Fiche 16

Comment raccorder les parcs éoliens flottants au réseau électrique ?

Les principaux points abordés

Cette fiche présente les modalités techniques et les équipements qui permettront le raccordement du parc éolien au réseau électrique, à terre, à l'atterrage et en mer.

Responsable du réseau public de transport d'électricité en France, RTE est chargé de raccorder le futur parc éolien au réseau électrique. Depuis la loi du 30 décembre 2017 et la procédure de mise en concurrence relative au parc éolien en mer au large de Dunkerque, RTE a vu son périmètre de responsabilité s'étendre : RTE est en charge de la construction, du financement, de l'exploitation et de la maintenance de la plateforme électrique en mer.

En lien avec le lauréat producteur, RTE conduira une démarche d'évaluation environnementale pour concevoir et réaliser le raccordement tant dans sa partie maritime que terrestre.

→ # Fiche 10 — En quoi consiste la démarche « éviter, réduire, compenser » ?

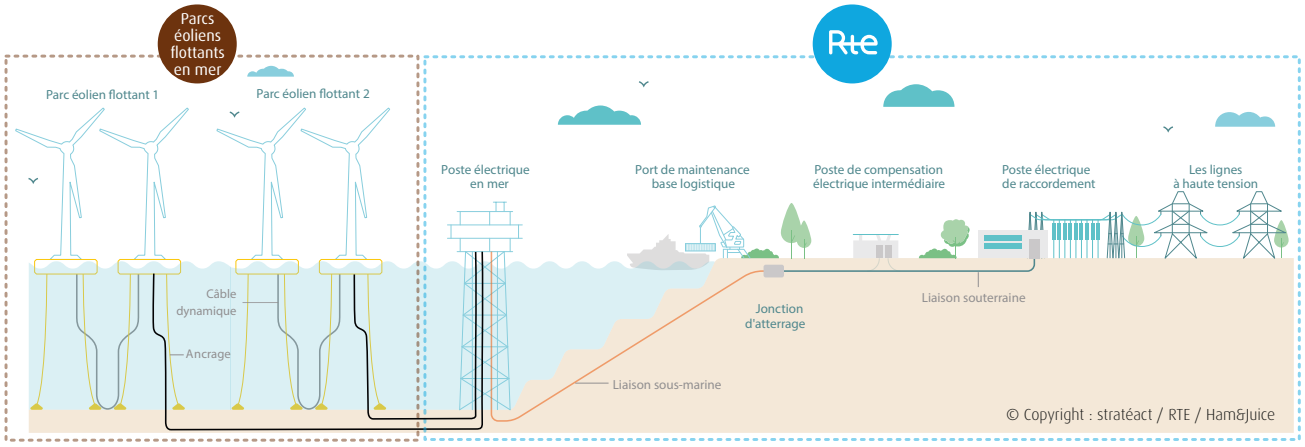
1. Les ouvrages types du raccordement d'un parc éolien au réseau électrique

Domaine maritime	– Un ou plusieurs postes électriques en mer : un raccordement mutualisé sur une seule plateforme sera recherché pour y raccorder le premier parc de 250 MW puis le second pouvant aller jusqu'à 500 MW ; – Plusieurs liaisons sous-marines 225 kV reliant le poste électrique en mer à la zone d'atterrage. Le nombre de liaisons 225 kV à créer dépend de la puissance de production du parc éolien à raccorder : une par tranche d'environ 250 MW.
Atterrage	– Plusieurs chambres de jonction d'atterrage (une par liaison), pour réaliser la transition entre les câbles sous-marins et les câbles terrestres ; – Plusieurs points d'atterrages sur une même zone géographique pourraient être nécessaires selon la configuration des sites, pour prévoir un espacement suffisant entre les câbles.
Domaine terrestre	– Plusieurs liaisons de 225 kV (autant que de liaisons sous-marines) ; – Création d'un nouveau poste électrique de raccordement au réseau 225 kV ou 400 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 ; – Selon les décisions prises à la suite du débat public, un ou deux tracés et points de raccordement à terre pourront être nécessaires.

→ # Fiche 23 — À quelles procédures et autorisations administratives sont soumis un parc éolien en mer et son raccordement ?

Le raccordement se fera en courant alternatif. Le choix de technologie entre le courant continu ou le courant alternatif se fait notamment au regard du couple puissance/distance : le courant continu est en général envisagé pour des raccordements d'une longueur totale supérieure à 100 km et/ou une puissance supérieure à 1 GW. Les procédures administratives et autorisations liées à la création de ces ouvrages sont décrites dans la fiche #23.

Schéma de principe du raccordement



2. Les ouvrages en mer

a. Le poste électrique en mer

Le poste, ou plateforme, électrique en mer 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. Un poste électrique en mer est généralement composé d'une plateforme de trois à cinq étages, et de fondations pouvant être de différents types : monopode appelé monopile, treillis métallique appelé *jacket*, ou base gravitaire en béton armé. Les structures de fondation du poste en mer dépendent de la nature des sols. Les éventuels ancrages de fondations (nécessaires pour les fondations monopile et *jacket*) pourront être des pieux battus ou forés dans le sol.

Une plateforme électrique flottante n'est pas envisagée à ce stade pour ce projet, du fait de la non-disponibilité des câbles 225 kV dynamiques sur le marché des câbliers (câbles pouvant subir des efforts mécaniques au gré des mouvements de la structure). Les câbles 225 kV étant statiques, une structure posée est nécessaire pour la plateforme. Afin d'éviter les effets de seuil sur les techniques d'installation de fondations en grande profondeur, RTE cherchera à implanter le poste électrique dans une zone où la bathymétrie (profondeur des fonds marins) ne dépasse pas 100 m.

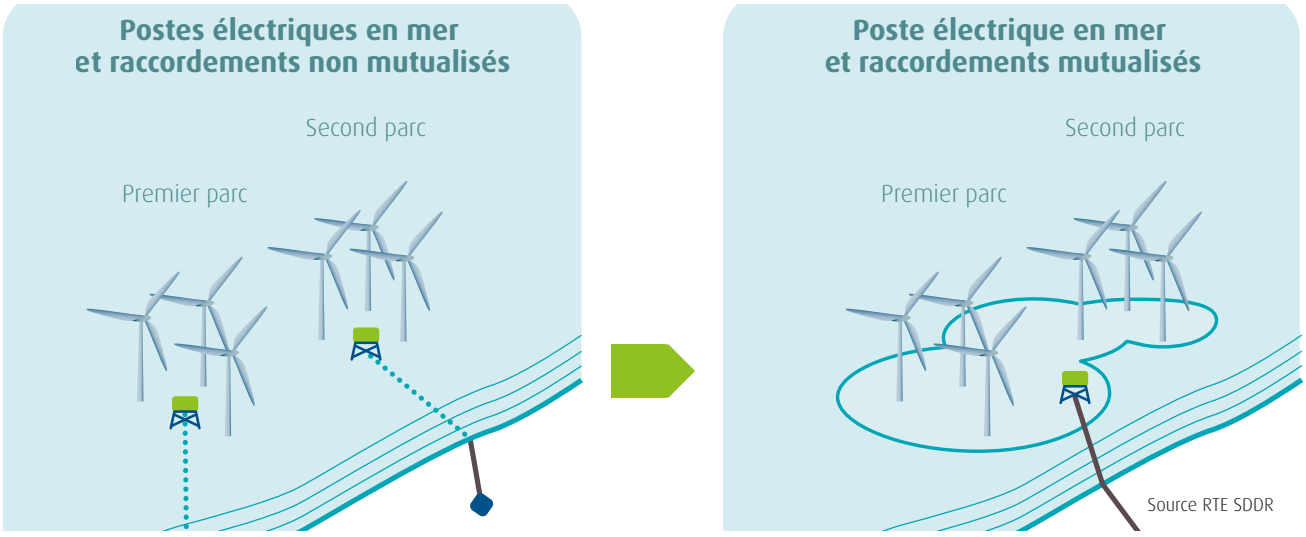
Poste électrique en mer

La mutualisation des plateformes

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.

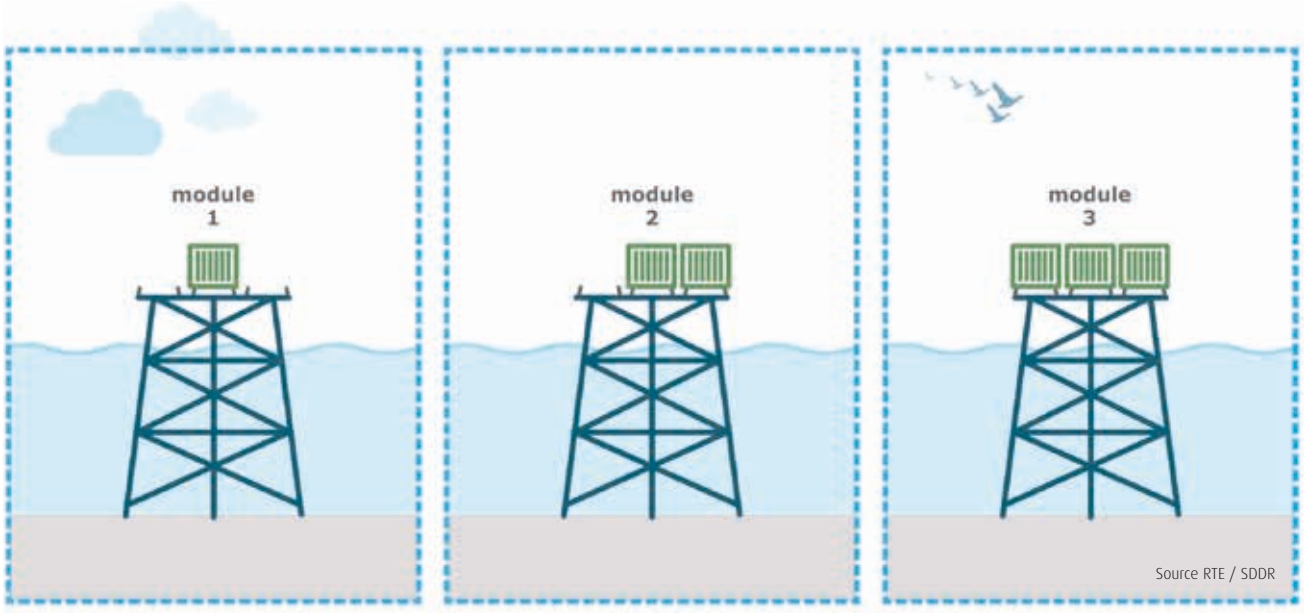
Des parcs éoliens spatialement proches et issus d'une ou plusieurs procédures de mise en concurrence peuvent ainsi être raccordés à une même plateforme en mer. C'est ce qui est prévu dans le cas des projets flottants à construire au sud de la Bretagne, avec un premier parc de 250 MW puis un second allant jusqu'à 500 MW, à créer ultérieurement.

Outre l'avantage économique, une telle mutualisation permettra de réduire les délais, l'impact sur l'environnement et de favoriser la coexistence des usages de la mer.



Selon la configuration des deux futurs parcs et les délais entre projets, RTE pourra proposer un développement modulaire (voir illustration ci-dessous) et par étapes de la plateforme en mer. La structure est alors dimensionnée dès le départ à la puissance visée et les équipements nécessaires sont installés au fur et à mesure. Ces opportunités de mutualisation sont explicitées dans le schéma décennal de développement du réseau de RTE[1].

Développement modulaire de la plateforme en mer



1 *Schéma décennal de développement de réseau de RTE*, chapitre 6, p. 174 et suivantes.

b. 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, celles-ci seront préférentiellement ensouillées 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 ancres 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.

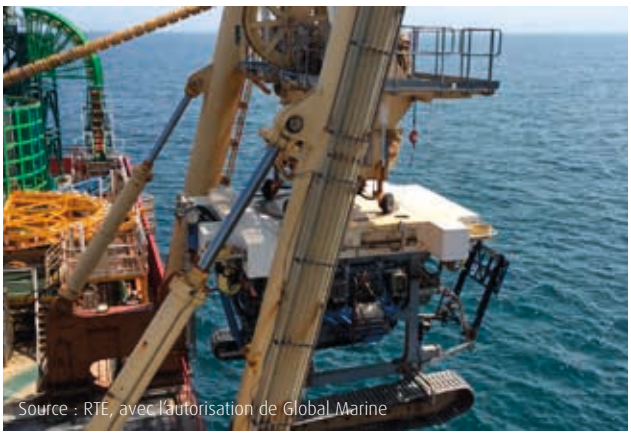
L'ensouillage peut être réalisé par différents types d'engins selon la nature des fonds :

- 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 d'environ 0,5 m de large où le câble est déposé et le sillon se referme par gravité ou nivellement 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 autotracté 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.

Pose d'un câble en mer

Source : RTE, avec l'autorisation de Prysmian Group – Navire Cable Enterprise

Engin de *water-jetting*



Source : RTE, avec l'autorisation de Global Marine

Trancheuse mécanique

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

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, etc.

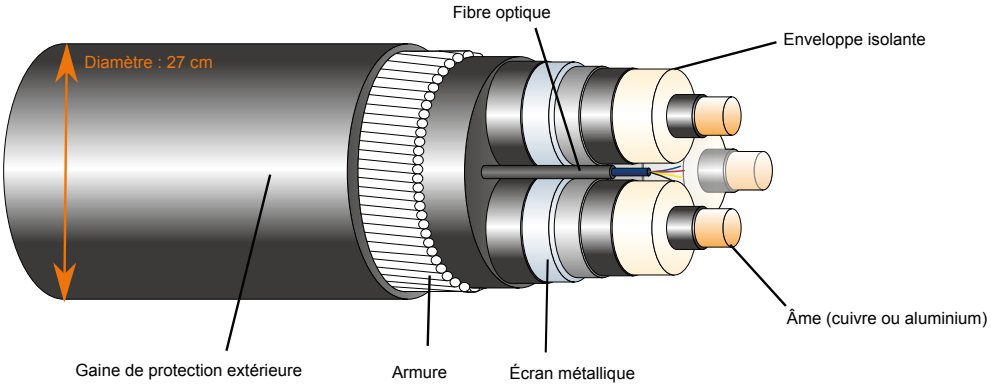
Ensouillage – protection extérieure

Source : RTE

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

3. L'atterrage

L'atterrage désigne le lieu de la côte où les câbles sous-marins sont raccordés aux câbles souterrains. En raison des différences existantes 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 de dimensions approximatives de 16 m x 3 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.

L'atterrage est souvent un point limitant de la liaison sous-marine en matière 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 de dunes pouvant aller jusqu'à l'estran ;

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'atterrages 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).

4. Les ouvrages à terre

a. 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 en général 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.

Chaque tranche de 250 MW nécessitera une liaison 225 kV. Dans l'hypothèse de plusieurs 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 matière de tracés terrestres, les liaisons pourraient être rassemblées sur un unique tracé regroupant plusieurs liaisons, espacées d'environ 2 à 7 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.

Exemple de pose de liaison souterraine

Crédit photos : RTE

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 1 200 m environ, puis raccordés entre eux dans des chambres de jonction. Ce sont des ouvrages maçonnés de dimensions de 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.

b. 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 Bretagne, ceux-ci devront être raccordés au réseau 225 kV ou 400 kV situé à une vingtaine de kilomètres de la côte à vol d'oiseau, selon leur puissance et leur localisation.

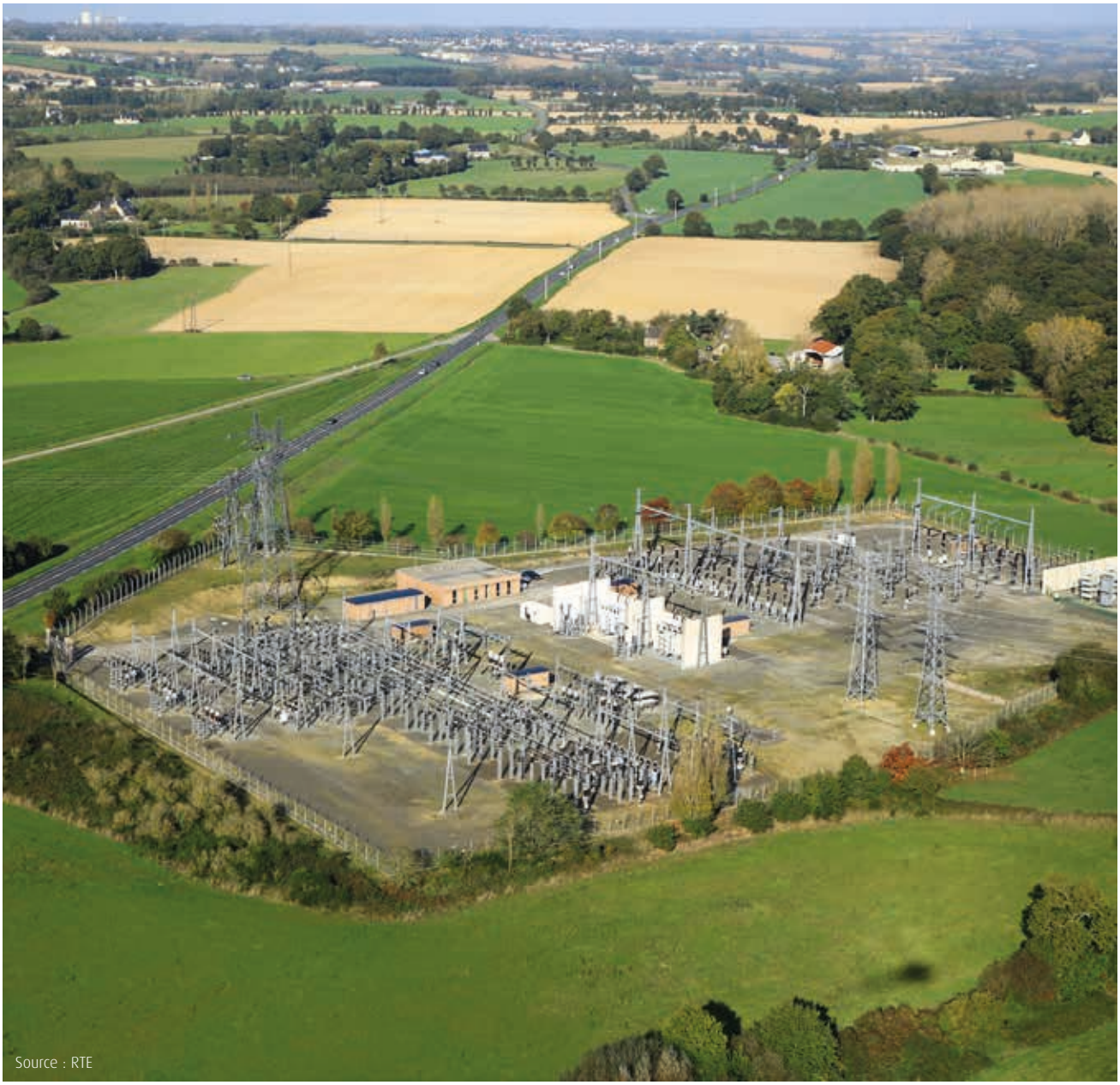
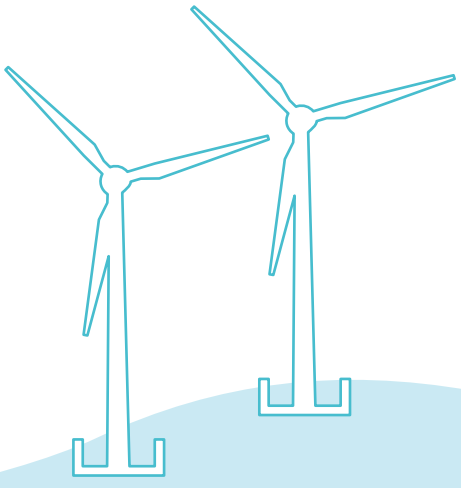
Les liaisons électriques sous-marines et souterraines génèrent de la puissance dite « réactive » qui entame leur possibilité de transit de puissance « active » (utile pour nos usages). Lorsque la longueur totale du raccordement (terrestre et en mer) est importante, la construction d'un poste supplémentaire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

L'emprise nécessaire à la création de ces ouvrages dépend de la configuration retenue et possible sur le tracé :

- elle est plus importante si on se raccorde en 400 kV du fait de la création des équipements nécessaires à l'élévation de la tension ;
- elle dépend de la présence ou non du poste électrique intermédiaire.

L'emprise totale de ces deux postes représente, en ordre de grandeur, une dizaine d'hectares.

Exemple d'un poste électrique 225 kV existant



Source : RTE