

#11

## COMMENT RACCORDER LE PARC ÉOLIEN AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE ?

Responsable du réseau public de transport d'électricité en France, Rte est chargé de raccorder le futur parc éolien au réseau public de transport d'électricité. Depuis la loi du 30 décembre 2017, Rte a vu son périmètre de responsabilité s'étendre : Rte est désormais responsable du financement, de la construction puis de l'exploitation du raccordement (y compris le poste électrique en mer).

### Les ouvrages type d'un raccordement en courant alternatif

- Un ou plusieurs postes électriques en mer, notamment en fonction de la puissance totale du parc.

#### Domaine maritime

- Plusieurs liaisons sous-marines 225 kV reliant le poste électrique en mer au point d'atterrage. Le nombre de liaisons 225 kV à créer dépend de la puissance de production du parc éolien à raccorder.

#### Atterrage

Plusieurs chambres de jonction d'atterrage (une par liaison), pour réaliser la transition entre les câbles sous-marins et les câbles terrestres.

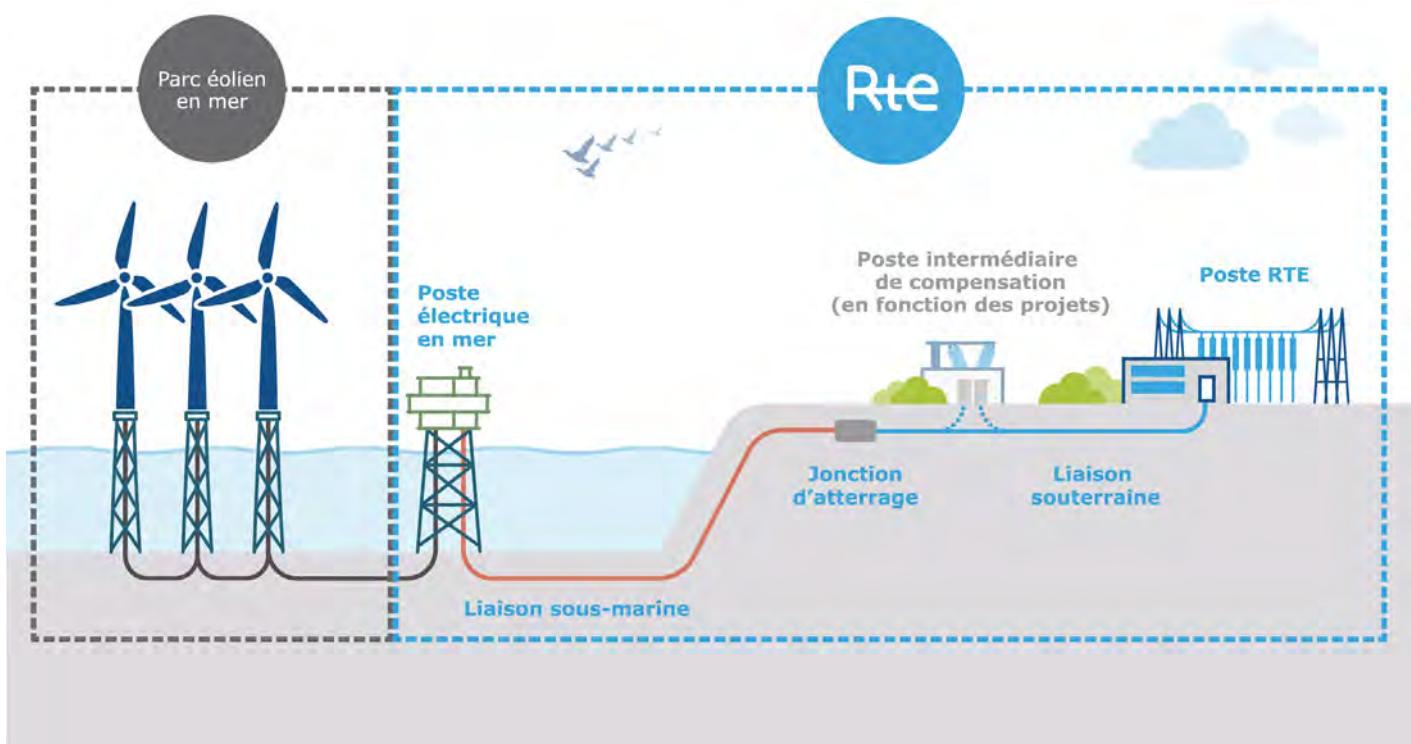
#### Domaine terrestre

- Plusieurs liaisons de 225 kV (autant que de liaisons sous-marines).

- Crédit d'un nouveau poste électrique de raccordement 225/400 kV, ou raccordement à un poste électrique existant 400 kV avec création d'un échelon supplémentaire 225 kV.

- En fonction de la longueur totale de la liaison souterraine et sous-marine, un poste électrique intermédiaire supplémentaire entre l'atterrage et le poste de raccordement peut être nécessaire.

## Le raccordement au réseau électrique en courant alternatif



Source : Rte / Ham & Juice

## Les ouvrages en mer

### Le poste électrique en mer

Le poste, ou plateforme, électrique en mer est situé au sein du parc éolien. Il permet de stabiliser et d'élever la tension de l'énergie produite par les éoliennes (66 kV vers 225 kV), de réduire les pertes électriques potentielles et de réduire le nombre de câbles nécessaires pour transmettre l'électricité au réseau public de transport d'électricité. Avec plus de 50 réalisations en Europe depuis 2002, la technologie du poste en mer est bien maîtrisée. Les structures de fondation dépendent de la nature des sols. Un poste électrique en mer est généralement composé d'une plateforme de 3 à 5 étages, d'une sous structure pouvant être de type différent (monopode appelé monopile, treillis métallique appelé jacket, ou base gravitaire en béton armé). Les éventuels ancrages de fondations (nécessaires pour les deux premiers types de sous-structure) pourront être des pieux battus ou forés dans le sol.

## Poste électrique en mer

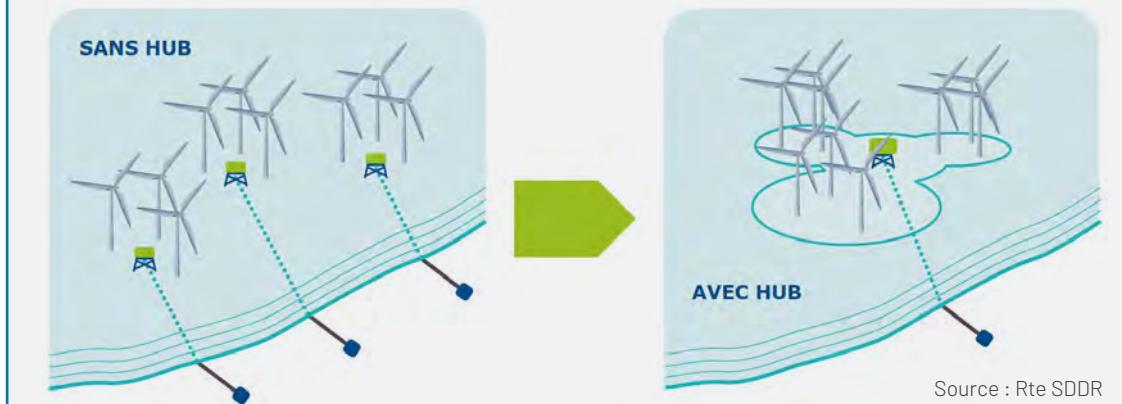


Source : Rte / La Cen / Ham & Juice

### DES PLATEFORMES MUTUALISABLES ?

La réforme du raccordement issue de la loi du 30 décembre 2017 ouvre la possibilité pour Rte de développer des plateformes de grande taille mutualisables, à l'instar de la dynamique engagée par les pays autour de la mer du Nord. Des parcs éoliens spatialement proches et issus d'une ou plusieurs procédures de mise en concurrence pourraient donc être raccordés à une même plateforme en mer, qui ferait office de « hub de raccordement ». Outre l'effet économique positif, une telle mutualisation permettrait de réduire les délais, l'impact sur l'environnement et de favoriser la coexistence des usages de la mer.

#### Raccordement avec hub et sans hub (Rte)



## Les liaisons sous-marines

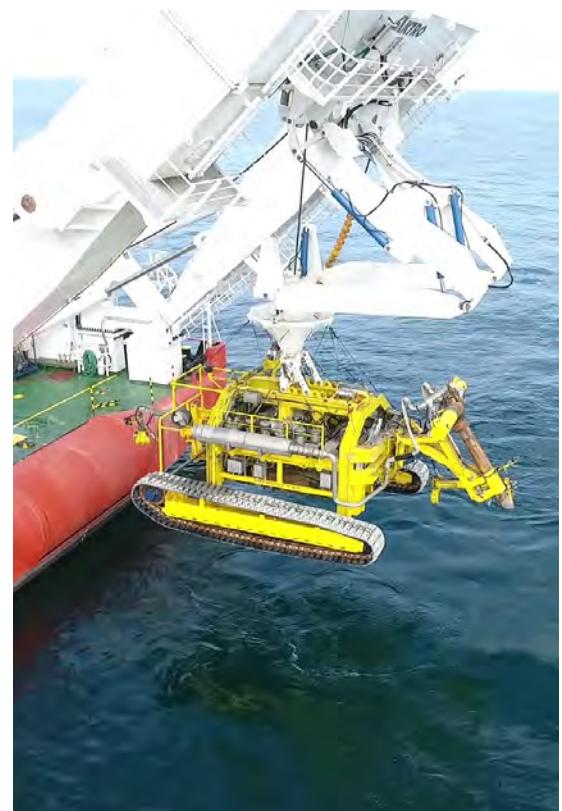
Les liaisons sous-marines permettent de relier le poste en mer à l'atterrage. Suivant la nature des fonds, et afin d'assurer la sécurité de l'ouvrage, celui-ci sera préférentiellement ensouillé dans le sédiment marin (posés dans une tranchée créée dans le sol à l'aide d'outils adaptés à la nature des fonds) ou recouverts par une protection externe, afin d'éviter le risque d'endommagement des câbles par les ancrages des navires ou engins de pêche et de permettre le maintien des activités en mer, au-dessus des câbles. Les moyens maritimes utilisés dépendent de la longueur de câble à poser, de la nature et de la profondeur des fonds marins. Les câbles de la liaison sous-marine peuvent être installés par un navire câblier ou une barge, qui déroule et dépose le câble sur les fonds marins. L'ensouillage peut être réalisé par différents types d'engins selon la nature des fonds :

### Pose d'un câble en mer



Source : Rte, avec l'autorisation de Prysmian Group  
Câble Enterprise est l'un des plus récents navires câblier de Prysmian Group

### Trancheuse mécanique



Source : ASSO Subsea, avec l'autorisation de ASSO Subsea

### Engin de water-jetting



Source : Rte, avec l'autorisation de Global Marine

- Dans les matériaux meubles, le câble peut être ensouillé au moyen d'une charrue tractée à partir du navire câblier ou d'un autre navire ; la charrue type ouvre un sillon de 0.5 m de large où le câble est déposé et le sillon se referme par gravité ou niveling par la charrue, quasi simultanément.
- Dans les matériaux sableux, le câble peut être ensouillé au moyen d'une charrue à injection d'eau (jetting), qui injecte de l'eau à haute pression pour assouplir la couche sédimentaire et permettre l'ensouillage naturel du câble par gravité, la couche de sédiments se redéposant et se recompactant naturellement ensuite.
- Dans les matériaux plus durs, une trancheuse mécanique peut être utilisée. Il s'agit d'un engin autotractionné à chenilles (tracteur à chenilles), équipé d'une roue trancheuse pour des fonds durs ou une chaîne à pic ou à godet pour des fonds sédimentaires compacts.

## Ensouillage - Protection extérieure



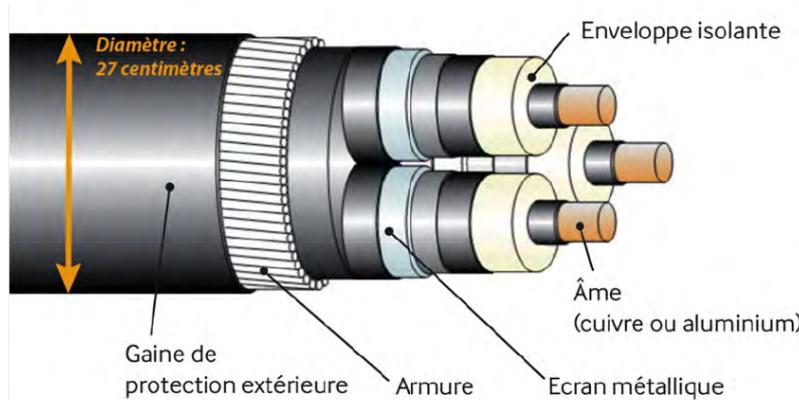
Source : Rte

En cas de difficultés d'ensouillage ou d'un besoin de protection complémentaire, une solution de protection externe peut être envisagée, par matelas béton, par enrochement, mise en place de coquilles en fonte autour du câble...

Chaque liaison sous-marine en 225 kV est composée d'un câble tripolaire, d'un diamètre de l'ordre de 25 à 27 cm et pesant environ 80 à 130 kg au mètre linéaire. Chaque câble intègre un à deux câbles de télécommunications à fibres optiques sous son armure.

La capacité de transport de chaque câble est d'environ 250 à 300 MW, et dépend de nombreux paramètres tels que la distance à parcourir, l'environnement thermique, le type de conducteur et d'armure, la tension d'exploitation, etc. La pose des câbles dans des tranchées distinctes est impérative pour éviter l'échauffement mutuel des câbles, et ainsi maximiser la capacité de transport par câble. Le schéma ci-dessous détaille les caractéristiques techniques de chacun des câbles sous-marins.

## Schéma de principe d'un câble sous-marin tripolaire



Source : Rte

## L'atterrage

L'atterrage désigne le lieu de la côte où les câbles sous-marins sont raccordés aux câbles souterrains. En raison des différences existant entre les câbles sous-marins et les câbles souterrains, et pour permettre d'assurer la continuité électrique (en 225 kV), le changement technologique de la liaison sous-marine à la liaison terrestre se fait au sein d'une chambre de jonction. Ces chambres d'atterrage (une par circuit) sont maçonnées et enterrées à 2 m de profondeur de dimensions approximatives de 16 m x 3 m. Après raccordement des câbles, les chambres sont recouvertes par des dalles en béton armé puis remblayées.

L'atterrage est souvent un point limitant de la liaison sous-marine en termes de capacité de transport, du fait que l'environnement thermique n'est pas aussi favorable qu'en mer (la température du milieu ambiant et la résistivité thermique du sol y sont plus élevées).

Deux modes de pose sont possibles pour les liaisons à l'atterrage, selon sa configuration :

- via une tranchée dans laquelle sont déposés les câbles ;
- via un forage dirigé pour passer en dessous des dunes pouvant aller jusqu'à l'estran (zone du littoral périodiquement recouverte par la marée).

Ainsi, il est essentiel, pour maximiser les capacités de transport, que le ou les sites d'atterrages réunissent les conditions suivantes :

- possibilité d'espacer suffisamment les câbles et les chambres d'atterrage pour éviter les échauffements mutuels (idéalement une dizaine de mètres entre chaque liaison) ;
- présence d'un sol favorable à l'évacuation de la chaleur (faible résistivité thermique).

## Les ouvrages à terre

### La liaison souterraine

Chaque circuit est composé de trois câbles unipolaires indépendants, d'un diamètre d'environ 13 cm, accompagnés d'un à deux câbles de télécommunications à fibres optiques.

Dans le cadre des études de détails, les investigations et analyses de sol permettront de déterminer plus précisément la ou les méthode(s) à employer le long du tracé pour la pose et la protection des liaisons souterraines. Les câbles sont déroulés dans des fourreaux, d'un diamètre d'environ 25 cm, en polychlorure de vinyle (PVC) enrobés de béton ou en polyéthylène haute densité (PEHD) selon le milieu traversé. La profondeur de fond de fouille est d'environ 1,70 m, mais peut varier selon la nature du sol.

Dans l'hypothèse d'un parc d'environ 1GW nécessitant 3 à 4 liaisons souterraines parallèles, celles-ci doivent être suffisamment espacées les unes des autres pour limiter le phénomène d'échauffement mutuel des liaisons.

Selon les possibilités en termes de tracés terrestres, les liaisons pourraient être rassemblées sur un unique tracé regroupant les 3 ou 4 liaisons, espacées d'environ 2 à 5 mètres entre elles, ou alors réparties sur deux tracés distincts. La première option est fréquemment mise en œuvre à l'étranger pour des liaisons terrestres de ce type.

De plus, il existe plusieurs techniques adaptées aux franchissements d'obstacles en sous-œuvre, comme les routes, les cours d'eau etc. : forage dirigé, fonçage, etc. Les câbles conducteurs sont déroulés dans les fourreaux sur des tronçons de 800 à 1200 m environ, puis raccordés entre eux dans des chambres de jonction. Ce sont des ouvrages maçonnés en briques et dalles de dimensions 12 m x 2 m, enterrés à 2 m de profondeur en fond de fouille environ. Après raccordement des câbles, les chambres sont recouvertes par des dalles en béton armé puis remblayées.

### Les postes de raccordement au réseau terrestre

Le raccordement électrique nécessite la création ou l'extension d'un poste électrique 225 kV ou 400 kV avec la création d'un échelon 225 kV. Pour les projets de parcs éoliens au large de la Normandie, trois zones, sur le réseau 400 kV, sont susceptibles d'accueillir le raccordement : le poste électrique de Menuel dans la Manche, le poste électrique de Barnabos en Seine Maritime et la zone du Havre (poste électrique à construire près de la liaison Le Havre-Rougemontier). Leur capacité d'accueil respective est d'ores-et-déjà suffisante pour accueillir un parc éolien de 1 GW sans renforcement majeur du réseau terrestre.

Les liaisons électriques sous-marines et souterraines génèrent de la puissance dite « réactive » qui entame leur possibilité de transit de puissance « active » (utile pour nos usages). Lorsque la longueur totale du raccordement (terrestre et en mer) est importante, la construction d'un poste supplémentaire est nécessaire sur le tracé de la liaison à proximité de l'atterrage, comprenant des équipements visant à compenser cette puissance réactive.

*Exemple de pose de liaison souterraine sous chemin agricole*



Source : Rte

*Exemple d'un poste électrique 400 kV existant*



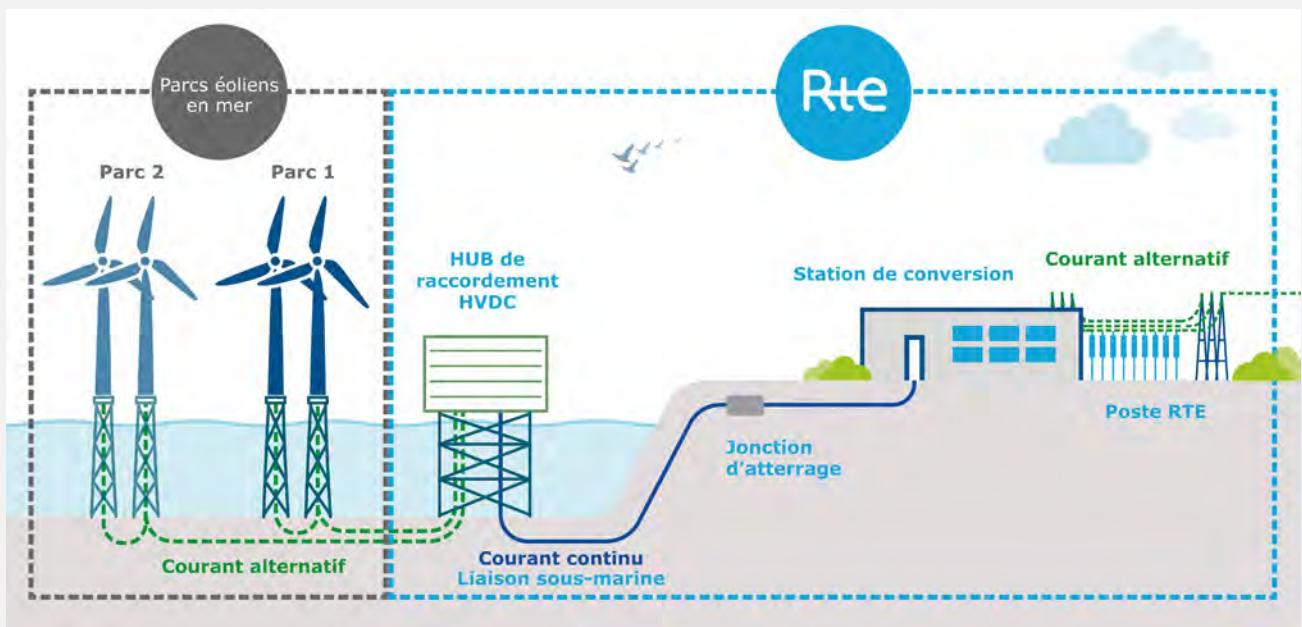
Source : Rte

## UNE TECHNOLOGIE ADAPTÉE POUR DES RACCORDEMENTS MUTUALISÉS DE PARCS DE GRANDE PUISSANCE : LE COURANT CONTINU

Lorsque la distance totale de raccordement dépasse 80 à 100 km, la technologie du courant alternatif peut présenter, en fonction de la puissance à raccorder, des limites technico-économiques nécessitant de recourir au courant continu. La solution du raccordement en courant continu ne nécessite qu'une seule liaison sous-marine et souterraine et permet de s'affranchir d'un poste de compensation intermédiaire sur le tracé.

Elle se présente dans un bâtiment dont la hauteur dépend du niveau de tension et requiert environ 5 ha de terrain ; l'autre est en mer, plus imposante qu'un poste électrique en courant alternatif (la station de conversion en mer de Dolwin 1 en Allemagne mesure, par exemple, 60 m de long, 40 m de largeur et de hauteur). Le poids de la station de conversion en mer est très élevé, nécessitant des moyens de levage exceptionnels utilisés dans l'industrie pétrolière, ce qui renchérit le coût d'installation. Le courant continu est donc privilégié pour raccorder plusieurs parcs, afin de mutualiser ses coûts plus élevés que le raccordement en courant alternatif. Le choix final est cependant lié à chaque situation particulière (en fonction notamment de la distance, du nombre de parcs et de la puissance à raccorder, etc.).

### Le raccordement au réseau électrique en courant continu



Source : Rte / Ham & Juice

### Stations de conversion



Source : Rte