

# Quel avenir pour le marémoteur en France ? Vers un nouveau modèle de développement territorial

## Travaux du GT national « nouveau marémoteur » de la SHF

Denis AELBRECHT<sup>1</sup>, Luc DEROO<sup>2</sup>, Christophe Le VISAGE<sup>3</sup>, Antoine RABAIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Electricité de France (EDF) - Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH) - Savoie Technolac - 73373 Le Bourget du Lac - France - denis.aelbrecht@edf.fr

<sup>2</sup> ISL-ingénierie, 84 boulevard Marius Vivier Merle - 69485 Lyon Cedex 03 - France

<sup>3</sup> Stratégies Mer et Littoral, 20 rue Louis Guilloux - 35235 Thorigné Fouillard - France

<sup>4</sup> Division INDICTA Conseil et Etudes stratégiques, Groupe M PRIME ENERGY - 9 Avenue de Friedland - 75008 Paris - France

### INTRODUCTION

La France a été parmi les pays pionniers pour le développement, à l'échelle industrielle, de systèmes de conversion de l'énergie des marées en énergie mécanique puis électrique. L'usine marémotrice prototype de la Rance près de Saint-Malo et Dinard, prototype d'une puissance installée de 240 MW, et produisant annuellement une énergie renouvelable prédictible de 550 GWh, fête actuellement ses 50 ans d'exploitation opérationnelle depuis sa mise en service en 1966 (le dernier groupe ayant été mis en service en 1967). Ce projet novateur pour l'époque, qui fait actuellement l'objet d'un programme de rénovation industrielle pour maintenir et améliorer ses performances, reste toujours la référence de taille industrielle permettant de tirer des enseignements tangibles dans tous les registres de son fonctionnement : performance technologique ; incidences et prise en compte de l'environnement ; performances économiques ; interactions socio-économiques avec le territoire [Aelbrecht D., Derlot L. 2014].

En 2015, dans un contexte de transition énergétique particulièrement actif, des acteurs de la profession se sont rassemblés dans un Groupe de Travail national (GT) sous l'égide de la Société Hydrotechnique de France (SHF, [www.shf-hydro.org](http://www.shf-hydro.org)), rassemblant toutes les composantes de la profession, pour réévaluer les paramètres de faisabilité de possibles nouveaux projets en France, en axant délibérément leurs travaux sur l'intégration territoriale et environnementale de tels projets.

### 1. ENERGIES MARINES : NOUVELLE FRONTIÈRE POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE ?

L'exploitation de l'énergie de la mer n'est pas nouvelle et remonte loin dans l'histoire des peuples maritimes, en Europe, en Amérique et en Asie. Mais depuis 10 ans, les énergies marines renouvelables (EMR) vivent un développement assez spectaculaire dans le champ de la recherche & développement, et petit à petit, dans la mise en œuvre opérationnelle de solutions industrielles. Cette dynamique est particulièrement soutenue en Europe et également en France, par (1) un besoin sociétal et une volonté politique de rechercher de nouvelles solutions de production décarbonées favorisant la diversité du mix énergétique, et (2) par l'émergence de nouvelles technologies repoussant les limites du faisable.

En France:

— Environ 6 parcs éoliens offshore posés de quelques centaines de MW chacun, sont en cours de développement le long

des côtes de la Manche et de l'Atlantique, dans la perspective d'une mise en service d'ici 5 ans pour les plus avancés ;

— 2 démonstrateurs éoliens offshore flottants prévus en Méditerranée ont reçu un soutien des pouvoirs publics pour avancer dans leur développement ;

— Plusieurs démonstrateurs hydroliens de l'ordre de 1 à 2 MW ont été installés (projet EDF à Paimpol-Bréhat ; projet SABELLA au Fromveur), et 2 projets de fermes pré-industrielles ont été sélectionnées en 2014 à l'issue de l'AMI lancé par l'ADEME (projets EDF-EN et ENGIE). Le projet de démonstrateur hydrolien de Paimpol-Bréhat est essentiel car il fournit d'importants enseignements sur tous les aspects liés au développement de projet EMR : volets juridiques et autorisations administratives ; intégration environnementale en mer et en zone côtière ; performance et robustesse technologique ; poids des moyens logistiques pour les opérations marines ([Terme L., Gérard N., 2013] et [Aelbrecht D., Lafon F., Gérard N., 2014]),

— Quelques projets pilotes visent à tester des technologies de conversion de l'énergie de la houle, en France métropolitaine et en outre-mer,

— Un projet d'Énergie Thermique des Mers (OTEC, Ocean Thermal Energy Conversion) piloté par DCNS et Akuo Energie est en développement en Martinique (NEMO),

— Des projets de thalasso-thermie (pompe à chaleur utilisant l'eau de mer) se développent en métropole,

— Divers projets SWAC (climatisation par eau de mer) sont en opération (Polynésie française) ou en préparation (La Réunion).

Au Royaume-Uni, le développement des projets de lagons marémoteurs s'accélérent. Après de nombreuses années d'étude portant sur les différentes solutions, configurations et tailles d'installations marémotrices industrielles, notamment dans l'estuaire de la Severn, une mission mandatée par le gouvernement britannique sous la présidence de M. Charles Hendry, ex. ministre de l'Énergie, vient de publier courant Janvier 2017 ses conclusions. Celles-ci confirment l'opportunité pour ce pays de favoriser le développement d'une filière industrielle marémotrice, pour enrichir le panel des options technologiques décarbonées, pour stimuler le développement économique territorial et ouvrir des perspectives à l'export (voir : <https://hendryreview.wordpress.com>). Le projet Swansea Bay au Pays de Galles constitue la tête de pont d'une possible série d'installations, et les négociations pourraient aboutir au démarrage prochain de sa construction effective.

L'océan et la mer sont des milieux difficiles, voire hostiles par certains égards, qui imposent *de facto* des solutions intelligentes, simples et robustes, respectueuses de l'environnement et des fonctions écologiques des écosystèmes littoraux, tout en garantissant une viabilité économique réelle

pour rendre crédibles les projets. Le GT a exploré tous ces facteurs de succès, en vue de définir les conditions nécessaires au développement d'un nouveau modèle de projet territorial pour le marémoteur en France.

## 2. TIRER LES ENSEIGNEMENTS DU PASSÉ POUR MIEUX CONSTRUIRE LE FUTUR. LES FACTEURS DE SUCCÈS POUR DE NOUVEAUX PROJETS MARÉMOTEURS

**Le potentiel marémoteur** : l'Europe – France et Royaume-Uni en tête – présente une ressource et un potentiel d'équipement théorique significatif le long des côtes Atlantiques et de la Manche, avec des marnages de plus de 7 m en vive-eau moyenne dans de nombreuses zones. Ces zones seront rappelées brièvement. Pour autant, les auteurs préfèrent parler d'un potentiel « pragmatique », qui est justement celui qui permet de satisfaire toutes les conditions de succès, présentées de manière synthétique dans cette communication.

**Les types de configuration de projet** : 3 grandes catégories de projets sont envisageables : les barrages en estuaire ; les lagons côtiers ; les lagons offshore. Dans la mesure où (1) les opportunités de projets en estuaire apparaissent non seulement limitées mais (2) surtout plus sensibles sur le plan environnemental, on examinera plutôt les solutions des deuxième et troisième catégories. Des solutions multi-bassins, favorables pour le lissage de production et le stockage d'énergie, sont également possibles. On introduira également le concept de Marélienne ultérieurement, qui vient enrichir la catégorie « lagon côtier » - voir ci-après.

**Interactions avec l'Environnement** : les interactions des projets marémoteurs concernant à la fois les incidences négatives ou les retombées positives, que ce soit celles liées à la présence des ouvrages ou à son fonctionnement hydraulique (à l'origine de modification des régimes hydrauliques). Ces interactions doivent être précisément évaluées en considérant notamment deux secteurs environnementaux :

- Les écosystèmes aquatiques marins et littoraux et les fonctions écologiques associées : habitats, faune (poissons, mammifères, oiseaux, faune benthique), et flore ;
- Les sédiments : modification de la sédimentation du bassin, perturbations morphologiques littorales, extraction de matériaux pour les besoins de construction

Ces processus et ces risques doivent faire l'objet d'études approfondies le plus en amont pour garantir

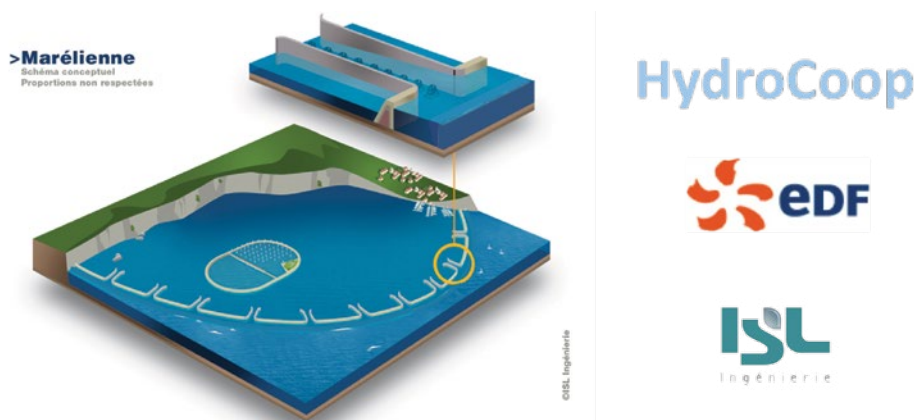
que les configurations proposées constituent la meilleure solution possible. Ils doivent être examinés pour tous les phases de vie du projet : la construction, l'exploitation et le démantèlement. Les enseignements de la construction de l'usine de la Rance, pendant laquelle l'estuaire a été barré pendant 3 ans, doivent servir à la définition intelligente d'un phasage d'étapes de construction respectant un haut standard environnemental.

Enfin, comme déjà mentionné, les projets peuvent aussi induire des effets positifs, par exemple en protégeant le littoral contre l'érosion du trait de côte, en réduisant voire en supprimant le risque de crue ou de submersion marine dans certaines zones côtières, en favorisant des développements portuaires et économiques, etc ... Il s'agit là d'opportunités de services additionnels des projets qu'il convient d'explorer là aussi le plus tôt possible, avec les acteurs du territoire, dans le processus de développement des projets (voir §.3 ci-après).

**Opportunités d'innovation technologique** : Il y a principalement 3 secteurs technologiques structurants pour la conception de projets marémoteurs, chacun présentant des opportunités d'innovation propres :

- La ceinture du bassin marémoteur : pour des configurations de lagons côtiers ou offshore, les techniques possibles sont : digues à talus avec carapace en enrochements ou blocs artificiels ; les digues-caissons ; les digues en géotubes ; les panneaux préfabriqués enfilés sur piles. Les dernières solutions présentent des atouts potentiels en termes de réduction des coûts et de réduction des matériaux nécessaires ;
- La technologie des machines : outre la robustesse et la résistance aux conditions d'eau marine, déjà bien maîtrisées, les enjeux concernent essentiellement : la possibilité de vitesse variable ; l'optimisation des vitesses critiques d'arrêt/démarrage des groupes bulbes ; l'optimisation du fonctionnement en pompe. On peut également citer l'émergence de turbines dites orthogonales, et enfin l'utilisation d'hydroliennes dans le concept de Marélienne.
- Le mode d'exploitation : les caractéristiques de marnage du site, les contraintes de marnage et de niveau dans le bassin, et les performances des machines, les exigences du réseau électrique, conditionnent la recherche du meilleur optimum de fonctionnement, avec recours au simple ou double effet, du pompage direct ou inverse, et l'opportunité de projets double ou multi-bassins

La **Marélienne** ou **Tidal Garden** est un concept innovant qui résulte de la combinaison d'un bassin marémoteur avec des hydroliennes [Lemprière F., 2014] : le bassin est équipé de chenaux ouverts sur la mer, chaque chenal étant équipé de rangées d'hydroliennes où l'écoulement – et donc



les vitesses - est concentré. Les avantages d'un tel concept sont assez nombreux : il est d'abord adapté à des sites à marnage même modéré (3 à 5 m), où les solutions plus conventionnelles de groupes bulbes ne peuvent s'appliquer, ce qui démultiplie les sites potentiels d'application (ex. Pays de Loire ; Pays-Bas ; ... ) ; il offre une certaine transparence environnementale pour la faune aquatique et les activités. Il peut offrir des facteurs de charge intéressants. Certaines de ces caractéristiques et le fonctionnement hydraulique de la *Marélienne* ont fait l'objet de premières explorations par EDF [Aelbrecht D., Cochet C. et al., 2015].

**Viabilité et performance économiques** : La viabilité et la performance découle d'un équilibre de long terme entre coûts de l'énergie et modèle de recettes. Il est quantifié à travers l'indicateur LCOE (pour *Levelized Cost of Energy*) qui actualise sur une durée de vie de référence de l'ouvrage (ou de la concession) les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance, et permet de comparer entre elles différentes solutions technologiques pour un même MWh produit. Les opportunités d'optimisation de LCOE sont principalement :

La réduction des coûts :

- La réduction des coûts d'investissement (ouvrages et équipements), sachant que souvent le génie-civil peut représenter de l'ordre de 50 à 70% de l'investissement total ;
- L'optimisation de la maintenance et la réduction des indisponibilités, programmées ou fortuites ;
- Le choix approprié de la taille de l'aménagement en l'adaptant aux possibilités et contraintes du site (impact de l'effet d'échelle sur le LCOE et effet de seuil possible), même si généralement il est reconnu que plus l'aménagement sera grand, plus le LCOE sera intéressant ;

L'amélioration des recettes :

- L'augmentation du productible, par augmentation de la performance des machines et du facteur de charge ;
- L'amélioration des recettes par un modèle d'achat du MWh adapté proposé par les pouvoirs publics, reconnaissant la valeur d'une énergie renouvelable et prédictible, pilotable et dans certaines configurations stockable (solutions multi-bassins) ; plusieurs mécanismes existent en Europe (feed-in tariffs ; tarifs CfD ; ... ) ;
- La mutualisation des coûts si l'aménagement peut offrir des services additionnels au service de production d'énergie, créateur de valeur justifiant le possible partage partiel des coûts d'investissement voire d'exploitation.

Cet équilibre économique constitue évidemment une condition structurante pour justifier la viabilité d'un projet et sa capacité à offrir une solution crédible sur les marchés électriques.

### 3. OPPORTUNITÉS DE PROJETS MULTI-USAGES: DU SYNDROME NIMBY AU YIMBY ?

La condition numéro 1 pour envisager l'émergence de nouveaux projets marémoteurs reposera sur l'intégration territoriale. On entend par là non seulement l'acceptabilité du projet par les acteurs locaux, mais plus ambitieusement la recherche avec les acteurs du territoire, dès les phases amont des projets, de solutions :

- compatibles avec les usages existants de l'espace littoral et maritime concerné, et si possible ouvertes aux synergies possibles avec ces usages existants,
- ouvertes à la proposition de nouveaux services au territoire.

Bref, transformer le syndrome *NIMBY* (Not In My BackYard) en *YIMBY* (Yes In My BackYard), pour aller vers des projets portés par les territoires.

Les aménagements hydro-électriques terrestres plus conventionnels sont habitués à ce partage des bénéfices induits par les infrastructures hydrauliques, et les opportunités de multi-usages pour de futurs projets marémoteurs existent concrètement, en fonction des caractéristiques et besoins locaux des différents sites :

- Protection du littoral contre l'érosion côtière et/ou contre l'inondation,
- Projet multi-énergies : éolien posé, houlomoteur inséré dans les digues, ...),
- Infrastructures de transport (cf. le pont à la Rance) : la mise en place de voies de circulation routière permet de rapprocher 2 territoires isolés et de ce fait de développer les activités économiques locales,
- Pêche et cultures marines (conchyliculture, pisciculture, culture d'algues),
- Tourisme local responsable, tourisme industriel,
- Activités sportives, récréatives (plan d'eau propice à la plaisance),
- Approche globale de la gestion sédimentaire active, incluant la valorisation des sédiments,
- Et enfin, rénovation paysagère littorale, sur des sites appauvris par une industrialisation passée par exemple.

Ce sont toutes ces conditions, toutes ces opportunités que le GT national "nouveau marémoteur France" finit d'explorer actuellement. Ses conclusions prendront la forme d'un livre blanc dont la parution est à ce jour programmée sur le second semestre 2017.

## RÉFÉRENCES

- AELBRECHT D., DERLOT L. (2014) – La Rance tidal power plant (France): past, present, and future . *Proceedings of Marine Energy Brest 2014, Oct. 15-16, 2014* ([www.marine-energy-brest.org](http://www.marine-energy-brest.org)), .
- AELBRECHT D., LAFON F., GERARD N. (2014) – Tidal stream demonstration project at Paimpol-Bréhat (France) . *Proceedings of Marine Energy Brest 2014, Oct. 15-16, 2014* ([www.marine-energy-brest.org](http://www.marine-energy-brest.org)), .
- AELBRECHT D., COCHET C., DEBERT R., LEMPERIERE F. (2015) – Tidal garden or Marélienne concept: development of hydraulic operating models for optimizing its design and simulating its performance . *Proceedings of Hydro'2015 conference, Bordeaux (France), Oct. 9-10 2015*, .
- LEMPERIERE F. (2014) – Utilisation innovante des hydroliennes : les maréliennes . *Les Techniques de l'Ingénieur* , **RE-1784-2014**, .
- TERME L., GERARD N. (2015) – Parc Hydrolien EDF de Paimpol Bréhat: premières réalisations et préparation du raccordement au réseau de la première ferme hydrolienne en France . *La Houille blanche*, **1**, 22-26.