



ÉOLIEN FLOTTANT

Un vent d'innovation souffle sur l'éolien offshore

Atteindre l'objectif ambitieux d'implanter, d'ici à 2050, pas moins d'une cinquantaine de parcs éoliens en mer dans les eaux territoriales françaises ne pourra se faire sans accélérer drastiquement le développement de l'éolien flottant. Une approche qui concentre en effet, à elle seule, une part considérable - de l'ordre de 80 % - du potentiel de production offshore d'électricité d'origine éolienne. Des acteurs de l'innovation se placent ainsi dans les starting-blocks pour accompagner cette nécessaire montée en puissance du flottant.

« **E**n France, il est important que le vent continue de souffler dans la bonne direction ! » C'est par ces mots que s'achève une tribune co-signée en juin dernier, dans le cadre du salon Seanergy, par une quarantaine d'acteurs de la filière française de l'éolien en mer. Une alerte lancée quelques jours avant le premier tour des élections législatives anticipées, face « aux vents contraires » que promettaient de faire souffler sur le secteur certains aspirants à la majorité dans l'hémicycle... « Le Rassemblement national a promis un moratoire sur l'éolien, et surtout l'offshore », rappelle en effet l'hebdomadaire spécialisé dans l'économie maritime Le Marin, dans lequel cette tribune a été publiée.

Si elle a de nouveau été un succès, en réunissant pas moins de 3 500 visiteurs, et environ 200 exposants, cette nouvelle édition de Seanergy a donc, malgré tout, vu planer sur elle l'ombre de l'instabilité politique du moment, et les menaces pour la filière augurées par une possible victoire du RN. « À ce moment-là, je ne vous cache pas que l'ambiance était quelque peu morose. La profession s'est vraiment posé des questions... », témoigne l'un des participants du salon nantais, Julien Durand, directeur général d'Eole Stab, une start-up varoise qui développe - nous y reviendrons en détails - une plateforme offshore flottante aux multiples atouts. L'issue inattendue du scrutin, suivie quelques semaines plus tard de la nomination d'Agnès Pannier-Runacher au poste de ministre de la Transition écologique et de l'Énergie au sein du nouveau gouvernement, ont toutefois fini par redonner une lueur d'espoir aux acteurs d'une filière qui voyaient jusqu'alors l'orage poindre à l'horizon.

« La ministre [...] est [notamment] attendue [...] sur le sujet de la planification des zones pour l'éolien en mer », soulignait ainsi Le Marin, dans un article publié le 23 septembre dernier. « Un dossier qu'elle connaît parfaitement pour l'avoir suivi, au côté du secrétaire d'État à la Mer, Hervé Berville, lorsqu'elle était ministre de la Transition énergétique de 2022 à janvier 2024 », rappelait au passage l'hebdomadaire du groupe Ouest-France. Une ministre nouvellement nommée qui aura aussi, plus largement, la délicate mission de rassurer, en apportant soutien et visibilité à long terme à une filière éolienne qui ne semble paradoxalement pas tout à fait en odeur de sainteté à Matignon.

SOUTENIR L'INNOVATION, UN IMPÉRATIF

Le soutien de l'État apparaît en effet comme l'une des clés qui permettra d'atteindre l'objectif ambitieux fixé début 2022 par Emmanuel Macron d'implanter, d'ici à 2050, pas moins d'une cinquantaine de parcs éoliens en mer dans les eaux territoriales françaises. « Parvenir à déployer autant d'éoliennes offshore en l'espace de quelques années, et à des coûts soutenables, ne pourra en effet se faire sans innovation, et donc sans soutien des acteurs qui portent des projets innovants », explique le D.G. d'Eole Stab Julien Durand, qui le rappelle au passage : « L'enjeu est avant tout celui de la souveraineté énergétique du pays ».



Le flotteur de l'éolienne imaginée par Eolink est composé de blocs d'acier préfabriqués.

Un besoin d'innovation qui passe ainsi essentiellement par le développement de solutions pour l'éolien flottant ; une approche particulièrement prometteuse pour permettre à l'éolien offshore de révéler son plein potentiel, mais qui se heurte encore notamment - outre l'immaturation de ses technologies - à des coûts élevés, comme l'explique Alain Morry, directeur commercial en charge de la stratégie,

du développement et de la communication d'Eolink, entreprise finistérienne qui s'attelle, elle aussi, au développement d'une technologie novatrice d'éolien flottant, sur laquelle nous reviendrons en détails : « *L'éolien flottant a un potentiel considérable : il représente environ 80 % du potentiel de production offshore d'électricité d'origine éolienne ! Mais il reste à industrialiser des technologies innovantes qui permettront*

d'exploiter pleinement ce potentiel, en rendant possible un déploiement à grande échelle de l'éolien flottant, et une baisse drastique des coûts.

Si l'éolien offshore posé, né il y a une trentaine d'années en Suède et au Danemark, a permis, depuis lors, de commencer à exploiter une petite part du potentiel global de l'éolien en mer, c'est donc très certainement à une transition vers l'éolien flottant que l'on devrait assister au cours des années à venir. Les acteurs de l'innovation sont en tout cas dans les starting-blocks pour accompagner ce mouvement. Premier exemple avec l'entreprise finistérienne Eolink, à l'origine d'une solution novatrice basée sur un élément distinctif clé : une structure pyramidale multi-mâts.

Eolink va assembler le flotteur en acier et les superstructures de son éolienne sur le polder Energies Marines Renouvelables géré par la société BrestPort.



© Ludys

QUESTION À JULIEN DURAND, DIRECTEUR GÉNÉRAL D'EOLE STAB & ALAIN MORRY, DIRECTEUR COMMERCIAL D'EOLINK

Mat Environnement : L'objectif de création de 50 parcs d'éolien en mer d'ici à 2050 vous semble-t-il atteignable ?

Julien Durand : Cela ne se fera pas sans le développement de l'éolien flottant, et passera donc notamment par la mise au point de nouvelles technologies de flotteur, et de process industriels efficaces. Je prêche bien sûr pour la solution que nous développons chez Eole Stab, mais je ne doute pas que d'autres technologies tout aussi pertinentes verront le jour dans les années à venir. C'est en effet une condition nécessaire pour parvenir à déployer autant d'éoliennes en mer en l'espace de quelques années, et à des coûts raisonnables. L'autre condition nécessaire est aussi que nos projets continuent à être soutenus par l'État,

ce qui n'est pas forcément acquis, au vu de l'instabilité politique actuelle.

Alain Morry : Cet objectif pour 2050 est certes réalisable, mais ambitieux. Il nécessite en effet d'accélérer le rythme, pour atteindre par exemple celui qui est déjà une réalité au Royaume-Uni. Cet exemple nous montre à la fois que c'est faisable, mais que la France est un peu à la traîne. Il nous faut donc être plus efficaces, en réduisant notamment les délais d'instruction des projets - sans pour autant toucher aux études d'impact, qui restent bien entendu indispensables. La France doit accélérer, en saisissant notamment l'opportunité de stimuler tout l'écosystème de l'éolien flottant.

Propos recueillis par Benoît Crépin

EOLINK : BÂTISSEUSE DE PYRAMIDES FLOTTANTES

« *Les solutions d'éolien offshore aujourd'hui exploitées commercialement restent exclusivement des éoliennes posées, qui ne sont finalement que de simples héritières de l'éolien terrestre. Il y a donc un besoin impérieux de développer des solutions véritablement dédiées à l'éolien flottant, permettant notamment une meilleure intégration de la turbine et du flotteur* », explique, en préambule de l'entretien qu'il nous a accordé, le directeur commercial d'Eolink Alain Morry. Une nécessité dont le fondateur de l'entreprise brestoise, Marc Guyot, s'est emparé dès 2013, en déposant le brevet d'une architecture éolienne nouvelle, basée sur une approche intégrée, et surtout nativement dédiée à l'éolien flottant.

« *Le concept clé d'Eolink, sur lequel porte en grande partie ce brevet déposé par Marc, est une structure pyramidale à base carrée, formée de quatre mâts* », explique Alain Morry. « *Cette architecture permet de mieux répartir les efforts sur le flotteur et permet ainsi d'économiser près de 50 % de masse d'acier par rapport à des approches plus conventionnelles* », fait valoir le directeur commercial. Une brique technologique prometteuse, qui a ainsi amené Marc Guyot à fonder trois ans plus tard, en 2016, l'entreprise Eolink. Le point de départ d'une montée progressive en échelle de la technologie imaginée par cet ex-ingénieur du groupe Renault.

« *Nous avons adopté une démarche très prudente, très scientifique, en commençant tout d'abord par des essais en bassin à l'échelle 1/50, menés avec l'Ifremer* », retrace Alain Morry.

Un premier pas franchi l'année de la création de l'entreprise, suivi, de 2017 à 2018, de plusieurs mois d'études visant au développement d'un prototype à l'échelle 1/10 cette fois. « Il a ainsi pu être mis à l'eau en 2018, en conditions réelle, sur le site d'essais de l'Ifrermer de Sainte-Anne du Portzic, situé en rade de Brest », note M. Morry. L'unité a alors été mise à l'épreuve des éléments pendant une période cumulée de neuf mois, entre 2018 et 2019, devenant par la même occasion la première éolienne flottante connectée au réseau sur le littoral français. « Cette étape a été un succès, se félicite Alain Morry. Nous avons donc enchaîné avec les étapes suivantes, pour finalement nous lancer en 2022 dans un gros changement d'échelle, au travers d'un projet baptisé France Atlantique. »

FRANCE ATLANTIQUE : DU PROTOTYPE AU DÉMONSTRATEUR PRÉ-COMMERCIAL

Lancé en juillet 2022 par Eolink aux côtés de l'opérateur d'énergies vertes Valorem et de Centrales Nantes pour une durée de 48 mois, le projet vise la mise place, au sein du site d'essais SEM-REV opéré depuis 2023 par la Fondation

Open-C, d'un démonstrateur à l'échelle 3/4 de l'éolienne flottante imaginée par Marc Guyot. « Il s'agit d'un changement d'échelle important : la structure complète pèsera plus de 2 000 tonnes et atteindra une hauteur de 140 mètres », décrit Alain Morry. Une unité de 5 MW qui va ainsi permettre à Eolink et ses partenaires de se projeter - tant en matière de coûts que de dimensionnement - vers des modèles commerciaux définitifs de 15, 20 voire 25 MW et plus.

« Nous allons aussi pouvoir aborder tous les sujets liés à l'industrialisation de notre solution », souligne M. Morry. De quoi anticiper le lancement des premiers projets commerciaux d'éolien flottant à l'horizon 2030... D'autant que depuis 2022 figurent parmi les actionnaires d'Eolink, deux grands opérateurs du secteur des EnR : l'entreprise espagnole Acciona Energia et le groupe français Valorem. « De premiers clients potentiels pour notre solution », glisse Alain Morry...

Avant d'en arriver là, Eolink s'est dans un premier temps fixé l'objectif d'une mise en service de son démonstrateur brestois d'ici à 2026. Demain, donc, à l'échelle d'un tel projet...



Une fois achevée, la structure flottante culminera à 150 m de hauteur.



McCloskey Environmental

Votre solution de broyage mobile



- broyeur - déchiqueteur mobile sur chenilles
- pour différents déchets : DIB - DEA - DAE - encombrants - biomasse
- table de broyage ultra-robuste **RENTEC**
- dents de broyage agressifs, résistants à l'usure et aux chocs
- broyeur bi-rotor à longueur 2.500 mm
- fonctionnement asynchrone programmable des rotors
- entraînement hydrostatique **HÄGGLUNDS**
- moteur thermique 510 CH **VOLVO / CAT**

distributeur exclusif



Nijverheidsstraat 13 • 8740 Pittem • Belgique
 tel. + 32 51 46 75 51 • rentec@rentec.be • www.rentec.be

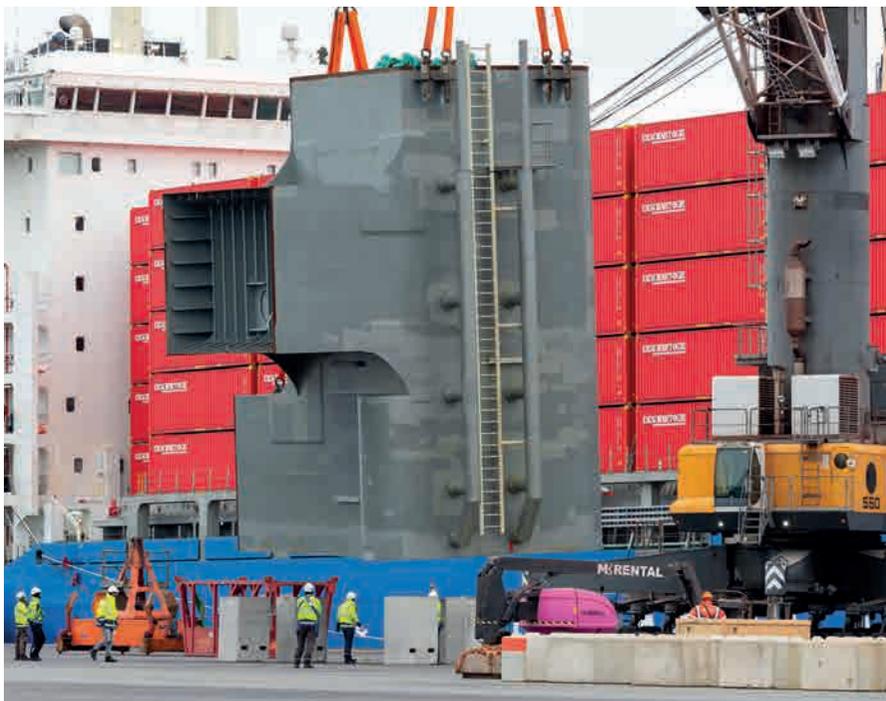


PROVENCE GRAND LARGE : UN PROJET PIONNIER BIENTÔT MIS EN SERVICE ?

Porté notamment par EDF Renewables, le projet Provence Grand Large se veut une première mondiale. Il vise en effet la mise en service - à 17 km des côtes, au large du Golfe de Fos - de trois éoliennes flottantes de 8,4 MW chacune, basées sur une technologie innovante de flotteurs immergés, retenus par un système d'ancrage tendu. Des flotteurs de 45 mètres de haut pour 80 de large, conçus, développés et assemblés par SBM Offshore et IFP Energies Nouvelle sur le site d'Eiffage Métal dans le port de Marseille-Fos. Après l'installation en mer en octobre 2023 de la troisième et dernière éolienne du projet, une nouvelle étape a été franchie en avril dernier avec l'installation des câbles de raccordement électrique. Une phase de test devait ensuite avoir lieu avant une mise en service annoncée « pour la rentrée 2024 ». Contactée, EDF Renewables ne nous a pas donné davantage de précisions à ce propos.

B.C.

L'entreprise s'est ainsi lancée dans une course contre la montre, dont elle a d'ores et déjà franchi un certain nombre d'étapes. En février dernier, elle a tout d'abord annoncé par un communiqué l'arrivée au port de Brest des premiers composants de sa future éolienne flottante pré-commerciale. « Nous avons également identifié une zone du port qui convienne pour l'assemblage, et nous sommes en train de réaliser des travaux de génie civil pour pouvoir accueillir les différents blocs constitutifs de notre démonstrateur », dévoile Alain Morry. « Outre les blocs d'acier, nous avons aussi reçu les pales et la turbine, et le reste des équipements devrait arriver à la fin de ce mois de novembre. Nous pourrions alors commencer à souder ces blocs les uns aux autres, tout au long de l'année 2025 », prévoit le directeur commercial d'Eolink, qui souligne au passage l'importance que revêt cette implantation précoce du projet au sein du port de Brest : « C'est pour nous un bon moyen d'anticiper l'industrialisation de notre solution en l'insérant dès



© Ludys :

L'opération mobilise déjà une dizaine d'entreprises, et jusqu'à 80 personnes sont attendues sur le chantier.

à présent dans l'écosystème industriel de la zone portuaire ». Pour faciliter la mise en place de cette symbiose industrielle, mais aussi, in fine, parvenir à produire en masse son éolienne flottante, Eolink a d'ailleurs pris le parti d'adopter des techniques éprouvées de construction navale. « Nous utilisons en effet des panneaux plans, très fins, raidis à l'aide de renforts, explique M. Morry. Cette finesse permet notamment de faciliter la découpe et le soudage des tôles, et assure donc une grande répétabilité des opérations. Un enjeu crucial en vue d'une production de masse. » L'entreprise brestoise semble donc prête à contribuer au défi qui attend la France en matière de développement de l'éolien flottant (lire également ci-contre l'encadré « Question à »)... Un challenge auquel un autre acteur de l'innovation de la filière espère également pouvoir contribuer : Eole Stab.

EOLE STAB : UN FLOTTEUR CONTRE VENTS ET MARÉES

Là où Eolink a pris le parti d'adopter une approche intégrée, en développant de A à Z sa solution d'éolien flottant, c'est un tout autre choix qu'a opéré Eole Stab. Fondée en janvier 2023, la jeune pousse varoise a en effet décidé de concentrer ses efforts autour d'un élément clé : le flotteur. « Eole Stab est née du besoin identifié par l'un des trois experts à l'origine de sa création - Dominique

Michel, ex-P-D.G. de Doris Engineering - de mettre au point une technologie de flotteur caractérisée par sa stabilité », retrace le directeur général de cette « jeune entreprise innovante de rupture » (JEIR), Julien Durand - fils d'un autre des trois experts qui ont contribué à faire naître Eole Stab, Philippe Durand, et frère de la présidente de l'entreprise, Stéphanie Durand. Une affaire de famille, donc, qui découle d'ailleurs d'une innovation développée au début des années 1990 par le patriarche : 3DR. Une technologie de coffrage filtrant pensée pour faciliter, accélérer et réduire les coûts liés à la construction - au départ sur la terre ferme - d'ouvrages en béton armé aux formes complexes. « Un beau jour, est venue l'idée d'utiliser la méthode en milieu immergé sans avoir besoin d'assécher la zone de coulage. Pour cela, des essais ont été menés dans le port de Marseille avec l'appui de Voies navigables de France et du Laboratoire des ponts et chaussées », explique Julien Durand. C'est à cette occasion que notre père a rencontré un second expert, Denis Gieulles, à la tête d'un bureau d'études dans le domaine des travaux maritimes, qui a à son tour fait entrer dans la boucle Dominique Michel. » Face au succès de l'opération, le trio fraîchement formé décide alors de mettre à profit ce procédé de coffrage 3DR breveté par Philippe Durand, pour produire un caisson flotteur innovant à destination de l'éolien en mer.

S'ensuivront six années de R&D, qui aboutiront finalement à la mise au point d'un caisson annulaire flottant - un « donut creux » de seulement 60 mètres de diamètre, tel que le décrit Julien Durand, suffisant pour accueillir des éoliennes de 15 MW - maintenu immergé à l'aide d'un ingénieux dispositif d'ancrage formé de lignes tendues, associées à un système de palonnier. « Il s'agit d'une structure sous-marine de type TLP, pour tension-leg platform », précise le D.G. d'Eole Stab. Surmontée d'un mat métallique ajouré - insensible à la houle - relié par une rotule permettant de désaccoupler l'ensemble, la plateforme est, en outre, maintenue immergée à un niveau situé quatre mètres sous le creux susceptible de se former lors d'un épisode de houle centennale... « Nos concurrents ont pris le parti de dimensionner leurs ouvrages pour des vagues cinquanteennes. Nous avons quant à nous décidé de viser le niveau d'une houle centennale ; phénomène qui risque en effet de s'amplifier au vu des bouleversements actuels du climat... », fait valoir la présidente de la jeune entreprise varoise, Stéphanie Durand. Un avantage concurrentiel auquel s'ajoute la répartition particulière des lignes d'ancrage imaginée par Eole Stab, comme le met en avant son D.G. : « Là où la tension qui s'exerce sur les ancrages d'une éolienne flottante conventionnelle est plutôt de l'ordre de 7 000 tonnes par brin, notre solution permet de se limiter à 700 tonnes par brin environ, soit dix fois moins ». Un atout qui permet ainsi d'ores et déjà à la start-up d'envisager l'utilisation non pas de câbles en acier, mais de bouts en fibres synthétiques. « Cela reste toutefois à valider par le biais d'études », précise Stéphanie Durand.

UNE MONTÉE EN ÉCHELLE QUI SE POURSUIT

Protégée par cinq brevets à l'échelle internationale, l'innovation bénéficie ainsi d'un atout majeur : sa stabilité à toute épreuve. C'est en effet ce qu'ont permis de démontrer les premiers essais menés dans le bassin à houle de l'école d'ingénieurs toulonnaise SeaTech, à l'aide d'un prototype à l'échelle 1/100.

Une première étape clé vers l'industrialisation de la solution, que les dirigeants d'Eole Stab espèrent poursuivre dans les mois qui viennent au travers de la réalisation d'un nouveau prototype, au 10e cette fois. « Notre objectif, ensuite, sera de déployer en mer un premier démonstrateur à l'échelle 1/2, à l'horizon 2028 », dévoile Julien Durand. Nous envisagerons alors la constitution d'un joint industry project aux côtés de partenaires industriels. »

Avant d'en arriver à ce stade, la jeune pousse varoise - d'ailleurs labellisée par le Pôle Mer Méditerranée et accompagnée dans son développement par de nombreux soutiens : incubateur Provence Côte d'Azur, CCI du Var, Union Européenne... - planche d'ores et déjà, à l'instar d'Eolink, sur le processus qui lui permettra, à terme, de produire en série son innovation de rupture. « Si la stabilité qu'offre notre plateforme est un atout indéniable, l'un des principaux enjeux de l'éolien flottant reste malgré tout de parvenir à en diminuer les coûts », souligne le D.G. d'Eole Stab. La start-up a ainsi imaginé un véritable process industriel de production mis en œuvre en « bord à quai », grâce à des barges. « Notre père a travaillé dans l'industrie automobile, c'est donc là que nous avons trouvé l'inspiration pour concevoir cette chaîne d'assemblage industrielle », confie Stéphanie Durand. Une solution de production découpée en 6 postes, ne nécessitant chacun qu'une semaine de travail, et répartis, en outre, sur 500 mètres linéaires de quai seulement. « C'est bien moins que nos concurrents, ce qui s'avère crucial alors que les ports ne disposent en général que de peu de foncier encore disponible », fait valoir Stéphanie Durand. De quoi réduire au passage drastiquement les CAPEX propres à cette solution. « L'utilisation du béton permettra aussi d'économiser sur l'acier - ce qui va aussi, au passage, entraîner une réduction de l'empreinte carbone de la solution », souligne Julien Durand. Une solution qui devrait d'ailleurs se révéler tout aussi avantageuse en termes d'OPEX,

comme le prévoient ses concepteurs. « La stabilité de notre plateforme permettra aussi de réduire l'usure de l'éolienne qui y sera installée, et donc de diminuer ses coûts de maintenance », assure en effet le D.G. d'Eole Stab.

Dans le cadre d'une étude menée pour le compte d'un développeur danois, porteur d'un projet en mer Celtique d'une puissance - considérable - d'1,5 GW, Eole Stab a ainsi estimé à 60 M€ le coût total - marges de tous les intervenants comprises - d'une éolienne basée sur sa plateforme flottante. « Là où la concurrence se situe plutôt aux alentours de 75 à 100 M€, souligne Julien Durand. Et ce, sans avoir résolu la question du temps restreint de fabrication : le projet implique en effet la production d'une centaine de turbines dans un délai de deux ans ! »

Produire plus vite, mais aussi à un coût qui devra petit à petit converger vers celui de l'éolien terrestre, voilà sans doute les deux plus grands challenges qui attendent la filière de l'éolien offshore. Des défis qui ne sauraient être relevés sans deux ingrédients essentiels - et complémentaires : innovation et industrialisation.

Benoît Crépin

Des essais menés dans le bassin à houle de l'école d'ingénieurs toulonnaise SeaTech ont permis à Eole Stab de démontrer la stabilité à tout épreuve de son flotteur.



© Université de Toulon