

Les énergies marines, des énergies d'avenir

Par Georgina GRENON* et Julien THOMAS** (1)

Les énergies marines représentent un potentiel théorique plusieurs fois supérieur aux besoins électriques mondiaux et contribueront à améliorer l'indépendance énergétique tout en nous permettant de progresser vers une décarbonation du mix électrique. Si ce potentiel énergétique, environnemental et industriel n'est pas encore exploité, de premiers essais prometteurs font déjà rêver les industriels, les énergéticiens, les populations riveraines et les États : tous friands de leviers de croissance et de créations d'emplois, en plus de la réalisation des objectifs énergétiques et environnementaux proprement dits. Comme toutes les grandes innovations en matière d'énergie, les cycles sont longs, et le pari que représente un développement fiable et à des coûts maîtrisés de ces énergies nécessite d'adopter une vision de long terme. La capacité à exploiter les potentialités qu'offrent les énergies marines dépendra de l'implication de tous.

Les énergies marines électriques : un foisonnement de technologies visant un même objectif

Les termes *énergies marines* désignent l'ensemble des technologies permettant de produire de l'électricité à partir des différentes forces (ou ressources) du milieu marin. La mer est une source inépuisable de différentes formes d'énergie : en font partie l'énergie hydrolienne, l'énergie houlomotrice, l'énergie thermique des mers, l'énergie osmotique et l'énergie marémotrice.

Les énergies marines, un potentiel énorme non encore exploité

Le potentiel total théorique des énergies marines dans le monde a été estimé par l'Agence internationale de l'énergie dans une fourchette allant de 20 000 à 90 000 térawatts-heure/an (TWh/an) ; en comparaison, la consommation mondiale d'électricité est de l'ordre de 16 000 TWh/an. Même si l'écart entre le potentiel théorique et la ressource réellement exploitable dans les prochaines années est une chose indéniable, on peut considérer que ces technologies feront partie de celles qui pourront contribuer à l'indépendance énergétique des pays, non seulement grâce à une électricité renouvelable, mais aussi en injectant dans les réseaux une électricité à un niveau de prévisibilité bien plus élevé que celui de la plupart des sources d'électricité renouvelables connues à ce jour. Le faible impact environnemental des énergies

marines est lui aussi porteur d'espérance : avec un bilan carbone parmi les plus faibles – toutes technologies électriques confondues – ces énergies présentent de réelles opportunités de décarboner les territoires insulaires, et les premiers essais, effectués dans des conditions réelles, ont apporté la preuve d'un faible impact sur l'environnement marin. Ces technologies si innovantes, créées de toute pièce, représentent aussi un potentiel industriel très convoité, car les activités relatives à la fabrication, à la mise en service et à la maintenance de ces installations exigeront une base logistique implantée à proximité. À titre d'exemple, on estime aujourd'hui qu'en ce qui concerne les technologies hydroliennes les plus avancées, un minimum de 50 à 60 % de la valeur ajoutée d'une installation devraient être produits localement.

Mais ce potentiel énergétique, environnemental et industriel n'est pas encore exploité : les filières n'en sont qu'à leurs débuts et ont besoin de se structurer et de se consolider pour avancer. Si des essais en mer ont été réalisés – ou sont en cours – sur certaines familles de technologies, il n'existe à ce jour aucun parc en production. De plus, il n'y a encore que peu d'informations sur la façon dont des machines implantées au sein d'un même parc pourront interagir entre elles, d'autant plus que les solutions aujourd'hui en développement présentent de fortes différences entre elles. Aussi, il est peu probable qu'existe à terme une unique solution par famille technologique. Ainsi, l'exploitation des gisements de chacune des énergies marines passera très probablement par un recours à plusieurs solutions complémentaires entre elles.



Le potentiel européen de l'énergie hydrolienne.

© Aqua-Ret

De premiers essais prometteurs qui font rêver les industriels, les énergéticiens, les populations riveraines et... les États

Le marché autour des énergies des mers n'en est encore qu'à ses débuts, mais la filière commence à se développer dans certaines régions clés. La diversité des potentiels de ressources et la maturité des technologies nécessaires à leur exploitation accélèrent actuellement le développement de cette industrie nouvelle. Aujourd'hui, le marché est tiré par la Grande-Bretagne, l'Irlande, la France, le Portugal, l'Australie, les États-Unis et le Japon.

Pour les industriels, et notamment pour ceux qui sont basés à proximité des gisements, il s'agit d'une opportunité de créer de nouvelles filières globales et de proposer un

puissant levier de croissance aux différents maillons de la chaîne d'approvisionnement et de services.

Mais si l'innovation et les outils de production ainsi que leur installation sont du ressort de tout type d'acteurs allant de la petite *start-up* à de grosses multinationales, il reviendra aux énergéticiens d'exploiter ces installations de production électrique. Cette rupture technologique devient donc un levier de croissance et de différenciation important – ce qui est rare et mérite donc d'être souligné –, voire de repositionnement pour l'avenir.

Si l'acceptabilité des énergies renouvelables pour l'ensemble des citoyens est assez répandue, l'attitude réservée habituellement par les populations riveraines peut s'avérer moins accueillante du fait de l'impact visuel de celles-ci, ainsi que de celui de leur logistique, ou tout simplement par



une réaction de principe du type : « oui, mais pas chez moi ». Or, il s'avère que, par expérience et par analogie avec des technologies plus avancées, comme l'éolien en mer, l'importante création de valeur autour de ces gisements est susceptible d'améliorer sensiblement l'accueil réservé par les populations locales. Celles-ci ne manquent pas de remarquer les effets bénéfiques en termes d'emplois directs, de retombées indirectes et de taxes locales à reverser aux communes concernées, ainsi que d'autres efforts faits par les porteurs de projets pour mieux intégrer ces activités existantes ou nouvelles dans le paysage et le contexte local.

Face à ces attentes, les États, à la recherche de leviers de croissance et engagés sur des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre (tout en veillant à la maîtrise de leur impact final), n'ont pas tardé à lancer des programmes dédiés au développement et à la consolidation de ces filières.

Des efforts considérables restent à faire pour transformer l'essai... Les cinq à dix années à venir seront à cet égard décisives

Que l'on soit en Écosse, en Irlande, au Canada, en Australie, en Bretagne ou en Basse Normandie, l'information circule très vite. La communauté internationale est attentive aux informations provenant des essais réalisés, car il s'agit de technologies innovantes, et il faudra faire preuve de courage et d'intelligence pour franchir les prochaines étapes.

Tout d'abord, il faudra montrer que « ça marche », faire sauter les verrous technologiques et sociétaux les plus importants, comprendre le fonctionnement des machines en interaction avec d'autres machines dans un même parc, réaliser les raccordements électriques sous-marins nécessaires dans des conditions extrêmes jamais rencontrées jusque-là (courants marins, houle, vent, profondeurs importantes) et démontrer la fiabilité des systèmes et l'efficacité des opérations de maintenance.

Méthodiquement, il faudra donc s'assurer d'une baisse progressive des risques associés (risques technologiques, risques « pays », etc.) et avancer sur une courbe d'apprentissage qui devrait permettre une réelle baisse des coûts de production de l'électricité.

Il faudra aussi faire de la pédagogie, car les investisseurs et les autres parties prenantes au développement commercial de ces technologies ignorent encore, dans la pratique, le potentiel et le calendrier de maturation de ces technologies, qu'ils associent encore à de grandes idées. Les gros investisseurs institutionnels sont, à terme, la cible à atteindre, car, il ne faut pas l'oublier, ces installations sont à forte intensité capitalistique, comme la plupart des grands projets d'infrastructures.

Les cinq à dix prochaines années seront décisives pour l'émergence de ces technologies et pour le début d'un déploiement fiable à des coûts maîtrisés. Mais, dans le court et moyen terme, il faudra être collectivement prêts à accepter de payer pour une électricité qui devrait rester plus chère que la moyenne des prix constatés sur le marché de

gros durant les dix à quinze prochaines années. Si la situation s'avère plus intéressante dans les réseaux isolés ou insulaires vu les coûts réels de l'électricité produite sur place, les risques et surcoûts associés aux facteurs climatiques seront d'autant plus marqués. Cela dit, comme pour toutes les grandes innovations dans le domaine de l'énergie, les cycles sont longs et le pari nécessite d'adopter une vision à beaucoup plus long terme.

Il faut certainement faire vite, car l'avantage aux premiers entrants sera important. Mais il ne faudra pas pour autant brûler les étapes, sous peine de risquer de perdre la confiance des parties prenantes, dont la contribution est indispensable à la réussite collective de cette aventure marine. Le potentiel que représentent les énergies marines est grand et la capacité à l'exploiter dépendra de l'implication de tous.

Et la France dans tout ça ?

Le développement des énergies marines renouvelables est un des secteurs prioritaires identifiés par la France pour sa transition énergétique ; il devrait faciliter une plus grande diversification de ses sources énergétiques, assurer une plus grande sécurité d'approvisionnement et permettre le développement de nouvelles filières industrielles qui leur sont associées.

En France, la ressource est concentrée majoritairement au large des côtes de Normandie, de Bretagne et des Pays de la Loire, et des opportunités sont aussi à saisir dans les territoires d'outre-mer. La feuille de route pour la transition écologique montre l'engagement du gouvernement dans l'exploitation de ces ressources et le développement des emplois que l'émergence des industries connexes devrait générer. Pour cela, des premiers pas importants ont été faits afin de soutenir les travaux de recherche et développement indispensables à la maturation de ces filières. Comme pour d'autres pays, la bancabilité des technologies et la réduction de leurs coûts sont, en France, essentielles. Il en va de même de la mise en place des chaînes d'approvisionnement nécessaires à l'exploitation de ces nouvelles sources d'énergie renouvelables à l'échelle commerciale.

Un certain nombre d'initiatives ont été prises depuis 2005, notamment à travers le financement *ad hoc* de projets par l'État et des agences régionales. En 2009, un appel à projets de l'ADEME, soutenu par le Programme d'Investissements d'Avenir, a permis le financement de deux prototypes d'hydroliennes (Sabella D10 et ORCA), d'un prototype d'houlomoteur (S3) et de deux prototypes d'éoliennes flottantes (Winflo et Vertiwind). En complément, des démonstrateurs sont en cours d'expérimentation à La Réunion (ETM, houlomoteur) ; de même, cinq sites d'essais sont en cours de mise en service en métropole et de nombreux projets sont en cours de développement (ETM, SWAC, houlomoteur, hydrolien, éolien flottant...).

L'année 2012 a marqué un tournant avec le démarrage de plusieurs initiatives très structurantes pour les filières concernées, parmi lesquelles nous citerons :





© Technip

Eolienne flottante, vue d'artiste d'un prototype appelé à être déployé en région Provence Alpes Côte d'Azur.





- ✓ la labellisation de l'Institut d'excellence en énergies décarbonées (IEED), appelé France Énergies Marines, a confirmé le soutien de l'État à la création de filières compétitives en France et à la mise en place d'un réseau pérenne de sites d'essais en mer,
- ✓ la réalisation et la publication d'une étude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables (www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/120615_etude_version_finale.pdf),
- ✓ la désignation en tant que lauréat du projet de ferme éolienne flottante porté par EDF Energies Nouvelles, dans le cadre de l'appel à projets européen NER300. L'ensemble, d'une puissance de 26 mégawatts, devrait être opérationnel en 2016 dans la région Provence Alpes Côte d'Azur,
- ✓ le lancement, au cours de l'année 2012, de plusieurs études visant à approfondir la connaissance du secteur afin d'affiner la vision stratégique en matière d'hydroliennes. Parmi ces travaux on peut citer :
 - a) une demande d'informations à destination de l'ensemble des acteurs embrassant un périmètre très large allant de la vision qu'avaient les acteurs du secteur jusqu'à l'économie et le financement des projets, en passant par l'évaluation de leurs impacts sur l'environnement ou sur les activités existantes ;
 - b) des rencontres régulières avec les acteurs les plus importants, ainsi qu'avec l'ensemble des porteurs des technologies les plus avancées, lesquelles ont permis d'apporter des éléments techniques complémentaires ;
 - c) une étude sur les modalités d'évacuation et de raccordement de la production électrique hydrolienne au réseau, étude confiée à RTE dont le rapport a été rendu public en janvier 2013 ;
 - d) la proposition d'une méthodologie d'analyse multicritères, dans une optique d'identification de zones potentiellement propices au déploiement de l'hydrolien.

Notes

* Chargée de mission pour les Filières Vertes à la direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC), ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

** Ingénieur des Ponts, des Eaux et des Forêts, adjoint au chef du bureau des Énergies renouvelables à la direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC), ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

(1) Cet article n'engage que la responsabilité de ses auteurs.

La nature, source d'inspiration

La nature fait bien les choses. Elle inspire ceux qui arrivent à voir au-delà de l'évidence. Tel semble être le cas d'une innovation de rupture dans la famille des technologies houlomotrices. Selon la petite histoire, le plongeur professionnel d'origine finlandaise Rauno Koivusaari explorait l'épave d'un vieux bateau quand il s'est aperçu qu'une partie lourde et rectiligne de la carcasse de ce bateau oscillait sans subir de dommages, portée qu'elle était par la force de la houle profonde. Cela lui a semblé être une évidence : la houle est fortement énergétique ! Des années de recherche, de modélisations et de développements ont suivi et, aujourd'hui, les premiers prototypes à grande échelle de la technologie WaveRoller (qui reproduisent ce mouvement naturel de l'épave inspiratrice) permettent de générer de l'électricité dans des conditions réelles, en toute simplicité.

LES TECHNOLOGIES (Source : Rapport Énergies décarbonées, DGEC, 2011)

L'énergie hydrolienne

Cette technologie utilise l'énergie cinétique des courants marins. Une hydrolienne peut être comparée à une éolienne sous-marine. Il s'agit non pas d'utiliser la force motrice du vent, mais celle des courants marins. Ces derniers présentent plusieurs avantages comme leur prévisibilité – celle en particulier liée aux marées – et le fait d'autoriser l'installation de fermes assez compactes, avec des turbines proches les unes des autres.

La taille des hydroliennes varie : ainsi, les derniers prototypes à l'essai ont des rotors allant jusqu'à vingt mètres de diamètre.





© DCNS

Opération de mise à l'eau du démonstrateur hydrolien « Arcouest » par EDF en région Bretagne.



© ALSTOM

Embarquement d'une hydrolienne Alstom-TGL (Tidal Generation Limited) d'une puissance d'un mégawatt (MW).





© SABELLA

Vue d'artiste d'un champ d'hydroliennes.

(suite)

LES TECHNOLOGIES (Source : Rapport Énergies décarbonées, DGEC, 2011)

L'énergie houlomotrice

Le vent soufflant au-dessus de grandes surfaces marines crée des vagues. L'énergie houlomotrice est l'énergie cinétique potentielle due aux mouvements des vagues. La houle peut voyager sur de très longues distances et apporter sur une côte de l'énergie qu'elle a collectée très loin en mer. Différentes technologies sont à l'essai. Les plus répandues font appel à un flotteur (ou à un autre dispositif moteur) ancré au fond et mis en mouvement par la houle. Le mouvement est soit immédiatement converti en électricité (par exemple, grâce à des technologies telles que Pelamis, Wave Roller ou AWS), soit transmis à une pompe qui met un fluide sous pression, fluide qui est transporté à terre pour produire de l'électricité (technologie CETO, par exemple). Une troisième technique repose sur l'utilisation d'une colonne d'eau comme d'un piston pour pousser de l'air et faire tourner la turbine d'un électrogénérateur (par exemple, la colonne d'eau oscillante du LIMPET 500).

L'énergie thermique des mers : une opportunité pour des zones extrêmes

Dans l'océan, en zone intertropicale, la différence de température entre l'eau de surface et l'eau profonde dépasse les 20°C. Le principe de l'énergie thermique des mers est d'exploiter une partie de la chaleur de l'eau de surface au moyen d'une machine thermodynamique qui convertit la chaleur en énergie électrique.



L'énergie osmotique

L'énergie osmotique désigne l'énergie exploitable à partir de la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce. Afin de produire de l'énergie osmotique, on installe une membrane semi-perméable en contact avec de l'eau douce sur l'une de ses faces et avec de l'eau de mer sur l'autre face : elle est donc soumise à une pression dite osmotique. Ce phénomène peut être mis à profit pour récupérer de l'énergie. La faisabilité technico-économique de cette technologie est à l'étude. La clé sera le développement des membranes nécessaires au procédé, qui soient suffisamment résistantes à l'usure et dont les coûts de production soient acceptables.

L'énergie marémotrice

L'exploitation de l'énergie marémotrice consiste à profiter du flux et du reflux de la marée pour alternativement remplir et vider un bassin de retenue en actionnant des turbines qui incorporées dans le barrage entraînent un générateur d'électricité.

Aujourd'hui, la France est un des pays pionniers dans cette technologie, sans pour autant que soit envisagé un développement dans le court terme. Plusieurs pays dans le monde ont renoncé à des projets d'envergure. En effet, les coûts élevés, les faibles taux de réussite et les incidences négatives sur l'écosystème sont jugés rédhibitoires. À ce jour, la Corée du Sud est l'un des seuls pays à poursuivre ses efforts dans ce domaine, sa première usine marémotrice, d'une puissance de 254 mégawatts (légèrement supérieure à celle de la centrale marémotrice de La Rance, qui est de 240 MW), a été mise en service récemment sur le lac Sihwa.



Vision d'artiste d'un prototype d'Énergie thermique des mers, projet en développement en région Martinique.

© DCNS