

Compte rendu de la conférence de la

Fondation Tuck, Groupe ID : Transitions vers le bas Carbone :

L'Éolien Offshore, 17 mai 2021

Cette conférence a été préparée par Jean-Alain Taupy dans le cadre des activités du think tank IDées de la Fondation Tuck. Tenue en visio conférence en raison des circonstances sanitaires, sont intervenus : Michel Cruciani (chercheur à l'IFRI), Olivier Terneaud (TotalEnergies), Philippe Gleize et Lloyd Duthie (Subsea 7).

L'Union Européenne (avant Brexit) s'engage à réduire de 55% ses gaz à effets de serre d'ici 2030 et vise à 2050 la neutralité carbone. Tous ses scénarios concluent à la nécessité d'un fort développement de l'éolien offshore. Or, elle dispose d'un potentiel considérable de production d'électricité par rapport à la demande. C'est aussi le cas des Etats-Unis, du Japon, de l'Inde et de la Chine. Ceci se traduit par des objectifs ambitieux des autorités de ces pays :

Union Européenne passage de 12 GW à 60 GW en 2030 puis 300 GW en 2050 (hors RU)

Royaume-Uni passage de 10 GW à 40 GW en 2030

Etats-Unis passage à 30 GW en 2030

Japon passage à 10 GW en 2030 et 45 GW en 2040

Inde passage à 5 GW en 2022 et 30 GW en 2030

Chine doublement à 20 GW d'ici 2025 (XIVème plan quinquennal chinois)

L'essor mondial de l'éolien offshore

Depuis 2014 la progression de l'éolien offshore a été fulgurante après des débuts modestes en 1991. Le parc mondial est de 35 GW en 2020. On distingue la filière sur fondation (posée) et la filière flottante où l'éolienne est amarrée au fond de l'océan. Dans la plupart des cas il s'agit d'une éolienne de modèle courant de type terrestre.

L'Europe bénéficie d'une zone maritime exceptionnellement favorable et a pris de l'avance dans cette technologie. La moitié sud de la Mer du Nord présente une faible profondeur propice aux éoliennes posées et des vents réguliers conduisant à un facteur de charge de l'ordre de 40%.

La Chine est en train de rattraper son retard et dispose aussi de conditions favorables dans le sud de la Mer de Chine, sauf pour les typhons qui peuvent limiter la taille des turbines. Le processus est plus complexe aux Etats-Unis avec une zone fédérale et une zone propre à chaque état côtier. C'est la partie fédérale qui a pris le pas pour l'attribution des concessions. Tous les projets sont concentrés sur la côte atlantique car c'est la seule qui permette les éoliennes posées. Les profondeurs sont rapidement importantes à proximité des côtes du Pacifique.

Les grands fournisseurs d'énergie européens investissent depuis 2010 dans l'éolien offshore. Ils sont rejoints par les grandes compagnies pétrolières et gazières (BP, Chevron, ENI, Equinor, Oersted (ex-DONG), Shell, TotalEnergies). Ces dernières interviennent dans le monde entier en éolien posé ou flottant. Leur motivation provient de leur ambition d'atteindre la neutralité carbone en 2050 en incluant dans cette neutralité l'énergie fournie à leurs clients utilisateurs de leurs produits fossiles (scope 3).

Les acteurs européens ont su préserver leur compétence (Figure 2) comme cela s'observe sur les turbines. En 2020, 68% ont été fournies par Siemens-Gamesa (Madrid) et 24 % par Vestas (Danemark). General Electric a racheté la branche énergie renouvelable d'Alstom et développé des turbines Haliade X de plus de 10 MW avec lesquelles il a obtenu des contrats sur le grand projet de Dogger Bank (Equinor, SSE, ENI). Dans le domaine des câbles sous-marins les fournisseurs européens sont également dominants.

Les turbines ne représentent que 30 à 40% du CAPEX du projet. Le reste comprend : la fabrication des sous-structures, leur installation et les raccordements. Les Etats incluent quasi-systématiquement des obligations de contenu local, y compris les Etats-Unis (Jones Act ou Buy American Act).

La croissance rapide du secteur en Chine est soutenue par l'achat à un tarif avantageux (75 à 100 €/MWh), des moyens industriels de construction considérables et relativement souples, mais aussi les prises de participation dans les projets européens par les grands groupes chinois (CTG, CGN, CRCL) et les accords de licence ou de partenariat. La Chine (Ming Yang) a obtenu un projet à Tarente en Italie, mais à l'inverse, les Européens ont peu pénétré le marché chinois.

La Chine peut-elle prendre une part de marché prépondérante sur l'éolien comme elle l'a fait sur le photovoltaïque ? Plusieurs voies semblent ouvertes

- Développer sous forme d'ensembles complets, des turbines de forte puissance, déjà proposées au Vietnam, et l'éolien offshore flottant (XIVème plan)
- Prendre place sur les marchés par un apport de capital, ce qui peut se heurter à des résistances des occidentaux
- Poursuivre la fourniture de composants qui deviennent critiques



Figure 1 Projet de réseau interconnecté avec production d'hydrogène

La Commission Européenne a publié en novembre 2020 une « stratégie en faveur des énergies renouvelables en mer » avec un objectif de 60 GW en 2030 et 300 GW installés en 2050. L'objectif serait d'aboutir non pas à chaque pays fournissant ses propres besoins mais à un véritable réseau maillé (Figure 1). L'hydrogène produit en mer serait acheminé par hydro duc.

Si l'on s'en tient à l'éolien posé, les pays du Nord (de la Belgique à la Suède) ont un potentiel considérable qui pourrait se traduire par un affaiblissement simultané des pays du Sud qui ont un potentiel moindre et où l'éolien rentre en concurrence avec les autres utilisations du domaine maritime (pêche, trafic maritime, activités nautiques). De plus l'éolien flottant coûte plus cher. Cette stratégie de l'UE est particulièrement défavorable aux pays du Sud (Tableau 1).

Scénario de référence			
	Profondeur 0 à 60 m (posé)	Profondeur 60 à 100 m (flottant)	Total
Nord	190	0	190
Sud	22	0	22
dont FR	16	0	16
Est	9	0	9

Tableau 1 Potentiel en GW du Nord, du Sud et de l'est de l'Europe (EU27)

Des inconnues subsistent sur le partenariat avec le Royaume-Uni, qui peut choisir entre

- Une démarche solitaire avec quelques accords bilatéraux notamment avec la Norvège (hydraulique) et la France (nucléaire)
- Une coordination avec l'organe de coopération des gestionnaires de réseau ENSTO-E, dont il peut rester membre après le Brexit

Actuellement on peut penser que le RU va privilégier la démarche solitaire pour devenir l'Arabie Saoudite de l'éolien offshore (Dogger Bank).

La technologie de l'éolien pénètre lentement en France. Les autorisations sont toutes attaquées en justice soit par les soumissionnaires éconduits, soit par des associations de riverains. Les travaux des fermes du premier appel d'offre de 2011, ont commencé en 2021. Entre temps la puissance des éoliennes a changé et le raccordement au réseau à terre a été transféré à RTE. Pour les éoliennes flottantes l'ADEME a lancé les appels à projet en 2015.

La France a essayé diverses formes d'appel d'offres. Dans l'appel d'offre de 2018 pour Dunkerque le volet industriel a disparu. Le tarif d'achat garanti est remplacé par un tarif de référence qui incite le producteur à vendre au moment où les prix sont les plus élevés, l'incitant à devenir responsable de l'équilibre entre l'offre et la demande de production. Le tarif de référence est de 44 €/MWh pour Dunkerque.

En France l'acceptabilité, souvent lié à la distance à la cote constitue un frein, amplifié par la lenteur des décisions judiciaires : parmi les pays européens seul le système chypriote est plus lent. Huit années sont passées entre le premier recours contre l'appel d'offre de 2011 et sa résolution par le Conseil d'Etat. Désormais la cour administrative de Nantes statue en premier et dernier ressort.



Siège social : ■ DE ■ DK ■ ES ■ FR ■ IT

Figure 2 Sites de production des composants en 2018

Les projets d'un opérateur

TotalEnergies est une compagnie multi-énergies mondiale de production et de fourniture d'énergies : pétrole et biocarburants, gaz naturel et gaz verts, renouvelables et électricité. TotalEnergies a pour ambition d'atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050 sur l'ensemble de ses activités, en agissant sur ses propres émissions et en développant des projets de puits de carbones pour les émissions résiduelles, en agissant sur ses produits et en faisant évoluer son mix énergétique vers davantage de gaz et d'énergies renouvelables, et en agissant sur les produits énergétiques utilisés par ses clients en les accompagnant dans leur transition énergétique. TotalEnergies s'intéresse à l'offshore car il s'agit de projets de grande puissance, jusqu'à 2GW, moins sensibles à l'environnement, ayant un meilleur facteur de charge. TotalEnergies s'appuie enfin sur sa compétence dans les grands projets offshore internationaux

Les phases de développement d'un projet sont

- L'« origination » (genèse ?) qui peut durer jusqu'à deux ans pour obtenir l'accord du territoire
- Le développement, qui est une phase parfois totalement à risque, qui peut durer de 5 à 7 ans ; c'est alors que le vent et la houle sont analysés et définis

- La construction qui dure de 2 à 3 ans
- L'exploitation qui dure de 25 à 35 ans

Chaque Etat décide d'intervenir au cours de ces phases de façon particulière, ainsi les Pays-Bas prennent entièrement à leur charge le développement avant de se tourner vers un opérateur.

L'opérateur dispose d'un portefeuille de projets aux caractéristiques diverses et se doit d'identifier ceux qui lui donneront le meilleur rendement financier.

TotalEnergies gère les projets suivants en éolien flottant :

- Erebus : pays de Galles 96 MW, facteur de charge 50%, profondeur 70 m, (pré-commercial, en phase de développement) TotalEnergies devient ainsi l'un des premiers acteurs à prendre position sur cette technologie émergente au Royaume-Uni.
- Eolmed : France (Port la Nouvelle), 30 MW, facteur de charge 42%, profondeur 60 m, dont TotalEnergies détient 20% (démonstrateur)
- Bada : Corée (Ulsan et South Jeolla), 2,3 GW, JV entre TotalEnergies et Green Investment Group, pour un démarrage des travaux avant la fin 2024; TotalEnergies connaît bien le pays où ont été construits plusieurs de ses FPSO La Corée du Sud dispose d'un potentiel important de développement de l'éolien offshore flottant qui bénéficie d'un fort soutien des autorités et peut s'appuyer sur de nombreuses compétences locales dont un savoir-faire unique en matière de construction navale et des programmes ambitieux de recherche et développement.

-

et en éolien posé :

- Round 4 en Angleterre, 1,5 MW, profondeur 40 m (monopile), projet attribué par le Crown Estate pour une durée de 60 ans
- Seagreen, en Ecosse 1,1 GW, 114 turbines profondeur de 40 à 60 m, mise en service fin 2022. Il couvrira les besoins énergétiques d'environ un million de foyers britanniques et sera l'un des plus grands parcs éoliens offshore d'Écosse.

Plusieurs projets ont été obtenus par des compagnies pétrolières, en général avec des partenariats avec des énergéticiens. Les niveaux de prix sont relativement faibles mais les projets restent profitables.

TotalEnergies est en train de construire avec WPD n projet taiwanais majeur : le parc éolien offshore de Yunlin avec une capacité de production de 640 MW et actuellement détenu par WPD, par EGCO et par un consortium japonais. Taiwan a été l'un des pionniers du développement de l'éolien offshore en Asie et cet accord est l'opportunité pour Total de s'établir sur l'un des principaux marchés de l'éolien offshore en Asie.

Total est en train de répondre avec WPD à un projet taiwanais majeur en association avec un consortium japonais.

Les défis techniques et industriels

Les renouvelables constituent aujourd'hui un tiers de l'activité de Subsea 7 dont l'activité historique première était l'offshore Oil and Gas. Cela a nécessité une réorganisation du groupe et des adaptations notamment dans le domaine du management du risque. La multiplicité des structures (une centaine) et l'étendue des champs font que la précise coordination des activités de construction des sous-structures et de pose des raccordements câbles gouverne la mise en service dans le respect des délais

A noter que la mise en place des turbines (mats, nacelle et pales) est souvent l'objet d'une opération particulière sous la responsabilité directe du fournisseur de turbine.



Figure 3 Diversité des moyens navals mis en œuvre

Seaway 7, qui fait partie de groupe Subsea 7 a maintenant plus de dix ans d'expérience dans le domaine des renouvelables.

Le projet Beatrice (Figure 4) a été achevé en 2018. Il a très largement réalisé avec des moyens exclusivement européens. Ses principales caractéristiques sont

- 588 MW (84 turbines de 7 MW) posées sur des jackets quadripodes par 40 m à 60 de fond

- 120 000 t de structure acier (5 types des structures différents, 344 pieux à battre)

- 131 km²

- 165 km de câbles d'interconnexion

- Jusqu'à 20 navires simultanément sur le site (Figure 3)

- Contrat EPCI attribué en mai 2016, achevé en Aout 2018, d'une valeur de 1,3 GUSD

Il faut souligner la précision requise pour l'installation des turbines qui se mesure en cm et en demi-degré.

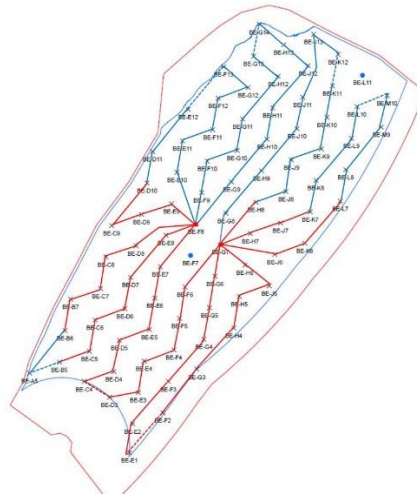


Figure 4 Champ de Beatrice 131 km²

Le projet Seagreen est le plus grand projet d'éolienne offshore en cours. Son achèvement est prévu en 2022 Ses principales caractéristiques sont :

- 1075 MW (114 turbines de 10 MW) posées sur des tripodes munis de caissons à succion par 40 m à 60 m de fond

- 240 000 t de structure acier à fabriquer, 2000 nœuds

- 330 km de câbles d'interconnexion

Les caissons à succion ont permis de réduire les coûts et sont mieux tolérés par l'environnement que les piles battues. Les premières installations de jacket auront lieu fin 2021.



Figure 5 Seagreen Transport des sous-structures

L'ampleur du projet a nécessité de faire appel à trois chantiers de fabrication, deux en Chine et un au Moyen-Orient. Le processus de fabrication des sous-structures est devenu celui d'une chaîne de montage en série (Figure 6) avec des passages d'un poste à l'autre coordonnés, par semaine.



Figure 6 Chaîne de montage des structures éoliennes en Chine

Il est indispensable de disposer de très grandes longueurs de quai. Pour le transport en été le passage du Nord sera utilisé (Figure 5).

Questions

- 1) Quels sont les tarifs d'achat définis pour les projets de 2011 ? Entre 131 €/MWh et 153 €/MWh
- 2) Qui est le propriétaire du champ ? Cela dépend des dispositions locales
- 3) Quelles sont les synergies entre l'éolien offshore et l'offshore oil and gas ?
 - L'offshore oil and gas donne accès à une compétence de niveau international directement transposable (par exemple les ancrages, la géotechnique...)
 - Les grands projets offshore font appel à des entreprises à l'implantation mondiale
 - La capacité de gérer une supply chain globale permet d'optimiser fourniture et planning
- 4) Quelle est la limite en profondeur de l'éolien posé? 60m
- 5) Est-ce que les fondations à succion permettent de dépasser cette limite ? En fait la limite en profondeur va plutôt devenir celle donnée par la capacité au crochet de la grue d'installation.
- 6) Quelles sont les différences essentielles lorsque l'on travaille aux Etats-Unis, en Extrême-Orient ? La différence principale provient de la supply chain qui doit être adaptée aux demandes du client.
- 7) Comment est gérée la variabilité de la production électrique ? Actuellement il y a un métier de producteur d'électricité, et un métier de stockeur. Sur le marché européen il y a peu d'intérêt à une approche intégrée (en dehors du Danemark et des Pays-Bas). En revanche en Australie certains régulateurs le demandent pour le solaire.
- 8) Est-ce que l'éolien offshore s'organise pour la production de l'hydrogène ? TotalEnergies s'intéresse beaucoup à ce sujet et a créé une business unit dédiée.
- 9) Quels sont les éléments permettant à terme de réduire les coûts de production ? La baisse des coûts apparaît plutôt de projet en projet au fur et à mesure que des solutions plus adaptées sont mises en œuvre. Ainsi un gain d'environ 30% a été observé entre Béatrice et Seagreen à périmètre identique.
- 10) Quelle est la part des approvisionnements réalisée en France ? Est-ce que cette part peut évoluer si l'éolien offshore se développe en France ? Il y a des fournisseurs locaux tels que General Electric à Cherbourg (pales) et à Saint-Nazaire (nacelles) ou Siemens-Gamesa au Havre. De plus une partie des services portuaires ne sont pas délocalisables. Avec les STX Chantiers de l'Atlantique on

dispose aussi de chantiers navals capables de réaliser des navires spécialisés. Lorsque l'on passera à l'éolien flottant on peut espérer une prise en charge des projets sous forme de cluster. C'est-à-dire que dans une zone géographique donnée une pluralité d'intervenants pourra intervenir de concert, ce qui contribue à baisser les coûts lorsqu'il y a suffisamment de projets.

- 11) Est-ce que le cuivre peut constituer un frein pour le déploiement de l'éolien offshore ? Toutes les énergies renouvelables consomment plus de matière première que des productions très concentrées. Il y aura donc une pression sur toutes les ressources. L'éloignement de la côte est une cause d'augmentation de consommation de cuivre. Le passage de l'électricité à l'hydrogène permettrait de réduire cette dépendance. On peut aussi citer le projet de Power Island au Danemark où c'est de l'hydrogène qui est amené à terre.
- 12) A quelles fins faire un hub de production d'électricité en mer du Nord ? L'électricité elle-même ou l'hydrogène ? La production d'hydrogène offshore et son transport à terre par pipeline est économique par rapport à un réseau de transport électrique de la même puissance. Il est aussi envisagé d'implanter des électrolyseurs au lieu des convertisseurs de fréquence au pied des éoliennes (Oersted est actif dans ce domaine).

Conclusion

La filière de l'éolien posé est déjà mature. De nombreuses entreprises européennes sont bien placées sur ce marché. En France, une montée en puissance sera nécessaire pour jouer un rôle significatif dans les projets attendus.

La filière de l'éolien flottant pourra s'implanter dans les mers plus profondes et résoudre ainsi les conflits de proximité à la cote. Le surcoût du MWh semblerait acceptable pour autant que la Commission Européenne décide de le compenser afin de soutenir cette filière.

Biographie des intervenants :

- **Michel CRUCIANI :**
Titulaire d'un diplôme d'ingénieur, Michel Cruciani a partagé ses activités entre Gaz de France, la CFDT, et Électricité de France avant de contribuer aux travaux du Centre de Géopolitique de l'Énergie et des Matières Premières (CGEMP) de l'Université Paris-Dauphine et du Centre Énergie de l'Institut Français des Relations Internationales (IFRI)
- **Olivier TERNEAUD :**
Olivier Terneaud a rejoint le groupe TotalEnergies en 2019 tant que VP Offshore Wind chez Total Renewables. Auparavant, Olivier a passé 10 ans chez GDF Suez puis ENGIE à Paris au sein du département éolien en mer. Aujourd'hui, Olivier est Directeur de l'activité Offshore Wind chez TotalEnergies Renewables et a la charge, au plan français et international, de développer, construire et exploiter les installations éoliennes en mer de TotalEnergies.

- **Philippe GLEIZE :**
Philippe Gleize a plus de 35 ans d'expérience dans les projets clés en main dans les télécommunications, et l'offshore conventionnel et deepwater en Europe, Asie, Afrique et au Brésil. Il est responsable de Seaway 7 France et directeur général de la division des grands projets d'éoliennes flottantes.
- **Lloyd DUTHIE :**
Lloyd Duthie a 30 ans d'expérience dans les projets offshore et plus récemment dans les projets d'éolien marin. Le projet Béatrice (84 éoliennes et leur réseau) a été réalisé dans les budgets et les délais prescrits entre 2016 et 2018. Lloyds dirige la division des grands projets d'éoliennes fixes en charge notamment du projet Seagreen (114 éoliennes).

Compte-rendu rédigé par Jean-François SAINT-MARCOUX
Membre du Comité de rédaction [d'EVOLEN Magazine](#)