagements chiffrés face à l'urgence climatique	113
1.1.	Les suites du protocole de Kyoto	113
1.2.	Les objectifs européens : les trois 20 pour 2020	114
1.3.	La politique énergétique française	114
2.	Des mutations énergétiques à anticiper	117

3.	La contribution des énergies marines au bouquet énergétique	117
3.1.	Des objectifs chiffrés depuis 2003	118
3.2.	La place des énergies marines dans le bouquet énergétique	119
4.	Un défi énergétique pour la Bretagne	122
4.1.	Un profil énergétique spécifique	122
4.2.	Des ressources naturelles exceptionnelles	122
4.3.	Les politiques régionales de la mer et de l'énergie	123
Chapitre 5		
Des enjeux économiques et industriels		125
1.	L'économie des énergies marines	129
1.1.	Considérations économiques	129
1.1.1.	Les coûts d'installation	129
1.1.2.	Le coût de l'énergie	132
1.1.3.	La fiabilité et la maintenance	136
1.1.4.	La fiscalité	137
1.1.5.	Les mécanismes incitatifs	138
1.2.	L'organisation industrielle	140
1.2.1.	Les acteurs de la chaîne industrielle	140
1.2.2.	Une place pour l'innovation	141
1.3.	Les marchés	143
1.3.1.	Eolien offshore : un marché en construction	143
1.3.2.	Energie des vagues et des courants : un marché inexistant, des annonces plus timides	147
1.3.3.	Algo-carburants : des annonces à la mesure des enjeux pétroliers	148
1.3.4.	Des politiques énergétiques variées en Europe	149
1.3.5.	Waveplam : un projet européen centré sur les marchés	151
1.4.	Risques et marchés financiers	151
2.	Les emplois et les métiers des énergies marines	153
2.1.	Le marché de l'emploi	153
2.1.1.	Les emplois du secteur éolien	154
2.1.2.	Des emplois promis dans l'éolien offshore	154
2.1.3.	Un enjeu : la pérennité des emplois	156
2.1.4.	Les emplois créés par l'exploitation de l'énergie des vagues et des courants	157
2.2.	Du projet à la filière, un possible ancrage local	157
2.2.1.	Le besoin d'une large palette de compétences	157
2.2.2.	Des compétences en Bretagne, depuis l'amont jusqu'à l'aval	159
2.2.3.	Un ancrage local souhaité par les porteurs de projets	160
2.3.	Des besoins et des formations à définir	160
Chapitre 6		
Des enjeux de recherche, développement et démonstration		163
1.	Un cadre national établi par la loi : la stratégie nationale de recherche énergétique	167
2.	Dans les faits, un axe de recherche en construction	169
2.1.	Un domaine de recherche récent	169
2.2.	Des forces certaines, mais insuffisantes et segmentées	170
2.2.1.	Des budgets publics de R&D mineurs	177
2.2.2.	Des acteurs français peu présents sur la scène internationale	179
2.3.	La démonstration, une étape-clé vers le renforcement de la recherche et le déploiement industriel	181
2.3.1.	De la recherche amont à la validation en mer	182
2.3.2.	La démonstration : un support à la recherche et au transfert vers l'industrie	184
2.3.3.	Une politique de démonstration et de transfert vers l'industrie qui se dessine en France...	188
2.4.	La pluridisciplinarité à l'épreuve	192
Chapitre 7		
Des enjeux maritimes et côtiers		193

1.	Un critère exclusif : les ressources disponibles	197
2.	Les critères de faisabilité technique	201
2.1.	La bathymétrie	201
2.2.	La géologie et la sédimentologie	202
2.3.	Les conditions hydrodynamiques	203
2.4.	La distance à la côte	203
2.5.	Le raccordement au réseau	203
2.6.	Les infrastructures à terre	204
3.	Les critères d'intégration et d'acceptabilité	206
3.1.	L'occupation de l'espace	207
3.1.1.	Eolien offshore	207
3.1.2.	Vagues et courants	208
3.2.	Les interactions avec les activités existantes : entre craintes et négociations	209
3.2.1.	Une évaluation des interactions possibles	209
3.2.2.	La navigation et la sécurité maritime	211
3.2.3.	Les activités militaires	212
3.2.4.	Les câbles sous-marins	212
3.2.5.	La pêche : de la méfiance à l'implication	212
3.2.6.	Les élevages marins	219
3.2.7.	L'extraction de granulats	220
3.2.8.	Le tourisme	220
3.3.	Les impacts sur l'environnement	220
3.3.1.	L'évaluation des impacts sur le milieu naturel	220
3.3.2.	L'impact paysager	222
3.3.3.	Les interactions avec les zones protégées	223
3.4.	Le paysage juridique et réglementaire : entre spécificités maritimes et transpositions terrestres	224
3.4.1.	La concession d'utilisation du domaine public maritime	225
3.4.2.	L'autorisation au titre du code de l'environnement	227
3.4.3.	L'autorisation au titre du code de l'urbanisme	229
3.4.4.	Les procédures liées à l'exploitation électrique	229
3.4.5.	L'enquête publique	230
3.4.6.	Les services instructeurs	230
3.4.7.	Un imbroglio administratif pénalisant	231
3.4.8.	Au niveau national, de nouveaux cadres pour l'action de l'Etat en mer	232
3.4.9.	En Bretagne, un guide à l'attention des porteurs de projets	233
4.	Vers une stratégie de planification ?	233
4.1.	En France, une étude de zonage ADEME / Ifremer	233
4.2.	A l'étranger, des exemples de planification	234
4.2.1.	En Belgique, une zone dédiée aux éoliennes	234
4.2.2.	Au Royaume-Uni, les « rounds »	236
4.2.3.	En Allemagne, une planification de la production électrique	239

Troisième partie	
Les énergies marines, un nouveau pilier de l'économie bretonne	241

Chapitre 8	
Un rappel : économiser l'énergie	245

1.	A court terme, une évolution des techniques et des comportements	249
1.1.	Des actions engagées pour des économies d'énergie à la pêche	249
1.1.1.	Les recherches techniques	251
1.1.2.	Les pratiques des professionnels	257
1.2.	Les économies d'énergie dans le transport maritime	261
1.3.	Les économies d'énergie dans le nautisme et la plaisance	265
1.3.1.	Des réflexions sur un nautisme durable	265
1.3.2.	Une évolution des bateaux de plaisance	266
1.3.3.	La voile sportive	267

2.	Des innovations pour le moyen et le long termes	269
3.	Les îles bretonnes, territoires maritimes « tests » pour la maîtrise de la demande en énergie	273
Chapitre 9		
	Un objectif ambitieux... et des dangers sur la route	275
1.	Des atouts et des opportunités pour définir un objectif ambitieux	279
2.	Des dangers sur la route : complexité, incertitude, acceptabilité et prise de risques	280
Chapitre 10		
	Trois défis pour une feuille de route	283
1.	Exploiter les énergies marines en Bretagne	287
1.1.	Une évaluation stratégique des ressources et des potentiels de production	287
1.1.1.	Une compilation des données existantes, produites dans d'autres cadres	289
1.1.2.	Une évaluation stratégique ciblée	289
1.1.3.	Une complémentarité avec d'autres outils développés en Bretagne	290
1.2.	Une planification stratégique spatialisée	291
1.2.1.	La définition d'objectifs partagés	292
1.2.2.	Une optimisation de l'intégration dans l'existant	293
1.2.3.	Une clarification de la réglementation	295
1.2.4.	Une optimisation technique des projets	296
1.2.5.	Une démarche évolutive	300
1.3.	Un soutien à l'émergence des projets	300
1.3.1.	Un appui à la démonstration	300
1.3.2.	Une adaptation du tarif de rachat aux prototypes en démonstration	300
1.3.3.	Un appui aux jeunes entreprises innovantes	301
1.4.	Des objectifs ambitieux pour une nouvelle activité créatrice de richesses	301
2.	Définir une stratégie de déploiement industriel	302
2.1.	Une ambition et une visibilité à l'international	302
2.2.	Une définition et une anticipation des besoins	304
3.	Créer un groupement de recherche et d'expertise d'envergure internationale	305
3.1.	Un renforcement significatif des forces de R&D	305
3.2.	Vers un groupement de recherche et d'expertise en Bretagne	307
3.3.	Une politique de démonstration	308
Chapitre 11		
	Un bon équipage et des relais à terre pour accompagner le changement	311
1.	Le développement des énergies marines en tant qu'innovation sociale : les apports de la sociologie de l'innovation	315
1.1.	L'analyse du contexte : des parties prenantes nombreuses, des espaces de concertation en construction	316
1.1.1.	Une multiplication des espaces de discussion autour des énergies marines	316
1.1.2.	Des parties prenantes nombreuses	318
1.2.	La problématisation, ou la définition d'un objectif ambitieux	318
1.2.1.	Un enjeu : bien poser le problème	318
1.2.2.	A qui revient le rôle du « traducteur » ? De la gouvernance des énergies marines	319
1.3.	La mobilisation : impliquer toutes les parties prenantes pour faire des énergies marines un pilier de l'économie bretonne	322
1.3.1.	La formalisation d'un espace de concertation dédié	322
1.3.2.	Une appropriation collective par la population et les acteurs de la zone côtière	323
1.3.3.	Une volonté politique des décideurs	324
2.	Un enjeu : la pérennité de l'intérêt porté aux énergies marines	328

Conclusion	331
Auditions	335
Tables	339
Glossaire	341
Liste des tableaux et figures	345
Table des matières	347

A vous de jouer ! Le grand jeu des énergies marines
--

Copyright © Région Bretagne – Conseil économique et social de Bretagne
7 rue du Général Guillaudot – 35069 Rennes Cedex

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

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

Mars 2009

A vous de jouer !

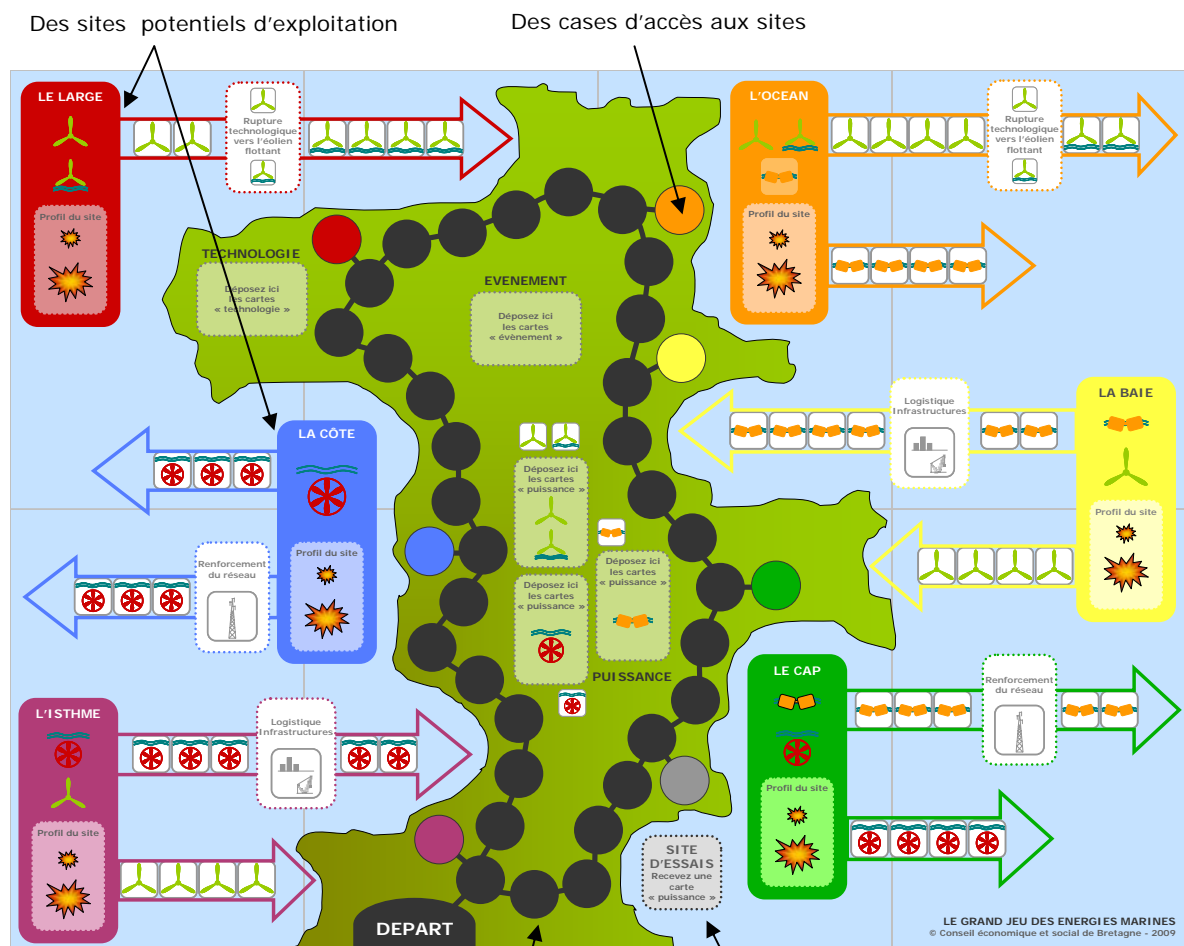
Le grand jeu
des énergies marines

C'est à vous de jouer ! Le grand jeu des énergies marines (3 à 6 joueurs) va vous emmener le long du littoral, à la recherche de sites propices pour exploiter la formidable énergie du vent, des vagues et des courants. Le but du jeu est de parvenir, ensemble, à atteindre les objectifs définis lors de la planification stratégique. L'évaluation des ressources a permis de définir des sites propices au développement des énergies marines, et de fixer les objectifs suivants :

- 1000 MW d'éolien offshore (exploitation de l'énergie du vent) ;
- 250 MW d'hydrolien (exploitation de l'énergie des courants) ;
- 250 MW d'houlomoteur (exploitation de l'énergie des vagues).

Vous aurez en main des cartes « puissance », dans la ou les technologies que vous maîtrisez, et vous devrez les déposer sur les sites propices. Mais attention ! Un certain nombre d'évènements risquent de perturber vos plans, et vous devrez collaborer avec les autres joueurs pour avancer...

Le plateau de jeu

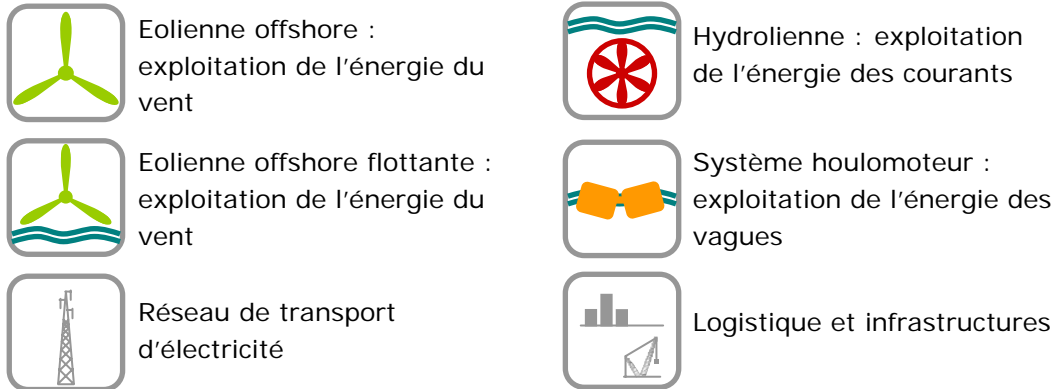


Un sentier littoral permettant de se déplacer de site en site, pouvant être emprunté dans les deux sens

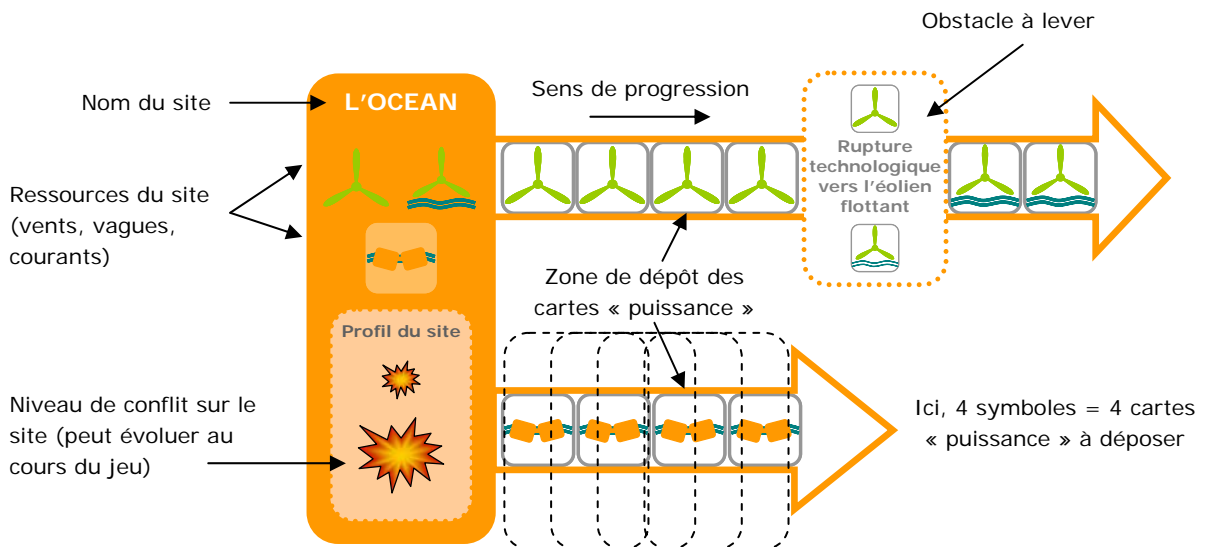
Un site d'essais en mer permettant le développement technologique

2 dés (non fournis) et six pions de couleur ●●●●●●

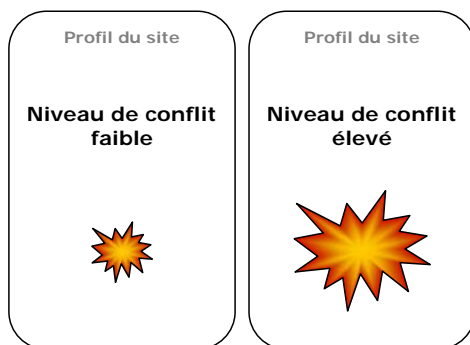
Les symboles



Les sites potentiels d'exploitation



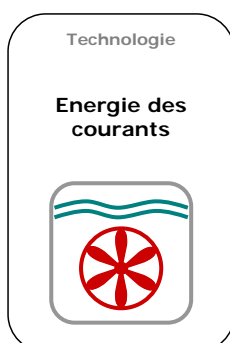
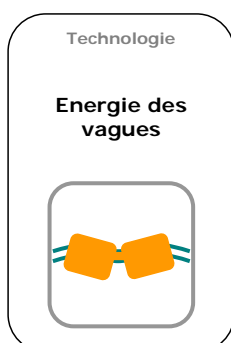
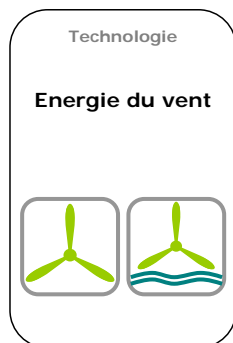
Les cartes « profil du site »



Les cartes « profil du site » déterminent le niveau de conflit sur les sites (niveau faible ou niveau élevé).

Elles sont mélangées et déposées au hasard sur les sites en début de partie.

Les cartes « profil des joueurs »



Les cartes « technologie » indiquent la spécialité des joueurs (énergie du vent, énergies des vagues, énergie des courants).

Elles sont mélangées et distribuées au hasard en début de partie.



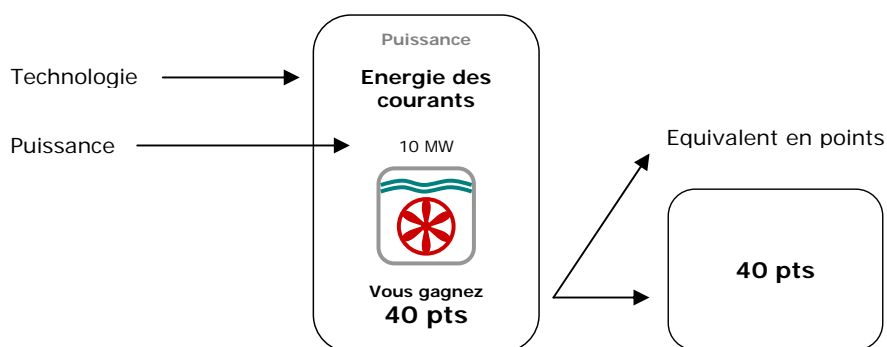
Les cartes « concertation » indiquent l'aptitude des joueurs à mener un processus de concertation (aptitude faible ou aptitude forte)

Elles sont mélangées et distribuées au hasard en début de partie.

Les cartes « puissance » et les cartes « points »

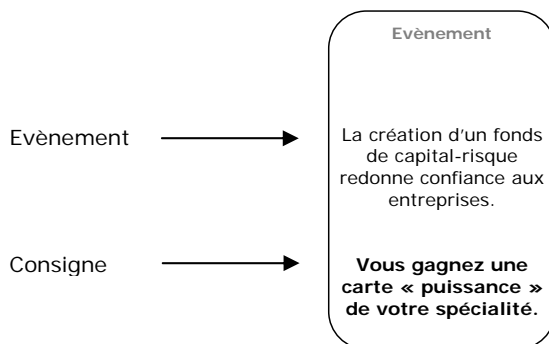
Les cartes « puissance » sont à déposer sur les sites d'exploitation, sous certaines conditions. Lorsqu'une carte « puissance » est déposée, le joueur reçoit en échange une carte « points » équivalente.

Les cartes « puissance » sont mélangées et distribuées au hasard en début de partie.



Les cartes « évènement »

Les cartes « évènement » sont piochées à chaque étape du sentier littoral (cases noires), sauf sur les cases d'accès aux sites (cases colorées). Elles sont mélangées en début de partie.



Le site d'essais en mer



Le site d'essais permet de valider en mer des concepts modélisés et testés en bassin. C'est une étape indispensable de lien entre la R&D et le déploiement industriel.

Se rendre sur le site d'essais permet de gagner une carte « puissance » de sa spécialité.

Le début de la partie

- 1) Le plateau de jeu est découpé et assemblé (8 morceaux à scotcher entre eux). Les cartes sont découpées et triées par familles. Chaque paquet de cartes ainsi formé est mélangé.
- 2) Chaque joueur choisit un pion de couleur.
- 3) Un « banquier » est désigné. Il aura en charge la gestion des cartes « profil du site », « concertation » et « points ».
- 4) Le profil des sites est défini : une carte « profil du site » est distribuée au hasard sur chaque site et déposée sur l'emplacement prévu. Elle définit le niveau de conflit sur chaque site.

Les cartes « profil du site » restantes sont déposées à la banque.

- 5) Le profil des joueurs est défini : chaque joueur pioche une carte « technologie » qui définit sa spécialité, ainsi qu'une carte « concertation » qui définit son aptitude à mener un processus de concertation. Ces deux cartes sont posées, face visible, devant chaque joueur.

Les cartes « technologie » restantes sont mélangées et disposées face retournée sur le plateau de jeu, à l'emplacement « technologie » prévu à cet effet.

Les cartes « concertation » restantes sont déposées à la banque.

- 6) Les cartes « évènement » sont mélangées et disposées face retournée sur le plateau de jeu, à l'emplacement « évènement » prévu à cet effet.
- 7) Au début de la partie, chaque joueur reçoit des cartes « puissance » au hasard, qu'il garde face cachée :
 - à 3 et 4 joueurs, chaque joueur reçoit 6 cartes ;
 - à 5 et 6 joueurs, chaque joueur reçoit 5 cartes.

Les cartes « puissance » restantes sont triées par type de technologie et disposées face retournée sur le plateau de jeu, aux trois emplacements « puissance » prévus à cet effet.

- 8) Chaque joueur doit alors évaluer les sites sur lesquels il aura le plus de chance d'installer ses cartes « puissance », en fonction de sa spécialité et de son profil.

Le but du jeu

Le but du jeu est de déposer l'ensemble de ses cartes « puissance » sur les sites propices, afin d'exploiter les énergies marines de façon optimale et d'atteindre les objectifs fixés lors de la planification stratégique. Une fois que toutes les cartes ont été déposées, le joueur qui a le plus de points gagne.

Les principes du jeu

L'installation d'une carte « puissance » sur un site ne peut se faire que sous certaines conditions :

- être sur une case d'accès au site (case colorée) ;
- posséder une carte « puissance » de sa spécialité ;
- avoir une aptitude à la concertation adaptée au niveau de conflit sur le site : si le niveau de conflit est faible, il n'y a pas d'obstacle à l'installation. Si le niveau de conflit est élevé, il est nécessaire d'avoir une aptitude à la concertation élevée ;
- l'augmentation des puissances installées sur les sites peut nécessiter, dans certains cas, de lever des obstacles comme :
 - le renforcement du réseau ;
 - le renforcement de la logistique et des infrastructures ;
 - pour les sites éoliens offshore, une rupture technologique permettant le passage à l'éolien flottant ;
- en aucun cas il ne peut être implanté sur un site plus de cartes « puissance » que la ressource disponible, exprimée par le nombre de symboles des zones d'exploitation.

L'acquisition de cartes « puissance » au cours du jeu se fait :

- soit par échange de cartes avec les autres joueurs, ou lorsque des cartes « évènement » l'indiquent ;
- soit par un passage par le site d'essais en mer, qui permet de piocher une carte « puissance » de sa spécialité.

Des cartes « puissance » peuvent être perdues si des cartes « évènement » l'indiquent. Dans ce cas, elles sont placées sous les pioches.

Au début de la partie, les joueurs reçoivent des cartes « puissance » qui ne correspondent pas à leur spécialité. Ces cartes pourront être conservées stratégiquement, ou échangées au cours du jeu.

Le déroulement du jeu

Le premier joueur lance les dés, et avance du nombre de cases indiquées, dans la direction qu'il souhaite. Pour se rendre sur une case d'accès aux sites (case colorée), le nombre indiqué par les dés peut être supérieur au nombre de cases à parcourir.

Si le joueur arrive sur une case du sentier littoral (case noire), il pioche une carte « évènement », la lit à voix haute et suit les instructions qui y figurent. Si la carte est sans effet, elle est replacée sous la pioche. Si la carte ne peut s'appliquer immédiatement, elle est conservée par le joueur en vue soit d'une utilisation ultérieure, soit d'un échange avec un autre joueur.

Si le joueur arrive sur une case d'accès aux sites (case colorée), il ne pioche pas de carte « évènement ». S'il dispose d'une carte « puissance » de sa spécialité et que les conditions d'installation sont remplies, il peut la déposer. Lorsqu'un joueur dépose une carte « puissance » sur un site, il reçoit de la banque une carte correspondant au nombre de points indiqués sur sa carte « puissance ».

Un joueur qui dispose d'une carte permettant de lever un obstacle peut décider, pour l'intérêt général, de la déposer sur un site d'exploitation. Dans ce cas, il reçoit en échange une carte « puissance » de sa spécialité.

Le joueur suivant lance les dés et progresse de la même façon.

Au tour suivant, un joueur peut décider de rester à l'endroit où il se trouve.

Les cartes « évènement »

- 1) Le niveau de conflit baisse ou augmente sur un ou plusieurs sites : le banquier doit remplacer la carte « profil du site » par la carte appropriée ;
- 2) L'aptitude du joueur à la concertation se renforce ou s'affaiblit : le banquier doit remplacer la carte « concertation » du joueur par la carte appropriée ;

- 3) Les cartes permettant de lever des obstacles liés à la capacité du réseau de transport d'électricité, à la logistique et à la disponibilité d'infrastructures, ou à la rupture technologique sont déposées sur les sites : elles permettent la poursuite de l'exploitation et sont valables pour l'ensemble des joueurs ;
- 4) Les cartes « joker » permettent de lever n'importe quel obstacle, y compris une situation de conflit ;
- 5) Des cartes « puissance » peuvent être perdues. Dans ce cas, elles sont replacées sous les pioches.
- 6) Au cours du jeu, le joueur peut être amené à changer de spécialité. Dans ce cas, il remet sa carte « technologie » sous la pioche et en tire une nouvelle.

Le joueur peut également acquérir une spécialité supplémentaire. Dans ce dernier cas, il peut installer des cartes « puissance » dans chacune de ses spécialités, tout en respectant les mêmes principes de jeu.

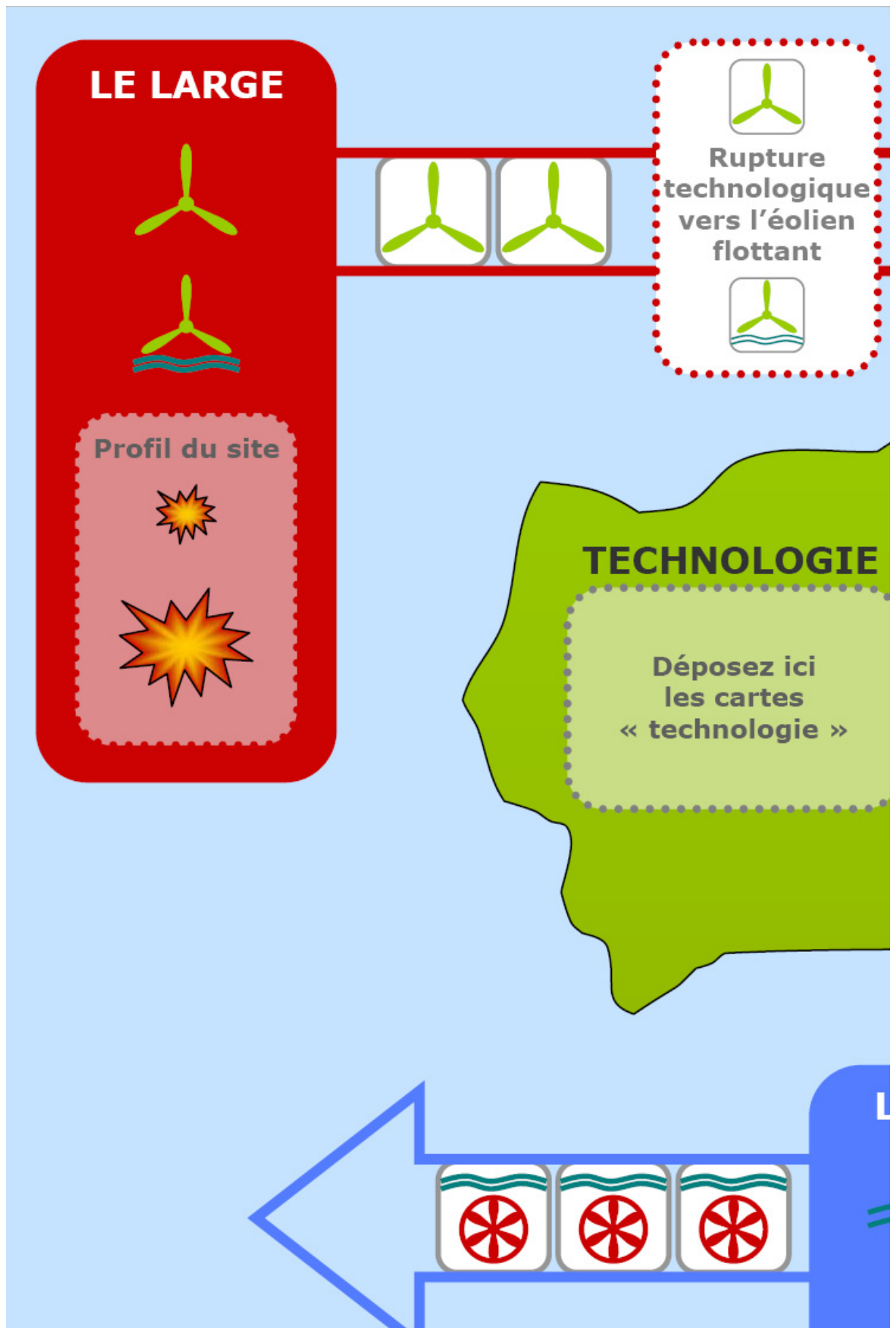
- 7) Les cartes offrant des possibilités d'échange bilatéral, collectif, ou avec la banque sont l'occasion de liquider des cartes qui ne sont pas de la spécialité du joueur, et d'en récupérer d'autres dans sa spécialité.

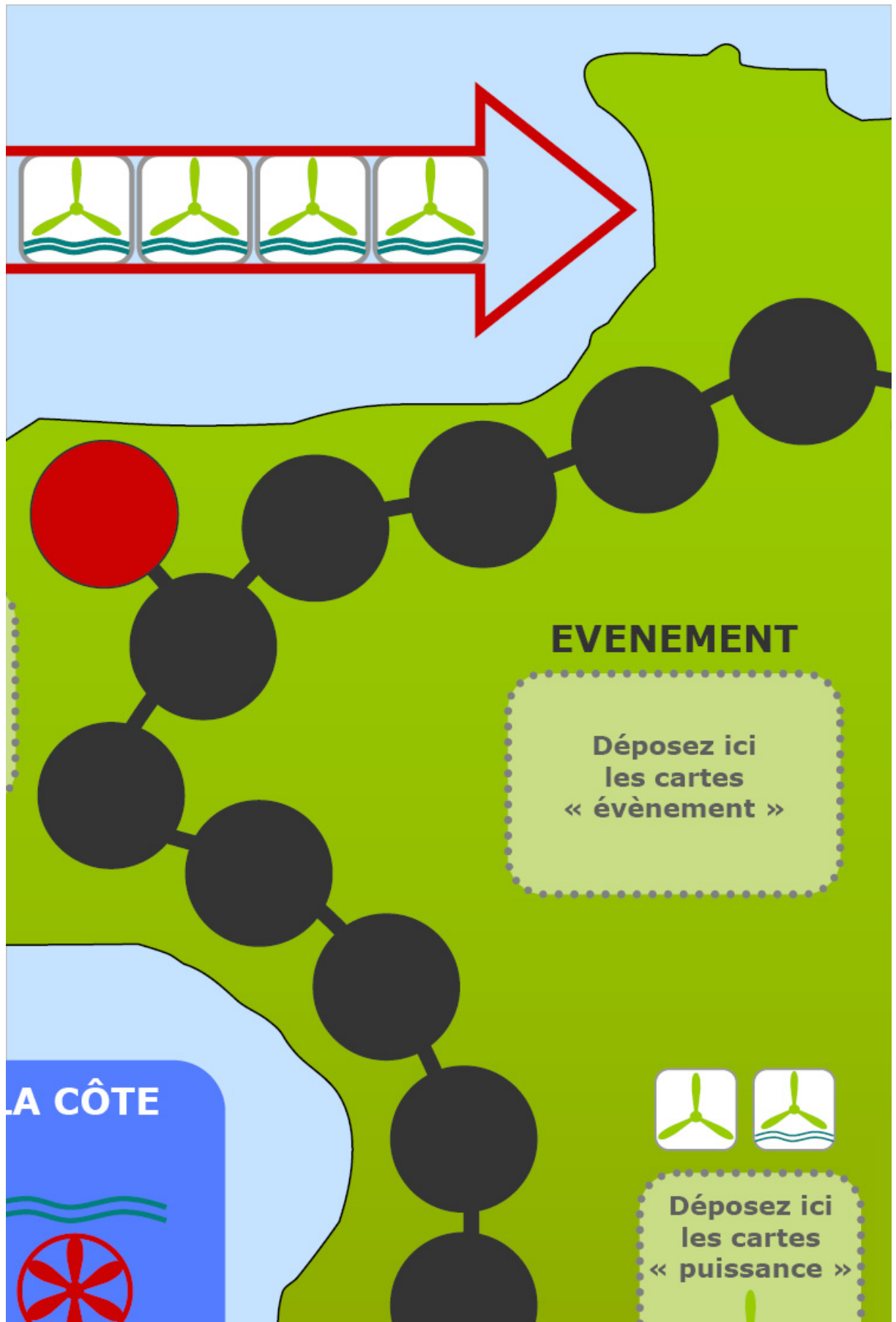
Lors d'un échange avec la banque, le joueur remet sous la pioche une de ses cartes « puissance », et en pioche une de son choix.

Les échanges entre deux ou plusieurs joueurs font l'objet de discussions et de négociations.

La fin du jeu

La fin du jeu est atteinte lorsque les sites sont exploités de façon optimale. Le joueur qui a le plus de points gagne la partie.





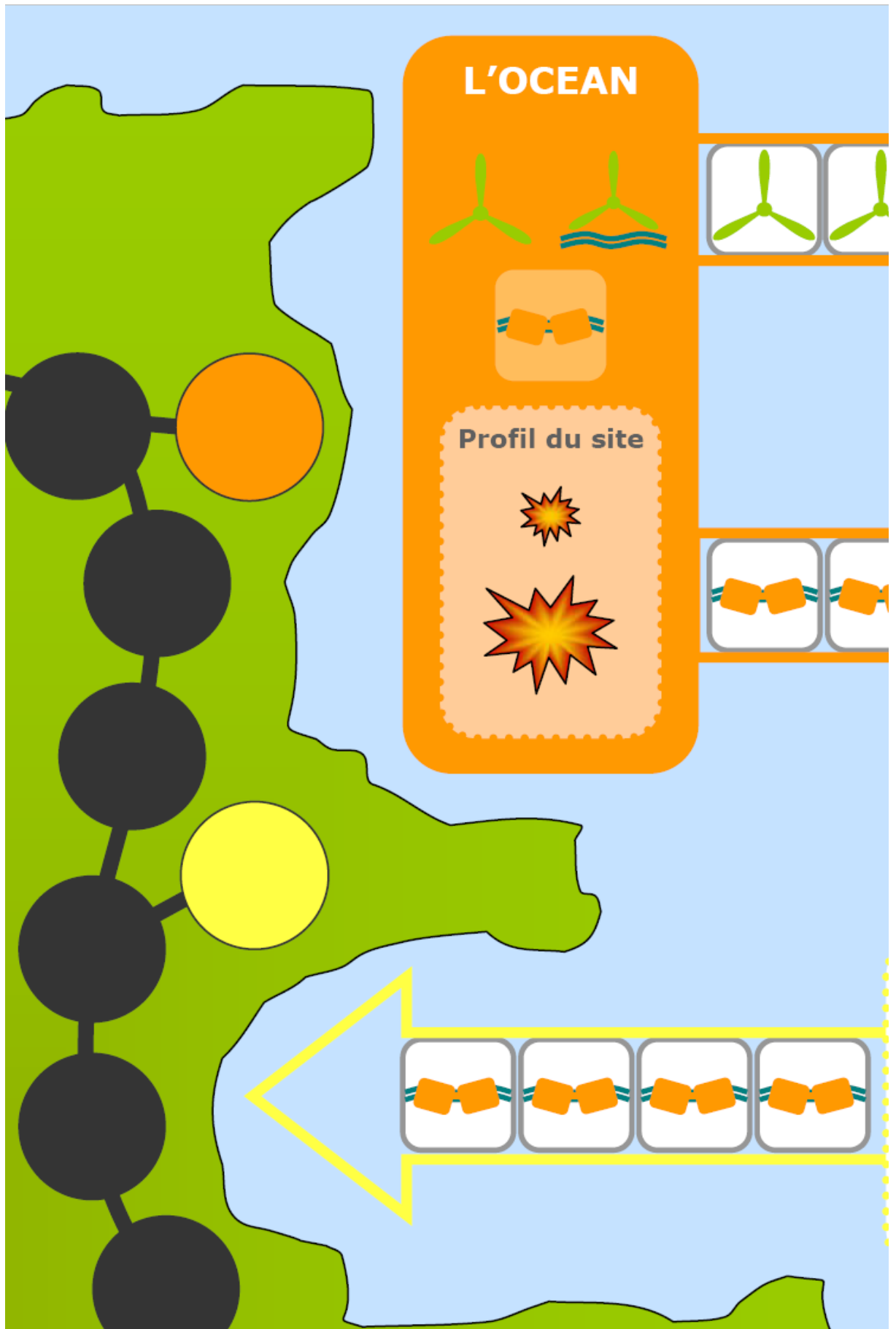
EVENEMENT

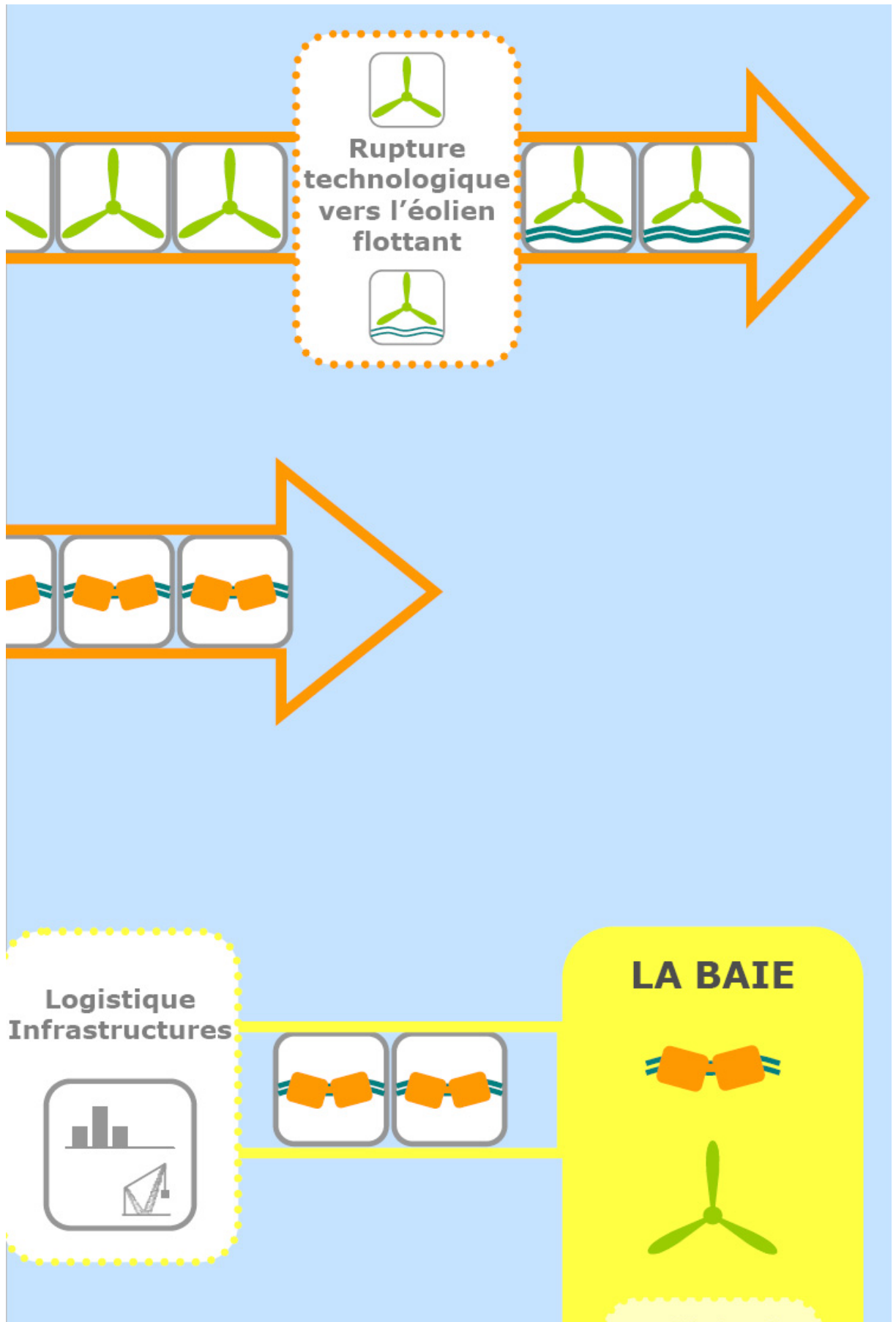
Déposez ici
les cartes
« évènement »

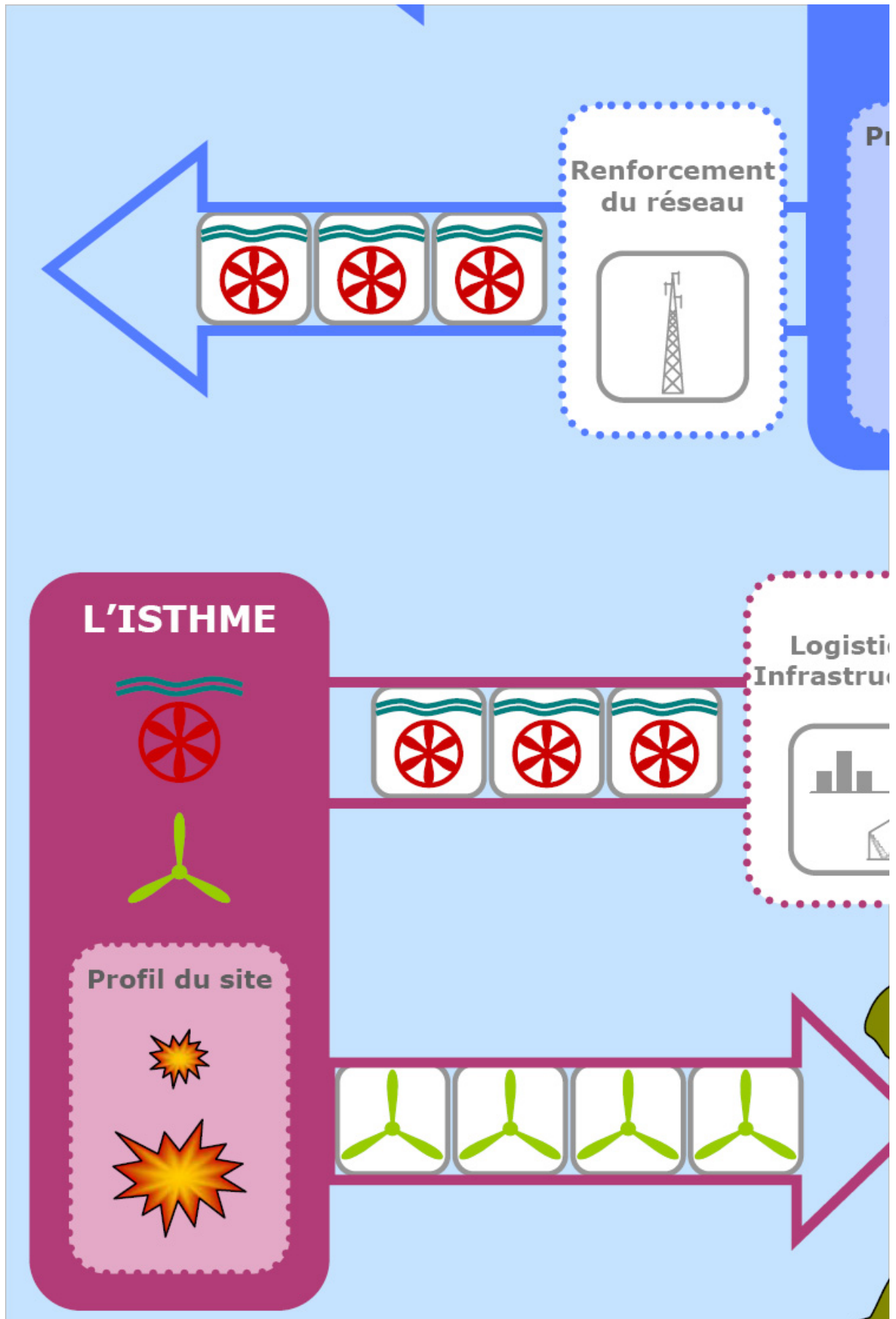
LA CÔTE

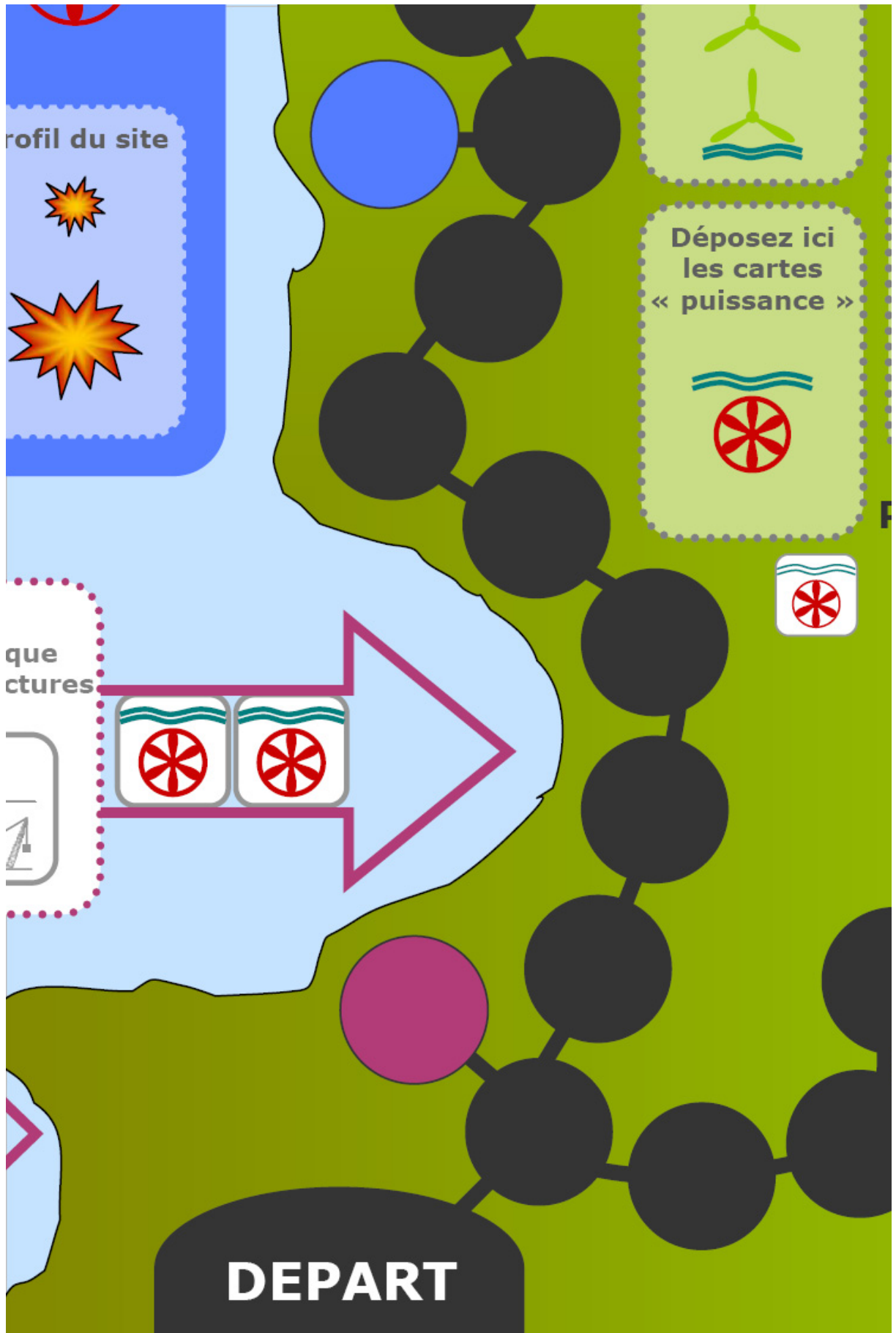


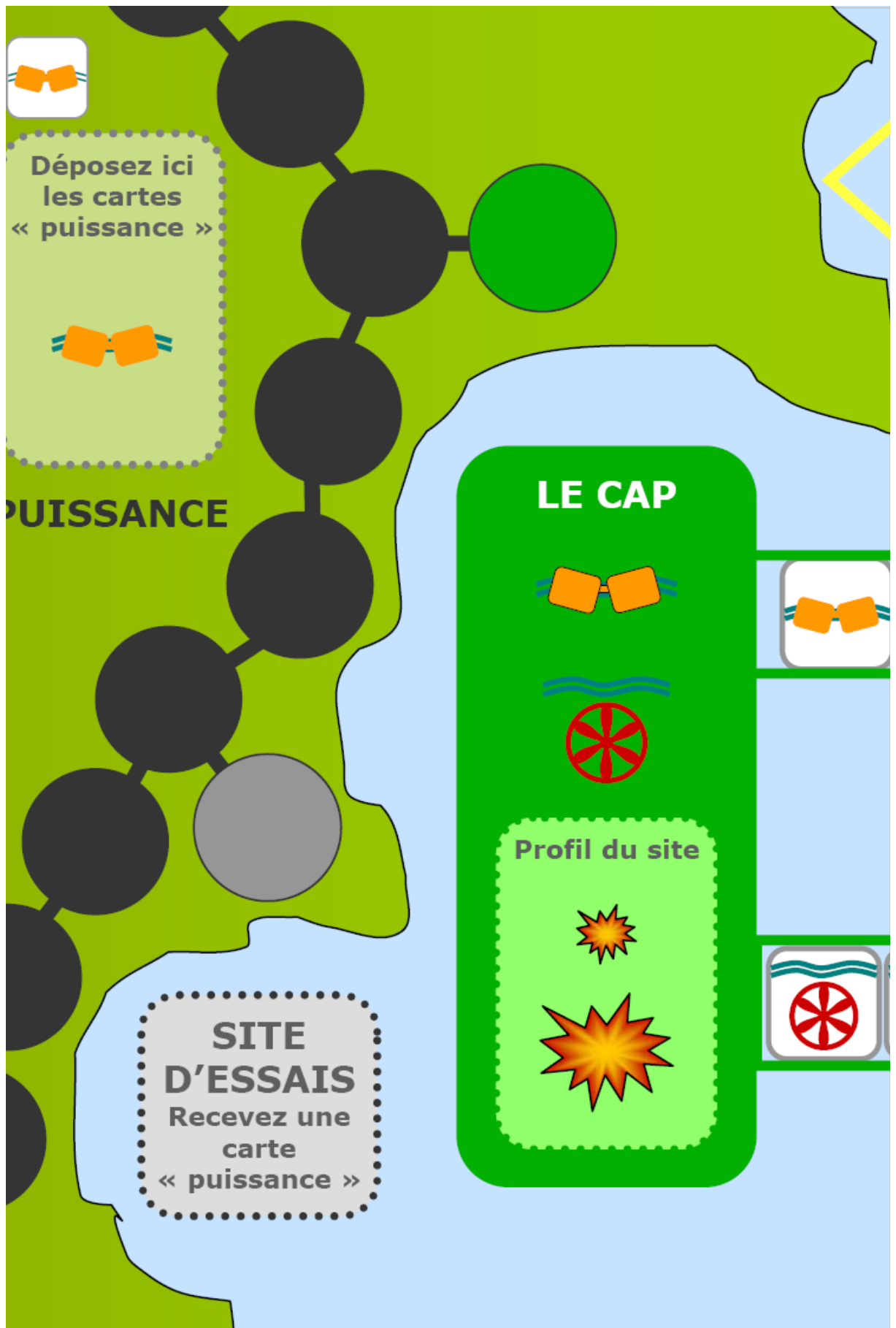
Déposez ici
les cartes
« puissance »

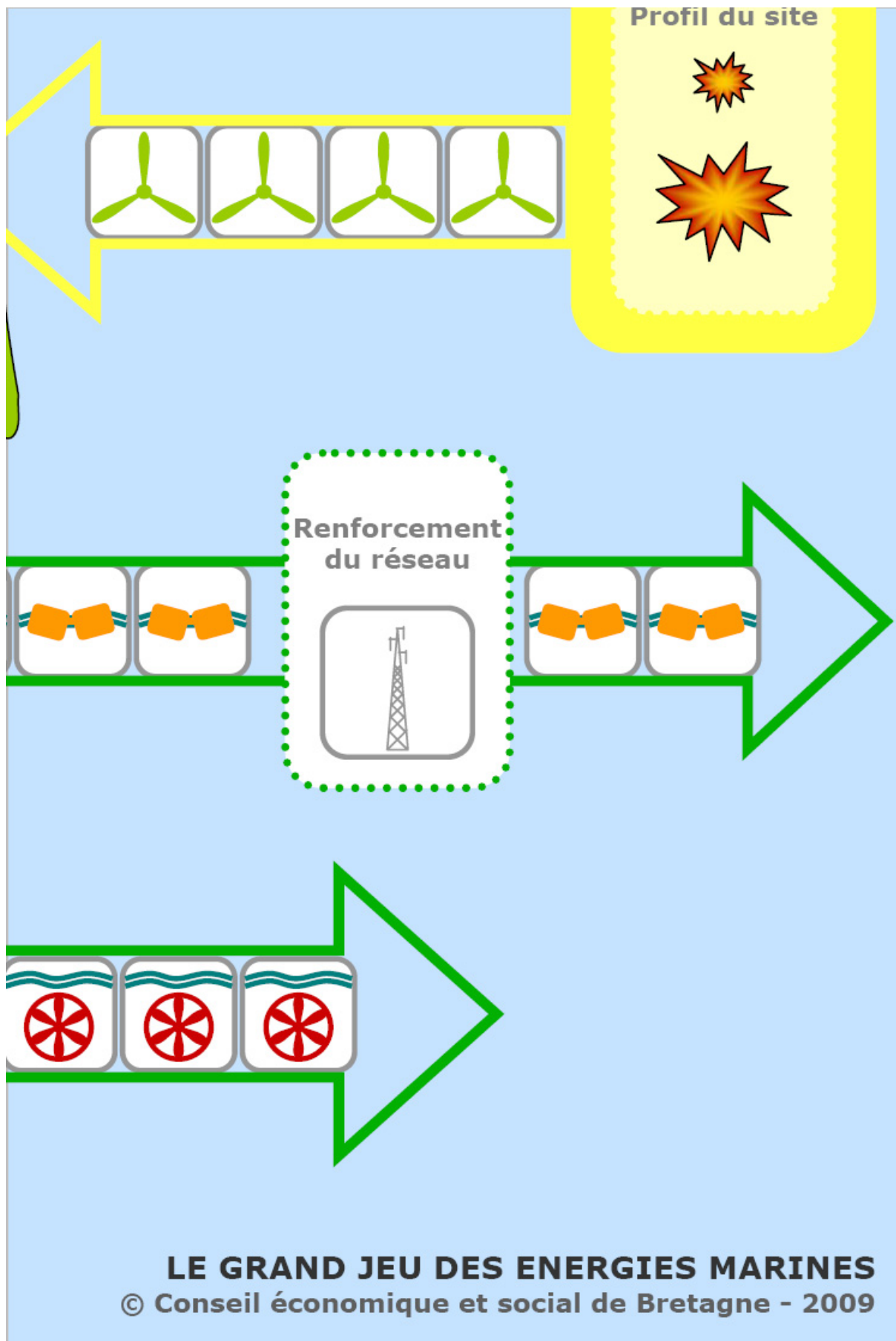




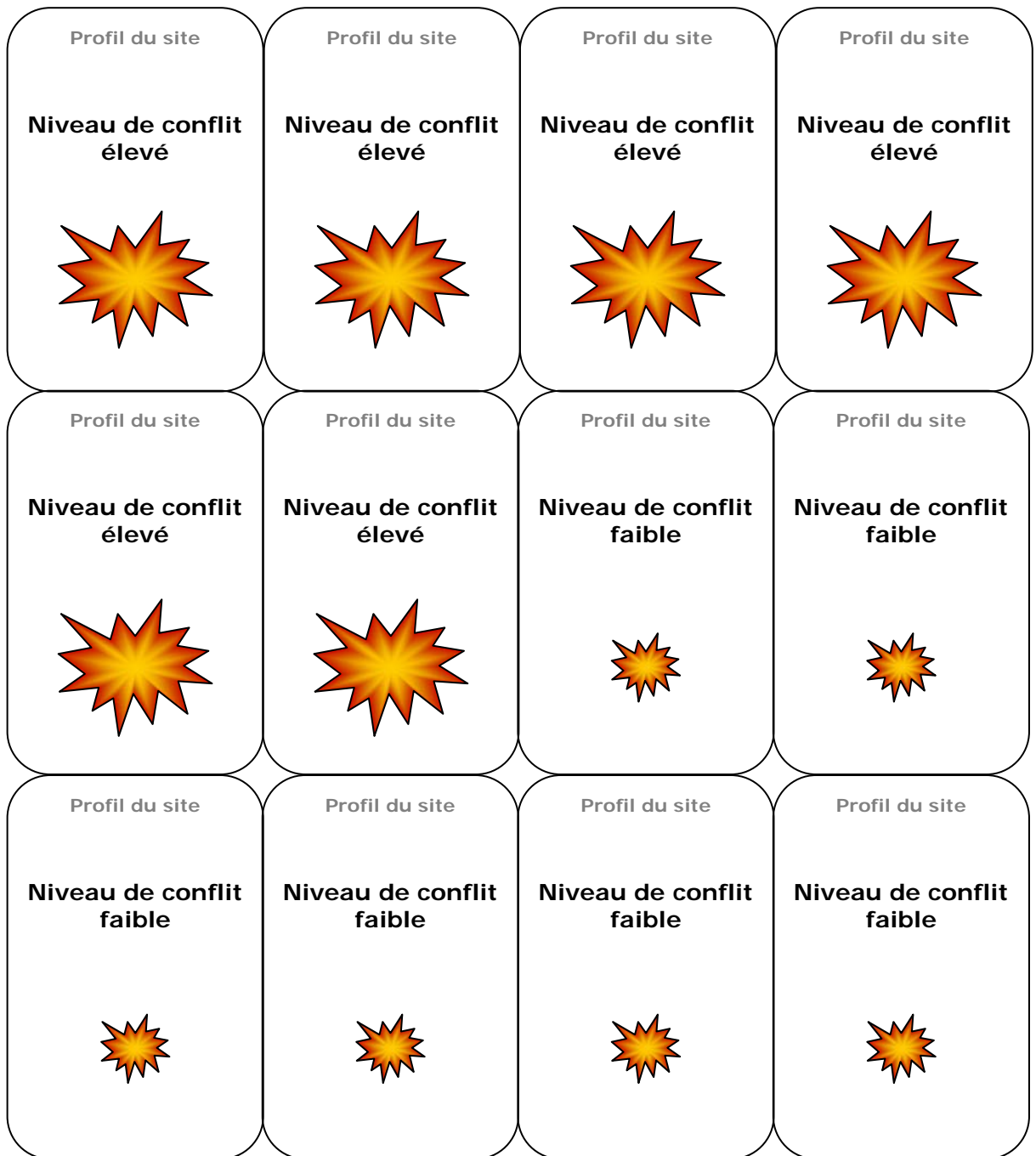




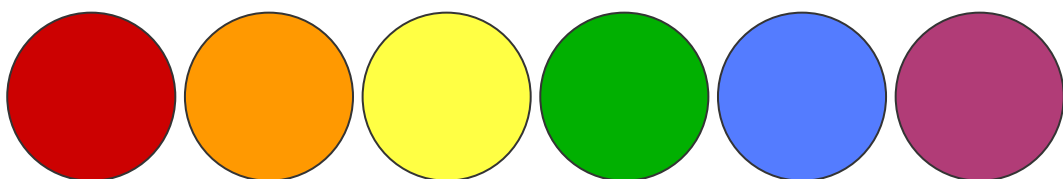












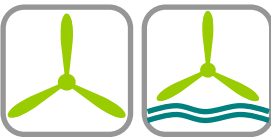







Cartes à découper



















Pions à découper



















Cartes à découper

<p>Technologie</p> <p>Energie des courants</p> 	<p>Technologie</p> <p>Energie des courants</p> 	<p>Technologie</p> <p>Energie des courants</p> 	<p>Technologie</p> <p>Energie des vagues</p> 
<p>Technologie</p> <p>Energie des vagues</p> 	<p>Technologie</p> <p>Energie des vagues</p> 	<p>Technologie</p> <p>Energie du vent</p> 	<p>Technologie</p> <p>Energie du vent</p> 
<p>Technologie</p> <p>Energie du vent</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude forte</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude forte</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude forte</p> 
<p>Concertation</p> <p>Aptitude forte</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude forte</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude forte</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude faible</p> 



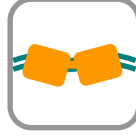



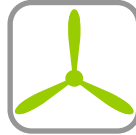





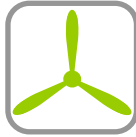

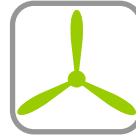

Cartes à découper

<p>Concertation</p> <p>Aptitude faible</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude faible</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude faible</p> 	<p>Concertation</p> <p>Aptitude faible</p> 
<p>Concertation</p> <p>Aptitude faible</p> 	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>








Cartes à découper

<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des courants</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 200 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>10 MW</p>  <p>Vous gagnez 40 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>

Cartes à découper

<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Energie des vagues</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 200 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien flottant</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 25 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Eolien flottant</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 25 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 25 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 25 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 25 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>25 MW</p>  <p>Vous gagnez 25 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien flottant</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien flottant</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien flottant</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>

Cartes à découper

<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>50 MW</p>  <p>Vous gagnez 50 pts</p>
<p>Puissance</p> <p>Eolien flottant</p> <p>100 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>100 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>Puissance</p> <p>Eolien</p> <p>100 MW</p>  <p>Vous gagnez 100 pts</p>	<p>25 pts</p>
<p>25 pts</p>	<p>25 pts</p>	<p>25 pts</p>	<p>25 pts</p>
<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>
<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>
<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>	<p>40 pts</p>

Cartes à découper

40 pts	40 pts	40 pts	40 pts
40 pts	40 pts	40 pts	40 pts
50 pts	50 pts	50 pts	50 pts
50 pts	50 pts	50 pts	50 pts
50 pts	50 pts	50 pts	100 pts
100 pts	100 pts	100 pts	100 pts
100 pts	100 pts	100 pts	100 pts
100 pts	100 pts	200 pts	200 pts

Cartes à découper

<p>Evènement</p> <p>Le domaine des énergies marines attire les investisseurs.</p> <p>Vous gagnez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>La création d'un fonds de capital-risque redonne confiance aux entreprises.</p> <p>Vous gagnez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>Les projets que vous avez développés vous permettent de compter parmi les acteurs fiables du marché.</p> <p>Vous gagnez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>Face aux problèmes de recrutement de personnes qualifiées, vous lancez un plan de formation.</p> <p>Vous gagnez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>
<p>Evènement</p> <p>La visibilité de votre entreprise à l'international vous ouvre de nouvelles perspectives.</p> <p>Vous gagnez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>Votre projet est reconnu comme un projet innovant et prometteur.</p> <p>Vous gagnez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>Vos efforts de R&D portent leurs fruits.</p> <p>Vous allez sur le site d'essais et vous gagnez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>Des ruptures technologiques s'annoncent.</p> <p>Vous allez au centre d'essais et vous gagnez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>
<p>Evènement</p> <p>Votre projet connaît de gros retards, ce qui entraîne des coûts imprévus.</p> <p>Vous perdez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>Faute d'une R&D suffisante, les technologies ne sont pas mûres.</p> <p>Vous perdez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>D'autres acteurs sont allés plus vite dans le développement de leur technologie.</p> <p>Vous perdez une carte « puissance » de votre spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>Le prix du baril de pétrole est au plus bas. Les énergies marines n'intéressent plus.</p> <p>Chaque joueur perd une carte « puissance » de sa spécialité.</p>
<p>Evènement</p> <p>Une polémique nationale menace la pérennité des tarifs de rachat de l'électricité.</p> <p>Chaque joueur perd une carte « puissance » de sa spécialité.</p>	<p>Evènement</p> <p>Les essais en mer de votre prototype sont concluants.</p> <p>Vous échangez avec la banque une carte « puissance » de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>Votre premier parc, sur un autre site, a atteint son niveau de rentabilité, ce qui vous permet d'investir à nouveau.</p> <p>Vous échangez avec la banque une carte « puissance » de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>Le soutien financier à la démonstration en mer vous permet de valider votre technologie.</p> <p>Vous échangez avec la banque une carte « puissance » de votre choix.</p>

Cartes à découper

<p>Evènement</p> <p>Vous avez participé à l'évaluation stratégique et vous connaissez bien les sites d'exploitation.</p> <p>Vous échangez avec la banque une carte « puissance » de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>Un groupement de recherche et d'expertise est créé afin de favoriser la diffusion des informations.</p> <p>Vous échangez avec la banque une carte « puissance » de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>Vous réfléchissez à l'optimisation technique des projets sur les sites.</p> <p>Vous échangez une carte avec un joueur de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>Vous envisagez d'optimiser techniquement vos projets en lien avec un autre joueur.</p> <p>Vous échangez une carte avec un joueur de votre choix.</p>
<p>Evènement</p> <p>Au cours d'une démarche collective, la confrontation des points de vue fait émerger l'intérêt général, et les défenseurs d'intérêts particuliers se retrouvent isolés.</p> <p>Tous les joueurs échangent une carte.</p>	<p>Evènement</p> <p>Un groupe d'acteurs se met en place au niveau national, vous y participez activement.</p> <p>Tous les joueurs échangent une carte.</p>	<p>Evènement</p> <p>Une démarche collective vise à définir des objectifs partagés.</p> <p>Tous les joueurs échangent une carte.</p>	<p>Evènement</p> <p>Une planification stratégique est engagée.</p> <p>Tous les joueurs échangent une carte.</p>
<p>Evènement</p> <p>Le coût des matières premières rend votre technologie trop coûteuse.</p> <p>Vous changez de carte « technologie ».</p>	<p>Evènement</p> <p>Les essais en mer de votre prototype ne sont pas concluants.</p> <p>Vous changez de carte « technologie ».</p>	<p>Evènement</p> <p>Votre technologie devient obsolète au regard des progrès réalisés.</p> <p>Vous changez de carte « technologie ».</p>	<p>Evènement</p> <p>Votre technologie a trop d'impacts sur le milieu et les usages.</p> <p>Vous allez au centre d'essais et vous changez de carte « technologie ».</p>
<p>Evènement</p> <p>Les technologies ont beaucoup évolué, et vous décidez d'investir dans de nouveaux concepts.</p> <p>Vous piochez une nouvelle carte « technologie »</p>	<p>Evènement</p> <p>Vos efforts de diversification vers un domaine nouveau portent leurs fruits.</p> <p>Vous allez au centre d'essais et vous piochez une nouvelle carte « technologie ».</p>	<p>Evènement</p> <p>Lors d'un projet précédent, vous avez développé d'importants efforts de concertation, et vous avez acquis un savoir-faire.</p> <p>Vous avez une aptitude forte à la concertation.</p>	<p>Evènement</p> <p>Vous rencontrez régulièrement les usagers et les habitants pour expliquer vos projets.</p> <p>Vous avez une aptitude forte à la concertation.</p>

Cartes à découper

<p>Evènement</p> <p>Vous vous faites accompagner par un spécialiste de l'animation de la concertation.</p> <p>Vous avez une aptitude forte à la concertation.</p>	<p>Evènement</p> <p>Vous optimisez votre projet en lien avec les objectifs de la planification stratégique.</p> <p>Vous avez une aptitude forte à la concertation.</p>	<p>Evènement</p> <p>Vous avez sous-estimé l'importance de l'acceptabilité sociale des projets.</p> <p>Vous perdez votre aptitude à la concertation.</p>	<p>Evènement</p> <p>Faute d'informations, l'inquiétude des usagers et des habitants grandit.</p> <p>Vous perdez votre aptitude à la concertation.</p>
<p>Evènement</p> <p>Vous n'avez proposé qu'une seule variante de votre projet, et cela a été mal perçu.</p> <p>Vous perdez votre aptitude à la concertation.</p>	<p>Evènement</p> <p>Vous ne tenez pas vos engagements en termes de création d'emplois. Vous perdez de la crédibilité.</p> <p>Vous perdez votre aptitude à la concertation.</p>	<p>Evènement</p> <p>L'excès de confiance dans la conduite de votre projet est mal perçu.</p> <p>Vous perdez votre aptitude à la concertation.</p>	<p>Evènement</p> <p>Le manque de lisibilité inquiète les usagers et les habitants.</p> <p>Le niveau de conflit augmente sur tous les sites.</p>
<p>Evènement</p> <p>Un projet provoque d'importants conflits avec les usagers.</p> <p>Le niveau de conflit augmente sur un site de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>L'exploitation des énergies marines ne crée pas les emplois escomptés.</p> <p>Le niveau de conflit augmente sur un site de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>Un acteur public décide d'initier une démarche collective de planification stratégique.</p> <p>Le niveau de conflit diminue sur tous les sites.</p>	<p>Evènement</p> <p>Des efforts sur les économies d'énergie font prendre conscience des enjeux énergétiques.</p> <p>Le niveau de conflit diminue sur un site de votre choix.</p>
<p>Evènement</p> <p>Des actions fortes sont engagées en matière d'éducation aux énergies marines.</p> <p>Le niveau de conflit diminue sur un site de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>Le développement économique et la création d'emplois améliorent l'acceptabilité sociale.</p> <p>Le niveau de conflit diminue sur un site de votre choix.</p>	<p>Evènement</p> <p>Vous avez sous-estimé la dimension logistique et les infrastructures nécessaires à votre projet.</p> <p>Vous passez un tour.</p>	<p>Evènement</p> <p>Faute d'un cadre réglementaire approprié, l'instruction administrative de votre projet est longue.</p> <p>Vous passez un tour.</p>

Cartes à découper

<p>Evènement</p> <p>Une crise financière frappe le monde économique et touche votre principal financeur.</p> <p>Vous passez un tour.</p>	<p>Evènement</p> <p>Les activités de service se développent, ce qui apporte de nouveaux moyens logistiques.</p> <p>Vous levez l'obstacle « Logistique - Infrastructures »</p>	<p>Evènement</p> <p>De grands aménagements portuaires ont été réalisés afin d'accueillir cette nouvelle activité.</p> <p>Vous levez l'obstacle « Logistique – Infrastructures »</p>	<p>Evènement</p> <p>D'importants efforts de R&D ont été faits sur le stockage.</p> <p>Vous pouvez poursuivre l'exploitation là où la capacité du réseau posait problème.</p>
<p>Evènement</p> <p>En vue de l'accueil de productions décentralisées, le réseau est renforcé.</p> <p>Vous pouvez poursuivre l'exploitation là où la capacité du réseau posait problème.</p>	<p>Evènement</p> <p>Les énergies marines sont un axe de recherche affirmé, ce qui permet le développement rapide de nouveaux concepts.</p> <p>Vous levez l'obstacle « Rupture technologique ».</p>	<p>Evènement</p> <p>La R&D bénéficie d'un soutien financier affirmé, ce qui permet le développement de nouveaux concepts.</p> <p>Vous levez l'obstacle « Rupture technologique ».</p>	<p>Evènement</p> <p>JOKER !</p> <p>Vous levez n'importe quel obstacle.</p>
<p>Evènement</p> <p>JOKER !</p> <p>Vous levez n'importe quel obstacle.</p>			

