



Filière de l'hydrolien en mer en France

Retour d'expérience technologique, état des lieux et perspectives de la filière

SYNTHESE

- La France dispose grâce à sa **ressource hydrolienne** de l'opportunité de développer une nouvelle source d'énergie renouvelable, particulièrement complémentaire aux autres énergies renouvelables, notamment grâce à sa prédictibilité.
- Depuis 10 ans, plusieurs industriels français se sont positionnés sur la technologie hydrolienne et ont développé des produits et compétences spécifiques. Les éléments d'information réunis dans cette note montrent qu'il existe aujourd'hui une filière française de l'hydrolien, pouvant jouer un rôle de premier plan sur le marché international, grâce à des **avancées technologiques certaines**.
- Les perspectives de réduction des coûts sont par ailleurs avérées. **La prochaine Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) doit donc permettre à la filière de se projeter, à horizon 2023, dans un marché commercial en prévoyant le lancement d'appels d'offres à hauteur de 150MW à 250 MW répartis sur le Raz Blanchard et le Fromveur.** Ce calendrier permettra de bénéficier des retours d'expérience des fermes pilotes qui seront installées entre temps, en France et à l'étranger. Des appels d'offres complémentaires devront être prévus d'ici 2028, pour des volumes croissants, sous conditions de prix et de retour d'expérience.
- **Les acteurs réunis au sein du SER sont convaincus que ce premier appel d'offres commercial peut être conçu de sorte à poursuivre la maturation des technologies et engager la filière sur sa trajectoire de décroissance de coûts, et cela à un coût acceptable pour le budget de l'Etat français.** En particulier, la **mobilisation de financements européens – à hauteur de plus de 100M€ pour la filière hydrolienne en France** – pourrait permettre de diminuer le tarif d'achat sollicité de 30 à 40€/MWh, abaissant ainsi le coût du soutien d'un premier projet commercial pour l'Etat français. Cette note présente en annexe les mécanismes européens qui pourraient être mis en œuvre dans ce contexte.
- En plus de **pérenniser la filière industrielle hydrolienne que la France a réussi à faire émerger**, initier un premier appel d'offres pour l'hydrolien à l'occasion de la révision de la PPE génèrerait d'importants bénéfices industriels et économiques, en animant de nouveaux bassins d'emplois sur notre littoral et en offrant à nos entreprises l'opportunité de se positionner, les premières, à l'export.

1) L'énergie hydrolienne est une source complémentaire d'énergie renouvelable pour la France et bénéficie d'importantes perspectives sur le marché mondial

- **Une énergie renouvelable totalement prédictible**

L'énergie hydrolienne exploite la force des courants marins, en convertissant, à l'aide d'une turbine immergée dans l'eau, l'énergie cinétique du courant en électricité, ensuite exportée à terre pour être consommée. L'énergie hydrolienne, en plus d'être renouvelable et abondante, offre également une production électrique extrêmement prédictible, car l'intensité et le rythme des marées sont connus plusieurs centaines d'années à l'avance.

L'énergie hydrolienne peut également être exploitée sur les fleuves et les milieux estuariens.

- **Un fort potentiel français**

La France dispose des courants parmi les plus forts au monde et présente ainsi un potentiel techniquement exploitable pour l'énergie hydrolienne de 3 000 à 5 000 MW¹, soit 30% de la ressource européenne. De plus, la France dispose d'infrastructures terrestres d'injection sur le réseau électrique interconnecté, quand celles-ci sont à créer ailleurs, en Ecosse par exemple.

En France métropolitaine, deux grandes zones bien identifiées concentrent le gisement le plus important : le Raz Blanchard en Normandie et le passage du Fromveur en Bretagne. Ces deux gisements totalisent un potentiel de plus de 3 000 MW.

- **D'importantes perspectives sur le marché mondial**

Le potentiel techniquement exploitable pour l'hydrolien s'élève, au niveau mondial, à environ 100 000 MW², réparti aussi bien dans des territoires insulaires ou isolés, qu'à proximité de grands centres d'activité économique : Canada, Royaume-Uni, Chili, Australie, Chine, Japon, Corée du Sud, Philippines, Indonésie, Inde. Les références justifiant de ce potentiel mondial sont présentées en annexe 1, en collaboration avec Ocean Energy Europe³.

2) Une industrie et des technologies de l'hydrolien existent en France

- **La filière de l'hydrolien compte un certain nombre de turbiniers français⁴**

Guinard Energies, créée en 2008, conçoit des hydroliennes fluviales et estuariennes, sur la base de douze brevets obtenus, notamment à destination de sites isolés.

Hydroquest, créée en 2010, se différencie en proposant des machines à doubles axes verticaux contrarotatifs pour l'hydrolien fluvial, estuarien et océanique, et a établi un partenariat stratégique avec les Constructions Mécaniques de Normandie (chantier naval CMN) depuis 2013.

Naval Energies et sa filiale OpenHydro, créée en 2005, conçoivent, fabriquent, déploient et assurent la maintenance des turbines, mais aussi de briques technologiques nécessaires à la réalisation de projets EMR ainsi que la conception des opérations marines associées. Les turbines de Naval Energies ont été déployées en France, au Canada et en Ecosse et produit de l'électricité sur les réseaux écossais et canadien.

Sabella, fondé en 2008 par des PME bretonnes, a développé une technologie sur la base d'une douzaine de brevets, et a réalisé l'implantation en 2008 d'une première hydrolienne marine en France, puis en 2015, de la première hydrolienne à avoir injecté sur le réseau électrique (Ouessant).

¹ IFREMER 2008, M'PRIME, FEM

² World Energy Council, World Energy 2016, IRENA Ocean Energy Technology Brief 3, June 2014




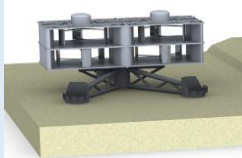
³ Ocean Energy Europe est l'association européenne des énergies marines renouvelables.

⁴ Une présentation détaillée de ces turbiniers est disponible en annexe 2.

D'autres entreprises françaises (comme Eel ou Hydrocinetics) et étrangères, essentiellement européennes, sont également positionnées sur ce marché comme **Atlantis Group, Nova Innovation, ScotRenewables, Tocardo, Schottel, Sustainable Marine Energy Ltd, Andritz, Magallanes, ORPC Corporation etc.**

- **Quatre technologies françaises de l'hydrolien**

Depuis 10 ans, ces entreprises françaises ont chacune développé leur propre technologie, qu'elles ont testé, amélioré et commercialisé aujourd'hui.

Nom	Naval Energies	Guinard	Sabella	Hydroquest
Machine				
Dimensions	Turbine de 16 m de diamètre	P66, Rotor de diamètre 0,66 m	D10 : Diamètre : 10 m ; hauteur : 17 m ; Emprise au sol : 20 m x 20 m	Largeur : 25m. Hauteur : 20m. 4 rotors Ø10m.
Type : vertical, horizontal, oscillant	Axe horizontal	Axe horizontal	Axe horizontal	Double axes verticaux contrarotatifs
Type de fixation : posé, ancré, flottant	Fondation posée	Posé, ancré ou flottant	Embase gravitaire tripode, posée sur le fonds marin	Fondation gravitaire ou ancrée, selon les sites
Puissance nominale ⁵	2 MW	3,5 kW	0,5 à 1 MW	1 à 2 MW
TRL ⁶	TRL7	TRL8	TRL 7/8	TRL6
TRL dans 1 an	TRL8	TRL9	TRL 8/9	TRL7/8

La plupart de ces technologies françaises ont développé un système de conversion embarqué, ce qui leur confère une avancée certaine par rapport à leurs concurrentes. En effet, plutôt que de renvoyer à la côte les fonctions de conversion du signal électrique contraignant ainsi à l'installation d'un câble de liaison entre chaque machine et la côte, ces machines intègrent, sous l'eau, un convertisseur. Conçu et installé séparément de la turbine, il pourra être maintenu plus facilement. Le système de conversion embarqué, auquel la plupart des industriels s'intéresse aujourd'hui, est un point de forte criticité pour anticiper les architectures des parcs commerciaux qui ne permettront pas une multiplicité de câbles d'export à la côte, mais nécessiteront le raccordement de plusieurs machines produisant un signal régulé à un « hub » sous-marin ayant lui-même une liaison d'export unique.

3) Les industriels qui ont développé ces technologies disposent d'un retour d'expérience de plus de 10 ans en France et dans le monde

L'hydrolien bénéficie d'années de développement et d'expérience issue de plusieurs prototypes, démonstrateurs et de tests menés sur divers sites d'essais et projets en France et dans le monde, ayant bénéficié de soutiens et d'investissements publics et privés. A titre d'exemple, 14 technologies différentes ont été testées à l'EMEC (site de test écossais). L'ensemble des étapes importantes qui ont déjà été franchies sont détaillées en annexe 4 : elles ont permis de valider les concepts et d'opérer les premières mises à l'eau en condition réelles.

⁵ Dans le cas de la technologie hydrolienne, la puissance nominale d'une machine dépend de la vitesse du courant capté.

⁶ Une échelle de TRL se situe en annexe 3.

Par ailleurs, des projets hydroliens sont actuellement en cours de concrétisation en France et à l'international comme démontré en annexe 5 : ils permettront la mise à l'eau d'unités de production améliorées suite aux premiers prototypes, et seront tous connectés à un réseau.

Ces multiples expériences ont permis à l'ensemble des entreprises de la filière de soumettre leurs technologies à différents niveaux d'épreuves (mise à l'eau, installation sur la fondation, connexion au réseau, gestion de la production, relevage pour maintenance et repose etc.) et d'ainsi concevoir des évolutions technologiques, conduisant notamment à :

- L'amélioration de la gamme des machines et la fiabilisation des systèmes de conversion électrique ;
- Une meilleure gestion du raccordement et de l'injection d'électricité sur le réseau ;
- L'amélioration des méthodes de construction ;
- L'optimisation des opérations de mobilisation et de démobilitation des machines et de leur processus de mise à l'eau.

La technologie hydrolienne bénéficie également déjà de l'important retour d'expérience acquis en Europe sur la technologie de l'éolien en mer, notamment en ce qui concerne les systèmes de fondations et d'ancrage. La technologie hydrolienne en mer peut également s'appuyer sur les retours d'expérience de l'hydrolien fluvial, qui préfigure, pour certaines technologies, les marchés océaniques.

Ainsi, la filière française de l'hydrolien a franchi d'importantes étapes de maturation :



- **Futurs axes de travail et d'apprentissage**

L'ensemble des professionnels de l'hydrolien réunis au sein du SER reconnaissent les progrès et développements dont la technologie et les industriels peuvent encore bénéficier, par exemple :

- Réduction des coûts et réalisation sur toute la chaîne de valeur d'économies d'échelle (enjeu industriel) ;
- Faciliter l'assurance et le financement des projets (enjeu financier et contractuel) ;
- Conception de moyens de pose adaptés (enjeu technique et opérationnel) ;
- Meilleure maîtrise des OPEX et optimisation des cycles de maintenance (enjeu économique et période d'exploitation à consolider) ;
- Optimisation de la densité énergétique des fermes hydroliennes.

Pour lever ces potentielles difficultés, divers programmes de recherche, nationaux et internationaux sont en cours. Ce sera également l'objet de la phase commerciale et de l'ensemble des projets qui seront mis à l'eau et menés d'ici la concrétisation de cette phase.

4) Les perspectives de réduction des coûts étant avérées, la PPE 2018-2023 doit donner les perspectives d'un marché commercial à la filière

- **Organiser en France le passage à la phase commerciale**

La filière hydrolienne se situe aujourd'hui devant une étape déterminante de son développement, à l'aube de son déploiement commercial, seule étape à même de permettre à la filière d'effectivement progresser sur sa courbe d'apprentissage et de décroissance des coûts. A cet effet, l'ensemble des industriels français ont engagé des discussions avec des énergéticiens.

Seule la visibilité donnée aux acteurs de la filière leur permettra d’assurer la poursuite de la maturation des technologies et de la baisse des coûts, de mobiliser des investisseurs et financeurs, de progresser sur leur référencement technique et sur leur solidité industrielle et d’ainsi réussir leur développement commercial, en France et à l’étranger.

Les premières étapes pour le passage à la phase commerciale ont d’ailleurs déjà été engagées en France, avec l’appui du Gouvernement et des administrations. En effet, des zones propices sont identifiées au Fromveur et au Raz-Blanchard, des premières consultations ayant d’ailleurs déjà été organisées. De plus, la réalisation d’études de levée des risques (en termes de ressource, conditions météocéaniques et d’environnement), déjà annoncée, est possible à très court terme⁷ : les sites de potentiel étant connus et concentrés, ces données sont mutualisables pour l’ensemble des appels d’offres qui pourront être lancés sur un gisement.

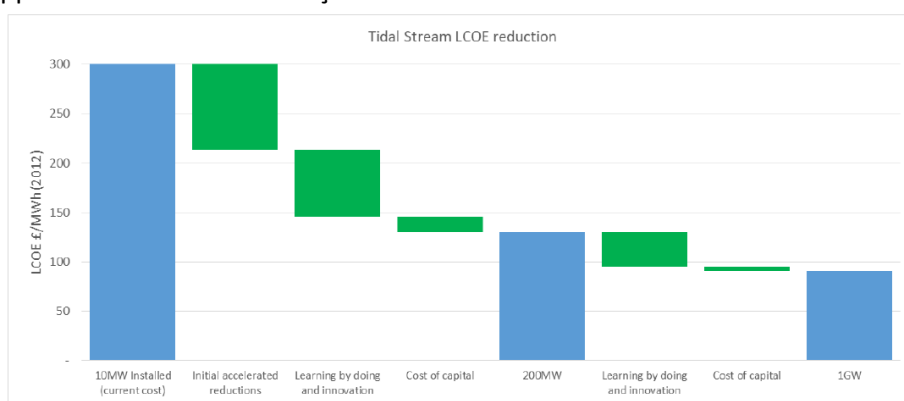
La prochaine Programmation Pluriannuelle de l’Energie doit maintenant concrétiser, au cours de sa première période, le passage de l’hydrolien à la phase commerciale, **en prévoyant le lancement d’appels d’offres commerciaux avant 2023 pour des volumes compris entre 50 MW et 100 MW sur le Fromveur et entre 100 MW et 150 MW sur le Raz-Blanchard**. Ce calendrier permettra de bénéficier des retours d’expérience des fermes pilotes qui seront installées entre temps, en France et à l’étranger.

Pour organiser la phase commerciale, des volumes complémentaires de capacités croissantes devront également être inscrits, à horizon 2028, sous conditions de prix et de retour d’expérience technologique.

A défaut d’une telle visibilité, les industriels ne seront plus en mesure de maintenir les investissements nécessaires à la poursuite de leur développement industriel et technologiques, qui, tels qu’engagés aujourd’hui, leur permettront pourtant de proposer une technologie commerciale à court terme. De même, leur démarche de pénétration du marché à l’international se verra suspendue par des prospects dans attente d’apprécier la confiance du marché domestique français dans la mise en œuvre de ces technologies hexagonales.

- **Perspectives de baisse de coûts pour l’hydrolien**

Les perspectives de réduction des coûts présentées ci-dessous en mai 2018 par la plus récente étude produite par ORE Catapult⁸, tant en termes de vitesse d’ouverture du marché que de décroissance de coût attendu au regard des volumes construits, confirment une convergence avec les scénarios sur lesquels s’appuient les industriels français.



Ainsi, sur la base de cette étude, les acteurs français estiment que l’énergie hydrolienne pourrait atteindre un LCOE entre 185 et 250€/MWh à partir de 100 MW installés, diminuant à une fourchette

⁷ Le SER est en mesure de fournir à la DGEC l’ensemble des spécifications attendues pour ces études de levée des risques et ainsi faciliter la rédaction des cahiers des charges nécessaires.

⁸ « [Tidal stream and wave energy – Cost reduction and industrial benefit](#) », 2018, Gavin Smart & Miriam Noonan.

entre 110 et 150€/MWh dès 1000 MW installés. D'autres réductions sont possibles en mettant davantage l'accent sur l'innovation et la réduction du coût du capital. D'importantes réductions de coûts sont attendues à court terme, entre les premiers projets commerciaux et les suivants – la courbe précise de LCOE envisagée dans cette étude britannique est présentée en annexe 6, témoignant du fort effet d'apprentissage qui sera généré par l'installation de la première centaine de MW.

- **Mobilisation de financements européens pour diminuer le coût du soutien public en France**

Le SER est prêt à travailler avec le Gouvernement et la DGEC pour envisager les modalités d'un premier appel d'offres commercial acceptable en termes de coût et de stratégie pour l'Etat et les industriels.

A cet effet, compte tenu de la concentration du gisement hydrolien européen au large des côtes françaises, et du soutien acté, confirmé et répété de l'Union Européenne (UE) au développement des énergies océaniques dont l'hydrolien, **la mobilisation de financements européens permettrait de compléter significativement le soutien financier qui serait apporté par l'Etat français à un premier projet commercial.**

Un premier appel d'offres pourrait ainsi mobiliser un financement important de la part de l'UE, grâce au mécanisme *ad hoc* Innovfin EDP permettant de diminuer les coûts de financement et/ou sous forme d'une aide à l'investissement via le programme Horizon 2020. **Ocean Energy Europe et le SER estiment que le recours à de tels soutiens européens permettrait de mobiliser plus de 100M€ pour la filière hydrolienne en France et pourrait conduire à une baisse du tarif d'achat sollicité de 30 à 40€/MWh, abaissant ainsi le coût du soutien d'un premier projet commercial pour l'Etat français - comme décrit à l'annexe 7.**

5) Profiter d'une nouvelle filière industrielle en structuration, qui peut trouver une place à l'export

- **Une production française**

L'ensemble des industriels français de l'hydrolien ont conçu leurs technologies en France et développé des sites de production adaptés sur notre territoire :

- **Hydroquest** produit sur les chantiers navals de CMN, à Cherbourg, qui, pour s'adapter, prévoit une profonde réhabilitation du site existant ou un nouveau site de production – soit plusieurs dizaines de millions d'euros d'investissements productifs, afin de livrer des machines à hauteur de 50 MW par an, en croissance en fonction des appels d'offres.
- En partenariat avec le groupe Navtis, **Guinard Energies** réalise l'assemblage et la construction de ses machines à Brest.
- La première usine d'assemblage d'hydroliennes au monde a été inaugurée en 2018 par **Naval Energies** : elle se situe à Cherbourg et aura à terme une capacité de production de 25 machines par an, pour fournir les hydroliennes des projets commerciaux français et européens, ainsi que les projets pré-commerciaux à l'international.
- **Sabella** travaille dès aujourd'hui à une implantation plus complète sur le polder de Brest pour établir une capacité de production de 25 turbines par an.

- **Déjà des centaines d'emplois mobilisés**

En 2017, l'Observatoire des énergies de la mer recensait 255 emplois en France consacrés à l'hydrolien, sur l'ensemble de la chaîne de valeur de la filière, notamment répartis au sein de 143 entreprises en France positionnées sur ce marché. La France dispose ainsi d'un écosystème industriel favorable, autour de centres de recherche performants et d'un réseau de sous-traitants industriels adapté.

L'énergie hydrolienne est une activité à forte valeur ajoutée locale, car l'assemblage des turbines, et les activités de développement (études, installation, maintenance), ne peuvent se faire trop éloignées des parcs. Ainsi, les turbines, tout comme les éoliennes en mer, verront les activités d'assemblage, d'installation et de maintenance se dérouler à proximité des sites d'installation, en faisant appel aux infrastructures et aux entreprises locales.

De plus, comme pour l'éolien en mer, les usines de production des turbines, construites autour des premiers parcs français, alimenteront le marché à l'export.

- **Positionner, en premier, une filière française à l'export**

Compte tenu du marché mondial de l'hydrolien, les opportunités d'exportation sont réelles, mais ne laisseront pas une place à l'ensemble des acteurs aujourd'hui existants : **les premiers industriels qui pourront acquérir une expérience commerciale disposeront ainsi d'un très fort avantage à l'export, et pourront prétendre à une part de marché conséquente.** Si à l'international, les acteurs français ont mis en évidence lors de leurs activités de prospection des intérêts marqués pour des petits projets de fermes, les donneurs d'ordre restent dans l'expectative de l'ouverture des marchés des pays portant ces technologies.

Une première consultation en France pour de premiers parcs commerciaux instituerait une dynamique nouvelle à l'international pouvant générer des volumes d'activité propices à une accélération de la baisse de coûts dont bénéficierait en retour le marché domestique français.

ANNEXES



Annexe 1 – Données de référence pour l'estimation du potentiel hydrolien mondial

La France détient la seconde ressource européenne pour l'hydrolien

La France dispose d'une ressource hydrolienne conséquente estimée par l'ADEME « entre **5 et 14 TWh/an (soit entre 2,5 et 3,5 GW de puissance installée)** ». Il est principalement réparti sur 5 zones : le Raz Blanchard, le Raz de Barfleur, le Passage du Fromveur, la chaussée de Sein et sur les Héaux de Bréhat.⁹

Ce potentiel représente entre **1250 et 3500 turbines** pour des machines de capacité comprise entre 1 et 2 MW ou entre **8500 et 35 000 turbines** pour des machines de capacité comprise entre 100 et 300 kW. Une telle demande entraînera l'installation de plusieurs usines de production qui contribueront à la revitalisation économique des ports du nord-ouest de la France.

Ce potentiel est également suffisant pour faire baisser le coût de l'électricité sous les 100€/MWh.¹⁰

Plusieurs études corroborent les estimations de l'ADEME :

- De 2 à 3 GW - Ifremer, « Les énergies renouvelables marines à l'horizon 2030 »¹¹
- De 2 à 5 GW - Ministère de l'écologie, « Rapport de la mission d'étude sur les énergies marines renouvelables »¹²

Un marché mondial conséquent pour l'énergie hydrolienne

Le potentiel hydrolien mondial est également significatif : **le scénario ETP 2012 de l'Agence Internationale de l'Energie conclut à un potentiel mondial de 101 GW¹³, l'équivalent en production de 63 réacteurs nucléaires moyens¹⁴. Ce chiffre est clairement corroboré par les études de potentiel et prospections privées, et ainsi accepté comme consensus par l'industrie.**

Hors Europe et à ce stade, les principaux marchés se situent au Canada, au Chili, en Indonésie, aux Philippines et au Japon. Rendus attractifs par des prix de l'électricité élevés (Asie du sud-est) ou des tarifs de rachat et des politiques de soutien (Canada) de ces derniers commencent à attirer les développeurs de turbines européens.

Le lancement d'un appel d'offres pour l'hydrolien donnerait à la France « l'avantage du précurseur » pour la conquête de ces nouveaux marchés. Une absence de visibilité sur le marché français pourrait, au contraire, pousser les développeurs nationaux à s'installer à l'étranger.

⁹ ADEME, « [Notre stratégie sur les énergies marines renouvelables](#) », février 2013, p11,

¹⁰ ORE Catapult, Tidal Stream and Wave Energy Cost Reduction and Industrial Benefit, April 2018

¹¹ Ifremer, « [Les énergies renouvelables marines à l'horizon 2030](#), synthèse d'une étude prospective », p9

¹² MEDDE « [Rapport de la mission d'étude sur les énergies marines renouvelables](#) », 2013, p22,

¹³ [IEA 2012 model](#) as quoted by ORE Catapult in "Tidal Stream and Wave Energy Cost Reduction", April 2018

¹⁴ En moyenne les réacteurs européens ont une capacité de 800MW, pour un facteur de charge de 75-80%.

Annexe 2 - Présentation détaillée des industriels français



Guinard Energies a été créé en 2008 par deux passionnés de navigation pour développer une technologie d'hydrolienne encore inexplorée sur le marché, notamment en vue de l'électrification de sites isolés.



Hydroquest, créée en 2010, conçoit des machines pour l'hydrolien fluvial, estuarien et océanique. Hydroquest a établi un partenariat stratégique avec les Constructions Mécaniques de Normandie (chantier naval CMN) depuis 2013. La technologie bénéficie d'un socle scientifique important et a déjà fait l'objet de neuf brevets, très largement étendus internationalement. 2 fermes fluviales seront mises en service sur le Rhône en 2018 (80 kW) et en 2019 (2 MW), des premières mondiales préfigurant un déploiement à l'international. Une hydrolienne estuarienne a été mise en service sur le site de test de SEENEOH début 2018. En outre, l'hydrolienne marine OceanQuest (1MW) est en cours de construction dans les chantiers navals CMN et sera mise en service sur le site de Paimpol Bréhat opéré par EDF et raccordé au réseau. Des machines de 2 MW, plus économiques, sont d'ores et déjà en cours de développement en prévision de prochains marchés. Les actionnaires de référence sont le groupe CMN, l'Institut National Polytechnique de Grenoble et les membres fondateurs. Hydroquest accélère son développement par l'appui financier et industriel du groupe CMN, fort, notamment, de plus de 350 personnes hautement qualifiées sur son site de Cherbourg.



Naval Energies et sa filiale OpenHdyro, conçoivent, fabriquent, déploient et assurent la maintenance des turbines posées sur une base sous-marine gravitaire. L'expertise de Naval Energies intègre également le développement des briques technologiques nécessaires à la réalisation de projets EMR – connecteur sous-marin, sous-station sous-marine, systèmes de stabilisation des câbles, échangeurs thermiques, flotteurs, convertisseur électrique – ainsi que la conception de toutes les opérations marines associées à ces systèmes. Naval Energies, créée en décembre 2016, compte aujourd'hui 204 salariés et est détenue majoritairement (60%) par Naval Group et à 34% par le fonds SPI de Bpifrance. Elle bénéficie également d'un solide partenariat industriel avec l'entrée concomitante au capital de TechnipFMC, qui apporte son expertise en matière d'ingénierie et de gestion de projets. BNP Paribas Développement apporte également son soutien.

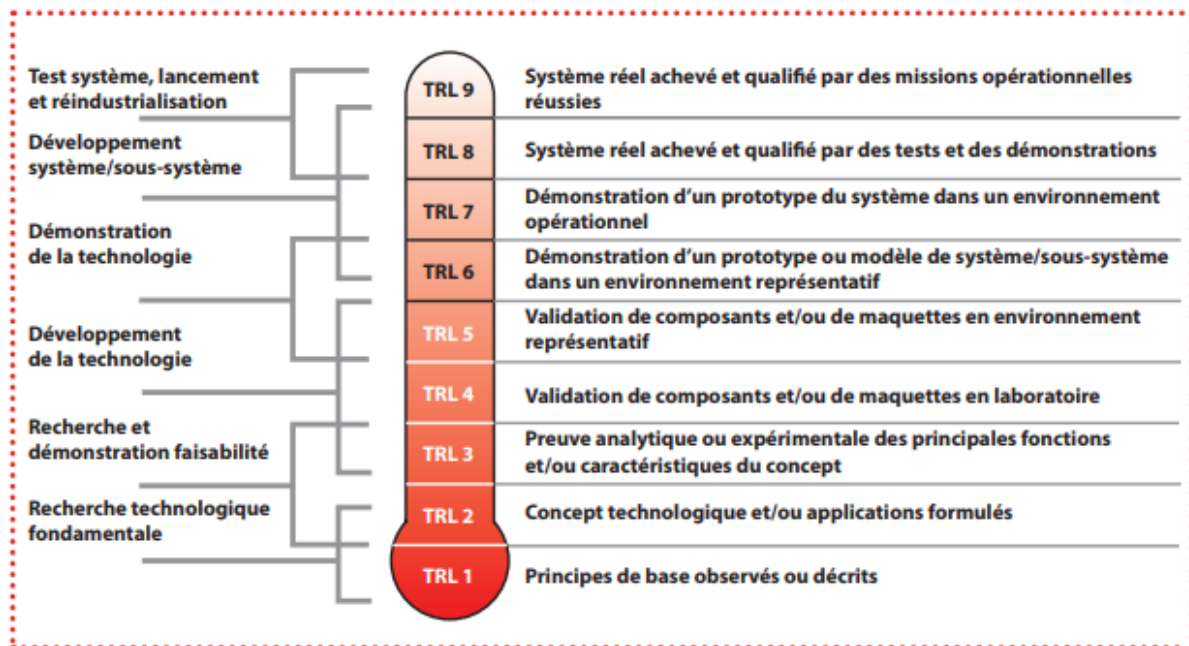


Sabella, fondé en 2008 par des PME bretonnes, a développé une technologie sur la base d'une douzaine de brevets, déposés en France et à l'international. La société a été remarquée en réalisant deux premières nationales en 2008 avec D03, première hydrolienne marine implantée en France, puis D10 en 2015, première hydrolienne à avoir été raccordée et à avoir injecté sur le réseau électrique (Ouessant). Sabella compte aujourd'hui 18 personnes, majoritairement des ingénieurs. Les effectifs croissent de manière constante et régulière avec une projection à l'horizon de 2020 d'une

Juin 2018

cinquantaine de salariés pour gérer deux projets de taille significative et poursuivre le développement à l'export de la société. L'entreprise compte dans son actionnariat aujourd'hui principalement BPI France, SOFRESID Engineering (filiale de SAIPEM), et le groupe français IWF.

Annexe 3 – Echelle de TRL¹⁵



¹⁵ Source : [Quelques explications sur l'échelle des TRL](#), DGA, 2009

Annexe 4 - Détails du retour d'expérience des industriels français de l'hydrolien

2006 OpenHydro installe la **toute première hydrolienne sur le site d'essai de l'EMEC** (Ecosse).

2008 La machine Openhydro réalise la **première injection d'électricité à partir d'une hydrolienne sur le réseau britannique**.

La machine D03 de Sabella est immergée dans l'Odet en Bretagne durant 12 mois. Cette hydrolienne, d'une puissance de 30 kW, a injecté sur le réseau électrique local et a permis de valider les principes fondamentaux de la technologie aujourd'hui mise en œuvre.

2009 **OpenHydro réussit l'installation et le test d'une machine de 10 m de diamètre dans la Baie de Fundy** (Canada).

2012 Un démonstrateur est lancé par EDF à Paimpol-Bréhat en Bretagne permettant **l'immersion d'un démonstrateur de 16 m de diamètre et 1000 t d'une puissance de 0,5 MW, conçu par la société Open-Hydro durant 3 mois**. La turbine a été récupérée, des améliorations ont été apportées avant une nouvelle immersion jusqu'en 2014.

2013 **Hydroquest installe une première hydrolienne fluviale** pour alimenter un village en Guyane française (10 kW).

2014 La turbine immergée à Paimpol Bréhat par Naval Energies pour EDF depuis 2012 est récupérée après 1 800 heures de fonctionnement et des résultats concluants, tant pour la turbine que l'exploitant, ayant réussi l'installation du câble export et le test d'une architecture électrique.

Début du développement du projet Normandie Hydro suite à l'attribution de la ferme pilote dans le cadre de l'AMI lancé par l'ADEME.

2015 **L'hydrolienne Sabella D10 (1 MW) a été raccordée au réseau isolé de Ouessant le 5 novembre 2015 jusqu'en mars 2016.** Au travers plusieurs cycles de tests, la production a atteint 70 MWh sur une durée cumulée équivalente de 11 semaines, contrainte par un programme d'injection par paliers successifs, définis en accord avec le gestionnaire du réseau EDF SEI.



Hydroquest installe à Orléans la machine commerciale HYDROQUEST River 140 (40 kW). C'est la première hydrolienne fluviale raccordée au réseau Enedis.

2016 **Naval Energies met à l'eau deux hydroliennes sur le site expérimental d'EDF à Paimpol-Bréhat.** Durant tout l'été 2016, des opérations de connexion des deux hydroliennes sont réalisées, suivies de nombreux tests de fonctionnement visant les systèmes de connexion et de conversion. Des études environnementales sont menées le long du câble de liaison sous-marin. Les hydroliennes ont été récupérées et font l'objet d'une analyse approfondie qui permettra d'améliorer les performances de la prochaine génération de turbines OpenHydro.

Au Canada, Naval Energies raccorde au réseau électrique canadien le 8 novembre 2016 l'hydrolienne OpenHydro de 2 MW (1000 tonnes - 16 mètres de diamètre), qui a résisté à

la plus grande marée du siècle (15 au 17 novembre 2016). Plus de 150 MWh ont été produits, alimentant pendant plusieurs mois des centaines d'habitants de Nouvelle-Ecosse.



Mise à l'eau de l'hydrolienne d'OpenHydro dans la baie de Fundy (Canada), en 2016

2018 Hydroquest installe, en janvier, une hydrolienne estuarienne (80 kW) sur le site d'essais SEENEOH dans l'estuaire de la Gironde à Bordeaux, raccordée au réseau public de distribution électrique.

La machine HYDROQUEST River 1.40 installée à Orléans est toujours en fonctionnement.

Guinard Energies installe, en avril, une hydrolienne (3.5 kW) en Bretagne Sud pour l'autoconsommation d'un moulin à marée.



Mise à l'eau de l'hydrolienne de Guinard Energies

Un prototype de 6 m de diamètre d'OpenHydro fonctionne sur un mode quasi continu pendant les 3 dernières années à l'EMEC, injectant plus de 600 MWh sur le réseau électrique.



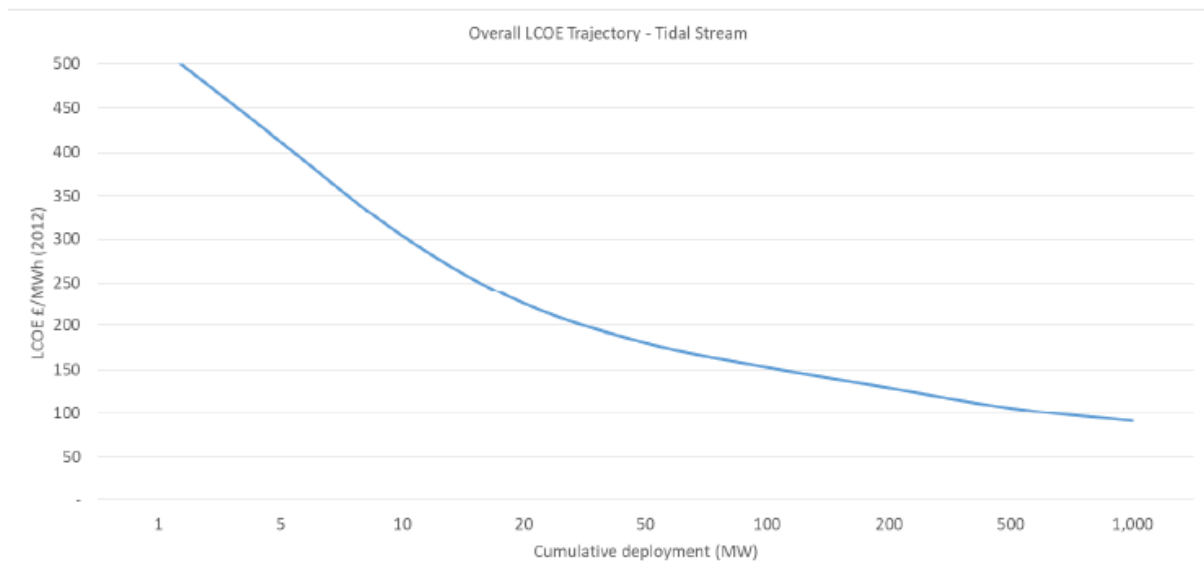
Montage de l'hydrolienne estuarienne sur la plateforme d'essai Seeneoh à Bordeaux en janvier 2018

Annexe 5 – Projets hydroliens en cours de développement

- Une version optimisée de l'hydrolienne Sabella D10 (1MW) sera ré-immersée en septembre 2018 dans le Fromveur et produira durant 3 ans dans le cadre du projet ICE. Deux machines D12 de Sabella seront déployées au large d'Ouessant dans le cadre du projet PHARES porté par AKUO ENERGY, qui inclura une capacité de stockage de moyenne puissance à terre. D'une capacité nominale de 1 MW pour un diamètre de 12 m, elles seront raccordées à l'île d'Ouessant dès leur mise en service, estimée en janvier 2021.
- Une turbine de 2 MW va être déployée par Naval Energies en juillet 2018 dans la Baie de Fundy, dans le cadre du projet Cape Sharp. Une deuxième turbine de 2MW à destination du Canada sera construite à l'usine de Cherbourg.
- Hydroquest mettra en service en septembre 2018 une ferme de 4 hydroliennes fluviales sur le Rhône. Une filiale commune a été constituée pour ce projet avec l'énergéticien Unite.
- Les îles Goto, au Japon, accueilleront une hydrolienne (2 MW) fabriquée à Cherbourg par Naval Energies, en 2019.
- Lauréat de l'appel à projets Solutions innovantes pour l'accès à l'énergie hors réseau de l'ADEME, Guinard Energies va installer en 2018 une production hybride d'électricité (hydrolien, photovoltaïque) pour alimenter un village à Madagascar.
- Hydroquest construit à ce jour un démonstrateur marin de 1 MW, qui sera installé sur le site de Paimpol-Bréhat (projet OceanQuest). Son installation et sa qualification au printemps 2019 permettront de finaliser les études de la machine pré-commerciale et de sa fondation. Elle sera raccordée au réseau électrique national.
- Guinard Energies va déployer début 2019 une hydrolienne estuarienne (20 kW) sur le site d'Étel en Bretagne Sud.
- Hydroquest mettra en service au deuxième semestre 2019 une ferme de 39 hydroliennes fluviales sur le Rhône pour 2MW. Une filiale commune a été constituée pour ce projet avec la Compagnie Nationale du Rhône.
- Le projet Normandie Hydro, implanté dans le Raz Blanchard, au large du Cotentin, et développé depuis 2014, constitue une ferme hydrolienne pilote supplémentaire de 7 hydroliennes de 2 MW aujourd'hui en développement. Le déploiement est prévu à l'horizon 2020.
- Aux Philippines, Sabella installera fin 2020 trois hydroliennes d'un diamètre de 15 m pour une puissance unitaire de 500 kW afin d'alimenter le réseau isolé de l'île de Capul et ses 15 000 habitants. Cette capacité de production sera soutenue par un système de stockage de l'électricité à terre.
- En 2018, Guinard Energies installera une hydrolienne (3.5 kW) pour l'alimentation en électricité de la station des Nourages, en Guyane.

Annexe 6 – Perspectives de LCOE de l'hydrolien¹⁶

La trajectoire de LCOE présentée dans la récente étude d'ORE Catapult est la suivante :



¹⁶ <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/media.newore.catapult/app/uploads/2018/05/04120736/Tidal-Stream-and-Wave-Energy-Cost-Reduction-and-Ind-Benefit-FINAL-v03.02.pdf>



Annexe 7 – Financements européens mobilisables pour un appel d’offres hydrolien commercial

Les fonds européens pourraient assurer un financement de plus de 100M€ à la filière hydrolienne en France et conduire à une baisse du tarif d’achat sollicité de 30 à 40€/MWh

Deux mécanismes de financement européens, InnovFin EDP et Horizon 2020, alloués via une procédure unique, pourraient bénéficier à un projet hydrolien en France.

InnovFin EDP – 740M€ de dette à taux réduit pour projets innovants

InnovFin EDP (« Energy Demonstration Projects ») est géré par la Banque Européenne d’Investissement (BEI) et cible entre autres l’hydrolien. Le budget totalise aujourd’hui 740M€, pour un prêt par projet allant de 7,5M€ à 75M€. Les prêts sont garantis à 100% par le budget européen, ce qui permet à la BEI de financer des technologies moins matures et des projets plus risqués que via des programmes classiques.

Au vu des quelques projets déjà financés, le taux d’intérêt offert est très largement en dessous de ceux du marché. Plusieurs projets hydroliens ont déjà été analysés par la BEI, qui a conduit une due diligence de certaines hydroliennes, démontrant son intérêt ainsi que le niveau de maturité de la technologie.

Horizon 2020 : 100M€ de subvention directe pour des projets soutenus par InnovFin EDP

L’appel lancé sous Horizon 2020 – « Support to first-of-a-kind renewable energy projects » - cible précisément les fermes commerciales et pré-commerciales bénéficiant d’un prêt InnovFin. Il propose 100M€ de subvention non-remboursable. L’hydrolien est non seulement éligible mais aussi l’un des candidats principaux ainsi qu’en témoignent plusieurs échanges avec la Commission Européenne. Les modalités de candidatures, en cours de préparation, prévoient une procédure unique via la BEI, suivie d’un processus de sélection impliquant BEI et Commission.

Combinés via cette procédure unique, ces deux fonds pourraient offrir à un projet hydrolien en France plus de 100M€ d’aide à l’investissement - 75M€ de dette et 30M€ de subvention directe.

La mobilisation de ce type de financement aurait des impacts directs sur le niveau de tarif nécessaire à l’équilibre financier d’un projet, comme présenté ci-dessous sur deux exemples possibles concernant un projet de 100 MW :

Hypothèse d’un plan d’affaires associé à un tarif d’achat initial de :		250 €/MWh	185 €/MWh
Tarif avec	75M€ de dette via InnovFin EDP	232 €/MWh	169 €/MWh
Tarif avec	75M€ de dette via InnovFin EDP et 30M€ de subvention directe via Horizon 2020	213 €/MWh	152 €/MWh
Réduction totale du tarif d’achat :		37 €/MWh	33 €/MWh

Par effet de levier, la globalité de l’enveloppe budgétaire allouée au soutien de ce premier projet en serait significativement réduite.

InnovFin EDP pourrait potentiellement financer d’autres projets, pourvu que leur caractère innovant soit démontré et différent du premier projet. D’autres programmes européens pourraient être sollicités post-2020, comme le Fond d’Innovation issue de la Directive sur les quotas de CO2.