



MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE
ET DES FINANCES

MINISTÈRE
DU COMMERCE
ET EXTÉRIEUR

MINISTÈRE
DU REDRESSEMENT
PRODUCTIF

MINISTÈRE
DE L'ARTISANAT,
DU COMMERCE ET DU TOURISME



**CONCOURS EXTERNE ET INTERNE
POUR LE RECRUTEMENT
DE TECHNICIENS SUPERIEURS PRINCIPAUX
DE L'ECONOMIE ET DE L'INDUSTRIE**

SESSION 2013



EPREUVE ECRITE D'ADMISSIBILITE DU 20 NOVEMBRE 2013



NOTE DE SYNTHÈSE



(Durée : 4 heures - Coefficient : 4)

L'usage de calculatrices, de règles à calcul, de tables de logarithmes et de tout document autre que ceux distribués par les surveillants est strictement interdit.

REMARQUES IMPORTANTES :

- les copies doivent être rigoureusement anonymes et ne comporter aucun signe distinctif ni signature, même fictive, sous peine de nullité.
- le candidat s'assurera, à l'aide de la pagination, qu'il détient un sujet complet.

TOUTE NOTE INFÉRIEURE À 6 SUR 20 EST ÉLIMINATOIRE

Sujet : Les énergies marines renouvelables - EMR

Le conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies, et le conseil général de l'environnement et du développement durable ont remis en mars 2013 aux ministres du redressement productif, de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, et au ministre délégué auprès de la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, chargé des transports, de la mer et de la pêche, un rapport sur les énergies marines renouvelables.

Il vous est demandé d'élaborer une note de synthèse, **de trois pages maximum**, à partir du document ci-joint.

Dans la correction des copies, il sera tenu compte :

- *du respect des **trois pages maximum**,*
- *de l'esprit de synthèse du candidat,*
- *de la rigueur du plan,*
- *de la qualité de l'expression écrite : clarté du style, richesse et précision du vocabulaire,*
- *du respect des règles de français : grammaire, orthographe, ponctuation.*

Document joint :

Extraits du rapport de la mission d'étude sur les énergies marines renouvelables

22 pages



Ministère de l'écologie,
du développement durable
et de l'énergie

Conseil général de l'environnement
et du développement durable

N° 2013 / 00683-01 / CGEDD

Ministère de l'économie et des finances
Ministère du redressement productif

Conseil général de l'économie, de
l'industrie, de l'énergie et des technologies

N°2013 / 31 / CGEJET / SG

Rapport

de la mission d'étude sur

les énergies marines renouvelables

à

Monsieur le ministre du redressement productif

Madame la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

Monsieur le ministre délégué auprès de la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, chargé des transports, de la mer et de la pêche

Henri
BOYE
CGEDD

Emmanuel
CAQUOT
CGEJET

Pascal
CLEMENT
CGEJET

Loïc
de LA COCHETIERE
CGEJET

Jean-Michel
NATAF
CGEDD

Philippe
SERGENT
CETMEF

Mars 2013

1. LES TECHNOLOGIES MARINES : QUELQUES DEFINITIONS

Ce chapitre présente les diverses techniques existantes ou envisagées, dans les énergies marines qui font l'objet d'une lettre de mission, avec une courte présentation de chaque filière, et des schémas explicatifs. [...] On observe que si les ressources théoriques au niveau mondial paraissent illimitées et les ressources nationales considérables, en fait la ressource exploitable est plus réduite, de l'ordre de quelques TWh à l'horizon 2020.

Les différentes technologies marines de production d'énergie (éoliennes, hydroliennes, houlomotrices, énergie thermique des mers, osmotique,...) sont prometteuses mais ne sont pas encore toutes arrivées à égale maturité. On distingue les principaux types d'énergies marines suivantes. Tout d'abord les énergies marines renouvelables « proprement dites », c'est-à-dire les énergies dont le vecteur est l'eau des océans, sont au nombre de six :

a) L'Energie marémotrice

Elle résulte de l'exploitation de l'énergie potentielle de la marée en utilisant les différences de niveau entre haute et basse mer. On la capte en utilisant les variations du niveau de la mer, en remplissant, puis en vidant des réservoirs par l'intermédiaire de turbines ; le phénomène de marée est dû à l'action gravitationnelle combinée de la lune et du soleil et des frottements sur le fond des océans. Les variations périodiques de niveau de la mer sous l'effet de la marée sont donc particulièrement prédictibles.

b) L'Energie hydrolienne (ou hydrocinétique)

Elle utilise l'énergie cinétique des courants marins issus des marées qui vont actionner des turbines hydroliennes, généralement sous marines ; il y a aussi des hydroliennes avec une partie flottante. Cette énergie fluctue à l'échelle journalière et bimensuelle sauf pour les courants océaniques.

c) L'Eolien offshore « flottant »

Il produit de l'énergie au moyen de turbines solidaires d'un support flottant à la surface de l'océan. Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, puis grâce à un aérogénérateur en énergie électrique.

d) L'Energie des vagues et de la houle, ou houlomotrice

Elle est l'énergie mécanique des vagues et de la houle formée par l'effet du vent soufflant sur la surface de l'océan ; ce dispositif renferme un système de poids qui va osciller avec le phénomène de houle, remplissant puis vidant alternativement des pompes hydrauliques, ce qui a pour effet final de charger des accumulateurs à haute pression et d'entraîner des générateurs d'électricité. Cette filière est fortement marquée par les effets saisonniers.

e) L'Énergie thermique des mers – ETM (ou énergie maréthermique)

Elle résulte de l'échange thermique entre la chaleur transmise par le soleil aux eaux de surface des océans (principalement dans les zones tropicales) et les eaux froides des profondeurs ; elle exploite la différence de température entre les eaux superficielles des océans, et les eaux profondes, beaucoup plus froides : les usines se composent d'un ensemble évaporateur-turbine-condenseur et de conduites et de pompes d'alimentation pour récupérer et acheminer les eaux froides des profondeurs et les eaux chaudes de la surface.

Les **SWAC** utilisant l'eau froide profonde de la mer pour le conditionnement d'air en zone climatique chaude, ont aussi un grand potentiel et permettent l'effacement de consommation d'électricité par substitution. Ces deux dernières technologies pourraient être couplées, avec un SWAC en aval de la restitution d'un ETM pour utiliser l'écart de température de l'eau restituée avec celle de la mer qui restera valorisable.

*La CENF, Climatisation à l'eau naturellement froide, (en anglais Sea-water air conditioning **SWAC**) est une forme de climatisation de l'air qui utilise une source renouvelable d'eau froide située à proximité.*

Cette source d'eau froide peut provenir :

- *Du fond des océans : le mouvement convectif des fonds océaniques entretient une couche froide située de 800 à 1000 m de profondeur (exemple : Hôtel Intercontinental Bora-Bora)*
- *Du fond des lacs en région tempérée : l'eau froide étant plus dense que l'eau chaude se stocke naturellement au fond des lacs (40 à 50 m de profondeur)*
- *De courants froids de surface (exemple : climatisation du centre-ville de Stockholm)*
- *Du réseau d'aqueduc public de la ville de Montréal*

▪ L'Énergie Osmotique

Elle vient du potentiel physico-chimique produit par la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce. Lorsque deux masses d'eau de concentration en sel différentes sont en contact, les molécules d'eau douce ont naturellement tendance à passer du compartiment le moins condensé, vers le plus condensé, pour rétablir l'équilibre de concentration. C'est le phénomène de la pression osmotique. Le principe est simple et connu, et requiert des membranes élaborées, utilisables à grande échelle dans les estuaires.

D'autres énergies, non pas issues de la force de la mer, mais disponibles « en mer », doivent être également mentionnées :

- **La biomasse marine** (culture et/ou exploitation des macro et des micro-algues) ;
- **L'éolien offshore « posé »**, c'est-à-dire fixe par rapport au fond de l'océan ;
- Nous ne les traiterons pas dans le cadre du présent rapport.

Ces diverses filières n'en sont pas au même point de leur développement technologique :

L'éolien offshore posé est dès à présent au stade commercial ;

L'éolien offshore flottant et **l'hydrolien** suivront à court ou moyen terme ;

Enfin le houlomoteur et le thermique seront opérationnels à moyen ou long terme.

La mission estime que le stade commercial est atteignable en 2020 pour **l'hydrolien** ainsi que pour **l'éolien flottant**.

L'hydrolien, prévisible et de gisement limité et localisé, est mûr et est un acteur qui présente une forte compétition entre acteurs, les Britanniques étant, du point de vue du déploiement des fermes pilotes, en avance de quelques années (mais possiblement avec un goulot d'étranglement au niveau de l'interconnexion électrique) et partageant avec la France un gisement rare et exceptionnel ;

L'éolien flottant est moins avancé avec seulement deux prototypes en vraie grandeur fonctionnels en mer, mais avec un fort potentiel à l'export, et une situation dans laquelle la France n'est pas en retard.

Quant aux filières jugées les moins mûres :

Le SWAC progresse ; il possède un important marché dans les zones tropicales mais également en métropole lorsque la climatisation est très utilisée ;

L'ETM est coûteux mais progresse avec un important marché de niche insulaire ;

Le houlomoteur, de gisement diffus considérable, en est au stade d'un foisonnement de technologies encore peu éprouvées (140 technologies et, en France, au moins six en compétition sérieuse) ;

L'osmotique est encore immature, coûteux et environnementalement problématique ;

Quant au marémoteur, il est mûr technologiquement depuis longtemps mais pose des problèmes d'acceptabilité environnementale et sociétale puisqu'il s'agit de barrer des estuaires, et les projets devront être bien acceptés. Une variante intéressante consiste à réaliser des bassins multiples adossés à la côte qui évitent de barrer les estuaires.

Ces sources d'énergie, au caractère « marin » ou « disponible en mer », sont cousines et ont en commun les mêmes types de problématique. Toutes doivent gérer des questions de robustesse en mer, de logistique, d'exploitation et maintenance, de sécurité des personnels et installations, de conflit d'usages, de production, d'acheminement optimum de l'énergie et de problèmes administratifs complexes. Enfin, toutes doivent satisfaire des critères techniques et économiques précis pour être accueillies par le système électrique. Ces critères changent selon le modèle économique : les EMR sont naturellement plus rentables en Outre-Mer, par exemple, compte tenu des prix élevés d'électricité dans ces territoires du fait d'une production principalement issue de centrales thermiques au fioul.

Les EMR sont pour la plupart intermittentes (à l'exception de l'ETM). Cependant, avec des durées annuelles de fonctionnement en équivalent pleine puissance comprises entre 3 000 et 7 000 heures, voire 8 000 heures (une année compte 8 760 heures), les énergies marines pourront occuper une place de choix dans le mix énergétique, aux côtés d'autres énergies renouvelables, pour lisser la variabilité des productions. Toutes sont prévisibles avec précision, certaines à long terme (marées, courants et énergie thermique des mers...), d'autres à plus court terme (houlomoteur, éolien...).

Les technologies présentées ci-dessous ne sont pas encore éprouvées et peuvent présenter des défis technologiques et pratiques encore à résoudre

La DGCIS, Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (dans son exercice « technologies-clés 2015 » publié en 2011), et l'ANCRE, Alliance nationale de coordination de la recherche sur l'énergie (FEM / programme R&D 2012), ont donné une liste, confirmée lors des auditions menées par la mission, des enjeux techniques et des défis technologiques classés en groupes fonctionnels :

N°1 : les tests de démonstrateurs en mer : la question des tests de démonstrateurs en mer et des fermes pilotes est primordiale pour établir la viabilité en milieu marin, la facilité et les coûts de maintenance, le taux de disponibilité, et asseoir les coûts sur des bases solides, à même de sécuriser les investisseurs.

N°2 : Les raccordements des câbles de transport de l'électricité / parc des machines : la question du raccordement a des impacts sur les coûts et aussi sur les délais, pour des raisons diverses : files d'attente, contraintes réglementaires, sites d'atterrage protégés, demande mondiale de câble saturant l'offre, etc. Certaines solutions, technologiques ne sont pas encore qualifiées, qui pourraient réduire les coûts de manière significative (400kV tripolaire alternatif). Et l'absence de schéma directeur des plans de raccordement prévus rend difficile l'optimisation, entre insuffisance à terme ou risque de coûts échoués.

N°3 : Hydrolien, structures d'ancrage & installation : les structures d'ancrage pour l'hydrolien sont à valider, puisque l'on installe les hydroliennes en zones de courants forts. Cela pose la question du choix de sites pilotes : faut-il aller directement là où le potentiel est le meilleur mais où les difficultés technologiques sont les plus grandes ? Le consensus semble être positif sur ce point, avec une acceptation des risques associés.⁸

N°4 : Éolien flottant, conception & optimisation du couple flotteur / aérogénérateur : l'optimisation du couple flotteur-aérogénérateur pour l'éolien flottant a plusieurs solutions, certaines visant de manière sécurisée à transférer une éolienne terrestre marinisée et à la faire flotter, d'autres cherchant à optimiser le système total de façon très innovante, sans nécessairement réutiliser des briques existantes peu adaptées, avec les risques associés.

N°5 : Énergie Thermique des Mers (ETM), conduite d'eau froide : pour l'ETM, les principaux sujets sont la conduite d'eau froide (la technologie existant dans l'industrie pétrolière mais à des coûts très élevés) et l'ancrage.

N°6 : Houlomoteur, méthodologie d'identification d'une classe de technologies performantes : le houlomoteur est effectivement le lieu d'un foisonnement d'idées et de concepts, qui demandent à être filtrés selon les critères techniques, économiques, industriels et environnementaux. Les principaux sujets techniques sont la nécessité d'abord d'exploiter une plus grande partie de l'énergie incidente des vagues (forces de pilonnement/de cavement), ensuite d'employer des matériaux souples, légers et résistants, plus adaptés, enfin d'utiliser des chaînes de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique plus directes.

⁸ il faut cependant veiller à ce que la hâte à tester les sites les plus difficiles (cas du raz Blanchard) ne soit pas une façon de préempter un site prometteur sans capacité réelle de l'exploiter.

Les **enjeux technologiques** associés sont les suivants :

- *fabrication et assemblage de structures marines de grande envergure et application de matériaux alternatifs (béton, composite)*
- *conception électrique : ancrages et câbles électriques, systèmes de connexion électrique en milieu marin, connexions tournantes*
- *installations en milieu marin : mise à l'eau simplifiée de structures de plusieurs centaines de tonnes, méthode de remorquage et de mise à poste, installation et assemblage des ensembles en milieu marin*
- *ancrage adapté au sol : de types classique (navire navire, dispositifs avec flotteurs), gravitaire, pieux enfoncés dans le sol*
- *contrôle commande des machines ou des parcs de machines : pour optimiser la production d'énergie et limiter les efforts mécaniques*
- *convertisseurs d'énergie : dimensionnement du stockage de l'énergie, comportement des machines et composants en mer, fatigue*
- *raccordement électrique : comportement dynamique du câble, diminution des pertes électriques, optimisation*
- *exploitation et maintenance : moyens d'accès en toute sécurité, survie en conditions extrêmes*
- *démantèlement afin de restituer le site, après exploitation, dans un état le plus proche possible des conditions initiales.*

Ceci dans un contexte :

- de concurrence souvent franco-française (y compris à terme à l'international),
- de redondance des études, redondance coûteuse et consommatrice de temps,
- de portage de risques potentiellement excessifs pour certains développeurs,
- de nécessité de parvenir à un partage de risques équilibré entre acteurs publics et industriels.

Sans préjuger des développements qui suivent dans ce rapport, il apparaît nécessaire de mutualiser un certain nombre des efforts nécessaires. La mise en place d'appels à manifestation d'intérêt (AMI) pour le développement de « briques technologiques » et de démonstrateurs afin de faire sauter les verrous techniques précités, participe de ce processus souhaitable.

Recommandations

- **Assurer une veille active sur les concepts innovants : hydroliennes flottantes et plateformes hybrides associant plusieurs technologies**
- **Veiller à une bonne mutualisation des études (notamment de gisements), des systèmes de raccordements, de pose, de surveillance, d'exploitation et de maintenance**

2. LES PRINCIPAUX ENJEUX INDUSTRIELS ET ECONOMIQUES

Comme pour toutes technologies émergentes, les EMR suscitent toute une série d'hypothèses et de spéculations sur les impacts économiques et industriels qu'elles peuvent générer. La première question est de savoir à quel coût global l'électricité sera produite une fois la maturité atteinte, et si elles seront alors compétitives par rapport aux autres énergies décarbonées. Suite aux déboires du photovoltaïque pour lequel un soutien public a contribué fortement au déficit de la balance commerciale, on n'envisage plus maintenant de soutien à une filière sans avoir examiné le retour industriel en termes d'emplois sur le territoire national. Ainsi le soutien public à une technologie est d'autant plus conforté que, outre les emplois créés pour l'installation et la maintenance, il participe à la constitution d'une vraie filière de production nationale.

Les EMR font partie des technologies porteuses de fortes espérances, du fait de la compétence française en matière de construction navale, et de la proximité de « gisements » (la compétence *off-shore* pétrolière française existe, même si elle concerne essentiellement des champs étrangers, et des activités nombreuses de R&D traitent de ces sujets (cf. chapitre spécifique)).

Sur la base de comparaisons internationales, et en fonction de quelques prototypes qui existent, les coûts des EMR peuvent commencer à être appréhendés, la diminution des coûts en fonction de la longueur des séries produites pouvant elle s'extrapoler assez facilement. Il en est tout autre des coûts d'exploitation-maintenance, ces EMR opérant dans un milieu marin peu coutumier de beaucoup des opérateurs actuels.

En phase de démarrage, un soutien public paraît indispensable, justifié par les nombreuses externalités créées par ces EMR. La question qui se pose alors immédiatement est de déterminer le niveau de soutien pour des technologies qui viennent juste de franchir le stade de démonstrateur. S'il est trop faible, aucun développement ne pourra avoir lieu faute de postulant, s'il est trop élevé des rentes de situation peuvent se créer, nuisibles aux intérêts publics.

Une question supplémentaire se pose dans le cas des EMR étudiées : à la différence des EMR diffuses géographiquement comme l'éolien ou le houlomoteur, l'hydrolien correspond à une énergie très localisée sur trois gisements très délimités. On assiste alors à une compétition entre opérateurs pour préempter les zones les plus prometteuses (en matière de potentiel hydrolien, mais aussi de raccordement électrique). Pour obtenir les concessions les plus intéressantes, ces opérateurs peuvent mettre en avant des technologies ou des avantages économiques non avérés. **La puissance publique souffre ainsi d'une véritable asymétrie d'information pour définir le niveau de soutien adéquat.**

C'est pourquoi il importe qu'une gestion publique plus resserrée du développement de ces technologies soit assurée en veillant à connaître le plus en amont possible les coûts réels afférents. Ce n'est que dans le dialogue entre opérateurs, industriels et pouvoirs publics que les coûts et avantages réels de ces technologies se révéleront, permettant le développement d'une véritable filière. La mission estime donc que les développements de filières industrielles en énergies marines passent nécessairement par l'étape des fermes pilotes afin de valider les technologies (interactions entre machines, effets de sillage, robustesse, taux de disponibilité, coûts, etc... et surtout les éléments économiques permettant de connaître leur coût complet (production unitaire en situation réelle, coûts d'exploitation-maintenance)).

Vu le caractère stratégique et la compétition qui commence à se faire jour, l'hydrolien et particulièrement le raz Blanchard font l'objet d'un développement spécifique.

Les fermes pilotes

La mission chargée d'étudier les perspectives de développement des énergies marines renouvelables a rencontré de nombreux acteurs industriels français concernés (ALSTOM, AREVA, GDF-SUEZ, EDF-EN, DCNS, NEXANS, AKUO, NASS et WIND, Nenuphar, Sabella et les fédérations professionnelles SER et GICAN). Elle a aussi examiné la situation internationale. Pour l'hydrolien, il ressort clairement de ces nombreux contacts, analyses et entretiens approfondis que les industriels ont presque tous dépassé la phase de prototypage¹² et souhaitent entrer dans **une nouvelle phase (2013-2016)** d'implantation et de test de **fermes-pilotes** composées de cinq à dix machines regroupées sur un même site (en France métropolitaine et Outre-Mer). Cette phase est nécessaire et la compétition internationale est rude, avec au moins quatre fermes pilote hydroliennes de huit à dix MW annoncées et financées pour 2015-2016 au Royaume-Uni (Kyle Rhea, Pentland Firth et Islay en Ecosse, Anglesey au Pays de Galles) avec des technologies de turbines allemandes (Siemens/Marine Current Turbine) ou norvégiennes/autrichiennes (Andritz Hydro Hammerfest). D'autres appels d'offres britanniques sont en cours (MRCF écossais, Crown Estate britannique) avec quatre fermes EMR supplémentaires financées dans un avenir proche.

L'essor en France des énergies marines renouvelables (hors éolien pour lequel deux appels d'offres ont été lancés ou sont en préparation), suppose absolument de passer par la phase d'implantation des **fermes-pilotes**, afin de tester et de valider, sous forme de petits parcs de production d'électricité, les nouvelles technologies d'énergies marines, et cela dans des conditions réelles d'exploitation.

Des retours concluants sur le fonctionnement des démonstrateurs de taille réelle ainsi que des projets de fermes-pilotes expérimentales sont ainsi indispensables avant le passage au stade des fermes commerciales.

Le **lancement d'un AMI** (Appel à manifestation d'intérêt) de l'ADEME « projets pilotes EMR » a été annoncé pour 2013, avec une tarification adaptée pour cette période transitoire, et avec un engagement suffisant sur la durée d'application de ce tarif afin de donner une réelle visibilité aux investisseurs.

Le cas particulier de l'hydrolien au raz Blanchard

Les **gisements hydroliens** d'importance significative (plus de 2 GW) sont relativement rares dans le monde, 18 sites étant considérés comme appropriés pour une exploitation industrielle. La France ayant la chance d'en posséder un, celui du raz Blanchard, à l'Ouest du Cotentin entre Cherbourg et les Îles anglo-normandes. Celui-ci est inépuisable, puisque lié directement à l'énergie des marées ; et les caractéristiques de l'énergie produite font que l'hydrolien peut être considéré comme un constituant régulier, parce que permanent et prévisible, de la production nationale d'électricité, contribuant à la sûreté du réseau de transport au même titre que le thermique ou l'hydraulique. Il doit permettre non seulement le développement de l'hydrolien en tant qu'énergie renouvelable pour une production propre, mais également celui d'une filière industrielle pour la construction des machines hydroliennes.

¹² Par exemple la technologie hydrolienne de Hammerfest Strøm (devenu Andritz Hydro Hammerfest après prise de contrôle de l'Autrichien Andritz) est sans doute la plus éprouvée au monde avec 300 kW testés depuis 2005 en mer de Norvège. Une hydrolienne 1,2 MW de MCT (Siemens) est opérationnelle depuis 2008 à Strangford Lough en Irlande du Nord Côté français, une turbine Open Hydro (DCNS) de 250 MW a été testée depuis 2006 en un site d'essai de l'EMEC, et une turbine TGL (Alstom) de 500 kW a été installée en septembre 2010 à l'EMEC et avait produit 215 Mwh en mars 2012.

Il n'existe pas encore (au niveau mondial) d'exploitation industrielle de l'énergie hydrolienne en mer, mais plusieurs fermes-pilotes de classe 10 MW verront le jour à très court terme (2015), notamment au Royaume-Uni.

Concernant cette filière industrielle, l'hydrolien représente un marché de niche où il n'y aura de la place que pour 3 ou 4 industriels au monde. Aujourd'hui, une petite dizaine de groupes industriels de taille importante (Siemens, Alstom, DCNS, ...) s'intéresse à ce domaine et on observe des renforcements de positions, avec des acquisitions totales ou partielles de petites entreprises pionnières (OpenHydro par DCNS, TGL et AWS par ALSTOM, MCT par Siemens, Hammerfest Strøm par Andritz...). A ce stade, la majorité des groupes intéressés sont européens, mais déjà l'intérêt des groupes asiatiques se fait sentir et peut accroître cette concurrence rapidement.

Le **potentiel du gisement** qui a été évalué sur le **raz Blanchard et le raz Barfleur** au large des côtes normandes est de **3 GW** et 25 TWh/an théoriques dont 6 TWh exploitables d'un point de vue technico-économique. Le raz Blanchard représente 15 TWh/an théoriques. C'est un gisement important, corollaire de conditions très difficiles au raz Blanchard, en surface comme au fond¹³. Il offre un marché déjà suffisant pour rentabiliser une usine de production. Mais, le gisement se prolonge dans les eaux aurignaises [Aurigny (Alderney en anglais) fait partie des îles anglo-normandes et se situe à 14 km de la pointe du Cotentin] et voit ainsi son potentiel doublé, soit à 6 GW. Le marché devient alors considérable avec un besoin maximum de 3 000 machines. Pour situer l'ordre de grandeur du potentiel de ce gisement, il serait comparable à la capacité de production du futur EPR de Flamanville. A noter que la deuxième ligne 400 kV en cours d'achèvement dans le Cotentin sera suffisante pour absorber la production de 1 GW de production hydrolienne en plus de l'EPR.

Le port de Cherbourg constitue également un autre atout pour ces projets dans la mesure où il se trouve à proximité du gisement et qu'il dispose des infrastructures adaptées pour accueillir les filières industrielles. Par ailleurs, il convient de rappeler que deux usines de fabrication de composants d'éoliennes de mer (mats et pales) vont y être mises en service en 2016. Des synergies existent nécessairement entre ces deux activités. Deux industriels français (DCNS et Alstom) ont affiché leurs ambitions de conquérir le marché de l'hydrolien et sont prêts à s'implanter sur Cherbourg. Un troisième industriel, Voith (allemand) s'est aussi manifesté. L'obligation européenne de renforcer l'interconnexion entre la France et l'Angleterre constitue également une opportunité pour réaliser un ouvrage d'évacuation de la production dont la rentabilité ne sera pas uniquement dépendante de la production hydrolienne.

Un certain nombre d'éléments s'impose dans le développement de l'hydrolien : **l'étape expérimentale avec des fermes hydroliennes** de petite dimension permettra de valider les technologies, les liaisons sous-marines, de mieux comprendre les effets de sillage et la gestion de ce type de production électrique. Mais ces fermes expérimentales ne pourront être opérationnelles avant un délai de deux ou trois ans (2016). Pour ne pas perdre de temps, il faut une solution simple et rapide de financement par un tarif spécifique rémunérant les kWh produits par les fermes pilotes, sans perdre de vue la phase ultérieure des fermes commerciales.

A ce stade, la mission constate que plusieurs solutions sont possibles : fermes pilotes concurrentes ou coopératives, tarif d'achat seul ou accompagné, appel à manifestation d'intérêt de l'ADEME avec ou sans tarif d'achat, appel d'offre de type CRE avec tarif déterminé par le soumissionnaire lauréat, accord-cadre avec appel à tranches fermes puis conditionnelles, dialogue compétitif, etc. Ces solutions sont souvent mutuellement exclusives.

¹³ Les vitesses dépassent 5 m/s. La navigation y est périlleuse. Le comité national des pêches marines et élevages marins (CNPMM) par exemple a émis lors de son audition des doutes sur la simple possibilité d'installer des hydroliennes sur le raz Blanchard, en raison des vols de cailloux à un mètre du fond.

Les enjeux sont la protection des intérêts des industriels nationaux (dans le cas d'une AMI), l'intérêt public et des finances publiques, la variété des solutions retenues, le partage des richesses, la préservation de la concurrence, etc. En l'espèce, sur le site du raz Blanchard, la question se pose de savoir, compte tenu des moyens budgétaires limités, si l'on peut retenir plusieurs fermes pilotes et si oui combien : deux ? trois ? quatre ? davantage ? La mission considère, vue les acteurs en présence, que trois est un maximum.

La rareté du gisement hydrolien et sa qualité exceptionnellement doivent inciter l'État à en optimiser l'exploitation et à en piloter la valorisation et le développement. La création d'une filière industrielle en dépend directement. Cette volonté doit être clairement affichée pour que les investisseurs s'engagent. Les conditions sont réunies pour permettre à la France de se positionner comme l'un des leaders mondiaux sur le secteur de l'énergie hydrolienne et il ne faut prendre aucun retard dans cette orientation, sans toutefois négliger le risque d'avoir à payer, même pour des quantités limitées, des Kwh à prix élevés. Il sera par ailleurs souhaitable d'établir durant cette période un accord international avec Aurigny/Alderney (rattaché à la Couronne britannique) pour rechercher si possible une exploitation coordonnée du raz Blanchard.

A la demande du Gouvernement, **le Réseau de transport de l'électricité RTE** a principalement examiné (étude prospective remise au MEDDE en janvier 2013) les conditions de mise en valeur du potentiel hydrolien du raz Blanchard (deuxième plus important gisement en Europe). Il ressort clairement de cette étude que le réseau terrestre existant actuellement dans le Cotentin présente une capacité d'accueil importante, jusqu'à 1 500 MW, moyennant des adaptations légères du réseau. Au-delà de 1 500 MW, des contraintes d'exploitation apparaissent progressivement, pouvant être gérées par RTE à un coût acceptable (y compris par des mesures d'effacement). Au-delà de 2 500 MW de capacité de production hydrolienne, le renforcement du réseau 400 kV par de nouveaux ouvrages serait nécessaire.

Les autres sites hydroliens

Raz Barfleur

Le gisement est estimé à 9,5 TWh/an. Les développements précédents sur le raz Blanchard s'appliquent, en raison de la proximité géographique de la nature du gisement. Une macrozone a déjà été définie, comme au raz Blanchard. Le raz Barfleur présente cependant moins de courant que le raz Blanchard et peu de houle, parce que plus abrité.

Passage du Fromveur

Le gisement hydrolien du passage du Fromveur, entre l'archipel de Molène et l'île d'Ouessant, est le second gisement hydrolien français, avec 300 à 500 MW estimés. Le gisement est donc de cinq à dix fois moindre que celui du raz Blanchard, mais avec des conditions moins sévères. L'entreprise française Sabella a déjà testé sa technologie avec un prototype de 3 mètres de diamètre (100 kW environ) dans l'Odet (Finistère) en 2008-2009 et il en est prévu un nouveau, le D10 (10 mètres de diamètre, 1 MW en nominal), en septembre 2013 dans le détroit de Fromveur. Le potentiel local est estimé à 300 MW. Une macrozone ayant été définie, une ferme pilote de cinq hydroliennes (5 MW) y aurait un grand intérêt, car permettant d'approvisionner l'île d'Ouessant, actuellement alimentée en diesel. Ce système serait couplé avec des batteries. Aucune sous-station n'y serait nécessaire, car le gisement hydrolien reposant à 1 Km des côtes d'Ouessant, la conversion pourrait s'y faire à terre. Enfin le site de Fromveur est bien protégé de la houle.

C'est cependant un lieu de reproduction de mammifères marins et aussi un site de pêche (mais il existe un consensus local en faveur de l'exploitation des EMR sur ce site). Par ailleurs, Sabella cherche des partenaires afin d'achever son démonstrateur et poursuivre ses études en vue de sa ferme pilote.

L'AMI ADEME « fermes-pilotes », avec tarif d'achat, est l'outil à privilégier pour le site du Fromveur, dont les perspectives sont de moindre ampleur que le raz Blanchard.

Raz de Sein

Ce site est complémentaire du passage du Fromveur, mais est plus difficilement exploitable en raison d'une activité de pêche plus importante qu'au Fromveur.

Gironde

Ce site est le principal site potentiel pour l'hydrolien fluvial en France (100 MW).

Les autres sites hydroliens

Éolien flottant

L'espace disponible pour l'éolien flottant est vaste, ce qui permet de supposer que le zonage y sera plus aisé que pour d'autres sites plus encombrés. Ce point doit être expertisé.

La filière Nenuphar Wind (Vertifloat, Vertiwind, Vertimed) a été ou est financée respectivement par les fonds Oseo et FUI, le grand emprunt et le NER300. Il s'agit visiblement d'un acteur solide. L'indispensable phase pilote est sécurisée, sous réserve de tenir les délais –tendus– de production.

Le projet Winflo recherche un investisseur, mais a annoncé un déploiement de démonstrateur d'une puissance d'1 MW en 2013 au mieux.

Dans ces conditions, la mission ne recommande pas d'AMI sur les fermes pilotes en éolien flottant avec 2014. L'appel pourra alors porter tant sur la Méditerranée que sur l'Atlantique.

Un AO de la CRE serait ensuite requis pour lancer les fermes commerciales, tant en Atlantique qu'en Méditerranée.

Houlomoteur

La mission a étudié quelques technologies : CETO (300 kW unitaire, dont EDF EN a acheté le droit d'utilisation dans l'hémisphère nord et pour la Réunion), WAVEROLLER (où DCNS est associé à l'électricien finlandais Fortum), le SEAREV de l'Ecole centrale de Nantes (1 000 t, 300 kW). Alstom a par ailleurs investi dans l'Anglais AWS (Advances Wave Systems). Et la technologie Bilboquet, française, est labellisée par le pôle Mer Bretagne mais n'est pas encore matérialisée.

L'AMI de l'ADEME de 2013 portera sur les briques technologiques et les démonstrateurs. L'AMI devrait, pour le houlomoteur, mettre l'accent sur les démonstrateurs. En fonction des résultats, un développement des fermes pilotes pourra être envisagé à l'horizon 2017.

ETM

L'ETM reste une technologie d'avenir. La baisse des coûts est nécessaire pour un vrai développement industriel. Il est néanmoins d'ores et déjà pertinent en milieu insulaire, électriquement isolé (Polynésie). Il peut être couplé à des installations SWAC.

SWAC

Plusieurs projets existent à Tahiti, à la Réunion et en Martinique.

Osmotique

La mission n'a pas examiné en détail cette technologie. La technologie est coûteuse et pose des problèmes environnementaux. Des innovations en recherche sur les membranes sont encore nécessaires, même si des avancées récentes en France (nanotubes de bore) permettent d'envisager une bien meilleure performance de cette technologie. La pollution de la membrane, et donc sa maintenance, restent un obstacle majeur.

Le plan de développement des nouvelles technologies EMR

A l'issue de la série d'auditions et de déplacements effectués par la mission EMR, les conditions de **développement des énergies marines renouvelables** (hors l'éolien posé qui a son propre calendrier) peuvent être résumées de la manière suivante :

A. Un soutien public indispensable, lequel peut prendre plusieurs formes

Comme toutes technologies nouvelles, les EMR ne peuvent être immédiatement compétitives face à d'autres formes de production d'énergie ayant bénéficié d'effets d'échelle et d'amortissements déjà réalisés. La complexité liée à l'environnement marin y rajoute des composantes importantes aux coûts de production. Toutefois, les fortes externalités positives de ce type d'énergie (limitation des gaz à effet de serre, diminution de la facture pétrolière, création possible d'une industrie performante à l'exportation, localisation sur le territoire des emplois afférents, mise en valeur de ressources naturelles inexploitées,...) font qu'un soutien public, du moins en phase de démarrage, se justifie pleinement.

C'est dans ce sens que **l'encadrement communautaire des aides d'État** a autorisé un régime spécifique d'exemption (en dehors de celui lié à la Recherche et Développement), pour l'aide à l'investissement pour le développement des énergies renouvelables. Des aides directes, sous forme de subvention ou d'avances remboursables, sont donc possibles dans la phase de développement, voire d'industrialisation. Un régime spécifique a ainsi été accordé par l'Union européenne, jusqu'à 7,5 M€, sans autorisation préalable de la Commission.

L'Union Européenne soutient en outre directement et largement ces énergies renouvelables, par les subventions accordées, dans la phase de R&D, par le Programme-cadre de recherche et de développement technologique. Un mécanisme spécial, ne faisant pas appel au budget communautaire, a été mis en place en 2009 par la Commission européenne, la Banque européenne d'investissement et les États-membres. Il est basé sur la vente sur le marché d'une quantité de 300 Mt de CO₂ mise en réserve dans les quotas autorisés pour les différents pays, par les directives européennes. Ce programme, dit *NER300*, concerne les ressources afférentes à différents projets d'envergure visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre, suite à un appel à propositions.

En France

Les premières énergies renouvelables y ont fait l'objet d'un tarif d'achat administré (toujours difficile à définir, et pouvant conduire à des rentes injustifiées ou à des effets d'aubaine, comme dans le cas du photovoltaïque), puis à des ajustements qui ont nui à la crédibilité du soutien de la puissance publique à la filière.

Dans le cas de l'éolien posé en mer, largement développé dans d'autres pays et dont on connaît relativement bien les coûts globaux, un appel d'offres intégrant différents critères, dont le prix proposé à l'achat, a permis récemment de sélectionner les consortiums d'industriels, futurs exploitants de parcs éoliens offshore en France.

Sur les énergies qui nous occupent aujourd'hui, en phase de production, le gestionnaire de réseau aura obligation de racheter à un prix, supérieur au cours du marché, fixé à l'avance, l'électricité produite par des technologies que la loi a décidé d'inclure dans le « service public de l'électricité ».

Ce surcoût par rapport au cours du marché est répercuté sur la facture des consommateurs comme « contribution au service public de l'électricité » (CSPE).

A l'étranger

D'autres formules de soutien à la production existent dans d'autres pays, comme notamment les certificats d'énergie renouvelable (*Renewable energy certificates*) au Royaume-Uni, ou différentes formes de « certificats verts » en Scandinavie, faisant intervenir une régulation par le marché de ces soutiens.

B. Le niveau d'aide doit être adapté au stade de développement atteint par chacune de ces technologies

Les EMR traitées dans ce rapport en sont à des stades certes précoces mais néanmoins inégaux de leur développement. Si les coûts des technologies peuvent être appréhendés par la réalisation de quelques prototypes disponibles, les coûts de réalisation en phase industrielle, ceux de mise en place, d'exploitation-maintenance, voire de démantèlement ne peuvent faire l'objet que d'évaluations théoriques et spéculatives, basées sur un faible retour d'expérience réel et une littérature disparate. Cette incertitude rend nécessaire, comme indiqué, la réalisation de fermes-pilotes (entre trois et dix unités, typiquement cinq ou six), premiers intermédiaires entre le démonstrateur et l'exploitation commerciale.

L'exemple du NER300 européen

C'est exactement cette cible que visait le programme NER300 : à partir d'une exploitation en quasi-grandeur réelle, être à même de définir plus précisément l'équilibre technico-économique de ces technologies et d'extrapoler les différentes courbes d'apprentissage. Si NER300 a convenu, la forte sélectivité de ce programme a fait que, pour le premier appel, seul un projet français a été retenu (projet Vertiwind d'éoliennes flottantes à axe vertical). La compétition qui existe entre les diverses technologies issues de pays différents rend donc nécessaire la définition, au niveau national, d'un mécanisme de soutien qui présente les mêmes caractéristiques. Pour lever l'asymétrie d'information, il convient également que les pouvoirs publics soient associés le plus possible à cette analyse technico-économique et puissent connaître les coûts afférents. Un prochain appel d'offres de NER300 est vraisemblablement prévu en 2013.

C. Les différents mécanismes de financement possibles en France

a) Les aides directes de l'ADEME

Ces aides permettent, par le suivi d'un programme par des gestionnaires publics compétents, de mieux connaître les coûts et avantages des technologies, d'où un résultat de grande transparence. L'ADEME est gestionnaire d'un programme du Commissariat Général à l'Investissement, lequel peut mobiliser des ressources, au titre du Programme des Investissements d'Avenir, relativement importantes. En dehors de l'enveloppe budgétaire nécessairement limitée, un obstacle est la nécessité mentionnée de l'autorisation de la Commission pour toute aide dépassant 7,5 M€. Lorsque ce montant de 7,5 M€ apparaît insuffisant pour soutenir les projets EMR proposés dans le cadre de l'AMI de l'ADEME, un délai de trois à douze mois est parfois nécessaire pour obtenir une réponse à la demande. D'ailleurs, l'appel à manifestation d'intérêt rédigé par l'ADEME est finalisé et disponible, mais a été bloqué ensuite à cette difficulté.

b) Les tarifs d'achat

L'arrêté tarifaire 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 prévoit, pour les énergies marines renouvelables (systèmes houlomoteurs, marémoteurs ou hydrocinétiques), un tarif d'achat de 163 €/MWh pendant 20 ans. Cela semble insuffisant pour couvrir une partie raisonnable des frais occasionnés par l'installation d'une ferme-pilote, laquelle génère en particulier des frais fixes élevés, comme le raccordement au réseau électrique, une flotte de maintenance, des coûts de fabrication supérieurs à une fabrication en série, etc.

De ce fait, une idée a été proposée par les industriels pour définir dans la loi (Code de l'Énergie – article L-314-1) une catégorie supplémentaire d'installations pouvant donner lieu à un tarif d'achat : ce seraient les « fermes expérimentales » utilisant les énergies marines. La difficulté est de borner en montant, voire en technologies, les quantités d'énergie produites selon cette catégorie, pour éviter de renchérir la CSPE. Cette proposition n'a pas été retenue pour le moment, une crainte étant justement de ne pas pouvoir délimiter ce tarif aux installations visées.

Comme indiqué, le montant de ce tarif est difficile à établir, faute d'expérience suffisante. Plusieurs voies sont possibles pour en limiter le montant :

- utiliser la même définition de fermes innovantes que dans l'appel à projet NER300,
- limiter dans le temps la possibilité d'utiliser ce tarif (par exemple 5 ans),
- limiter en montant ou en quantité d'énergie les soutiens accordés,
- prévoir, en cas de coûts variables d'exploitation très élevés, la possibilité de cesser la production moyennant un partage, à convenir, des coûts fixes non encore amortis.

c) Un appel d'offres national réservé aux fermes-pilotes EMR expérimentales

Face à la difficulté de pouvoir fixer un tarif d'achat pertinent, une solution, qui recueille l'assentiment de la Commission de régulation de l'énergie (CRE), serait un **appel d'offres spécifique**, car un AO laisse au seul marché la responsabilité du tarif de rachat. Cet appel d'offres pourrait inclure différents critères, dont les perspectives de développement industriel local, ou les impacts environnementaux, etc. Il ne pose pas de problèmes vis-à-vis de la législation en matière d'aide d'État, pour peu qu'il se passe dans des conditions les meilleures d'équité des soumissionnaires. Il nécessite toutefois des adaptations législatives pour s'adapter au contexte de soutien souhaité. Cette procédure se heurterait néanmoins à deux difficultés potentielles :

1/ La faible connaissance par les industriels mêmes des coûts de revient supportés par leurs technologies ;

2/ La nécessité de définir précisément les zones ouvertes à l'appel d'offres, avec une information aussi équitable que possible des différents soumissionnaires. Pour le moment, ce sont les industriels eux-mêmes qui conduisent –de manière redondante– les études océanographiques nécessaires, études dont ils gardent la propriété.

d) La baisse des coûts directs des projets EMR par un financement public des postes mutualisables des projets expérimentaux

Des coûts fixes importants, indépendants de la taille de la ferme envisagée, existent pour ces EMR expérimentales. Il s'agit par exemple des coûts très élevés, respectivement de raccordement électrique au réseau national, lesquels peuvent atteindre plusieurs millions d'€, des études préliminaires ou des études d'impact. La prise en charge par les autorités condédantes de ces postes grâce à un financement adéquat, et la communication des résultats aux divers postulants, seraient de nature à diminuer l'asymétrie d'information lors de l'attribution des autorisations d'occupation temporaires (AOT) ou des concessions, et de diminuer globalement les coûts des projets, donc des soutiens accordés. C'est d'ailleurs ces procédures qui sont utilisées dans le domaine pétrolier off-shore.

Scénarios possibles de soutien à la filière EMR

Au stade actuel de la réflexion sur les choix possibles du soutien financier à la filière des énergies marines renouvelables, un panachage des différents instruments précités apparaît comme une des voies préférées pour favoriser l'essor de ces technologies émergentes. Ce soutien sera à mettre en regard du coût complet des projets, pour lesquels il paraît de toute manière difficile de dépasser 50 % du financement.

RECOMMANDATIONS :

- **Lancer pour les fermes-pilotes trois appels successifs dédiés à chaque technologie : hydrolien, éolien flottant, houlomoteur**
- **Réaliser d'abord des fermes-pilotes hydroliennes (au minimum trois fermes de cinq machines) et donc lancer un « appel » pour de telles fermes sur les trois sites : raz Blanchard, raz Barfleur et passage de Fromveur**

3. ENVIRONNEMENT ET EMR

Méthodologie de l'évaluation environnementale des EMR

Le développement de nouvelles activités à l'intérieur des eaux marines de l'Union Européenne conduit inévitablement à une **concurrence croissante pour l'utilisation de l'espace maritime**, et potentiellement à des conflits d'usage entre usagers traditionnels et nouveaux entrants. Le changement d'affectation d'une partie de l'espace maritime nécessite donc une concertation accrue entre tous les usagers du milieu marin (pêche, navigation, défense, tourisme, extraction de sables et granulats, champs pétroliers offshore, énergies marines renouvelables, zones marines protégées, etc.).

Cette problématique est bien connue dans le milieu des EMR avec l'émergence du concept de planification spatiale maritime, dans le sillage de la directive cadre stratégie pour le milieu marin 2008/56/CE (DCSMM), de la Recommandation du Parlement et du Conseil européens du 30 mai 2002 relative à la mise en œuvre d'une stratégie de gestion intégrée des zones côtières (GIZC) en Europe, et autres textes. Parmi ces textes, la stratégie nationale des aires marines protégées est en France spécialement pertinente en raison du fait que beaucoup de zones de déploiement des EMR sont des aires marines protégées. L'objectif de la stratégie nationale précitée est, par la création du réseau des aires marines protégées, de contribuer à la connaissance, au bon état des écosystèmes, au développement durable des activités, à la cohérence terre-mer des politiques publiques, à l'intégration des politiques de gestion du milieu marin et à la mise en œuvre de différentes échelles.

D'une manière générale, les projets à grande échelle d'implantation d'équipements de production d'énergie EMR sont notamment soumis à l'obligation de réaliser une **étude d'impact** approfondie. La réglementation applicable a été simplifiée récemment, par la publication du **décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements**. Ce texte s'applique à toutes les procédures relatives à l'implantation d'ouvrages sur le Domaine public maritime. Il oblige le pétitionnaire à évaluer précisément tous les effets directs et indirects de son projet d'aménagement, et à déterminer les mesures correctives ou compensatoires les plus appropriées afin d'obtenir le moindre impact environnemental. La même étude environnementale, aussi complète que possible, pourra donc servir lors de l'instruction des différentes procédures engagées dans le cadre d'un projet EMR.

Ces études d'impact sont d'autant plus importantes que les zones d'implantation prévues pour l'exploitation des EMR se trouvent dans des aires marines protégées, et les points d'atterrage (pour les câbles) dans des zones remarquables de type Natura 2000. Selon l'Agence des aires marines protégées (AAMP), les projets de développements des EMR sont exclus en réserve naturelle nationale, en **cœur de parc national, en zone d'arrêté de protection du biotope et en site de conservatoire du littoral. Dans les aires marines protégées compatibles (sous réserve d'étude d'incidence le confirmant) avec les EMR (réserve naturelle régionale ou de la collectivité de Corse, parc naturel marin, zone Natura 2000), une certaine vigilance est requise vis-à-vis de la conservation des espaces et de leur excellence environnementale, de l'environnement marin, des habitats et espèces, etc.**

Impact des technologies d'exploitation EMR

Du fait du niveau d'avancement variable des différentes filières EMR, les retours d'expériences sur les impacts environnementaux et socio-économiques se limitent actuellement à l'éolien posé, ce qui permet néanmoins de commencer à définir les thématiques-clés et la méthodologie applicable aux énergies marines. D'une manière générale, l'évaluation environnementale et l'intégration environnementale des projets portent sur les points suivants :

- **le choix des sites ;**
- **l'analyse de l'état initial du territoire de projet ;**
- **l'analyse prévisionnelle des impacts sur l'environnement et les activités socio-économiques ;**
- **les mesures d'évitement, de réduction ou de compensation associées**
- **l'analyse prévisionnelle des incidences sur les sites Natura 2000 ;**
- **les indicateurs et dispositifs pour le suivi environnemental du site ;**
- **l'évaluation des retombées socio-économiques des projets d'EMR**

Il est possible d'examiner successivement les impacts des différentes technologies d'EMR (hors l'éolien offshore posé qui n'entre pas dans le cadre de la présente mission).

Il existe un certain nombre d'impacts communs aux EMR, liés à l'encombrement (latéral et en profondeur), aux perturbations liées à l'installation, maintenance et démantèlement, aux perturbations électromagnétiques associées au nécessaire câblage, au bruit... L'étude méthodologique de novembre 2012 indique que, pour l'éolien, l'hydrolien et le houlomoteur, sont à considérer les interactions potentielles suivantes : remaniement des fonds et mises en suspension de matériaux, bruits et vibrations, électromagnétisme, température des câbles, présence physique des installations, présence physique des installations et paysage, exploitation d'énergie et obstacles aux écoulements, éclairages, contamination. On peut aussi rajouter les éventuels risques d'érosion du littoral par modification des courants et de la houle.

Les technologies ont ensuite leurs impacts spécifiques, détaillés sur exemples dans l'étude précitée. **L'éolien offshore** : la plupart des fermes éoliennes sont actuellement installées à moins de 30 m de profondeur et au maximum à 30 km au large des côtes. Il existe donc une rupture technologique pour aller vers les **éoliennes flottantes**, qui permettent d'élargir fortement les zones potentielles de développement des parcs. Outre les impacts de l'éolien offshore classique (bruit, effets mécaniques, perturbations du fonctionnement des radars, etc.), ces éoliennes flottantes sont fixées sur des flotteurs au moyen de plusieurs systèmes : flotteurs-colonnes à grand tirant d'eau (« spar »), flotteurs semi-submergés et support à lignes tendues pour les installations loin des côtes (jusqu'à 300 m de profondeur). Le dispositif d'ancrage des éoliennes flottantes est relié au fond par des chaînes métalliques ou des cordes à base de fibres synthétiques, ensuite liées à des ancrages de type blocs gravitaires, pieux, ancres à filetage, etc. L'interaction mécanique avec les fonds se fait essentiellement sur l'emprise au niveau du contact des ancrages. Le raclement des câbles sur le fond, lorsque ceux-ci sont fixés avec un certain jeu, peut induire une perturbation supplémentaire des fonds.

Selon les griefs exprimés à l'occasion de la séance d'installation du Conseil national de la mer et des littoraux du 18 janvier 2013 par l'association Robin des Bois, « les éoliennes offshore exposent la sécurité maritime, les oiseaux, les mammifères marins et les ressources halieutiques à des risques multiples et simultanés, avant la construction (dépollution pyrotechnique), pendant la construction, pendant l'exploitation et en post-exploitation. Les bruits peuvent provoquer des lésions des systèmes auditifs et font fuir les mammifères marins et les poissons. Les pales et les lumières tuent des oiseaux ou des chauves-souris. Avec la construction et le redoublement des parcs éoliens offshore de grande dimension, les effets cumulatifs et transfrontaliers sur la faune marine et aviaire sont redoutés. Les contraintes et les garanties financières de démantèlement

restent floues ». En ce qui concerne les mammifères marins¹⁶, on peut observer que les impacts sont notamment concentrés sur la phase de construction : bruit dû au battage des structures, potentiel effet de barrière en cas de constructions simultanées sur des zones voisines avec déplacements de populations. Par contre, lors du fonctionnement des parcs, les effets anticipés (mais restant à identifier pour les parcs commerciaux) semblent faibles, voire bénéfiques en raison de la création de récifs artificiels.

Les technologies hydroliennes : exploitant les courants marins, et plus spécifiquement les courants de marée (liés à l'action périodique de la Lune sur la mer), à la différence des usines marémotrices, elles ne reposent pas sur un effet barrage, ce qui limite les impacts environnementaux associés à cette forme d'exploitation des courants. La spécificité de la technologie hydrolienne s'oriente en France vers des structures totalement immergées (cf. les prototypes OpenHydro, Sabella,...), même si des machines semi-immersées voient également le jour à l'international. Cela permet d'éviter les gênes visuelles, même si le recours à des sous-stations émergées tempère cet avantage. La principale contrainte environnementale aujourd'hui mise en évidence en phase opérationnelle est le risque de collision de la faune marine (poissons, mammifères, oiseaux-plongeurs) avec les pales en rotation, à évaluer au regard de la vitesse de rotation des pales, de l'envergure des turbines et de la capacité d'évitement des différentes espèces exposées. A noter que l'hydrolienne d'OpenHydro est constituée d'une turbine hydrodynamique évidée au centre, et donc facilitant le passage possible des poissons. La signature acoustique des installations hydroliennes reste encore assez peu connue, et des suivis en milieu naturel des fermes-pilotes seront nécessaires pour juger du risque de perturbation à long terme. On peut aussi mentionner la possible perturbation de courants lors de l'exploitation à grande échelle, l'encombrement, l'effet de barrière et la perturbation des migrations animales, etc. Enfin, la majorité des sites pressentis pour l'hydrolien sont environnementalement sensibles : le raz Blanchard dans le Cotentin est en zone Natura 2000, comme le site breton du Fromveur qui est site de reproduction de mammifères marins.

L'association Robin des bois, dans le même communiqué que supra, indique que « les hydroliennes ont une réputation de hachoir à dauphins et à poissons. Il convient de vérifier si elle est justifiée. Pour ce qui concerne le démantèlement, ça s'avère d'ores et déjà corsé. Depuis la mi-septembre 2012, l'hydrolienne d'EDF à destination du site de Paimpal-Bréhat est enlisée dans la rade de Brest. La turbine et sa barge support y ont été accidentellement immergées à la suite de la défaillance d'un treuil. L'ensemble de 850 tonnes gît toujours dans la vase malgré les efforts d'EDF et de ses sous-traitants ».

Et la synthèse bibliographique précitée fait la liste des risques associés aux hydroliennes : en phase de construction, les risques sont comparables à ceux associés aux parcs éoliens. En phase de fonctionnement, le bruit et les effets électromagnétiques des câbles sont a priori un souci mais le risque jugé le plus important est celui de collision avec les pales et d'enchevêtrement avec des lignes de mouillage.

Un début de réponse sur l'impact observé des hydroliennes a été fourni mi-janvier 2013 par l'Université de Belfast, qui a suivi depuis 2008 la turbine SeaGen de 1,2 MW de Marine Current Turbines et constaté une absence totale de problème ou d'effet sur les phoques et marsouins nageant autour de la turbine. Hors l'évitement de la zone de l'hydrolienne par ses mammifères marins, les impacts sont donc négligeables. Cette observation est encourageante mais ne s'applique qu'à une hydrolienne isolée de petite taille, elle doit être confirmée, notamment aussi dans un contexte de fermes (5 à 10 machines) et surtout de parcs commerciaux. En tout état de cause, l'évitement observé pour une hydrolienne isolée devient plus difficile lorsque plusieurs hydroliennes sont groupées et forment une barrière. Il convient donc de poursuivre les études de prévision des impacts et d'assurer un suivi comparable des projets à venir.

¹⁶ Cf Synthèse bibliographique des impacts générés par les exploitations offshore sur les mammifères marins, GECC, MEDDE et DREAL Basse-Normandie, janvier 2011

La mission a pu lors de ces auditions recevoir confirmation de ces préoccupations. Le comité régional des pêches en basse Normandie (CRPBN) par exemple, rencontré par la mission, fait état d'inquiétudes sur les effets des champs électromagnétiques, du bruit et des vibrations, la destruction des habitats, voire de modification des courants dans le cas de parcs commerciaux de grande ampleur (problématique de raz Barfleur en aval du raz Blanchard par exemple). La question de l'acceptabilité économique et sociale des EMR est donc aussi posée, et devra être traitée de manière pragmatique lors des concertations.

L'Energie thermique des mers (ETM) et la technologie associée de **climatisation (SWAC)** : centrées, dans les zones tropicales, autour de pompages en profondeur et ensuite de rejets d'eau de mer, les différences de configuration des projets (débits, profondeurs de pompage, hydrodynamisme de la zone de rejet) entraînent une variabilité importante d'effets et d'impacts sur le milieu aquatique marin. Deux impacts majeurs peuvent être associés à ces prises d'eau et ces rejets en mer :

- les impacts mécaniques sur les organismes marins liés à l'aspiration et aux contraintes subies au niveau de la prise d'eau et à l'intérieur du système,
- les impacts thermiques liés aux écarts de température auxquels sont soumis les organismes aspirés à l'intérieur du système ainsi que ceux exposés aux rejets.

Les risques d'impacts principaux associés aux pompages sont les aspirations d'organismes marins conduisant à la blessure ou à la mort des individus, lesquelles peuvent être limitées par une réduction des vitesses d'aspiration au niveau de la prise d'eau. Pour les rejets, les risques d'impacts principaux sont, pour les pompages profonds, l'enrichissement en matière nutritive de la colonne d'eau à une température différente de la température ambiante, susceptible de modifier la chaîne trophique locale (« boom planctonique »). Les recherches associées à la mise en œuvre des premières installations-pilotes permettront d'apporter un recul nouveau par rapport à cette problématique.

Enfin, le CNPMM (comité national des pêches marines et des élevages marins) recommande des « mesures compensatoires par la mise en place de récifs artificiels et la valorisation des ancrages sous-marins de ces projets ».

Dispositifs houlomoteurs de production d'énergie : le risque de collision en plein air avec les oiseaux marins est assez faible du fait de la faible hauteur de ces équipements (quelques mètres au maximum). On considère que les oiseaux plongeant depuis la surface ont des trajectoires de plongée relativement contrôlées, et possèdent ainsi une bonne faculté à éviter les obstacles, tandis que les espèces effectuant leur plongeon depuis une certaine hauteur de vol ont peut-être une capacité plus faible à les éviter. Un suivi en milieu naturel de ces dispositifs pilotes sera nécessaire pour apprécier le potentiel de perturbation à long terme. Il existe aussi d'autres préoccupations générales, comme par exemple les obstacles à la navigation, la plaisance et la pêche, ou, plus spécifiques au houlomoteur, par exemple exprimées par la fondation Surfriider Europe rencontrée par la mission, qui considère la houle et les vagues comme un patrimoine à préserver (cf. par exemple les « surfing reserves » australiennes), au même titre que le trait de côte, le littoral, l'environnement marin.

Les câbles : ils sont aussi une composante commune à toutes les énergies marines renouvelables. Leur impact en phase opérationnelle est de trois ordres au moins :

- l'ensouillage des câbles (dépose au fond d'une tranchée qui sera rebouchée) est indispensable sur des fonds de 0 à 1 000 m de profondeur afin de protéger les câbles de la majorité des risques de croche et de détérioration notamment par les pratiques de pêche aux arts traînants. Les câbles sont ainsi ensouillés à une profondeur pouvant varier de 0,6 à 3 m environ. Les trancheuses à roue ou à chaîne permettent de creuser une souille pouvant atteindre environ 2,50 m de profondeur. Ces opérations génèrent une remise en suspension de matériaux, dont la sédimentation est le plus souvent localisée à une zone de 10 à 20 m autour de l'axe de pose.

- l'impact au travers des champs électromagnétiques qu'ils génèrent dans le milieu : d'après les études effectuées, les hausses de température sont vraisemblablement localisées aux abords immédiats des câbles et limitées. Par ailleurs, si la réaction de nombreuses espèces marines aux champs électromagnétiques est bien établie, les conséquences sur leur physiologie et leur comportement demeurent méconnues pour une majorité d'entre elles. Le principale incertitude porte aujourd'hui sur la capacité d'orientation des individus et sur la perturbation éventuelle de leurs déplacements, en particulier pour les espèces migratrices. Une poursuite des recherches apparaît donc nécessaire afin de mieux quantifier ces effets à long terme.
- les perturbations induites par l'installation et le fonctionnement des câbles en zone d'atterrissage, souvent zone littorale protégée (par exemple zone remarquable) au titre de la loi Littoral.

Plus globalement les effets sur l'environnement des différents types de projet EMR peuvent être classés selon leurs conséquences sur les **différents compartiments de l'environnement** (écosystèmes, paysages et patrimoine, usages), avec également une échelle de **sensibilité** associée. L'étude précitée propose la classification suivante :

Intéraction	Détail
Remaniement des fonds et remises en suspension de matériaux	Il s'agit des installations mécaniques directes avec le milieu associées aux opérations de travaux (installation et démantèlement) et aux ancrages en phase opérationnelle qui perturbent le substrat et peuvent remettre des matériaux en suspension de la colonne d'eau.
Bruits et vibrations	Il s'agit des interactions acoustiques avec le milieu en phase travaux et en phase opérationnelle dans le champ proche et lointain.
Electromagnétisme	Il s'agit des interactions électriques et magnétiques générées autour des installations de transport d'électricité entre les installations et jusqu'à la côte.
Température	Il s'agit des variations thermiques générées par les câbles de transport d'électricité et les rejets d'installations type ETM ou PAC.
Pompages	Il s'agit des interactions mécaniques avec le milieu associées à l'aspiration d'eau en entrée d'installations type ETM ou PAC.
Rejets nutritifs	Il s'agit des effets d'upwelling artificiel pouvant être spécifiquement générés par les installations type ETM ou PAC avec pompage en eaux profondes et chargées en nutriment.
Présence physique des installations	Il s'agit des effets directement associés à la présence des installations dans le milieu : effet récif, effet réserve, effet barrière et risque de collision.
Présence physique des installations et paysage	Il s'agit des interactions spécifiques des installations avec les paysages maritimes et sous-marins.
Obstacles aux écoulements	Il s'agit des perturbations hydrodynamiques (houle, courant) et sédimentaire qui peuvent provenir de l'interaction statique ou dynamique des installations avec le milieu.
Eclairages	Il s'agit des interactions lumineuses du projet avec le milieu en période nocturne.
Contamination	Il s'agit des risques de contamination du milieu marin, accidentels ou liés à la diffusion lente de contaminants provenant des matériaux eux-mêmes.

En **phase de travaux**, les principaux effets à considérer sont le bruit (dans l'eau et dans l'air), le remaniement des fonds, la possible remise en suspension de matériaux, les risques de pollution accidentelle par les engins de travaux, ainsi que les impacts sur les fonds marins associés à la mise en œuvre des fondations, l'ensouillage des câbles ou encore l'ancrage des installations et des navires de surface. Il importe de noter que ces effets restent limités dans le temps ; l'observation des effets et le retour d'expérience montrent que les recolonisations benthiques sont assez rapides et que l'impact sur l'environnement sous-marin demeure limité.

Sur ce sujet, les retours d'expérience portent essentiellement sur l'éolien offshore posé, et notamment sur l'impact des fondations (remise en suspension de sédiments, bruit lors des travaux, altération localisée des habitats sous-marins). Pour les autres technologies d'énergies marines (éolien flottant, hydroliennes, énergie houlomotrice et énergie thermique des mers), la transposition immédiate n'est pas possible. De nouveaux retours d'expérience seront nécessaires à

partir des sites d'essais pour les prototypes, et des fermes-pilotes expérimentales pour des parcs de 5 à 10 machines (éolien flottant et hydrolien). En particulier, il est possible que certaines périodes de l'année soient préférables pour la conduite des travaux afin de minimiser l'impact environnemental.

Perpectives et moyens d'amélioration de l'intégration environnementale des EMR

Afin d'améliorer progressivement les possibilités d'intégration environnementale des nouvelles technologies EMR, un suivi environnemental des fermes-pilotes sera nécessaire. L'étude pilotée par la Dgec indique les principaux champs d'étude et axes de réflexion à approfondir.

	Effet	Principaux éléments de connaissances à approfondir ou axes de réflexion
Environnement	Bruit	<ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques des bruits émis par les différentes technologies et les opérations de mise en œuvre associées • Sensibilité des espèces marines et plus particulièrement des mammifères marins et des poissons à ces bruits.
	Electromagnétisme	<ul style="list-style-type: none"> • Caractéristique des champs électromagnétiques générés par les câbles de transport d'électricité d'installations EMR. • Sensibilité des espèces marines, notamment par rapport à leur orientation et leurs activités de déplacement vis-à-vis de maillages électromagnétiques potentiellement vastes.
	Rejets de PAC, SWAC ou ETM	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité de la colonne d'eau à des rejets de température différente et potentiellement chargés en nutriments (pompages profonds) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ effets directs sur les paramètres physico-chimiques et sur les peuplements phytoplanctoniques ; ▪ effets indirects sur les peuplements halieutiques et sur la santé.
	Présence physique des installations	<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel de soutien des ressources halieutiques et des écosystèmes en général par l'effet récif et l'effet réserve. • Risque de collision des mammifères marins avec les dispositifs immergés statiques ou dynamiques (pâles d'hydroliennes, câbles d'ancrage d'installation ancrées, etc.) • Rsi que d'effet barrière en milieu sous-marin et aérien lié à la présence des installations.
Activités et usages	Pêche professionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Etats des lieux complets à une échelle adaptée à une évaluation fine des impacts sur les activités de pêche. • Méthodes adaptées pour estimer les pertes générées par les installations d'EMR sur les différentes pêcheries.
	Activités aquacoles	<ul style="list-style-type: none"> • Conditions de développement d'activités aquacoles associées aux infrastructures marines des EMR.
	Paysages maritimes et tourisme	<ul style="list-style-type: none"> • Perfectionnement des enquêtes sociologiques et économétriques pour mesurer l'acceptation des EMR notamment au regard de leurs atteintes aux aménités paysagères et des retombées économiques en particulier sur le tourisme (avant et pendant l'exploitation).

L'acceptabilité socio-économique des énergies marines renouvelables dépend également de la capacité des porteurs de projets à valoriser les impacts positifs du déploiement des EMR, en termes d'emplois créés et d'effets bénéfiques sur la faune marine, au regard des impacts négatifs en terme de perte ou de déplacement de zone de navigation ou de pêche par exemple.

L'observation récente montre que les **ancrages et fondations** des machines EMR constituent des **récifs artificiels** rapidement, dans un délai de quelques semaines à quelques mois, colonisés par la faune et la flore marine. Ainsi les récifs peuvent être à terme fréquentés par des populations de poissons et de crustacés qui trouvent dans ces structures des opportunités de protection, d'alimentation et des repères d'orientation. Dans ce contexte, les ouvrages d'EMR fournissent des substrats durs favorisant le développement d'une vie marine spécifique dont les avantages et les inconvénients doivent être évalués tout au long de la vie des ouvrages.

Dans une perspective de fort développement des énergies marines renouvelables en Europe et dans le monde, l'intérêt porté aux effets bénéfiques d'immersion des structures artificielles est grandissant. La mise en œuvre de **récifs artificiels** est effectivement pratiquée dans le monde entier et poursuit trois objectifs spécifiques complémentaires :

- le soutien et la gestion des stocks halieutiques ;
- la préservation et la restauration de milieux marins ;
- l'accroissement de l'attractivité des fonds pour des usages récréatifs.

Par ailleurs, les zones marines réservées aux installations de production d'énergies EMR constituent des zones où les usages sont réglementés et les prises de pêche notamment interdites ou réduites. Il en résulte une perturbation limitée des habitats et une diminution des pressions sur la faune sous-marine, d'où un effet global sur les écosystèmes : **l'effet réserve**.

Le développement des nouvelles EMR sur le paysage littoral et maritime peut en revanche constituer un frein à leur acceptation sociale. On considère le plus souvent que l'impact visuel dépend de la nature des équipements et des technologies : pour l'éolien offshore posé ou flottant, les grandes éoliennes vont être visibles au-dessus de la ligne d'horizon, en tout ou en partie, jusqu'à une distance de 50 km (cf. étude Dgec). **Ainsi, les éoliennes flottantes, destinées à des parcs situés en pleine mer, loin des côtes, auront un moindre impact sur les paysages littoraux** :

Distance (km)	Partie des éoliennes visible pour un observateur d'1,7 m localisé sur une plage Turbine de 150 m et rotor de 90 m		Partie des éoliennes visible pour un observateur localisé sur une falaise de 50 m d'altitude Turbine de 150 m et rotor de 90 m	
	Hauteur (m)	Composante	Hauteur (m)	Composante
10	148	Mât et pales	150	Mât complet et pales
15	146	Mât et pales	150	Mât complet et pales
20	135	Mât et pales	150	Mât complet et pales
25	123	Mât et pales	150	Mât complet et pales
30	108	Mât et pales	150	Mât complet et pales
35	90	Nacelle, haut du mât et pales	146	Mât et pales
40	68	Nacelle, haut du mât et pales	139	Mât et pales
45	43	Pales	129	Mât et pales
50	14	Extrémité des pales	115	Mât et pales
55	0	Aucune	98	Nacelle, haut du mât et pales
60	0	Aucune	78	Nacelle, haut du mât et pales
65	0	Aucune	54	Nacelle, haut du mât et pales
70	0	Aucune	27	Extrémité des pales
75	0	Aucune	0	Aucune

Par ailleurs, les hydroliennes, et les énergies houlomotrices ou thermiques des mers, du fait de leur caractère compact et de leur immersion totale ou partielle, vont avoir un moindre impact visuel sur les paysages littoraux et être peu perceptibles, donc moins sujettes à critiques de la part du public et des observateurs.

Position des associations de protection de l'environnement

Une note de positionnement et de réflexion sur les EMR, de France Nature Environnement (FNE), a été rédigée en date du 11.03.2013, spécialement pour notre mission. Nous la résumons ci-dessous :

FNE soutient le développement des EMR, dans la mesure où celui-ci est réalisé dans des conditions satisfaisantes pour l'environnement. Si le développement des EMR est souhaitable, il ne saurait se faire au détriment de la protection de la biodiversité. Les choix d'implantation doivent préserver au mieux les habitats et les espèces, les études d'impact doivent être réalisées de manière sérieuse et transparente, des mesures compensatoires doivent être mises en œuvre là où les destructions sont inévitables. La connaissance du milieu marin doit être améliorée, car les EMR sont développées dans des espaces relativement mal connus. Pour FNE, les EMR ne doivent pas entrer en compétition directe avec d'autres usages du milieu marin et côtier, notamment ceux présentant un impact positif sur la biodiversité, ni aboutir à des gestions spécialisées conduisant à une appréciation de fait de l'espace public.

FNE, propose de développer la gestion intégrée des zones côtières, et de développer une vision partagée entre l'ensemble des acteurs du milieu marin et côtier en renforçant les échanges entre ces acteurs. Une priorité est à apporter à l'Outre-Mer, car plus qu'ailleurs, les outre-mer français sont dépendants des énergies importées, ils doivent être des zones prioritaires du développement des EMR et peuvent en outre être des zones de démonstration de l'excellence française en technologies EMR.

Autres éléments de réflexion et de proposition : la mise en place d'une gouvernance intégrant les associations de protection de l'environnement doit accompagner le développement des EMR, et la fiscalité liée aux énergies marines doit servir la protection de l'environnement. Enfin, FNE soutient la création d'Aires Marines Protégées expérimentales sur les parcs éoliens et hydroliens.