

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

L'énergie éolienne offshore joue un rôle essentiel dans l'objectif global du « Green Deal » européen qui vise à atteindre la neutralité climatique. Rien qu'en mer du Nord, avec ses vents forts et ses eaux peu profondes, une capacité de production totale potentielle de plus de 200 GW pourrait être obtenue d'ici 2050. Toutefois, le transport de cette quantité d'énergie éolienne offshore vers la côte et son intégration au sein des systèmes de transmission terrestres est un défi de taille qui nécessite des niveaux élevés d'interconnexion entre les différents États qui bordent la mer du Nord.

En raison de l'éloignement de ces parcs éoliens qui, par ailleurs, ne cesse d'augmenter, la technologie traditionnelle de transport de courant alternatif (CA) à haute tension n'est plus viable et il convient ainsi de la remplacer par des connexions en courant continu à haute tension (CCHT). Des projets de recherche antérieurs ont montré que la mise en œuvre la plus avantageuse du point de vue socio-économique d'un tel système de transport consisterait en un réseau de transmission CCHT offshore coordonné et interconnecté (maillé et multiterminal) regroupant les fonctions suivantes :

- le transport de l'énergie éolienne vers la côte ;
- l'interconnexion des différents États de la mer du Nord ;
- le renforcement des réseaux CA à terre ;
- l'approvisionnement des consommateurs d'énergie éolienne produite en mer.

À ce jour, toutefois, les systèmes CCHT ont principalement été mis en œuvre sous la forme de liaisons point à point distinctes, sous la houlette d'un seul fournisseur, avec un objectif unique et souvent un seul propriétaire, et ce, en raison de solutions technologiques de réseaux CCHT multiterminaux immatures, d'importantes différences entre les cadres juridiques et réglementaires nationaux et supranationaux et de l'absence d'un cadre économique adapté, résultant ainsi en des difficultés en matière de financement.

Le projet Horizon 2020 PROMOTiON (Progress on Meshed Offshore HVDC Transmission Networks) financé par l'Union européenne adresse les questions techniques, juridiques, réglementaires, économiques et financières en vue du développement en mer du Nord d'un réseau de transport CCHT offshore maillé visant les six objectifs suivants :

Afin d'établir l'interopérabilité entre les différentes technologies et concepts tout en s'adaptant à des exigences techniques et opérationnelles spécifiques, à des modèles de comportements et des méthodes de normalisation adaptées à des technologies différentes, PROMOTiON a pris les mesures suivantes :

- Un travail axé sur quatre technologies clés : le réseau CCHT et le contrôle du parc éolien offshore, la protection du réseau CCHT, les disjoncteurs CCHT et les sous-stations à isolation gazeuse.
- La définition d'exigences fonctionnelles communes pour les systèmes CCHT multiterminaux et les centrales éoliennes offshore.
- La recherche, l'analyse, la simulation et la comparaison des performances technico-économiques et l'interopérabilité des topologies du réseau CCHT maillé avec différentes combinaisons de technologies clés sous diverses configurations d'exploitation et une gamme complète de conditions d'exploitation.
- Le développement de lignes directrices destinées à la sélection des technologies et des caractéristiques techniques du matériel.
- Le développement de recommandations visant à parvenir à la comptabilité et à l'interopérabilité sur les plans juridique, réglementaire, technique et contractuel ainsi qu'en matière de planification.

Pour obtenir une technologie de protection des réseaux offshore CCHT maillés à la fois interopérable, fiable et rentable et développer le nouveau type de convertisseurs offshore permettant l'intégration de l'énergie éolienne produite en mer, PROMOTiON a pris les mesures suivantes :

- La définition d'exigences communes en matière de performance liée à la protection des réseaux CCHT.
- La création de modèles de coûts et d'une base de données pour les équipements CCHT.
- La mise en œuvre d'une analyse complète des coûts et des avantages des différentes stratégies de protection afin de déterminer la plus rentable et la mieux adaptée aux différents types de réseaux de transmission CCHT.
- Le développement, la réalisation de tests complets et la validation d'un dispositif électronique intelligent (DEI) pouvant être programmé avec une variété de stratégies de protection de réseaux CCHT.
- Le développement d'une interface système commune entre les différents composants du système de protection (tels que les disjoncteurs et les DEI).
- La démonstration de l'interopérabilité entre les différents fournisseurs grâce à l'exploitation efficace d'un DEI, développé par PROMOTiON ou par un autre fournisseur industriel, avec des modèles de commande et de

- protection de convertisseurs issus de fabricants tiers.
- La réalisation d'une analyse des contraintes et des modes de défaillances des technologies et des composants de disjoncteurs CCHT.

Pour démontrer la rentabilité des différentes technologies clés adaptées aux réseaux offshore CCHT maillés et pour augmenter leur niveau de préparation technologique par le biais d'un certain nombre de recherches, tout en surmontant les problèmes et les pièges des premières solutions, PROMOTioN a entrepris les travaux suivants:

- Le développement de procédures communes de qualification des performances technologiques et l'élaboration de circuits d'essais.
- La mise en œuvre de démonstrations semi-publicques, à pleine puissance, à échelle réelle et / ou en fonctionnalité totale de prototypes industriels de l'ensemble des technologies clés développées par les fournisseurs dans des universités et des laboratoires d'essais industriels indépendants, et ce, en s'appuyant sur les exigences de test et les circuits d'essais proposés.
- La réalisation, en laboratoire et via un processus de simulation à faible puissance, de nombreuses démonstrations technologiques, ainsi que l'élaboration de systèmes d'essais sur lesquels s'appuieront le développement technologique, la recherche et la formation du personnel.
- La création de définitions du niveau de préparation technologique (« technology readiness level » ou TRL) adaptées aux systèmes de transmission CCHT, conformément au cadre Horizon 2020 TRL.
- La mise en œuvre d'une analyse spécifique de la progression du TRL de chacune des technologies clés explorées par le projet PROMOTioN de sorte que l'intégralité d'entre elles atteignent au minimum un TRL de 6.

Pour développer un nouveau cadre réglementaire européen, conforme à la fois avec les objectifs de la politique énergétique à l'échelle de l'UE et avec ceux des différents États membres, et pour accroître la viabilité des projets CCHT maillés en fournissant un cadre financier adapté, PROMOTioN a entrepris les travaux suivants:

- La réalisation d'une étude documentaire du droit international, européen et national et l'élaboration de recommandations spécifiques portant sur les lacunes et les incompatibilités identifiées.
- La proposition de la définition d'un nouveau type de classification des actifs des parcs éoliens connectés à plus d'un pays (à savoir les actifs hybrides).
- La mise au point d'une méthodologie d'analyse des coûts et des avantages socio-économiques du développement d'un système de transport de l'énergie offshore
- Le développement de recommandations spécifiques destinées à la

- planification, à l'exploitation et au démantèlement des réseaux offshore.
- L'élaboration d'un marché de l'énergie offshore basé sur plusieurs zones de petite taille (bidding zones) et s'appuyant sur de mesures supplémentaires qui permettront de garantir un flux de revenus stable aux développeurs de parcs éoliens en mer.
 - L'analyse et la formulation de recommandations visant les volumes d'investissement requis, les modèles de propriété et les modèles de revenus des investisseurs, la répartition des coûts transfrontaliers ainsi que les stratégies et les instruments de financement adaptés.

Pour faciliter l'harmonisation des initiatives en cours, des interfaces système communes et des normes futures en coopérant activement avec les groupes de travail et les organismes de normalisation et en s'appuyant efficacement sur l'expérience acquise via les différentes démonstrations, PROMOTioN a entrepris les travaux suivants:

- L'inventaire de l'ensemble des initiatives de normalisation actives et pertinentes, la mise en corrélation avec les résultats obtenus par PROMOTioN et l'établissement de correspondances.
- L'organisation d'ateliers d'harmonisation ciblés sur différents sujets.
- Le développement et le partage de dossiers d'informations spécifiques avec les initiatives de normalisation, en particulier, le partage des résultats des essais menés par les démonstrateurs qui ont contribué à orienter et à façonner de manière active la normalisation.
- La soumission et le lancement d'activités de normalisation en cas de lacunes identifiées.

Pour fournir un plan de déploiement concret destiné à la « phase deux » du lancement commercial des technologies clés des réseaux offshore CCHT maillés en Europe tout en tenant compte des aspects techniques, économiques, financiers et réglementaires, PROMOTioN a entrepris les travaux suivants:

- Le développement des topologies des réseaux potentiels basé sur des scénarios de déploiement des parcs éoliens offshore et la coordination internationale.
- La mise en œuvre d'une évaluation comparative basée sur l'analyse des coûts et des avantages pour les topologies développées.
- La création d'une feuille de route identifiant les actions nécessaires des parties prenantes ainsi que leur calendrier.
- La réalisation d'études de faisabilité de trois solutions à court terme pour des projets CCHT multiterminaux pilotes.

Conclusions finales

Sur la base des travaux effectués, le projet PROMOTioN conclut qu'il n'existe aucun obstacle technologique au développement de réseaux de transmission CCHT multiterminaux. Un travail de normalisation important demeure néanmoins nécessaire pour permettre l'intégration de réseaux CCHT multifournisseurs. Les GRT et les fournisseurs doivent s'aligner sur des exigences communes de performance fonctionnelle, neutres sur le plan technologique, et adopter des protocoles de communication et des normes pour les équipements CCHT identiques. Les meilleures pratiques en matière de passation de marché et de contrats doivent être adaptées de manière à faciliter l'intégration d'un système multifournisseur. Les technologies, les systèmes de commande et les pratiques d'exploitation des réseaux CCHT ont bénéficié d'une évolution rapide, le projet PROMOTioN ayant, pour sa part, contribué au développement de la technologie et identifié un certain nombre de directions pour améliorer davantage les performances et réduire encore plus les coûts.

La collaboration et la coordination entre les gouvernements nationaux, les GRT et les autres utilisateurs de l'espace offshore sont essentielles à la mise en œuvre des recommandations réglementaires et juridiques, ainsi qu'à l'alignement des plans nationaux d'énergie renouvelable produite au large avec le programme de transport. La meilleure façon de surmonter les défis restants et d'initier les collaborations nécessaires pour y parvenir consiste à mettre en place un projet pilote transfrontalier à grande échelle qui démontrerait la viabilité de la technologie, proposerait des modèles de collaboration internationale et offrirait les avantages socio-économiques des systèmes de transport CCHT multiterminaux dont est dépourvu le paradigme de connexion point à point actuellement employé.

Les résultats du projet PROMOTioN ont été largement diffusés à travers des publications parues dans des revues et à l'occasion de conférences internationales (telles que celles organisées par le CIGRE et l'IEEE) ainsi que par le biais d'ateliers thématiques ciblés, organisés avec des parties prenantes clés, telles que les ministères nationaux, DG Energy, ENTSO-E, WindEurope, T&D Europe et le North Sea Wind Power Hub. Les résultats et les présentations publiques sont disponibles sur le site Web du projet www.promotion-offshore.net.