



Réseau de transport d'électricité



MÉMOIRE DESCRIPTIF

Décembre 2014
Département du Calvados

Raccordement du parc éolien en mer du Calvados

Sommaire

Présentation du maître d'ouvrage.....	5
Avant propos	9
1 Dispositions générales du projet.....	11
1.1 Description du projet	12
1.2 Consistance technique de la liaison sous-marine.....	14
1.2.1 Description des composantes de la liaison sous-marine.....	14
1.2.2 Travaux mis en œuvre pour la liaison sous-marine	15
1.2.3 Organisation des travaux en mer	19
1.2.4 Exploitation de la liaison sous-marine.....	19
1.3 Consistance technique de la liaison souterraine	21
1.3.1 Jonction d'atterrage	21
1.3.2 Description des composantes de la liaison souterraine	22
1.3.3 Travaux mis en œuvre pour la liaison souterraine	24
1.3.4 Exploitation de la ligne souterraine.....	27
1.4 Consistance technique de l'extension du poste de RANVILLE	28
1.4.1 Evolutions du poste de RANVILLE	28
1.4.2 Travaux mis en œuvre.....	29
1.4.3 Exploitation du poste.....	29
1.5 Démantèlement.....	30
1.5.1 Liaison sous-marine.....	30
1.5.2 Liaison souterraine	30
1.6 Calendrier prévisionnel	30
2 Justification technico-économique du projet.....	31
2.1 Développement de l'éolien en mer.....	32
2.2 Parc éolien en mer au large de Courseulles-sur-Mer.....	33
2.3 Raccordement du futur parc éolien en mer du Calvados au réseau de transport d'électricité	
33	
2.3.1 Description locale du réseau public de transport d'électricité	33
2.3.2 Niveau de tension du raccordement	35
2.3.3 Solutions techniques envisagées et solution retenue.....	35
3 Historique de la concertation.....	37
3.1 Concertation	38
3.1.1 Présentation du projet.....	38
3.1.2 Dossier de présentation et de proposition d'aire d'étude	39
3.1.3 Contribution au débat public	39
3.1.4 Elaboration des solutions et poursuite de la concertation.....	40
3.1.5 Dossier de concertation et réunion plénière du choix de fuseau de moindre impact	41
3.1.6 La mise au point du projet général.....	41
3.2 Acteurs et partenaires du projet.....	42
3.2.1 Responsables du projet.....	42
3.2.2 Bureau d'études en environnement	42
3.2.3 Responsables de l'instruction administrative du projet.....	43
4 Contexte réglementaire et administratif	45
4.1 Justification technico-économique des projets d'ouvrages électriques et le dossier de présentation	47
4.2 Concertation : de l'aire d'étude au fuseau de moindre impact.....	47
4.3 Procédures préalables à la construction des ouvrages du réseau public de transport d'électricité.....	48
4.3.1 Pièce essentielle à la procédure : l'étude d'impact	48

4.3.2	Déclaration d'utilité publique (DUP)	49
4.3.3	Autorisation au titre de la loi sur l'eau	50
4.3.4	Concession d'utilisation du domaine public maritime (CUDPM)	51
4.3.5	Approbation du projet d'ouvrage (APO) et permis de construire	51
4.3.6	Servitudes.....	52
4.3.7	Indemnisation des propriétaires, des exploitants, des riverains	52
4.3.8	Mesures fiscales liées aux ouvrages	52
5	Généralités sur le fonctionnement du système électrique.....	53
5.1	Fonctionnement du réseau	54
5.2	Système électrique	55
5.3	Réseau public de transport et réseaux de distribution	60
5.3.1	Réseau public de transport	61
5.3.2	Réseaux de distribution	62
5.3.3	Pourquoi des réseaux ? Pourquoi interconnecter des territoires ?	62
5.4	Assurer la fourniture d'une électricité en tout lieu à tout moment.....	64
5.4.1	Sûreté du système électrique.....	64
5.4.2	Origine des principaux incidents affectant le système électrique.....	65
5.4.3	Qualité de l'alimentation électrique : un enjeu essentiel	66
5.4.4	Caractéristiques de la qualité d'alimentation	67
5.4.5	Quels paramètres influent sur la qualité de l'alimentation électrique ?	67
5.5	Engagements de RTE	68
5.5.1	Politique environnementale de RTE.....	68
5.5.2	Amélioration continue	69
5.5.3	De multiples partenariats	70
5.5.4	Engagements de RTE à l'égard du public	71

Liste des cartes, figures et photos

Liste des cartes

Carte 1 : Localisation de la liaison électrique.....	13
Carte 2 : Réseau RTE du nord du Calvados.....	34

Liste des figures

Figure 1 : Schéma général du raccordement.....	12
Figure 2 : Représentation d'un câble sous-marin type (RTE).....	14
Figure 3 : Evaluation de la capacité d'ensouillage par type de sol.....	16
Figure 4 : Exemple de trancheuse	17
Figure 5 : Exemple de water jetting	17
Figure 6 : Exemple de protection externe par matelas	18
Figure 7 : Illustration des différents types de navire pour la mise en place d'enrochement.....	18
Figure 8 : Coupe d'un câble souterrain (RTE)	22
Figure 9 : coupe-type d'une liaison souterraine (RTE)	23
Figure 10 : Représentation d'un fonçage (RTE)	25
Figure 11 : Etapes de réalisation d'un forage dirigé (RTE)	26
Figure 12 : Représentation des surfaces nécessaires pour les travaux en milieu agricole (RTE)	27
Figure 13 : Principes d'extension du poste électrique de RANVILLE.....	28
Figure 14 : Zones de l'appel d'offres éolien en mer	32
Figure 15 : Évolution de la consommation électrique en France et par mois, comparée sur 7 ans entre 2007 et 2013	56
Figure 16 : Répartition de la consommation électrique entre janvier 2008 et décembre 2012 pour la grande industrie, les PME et les autres consommateurs dont les particuliers	57
Figure 17 : Répartition de la production française en fonction du mode de production au 31/12/2013 (MW)	58
Figure 18 : Répartition des productions d'énergies renouvelables, hors hydraulique en 2013.....	58
Figure 19 : Rapport production/consommation en 2012	60
Figure 20 : Schématisation de la production, du transport et de la distribution d'électricité	61

Liste des photos

Photo 1 : Jonction d'atterrage (Nexans).....	21
Photo 2 : Illustration d'une liaison souterraine à deux circuits sous voirie (RTE).....	23
Photo 3 : Illustration d'une chambre de jonction d'une liaison souterraine d'un seul circuit 225 000 volts (RTE).....	24

Présentation du maître d'ouvrage

RTE, des missions essentielles au service de ses clients, de l'activité économique et de la collectivité

Des missions définies par la loi

La loi a confié à RTE la gestion du réseau public de transport d'électricité français. Entreprise au service de ses clients, de l'activité économique et de la collectivité, elle a pour mission l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau haute et très haute tension afin d'en assurer le bon fonctionnement.

RTE est chargé des 100 000 km de lignes haute et très haute tension et des 46 lignes transfrontalières (appelées "interconnexions").

RTE achemine l'électricité entre les fournisseurs d'électricité et les consommateurs, qu'ils soient distributeurs d'électricité ou industriels directement raccordés au réseau de transport quelle que soit leur zone d'implantation. Il est garant du bon fonctionnement et de la sûreté du système électrique quel que soit le moment.

RTE garantit à tous les utilisateurs du réseau de transport d'électricité un traitement équitable dans la transparence et sans discrimination.



En vertu des dispositions du code de l'énergie, RTE doit assurer le développement du réseau public de transport pour permettre à la production et à la consommation d'électricité d'évoluer librement dans le cadre des règles qui les régissent. A titre d'exemple, tout consommateur peut faire évoluer à la hausse et à la baisse sa consommation : RTE doit adapter constamment la gestion de son réseau pour maintenir l'équilibre entre la production et la consommation.

Assurer un haut niveau de qualité de service

RTE assure à tout instant l'équilibre des flux d'électricité sur le réseau en équilibrant l'offre et la demande. Cette mission est essentielle au maintien de la sûreté du système électrique.

RTE assure à tous ses clients l'accès à une alimentation électrique économique, sûre et de bonne qualité. Cet aspect est notamment essentiel à certains process industriels qui, sans elle, disparaîtraient.

RTE remplit donc des missions essentielles au pays. Ces missions sont placées sous le contrôle des services du ministère chargé de l'énergie et de l'environnement, et de la commission de régulation de l'énergie. En particulier, celle-ci vérifie par ses audits et l'examen du programme d'investissements de RTE, que ces missions sont accomplies au coût le plus juste pour la collectivité.

Accompagner la transition énergétique et l'activité économique

Dès l'horizon à dix ans, l'analyse prospective montre d'importants défis à relever à l'échelle mondiale et par la suite au niveau de chaque pays. Les enjeux de la transition énergétique soulignent la nécessité d'avoir une plus grande sobriété énergétique et de se tourner vers d'autres sources d'approvisionnement que les énergies fossiles. La lutte contre le réchauffement climatique donne à ces préoccupations une importance accrue.

Au regard tant du nombre d'acteurs impliqués que des enjeux économiques, les principaux efforts de la transition énergétique portent sur la maîtrise de la demande et l'adaptation des besoins du réseau.

En l'absence de technologies de stockage décentralisé suffisamment matures pour être disponibles à la hauteur des besoins, le réseau de transport d'électricité continuera d'assurer dans la transition énergétique, la mutualisation des aléas et par la suite la sécurisation et l'optimisation de l'approvisionnement électrique. Cela nécessitera que RTE développe de manière importante le réseau pendant les dix années à venir ; ainsi plus de dix milliards d'euros devront-ils être investis durant cette période pour contribuer à relever les défis du système électrique.

A cet égard, RTE est un acteur important du développement économique, comme le montre l'investissement annuel d'1,4 milliard d'euros comparé aux 213,4 milliards d'euros investis par l'ensemble des entreprises non financières en 2011 (source INSEE, investissement par secteur industriel en 2011). De plus, dans le domaine des travaux liés à la réalisation des ouvrages, on estime que les retombées locales en termes d'emploi représentent 25 à 30% du montant des marchés.

Assurer une intégration environnementale exemplaire

RTE assure l'entretien du réseau, son renforcement et son développement en veillant à réduire son impact environnemental.

RTE s'engage à concilier essor économique et respect de l'environnement : bonne intégration du réseau, économie des ressources, nouvelles technologies et préservation du milieu naturel.

Les services du ministère chargé de l'environnement s'assurent du caractère exemplaire de cette intégration environnementale.

Des informations complémentaires sont disponibles sur le site : www.rte-france.com

Avant propos

Le projet de raccordement électrique du parc éolien en mer du Calvados, comprend la réalisation d'une liaison sous-marine et souterraine à 225 000 volts d'une longueur approximative de 39 km entre le futur parc éolien et le poste de RANVILLE ; ce dernier fera l'objet d'une extension.

Ces ouvrages, qui accompagnent la transition énergétique, permettront de transporter l'électricité renouvelable produite par le parc éolien en mer du Calvados et s'inscrivent dans le cadre du premier appel d'offres « éolien en mer » lancé par le gouvernement en juillet 2011.

Le présent document nommé « mémoire descriptif » est un document réglementaire qui accompagne la demande de déclaration d'utilité publique du projet. Il a pour objectif de :

- décrire les dispositions techniques du projet,
- informer sur les fondements technico-économiques des travaux projetés,
- dresser l'historique de la concertation qui a eu lieu entre les acteurs locaux et RTE,
- présenter le contexte réglementaire et administratif dans lequel s'inscrit ce document
- apporter des informations générales sur le fonctionnement du système électrique.

Concernant les lignes de transport, le décret n°70-492 du 11 juin 1970 (concernant la procédure de DUP des travaux ne nécessitant que l'établissement des servitudes) dispose que la demande de DUP est accompagnée d'un dossier qui comprend notamment « Un mémoire descriptif indiquant les dispositions générales des ouvrages, leur insertion dans le réseau existant, leur justification technique et économique et présentant le calendrier des concertations qui ont pu avoir lieu sur le projet ainsi que les principaux enseignements tirés de celles-ci » (articles 6 et 7 du décret n°70-492 du 11 juin 1970).

Le présent document fait ainsi office de mémoire descriptif pour le projet de raccordement du parc éolien en mer du Calvados.

Dispositions générales du projet

1.1 Description du projet

Le raccordement du parc éolien en mer nécessitera la création des ouvrages suivants :

- une liaison sous-marine à deux circuits 225 000 volts reliant le poste du parc éolien en mer au point d'atterrage sur le littoral,
- une liaison souterraine à deux circuits 225 000 volts reliant le point d'atterrage au poste de RANVILLE assurant le raccordement au réseau public de transport d'électricité,
- l'extension du poste électrique de RANVILLE 225 000 volts pour le raccordement au réseau public de transport.

La figure suivante présente le schéma de principe du raccordement.

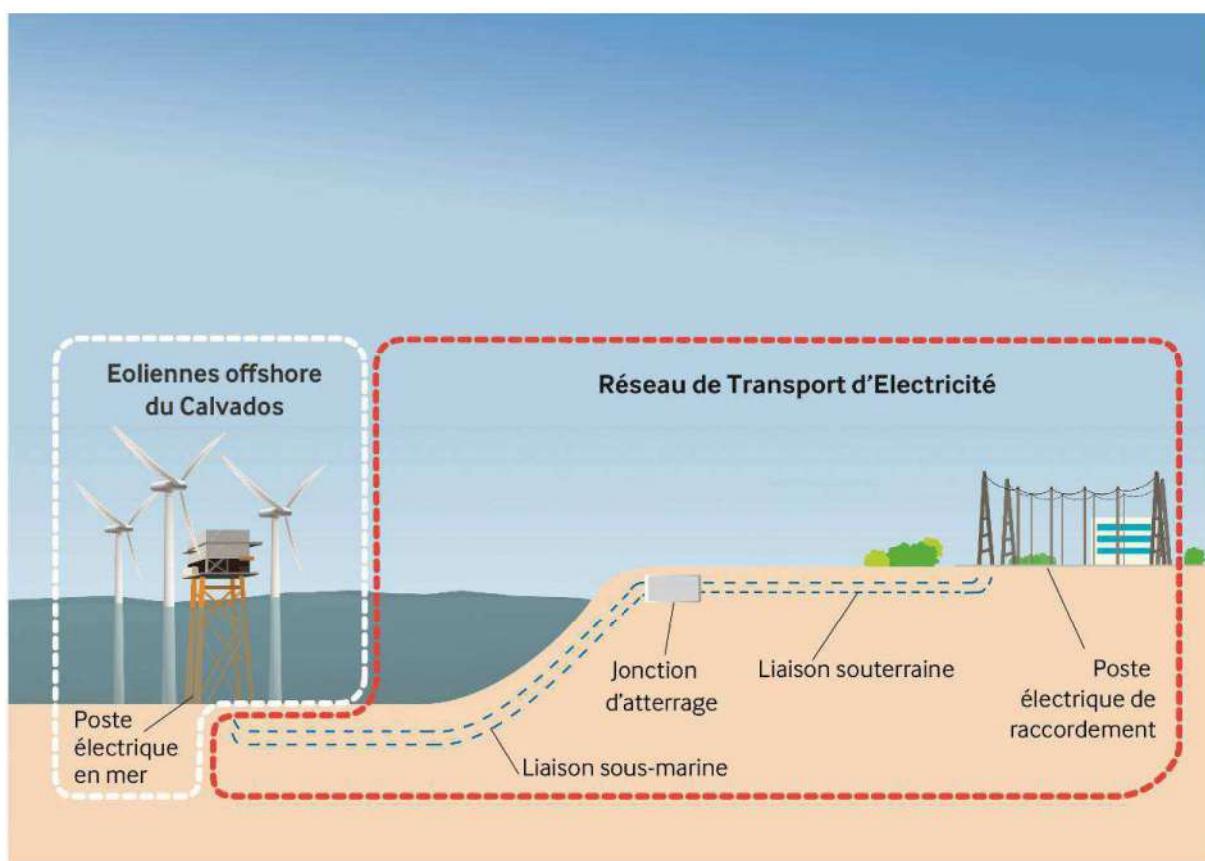


Figure 1 : Schéma général du raccordement

Ce raccordement électrique sera réalisé sur une longueur de 39 km dont :

- 15 km de liaison sous-marine,
- 24 km de liaison souterraine.

Localisation de la liaison électrique



Carte 1 : Localisation de la liaison électrique

1.2 Consistance technique de la liaison sous-marine

Le tracé de la liaison sous-marine sera d'une longueur de 15 km entre le périmètre du parc éolien en mer et le littoral de la commune de Bernières-sur-Mer.

1.2.1 Description des composantes de la liaison sous-marine

1.2.1.1 Caractéristiques de la liaison sous-marine

Pour la liaison sous-marine, les trois conducteurs de chaque circuit sont réunis en un seul et même câble dénommé « câble tripolaire ».

Il intègre un à deux câbles de télécommunication à fibres optiques sous son armure.

La liaison est composée de deux câbles tripolaires. Le diamètre de ces câbles sera de l'ordre de 27 cm. Leur poids sera de 130 kg/mètre.

Leurs caractéristiques sont précisées sur le schéma ci-dessous.

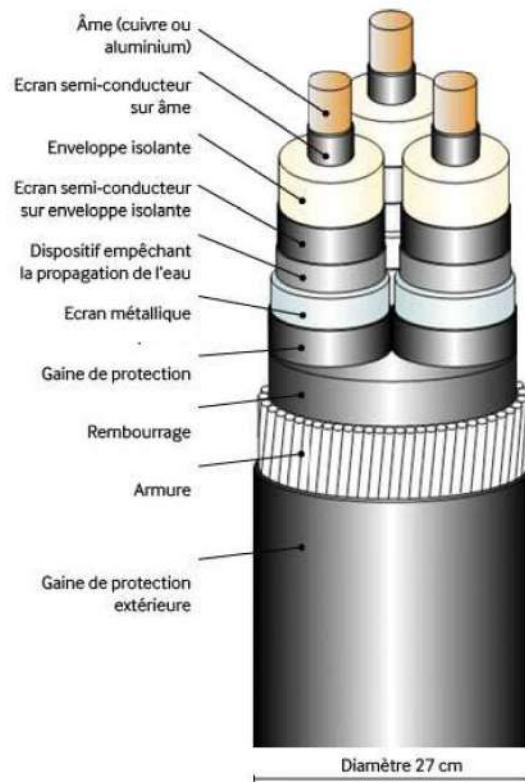


Figure 2 : Représentation d'un câble sous-marin type (RTE)

1.2.1.2 Mode de pose et de protection de la liaison sous-marine

La distance horizontale entre les deux câbles tripolaires de la liaison sera d'environ trois fois la hauteur d'eau¹ pour faciliter la pose et l'accès aux câbles en cas de maintenance. Cette distance pourra varier en fonction des obstacles rencontrés sur le parcours sous-marin, et diminuera progressivement jusqu'à un espace minimal au niveau de la jonction d'atterrage.

L'écart de trois fois la hauteur d'eau est rendu nécessaire :

- pour assurer une distance permettant de minimiser le risque d'endommagement des câbles dû aux ancrages lors de la pose,
- pour permettre la réparation ultérieure des câbles et notamment la pose de la surlongeur inhérente à la réalisation d'une jonction en mer.

La protection de la liaison sous-marine sera menée de manière différente en fonction de la nature des fonds marins² :

- ensouillage (la profondeur d'ensouillage dépendra des risques externes encourus par les câbles, de la nature du sol rencontré et des capacités des moyens utilisés),
- mise en place d'enrochement ou matelas béton (cas où l'ensouillage ne serait pas possible).

1.2.2 Travaux mis en œuvre pour la liaison sous-marine

Les travaux sont décrits en fonction de leur localisation : en pleine mer et sur l'estran³.

Ils se dérouleront de manière préférentielle en période estivale pour bénéficier d'un climat favorable, nuit et jour.

1.2.2.1.1 Travaux en pleine mer

Parmi les différentes méthodes possibles, RTE considère de manière préférentielle la protection par ensouillage qui consiste à enfouir les câbles dans le fond marin à une profondeur donnée. Cependant lorsque la nature du fond marin ne le permet pas, ou bien lorsque l'ensouillage est insatisfaisant, on doit alors considérer des protections dites externes.

1.2.2.1.1.1 Profondeur d'ensouillage des câbles

Elle résulte de la prise en compte de plusieurs contraintes :

- les risques recensés sur la zone,
- la connaissance du type de sol,
- en conditions réelles de travaux, la rencontre entre les meilleurs efforts déployés par les entreprises qui installent le câble pour atteindre une profondeur cible et les conditions réelles de terrain.

- *Les risques recensés sur la zone*

Les câbles peuvent être exposés au risque d'accroche par une ancre (risque navigation) ou par un engin de pêche (risque pêche). Concernant la navigation, il s'agit d'estimer le type et l'intensité du trafic au niveau des fuseaux des câbles, ainsi que les éventuels lieux de mouillage à proximité. Concernant la pêche, on cherche à estimer le nombre de bateaux en activité dans la zone, selon le type de pêche (chalutage, dragage, etc.) et la période de l'année (saisonnalité des pêches,

¹ Hauteur d'eau : distance entre le fond de la mer et la surface.

² On distingue le cas des milieux meubles (sable, etc.) et les milieux rocheux (estran, etc.).

³ Etran : partie du littoral alternativement couverte et découverte par la mer.

restrictions horaires, etc.). L'évaluation de ces risques permet de retenir un **niveau de protection** détaillée dans le paragraphe *application à la zone d'étude*.

- *Evaluation du type de sol*

La détermination du type de sol est le résultat de campagnes d'investigations en mer, géophysiques puis géotechniques. Les résultats permettent d'obtenir ainsi une description des différentes couches du fond marin que l'on peut rattacher à des catégories prédéfinies selon leurs caractéristiques mécaniques.

Une profondeur d'ensouillage cible est alors définie en fonction du niveau de protection visé et du type de sol. Pour une profondeur d'ensouillage donnée, un sol dur procure un meilleur niveau de protection qu'un sol plus meuble.

L'ensouillage peut être réalisé par différentes techniques en fonction de la nature des fonds marins : water-jetting (jet d'eau sous pression pouvant être utilisé dans des sols ayant un niveau de cohérence limité), charruage (principe similaire à celui d'une charrue qui fend la terre, pouvant être utilisée dans un sol pas trop dur), tranchage (utilisation d'une machine de type scie circulaire, à roue ou chaîne, pour couper un sol dur).

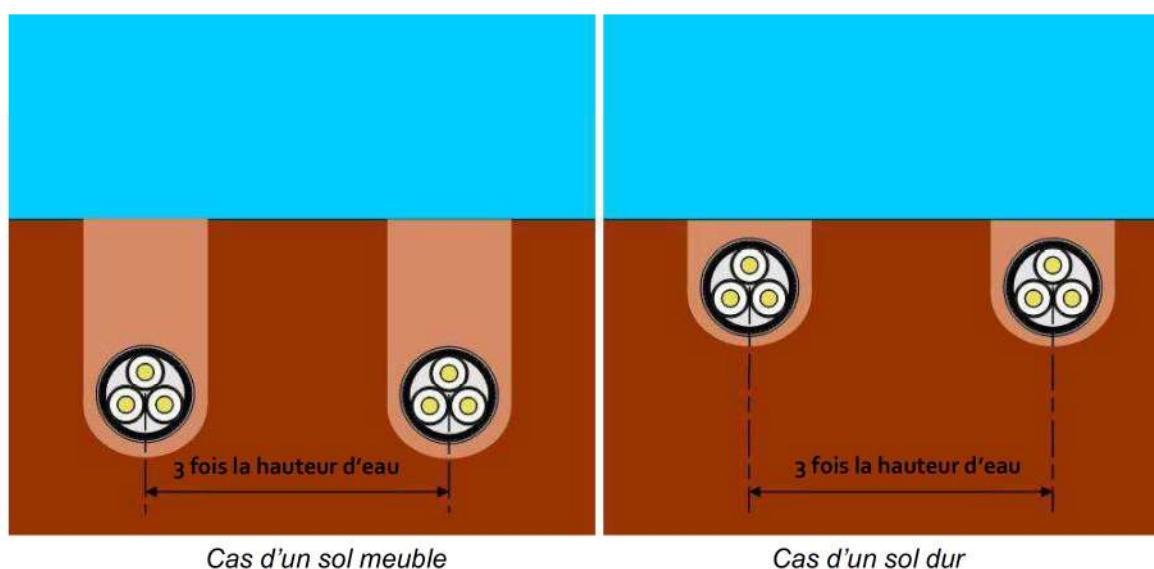


Figure 3 : Evaluation de la capacité d'ensouillage par type de sol

- *Application à la zone étudiée*

Les risques sur la zone sont globalement limités. La pêche à la coquille Saint Jacques représente le plus important, le corridor ne traversant pas de couloir de navigation très fréquenté. A noter que la profondeur d'ensouillage envisagée permet de s'affranchir du risque lié à la drague de la Coquille Saint Jacques.

À partir de l'atterrage, le corridor étudié peut être décomposé en cinq grands ensembles caractérisés par leur type de sol :

- Au niveau de la plage de sable, les câbles seront enterrés au fond de deux tranchées. La profondeur des tranchées a été déterminée pour assurer que l'ouvrage ne soit pas découvert sur sa durée de vie hors événements exceptionnels. La profondeur de l'ouvrage sera comprise entre 2 et 3 m environ, selon le profil de la plage.

- Sur l'estran au-delà de la plage, commence le plateau de Bernières-sur-Mer. Il s'agit d'un platier rocheux composé de calcérite et dépourvu de couverture de sédiments. Bien qu'étant une roche, la calcérite est naturellement fracturée et de faible résistance mécanique. Les câbles seront installés dans des tranchées avec 80 cm de hauteur de charge dont 30 cm de béton architecturé en surface.
- Le plateau de Bernières-sur-Mer s'étend sur environ 3 km en mer après l'estran. Il est quasiment dépourvu de couverture de sédiment. La protection du câble se fera par ensouillage via l'ouverture d'une tranchée avec des moyens mécaniques (type trancheuse). La profondeur d'ensouillage cible est de 50 cm à 90 cm en fonction de l'épaisseur de la couche de sédiments (au-dessus du câble). Si cette ouverture se révèle impossible, des protections externes pourraient être envisagées.
- Les 11 km restant sont constitués d'une faible couche de sédiments grossiers présente sur le substratum rocheux. La nature de ces sédiments varie entre le sable et l'argile sur des épaisseurs inhomogènes le long du corridor (entre 20 et 80 cm). En dessous de ces sédiments, de la calcérite est présente. La protection envisagée sur cette partie est l'ensouillage avec une hauteur de charge de 70 à 120 cm en fonction de l'épaisseur de la couche de sédiments. L'utilisation d'une machine combinant water-jetting (pour la couche superficielle de sédiment) et tranchage mécanique est anticipée.
- Sur cette dernière portion le corridor croise deux paléovallées à environ 5 km et 9 km de la côte. Celles-ci sont remplies de sédiments meubles (argile) sur des épaisseurs importantes (plus de 6 m). La protection envisagée sur cette partie est l'ensouillage à une profondeur d'environ 2 m. L'utilisation d'une machine de water-jetting est anticipée.



Figure 4 : Exemple de trancheuse



Figure 5 : Exemple de water jetting

1.2.2.1.1.2 Protection externe

En conditions réelles de travaux, si malgré les meilleurs efforts déployés par les entreprises qui installent le câble, la profondeur cible ne peut être atteinte, des protections spécifiques sont envisagées :

- la protection par matelas : des matelas de béton de forme rectangulaire, constitués de blocs béton articulés, forment ainsi un dispositif de maintien et de protection capable d'épouser la forme de l'ouvrage ;



Figure 6 : Exemple de protection externe par matelas

- la protection par enrochement (*Rock-Dumping*) : des morceaux de roches sont disposés sur les câbles à partir d'un navire spécialement dédié.

Les facteurs qui peuvent engendrer une impossibilité d'atteindre la profondeur cible peuvent être de différente nature :

- La nature des fonds marins peut être localement différente de celle attendue (dureté, bathymétrie, etc.).
- Dans les zones de changement d'outil l'ensouillage peut être complexe voire impossible à réaliser. En particulier sur la zone étudiée ceci pourra concerner les frontières des paléo-vallées sur un linéaire d'environ 50 m pour chaque câble et à chaque interface,
- A l'approche de la plateforme l'ensouillage peut être complexe voire impossible à réaliser.

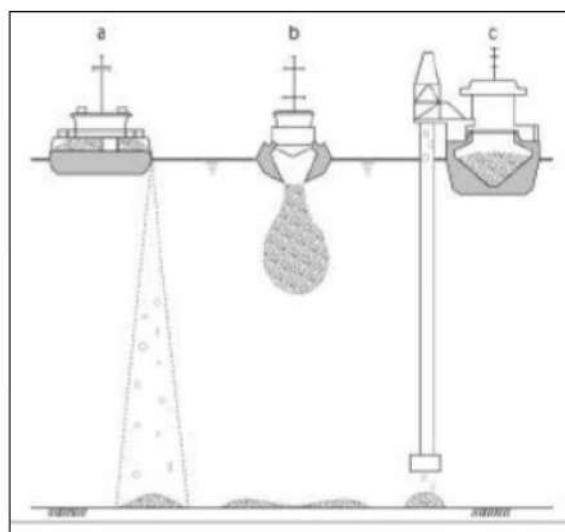


Figure 7 : Illustration des différents types de navire pour la mise en place d'enrochement
(source : Kuik, 1986)

1.2.2.1.2 Ensouillage et protection des câbles sur l'estran

Au niveau de la plage et de l'estran de Bernières-sur-Mer, zone majoritairement sableuse, les câbles sous-marins seront posés dans des fourreaux enterrés, éventuellement lestés par des cavaliers en béton, au fond de deux tranchées distinctes, dont la profondeur sera déterminée en tenant compte des mouvements de sable sur l'estran afin que les ouvrages demeurent ensouillés. Il y aura au moins 2 m d'épaisseur de sable au dessus des fourreaux.

La profondeur d'ensouillage des fourreaux dans l'estran prendra en compte une marge de sécurité pour se prémunir de l'érosion usuelle. Il est à noter que des risques de désenfouissement partiel des fourreaux ne sont pas à exclure en lien avec des forts mouvements sédimentaires induits par de longs épisodes de tempêtes violentes. La concordance de facteurs tels que forts coefficients et conditions météorologiques exceptionnelles peuvent entraîner des conséquences multiples et variées, du déplacement d'enrochement au recul du trait de côte, surtout en zone dunaire.

De manière à prévenir de tels risques, des opérations de visites et de maintenance préventives seront programmées à intervalle régulier. Des opérations curatives seront effectuées au besoin, à l'instar de la liaison sous-marine.

A l'atterrage, la technique de pose de la liaison sous-marine sera l'ensouillage avec ouverture de tranchée sur la plage ou bien la réalisation d'un forage dirigé depuis le parking à Bernières-sur-Mer jusqu'à la partie haute de la plage.

1.2.3 Organisation des travaux en mer

Durant la totalité des travaux, la zone est sécurisée conformément aux instructions de la Préfecture Maritime (PREMAR) et interdite à la navigation. La zone est délimitée par des balises cardinales. L'information est également diffusée via les autorités maritimes. De plus, des navires légers peuvent être chargés de patrouiller autour de la zone de chantier.

1.2.4 Exploitation de la liaison sous-marine

Deux types de maintenance sont envisagés durant la période d'exploitation de la liaison sous-marine :

- maintenance préventive,
- maintenance curative.

1.2.4.1.1 Maintenance préventive

La liaison sous-marine, à proprement parler, ne fera pas l'objet de maintenance préventive.

1.2.4.1.2 Maintenance curative

Du fait de sa conception, un câble sous-marin n'est pas assujetti à des opérations de maintenance préventive. Toutefois, des contrôles de l'état de protection des câbles de raccordement seront effectués.

Cette vérification consistera en une étude géophysique permettant de contrôler la position des câbles et la configuration du fond marin à leurs abords. Une première vérification du tracé sera réalisée un an après la mise en service.

La fréquence des éventuelles visites ultérieures ira de 3 à 10 ans selon les résultats de la première vérification et les risques identifiés (courants, dunes, hauteur d'eau, événements météorologiques exceptionnels...).

1.3 Consistance technique de la liaison souterraine

Le tracé de la liaison souterraine sera d'une longueur de 24 km entre les communes de Bernières-sur-Mer (emplacement des jonctions d'atterrage entre la liaison sous-marine et la liaison souterraine) et de Ranville (emplacement du poste électrique).

1.3.1 Jonction d'atterrage

1.3.1.1 Description de l'ouvrage

Les câbles sous-marin et terrestre étant de composition différente, une transition est nécessaire.

Cette transition est effectuée juste après le passage de l'estran dans une chambre d'atterrage souterraine. Deux chambres d'atterrage seront construites dans le parking en arrière de la plage de Bernières-sur-Mer.

L'emprise de la fouille durant les travaux pour une chambre est d'environ 20 m (L) x 6 m (l) x 3 m (H). Cette chambre est ensuite recouverte.



Photo 1 : Jonction d'atterrage (Nexans)

1.3.1.2 Travaux mis en œuvre

Les travaux mis en œuvre pour la chambre d'atterrage sont de type génie civil avec l'utilisation de pelle mécanique pour le creusement de la fouille.

1.3.2 Description des composantes de la liaison souterraine

1.3.2.1 Caractéristiques de la liaison souterraine

Pour la liaison souterraine chaque circuit est composé de trois câbles unipolaires indépendants. Ils sont accompagnés d'un à deux câbles de télécommunications à fibres optiques.

Les câbles comprennent une âme conductrice en aluminium ou en cuivre entourée d'isolant synthétique et d'écrans de protection.

Le diamètre de ces câbles est d'environ 13 cm.



Figure 8 : Coupe d'un câble souterrain (RTE)

Les câbles seront déroulés dans des fourreaux en polychlorure de vinyle (PVC) enrobés de béton. Ces fourreaux, d'un diamètre d'environ 20 cm, seront disposés suivant le schéma ci-après.

La largeur de la tranchée est d'environ 2 m.

La profondeur de fond de fouille est comprise entre 1,60 m et 1,80 m. Un grillage avertisseur sera installé à environ 80 cm de profondeur.

Le schéma ci-dessous représente une vue en coupe d'une liaison souterraine à deux circuits :

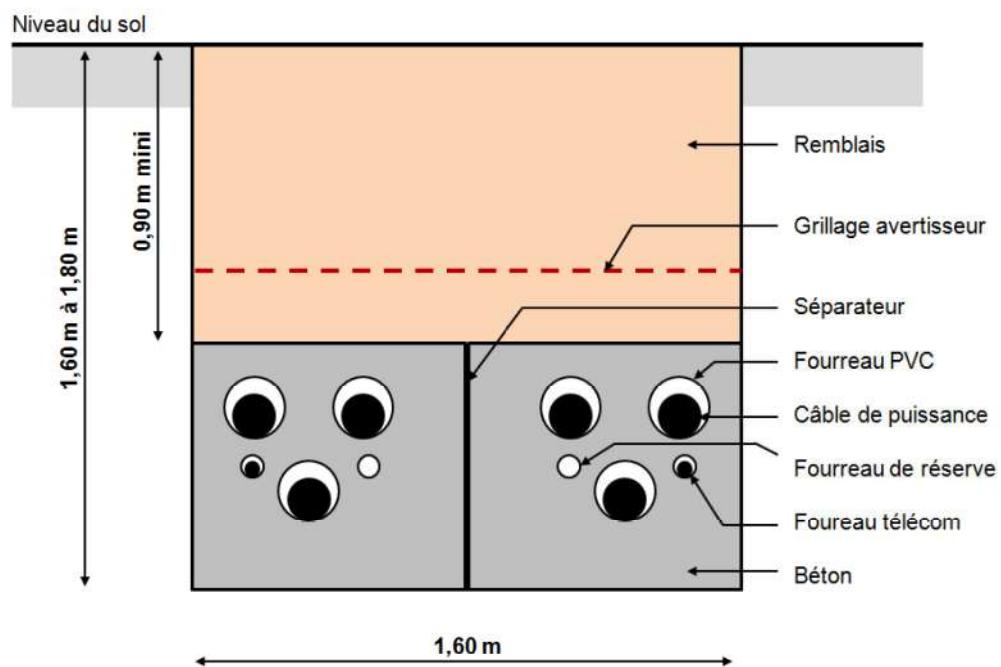


Figure 9 : coupe-type d'une liaison souterraine (RTE)



Photo 2 : Illustration d'une liaison souterraine à deux circuits sous voirie (RTE)

1.3.2.2 Les jonctions

La longueur de câble à 225 000 volts d'un seul tenant se situe entre 1 000 m et 1 300 m. Ceci est dû à des raisons techniques pour le transport.

Ils seront raccordés entre eux par des jonctions installées dans des chambres souterraines de dimensions de l'ordre de : 12 m (L) x 3 m (l) x 1 m (H) recouvertes de remblais. Elles seront situées à environ 1,40 m de profondeur.

Certaines jonctions sont complétées par des regards maçonnés souterrains de taille plus restreinte que ces dernières (entre 2 et 3 m² de surface pour des profondeurs de 1 à 3 m). Ces regards servent à la gestion de la mise à la terre et doivent rester visitables.



Photo 3 : Illustration d'une chambre de jonction d'une liaison souterraine d'un seul circuit 225 000 volts (RTE)

1.3.3 Travaux mis en œuvre pour la liaison souterraine

1.3.3.1 Principe général

Les travaux d'une liaison souterraine sont menés en plusieurs étapes.

Tout d'abord un décapage des sols est nécessaire sur l'emplacement de la future tranchée et les zones adjacentes (circulation de chantier, zone de dépôt de matériau, zone de stockage des fourreaux, etc.). Ce décapage peut se faire sur une largeur de 8 m et sur une profondeur de 20 à 30 cm.

La largeur de décapage est toutefois variable en fonction de la situation des travaux et des accès possibles existants.

Ensuite la tranchée est creusée avec une pelle mécanique. Comme cela a été précisé au préalable, la tranchée aura une profondeur de 1,65 m et une largeur de 1,6 m.

L'ensemble des matériaux extraits sont déposés le long de la tranchée.

L'étape suivante consiste à mettre en œuvre le coulage du béton, à mettre en place les fourreaux, le grillage avertisseur, etc.

Lorsque les éléments structurels sont en place, le câble est tiré dans les ouvrages.

Enfin, la tranchée est recouverte avec les matériaux extraits.

La liaison souterraine sera signalée par des bornes au bord des terrains agricoles.

1.3.3.2 Travaux de passage en sous-œuvre

1.3.3.2.1 Travaux de fonçage

Cette méthode est mise en œuvre dans le cas de structure de faible largeur qui ne présentent pas de contrainte particulière.

Elle consiste au creusement d'un puits de part et d'autre du cours d'eau. La liaison est ensuite tirée en ligne droite entre chaque puits.

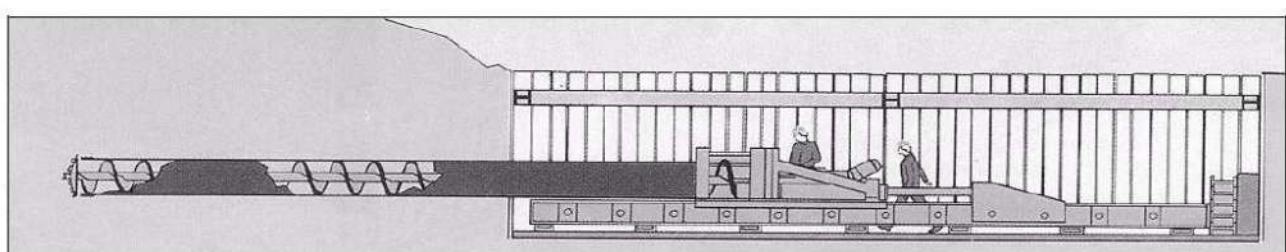


Figure 10 : Représentation d'un fonçage (RTE)

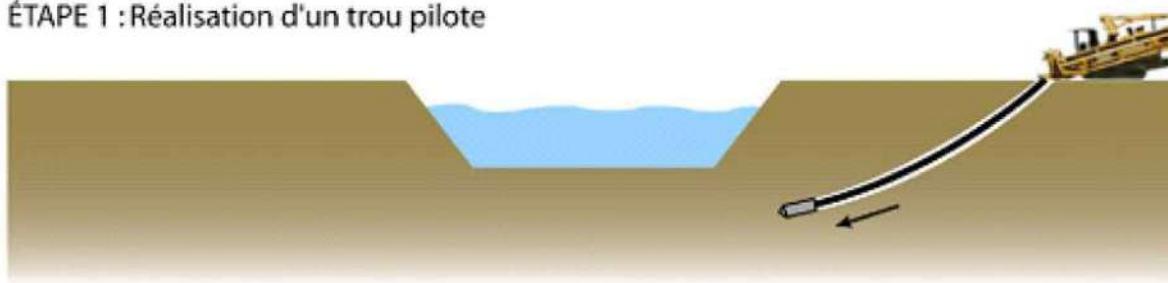
1.3.3.2.2 Travaux de forage dirigé

Un forage dirigé se réalise en trois étapes :

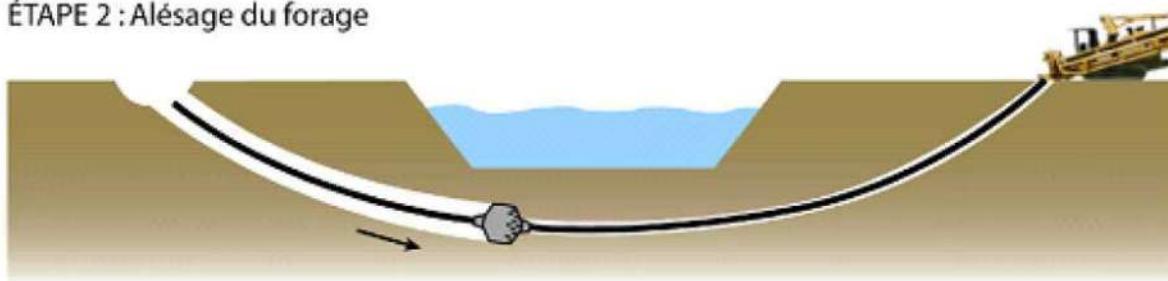
- étape 1 : réalisation d'un trou pilote depuis un côté de la structure à traverser qui consiste à créer un forage de petit diamètre qui servira de guide pour l'étape suivante,
- étape 2 : alésage du forage à partir du point opposé de la structure à traverser. Cette étape permet d'aboutir au diamètre final attendu,
- étape 3 : mise en place des fourreaux et traction progressive à partir de l'étape précédente jusqu'au point de forage de la première étape.

Ces étapes sont résumées dans la figure suivante.

ÉTAPE 1 : Réalisation d'un trou pilote



ÉTAPE 2 : Alésage du forage



ÉTAPE 3 : Mise en place des fourreaux

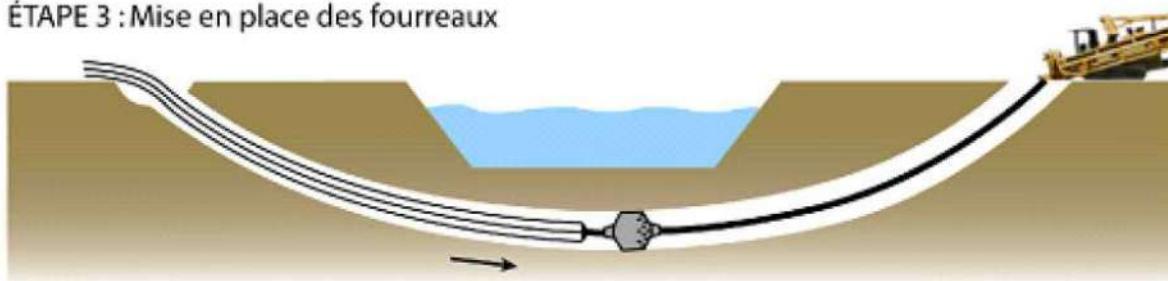


Figure 11 : Etapes de réalisation d'un forage dirigé (RTE)

1.3.3.3 Travaux à proximité des voies de circulation routière

Les travaux à proximité de voies de circulation routière se dérouleront sur les communes de :

- Bernières-sur-Mer : D514 sur un linéaire de 1 km,
- Courseulles-sur-Mer : D79 sur un linéaire de 600 m,
- Bény-sur-Mer, Basly, Douvres-la-Délivrande et Mathieu : D404 sur un linéaire de 5 km,
- Blainville-sur-Orne : D402 sur un linéaire de 500 m.

Des forages dirigés seront menés pour les passages de ronds-points.

Les aménagements dans ces linéaires seront réalisés sur les accotements existants.

Les franchissements seront réalisés en demi-chaussée (travaux phasés par demi-chaussé pour maintenir une voie de circulation). Ce principe sera identique pour les cas d'intersection de voies perpendiculaires (C301, D219, D83, C1).

1.3.3.4 Travaux en zones agricoles

Dans les secteurs agricoles, à la demande de la chambre d'agriculture, l'ensemble des travaux de tranchées et d'installations des chambres de jonction seront menés sous les chemins d'exploitation.

Ces chemins d'exploitation seront remis en état dès la fin des travaux.

Les conditions présentées ci-dessous reflètent le cas particulier du raccordement du parc éolien du Calvados dans la mesure où lors de la réflexion sur le tracé, de nombreux chemins agricoles se situaient dans l'axe du cheminement global du tracé recherché.

De plus, au moment du creusement de la tranchée, les terres végétales extraites, situées en surface des parcelles agricoles exploitées, seront stockées de manière indépendante des autres matériaux dans l'objectif de conserver leur qualité exceptionnelle. Ce principe est illustré sur la figure suivante.

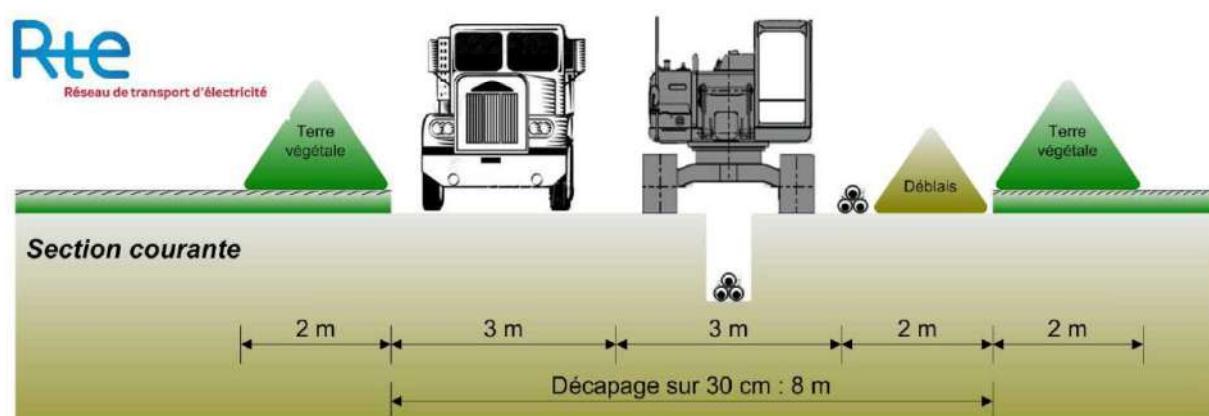


Figure 12 : Représentation des surfaces nécessaires pour les travaux en milieu agricole (RTE)

1.3.4 Exploitation de la ligne souterraine

Une surveillance régulière de l'ouvrage et de son environnement est assurée. La probabilité de défaillance d'une liaison électrique souterraine est quasi-nulle.

De ce fait, seule une maintenance curative exceptionnelle serait susceptible d'être mise en œuvre.

1.4 Consistance technique de l'extension du poste de RANVILLE

Le raccordement au réseau électrique existant sera réalisé au poste électrique de RANVILLE.

Afin d'accueillir l'énergie électrique issue du parc éolien, des équipements indispensables doivent être ajoutés à ce poste d'une surface actuelle de 1,9 ha. Pour cela, une extension est nécessaire.

L'extension du poste électrique de RANVILLE sera de 1 ha.

1.4.1 Evolutions du poste de RANVILLE

La figure 12 propose un plan des principales évolutions du poste électrique de RANVILLE.

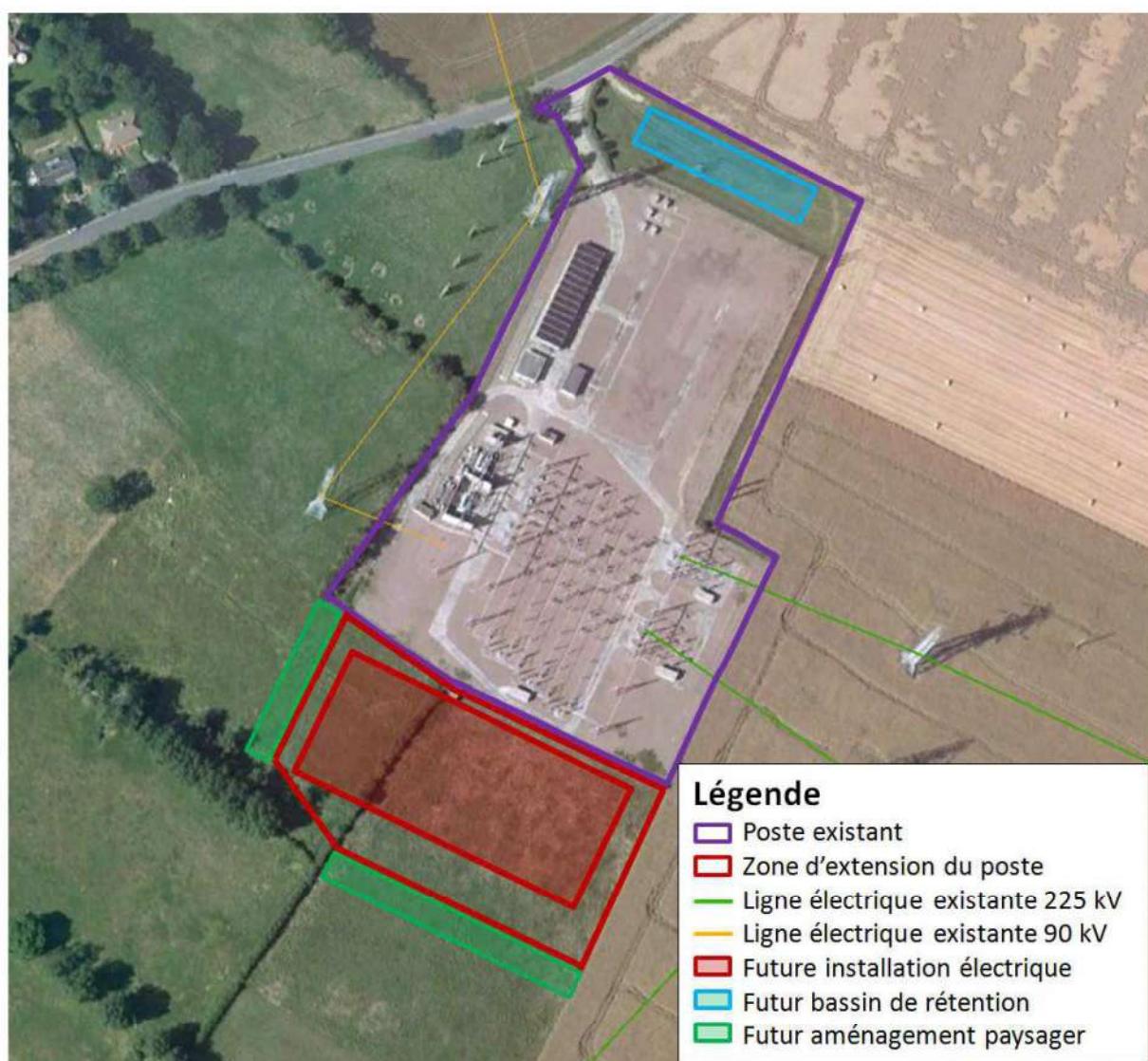


Figure 13 : Principes d'extension du poste électrique de RANVILLE

1.4.2 Travaux mis en œuvre

Les travaux d'extension du poste électrique se dérouleront en deux phases :

- Dans un premier temps, la surface d'extension sera terrassée afin de préparer le terrain à l'installation des infrastructures. Ce terrassement sera mené avec des engins de type génie civil. A la suite de ce terrassement, une clôture sera installée sur le pourtour.
- Dans un deuxième temps, les aménagements du poste seront mis en œuvre : voie de circulation pour engins lourds, supports pour le sol et installations des infrastructures.

1.4.3 Exploitation du poste

Le poste électrique en fonctionnement ne nécessite que très peu de maintenance.

Si une intervention est nécessaire, l'accès est possible par l'entrée principale et la circulation se fait par les voies internes aménagées à cet effet.

1.5 Démantèlement

1.5.1 Liaison sous-marine

Actuellement la méthodologie d'enlèvement des câbles est assez proche de l'inverse de celle appliquée lors de la pose. Ces travaux de démantèlement impliquent les opérations suivantes :

- l'ouverture de la tranchée pour le désensouillage à l'aide de moyens équivalents à l'ensouillage,
- le retrait des protections externes si elles ont été installées lors de la pose des câbles,
- la récupération du câble en l'enroulant ou en le débitant sur un navire,
- la revalorisation des matériaux (cuivre, acier, etc.) suivant les procédés favorisant la réutilisation, la régénération, le recyclage et traitement des déchets résiduels dans les filières industrielles adaptées.

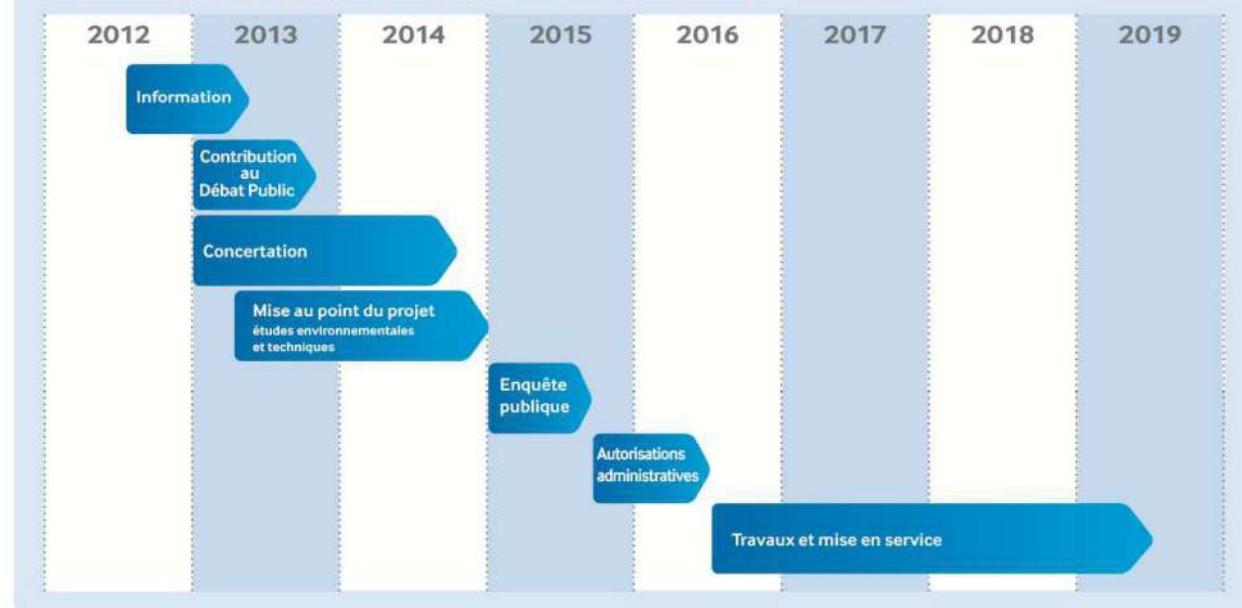
L'ensemble de ces opérations qui inclut la gestion de la sécurité en mer sera réalisé suivant les meilleures conditions environnementales, techniques et économiques dans le respect de la réglementation en vigueur au jour du démantèlement.

1.5.2 Liaison souterraine

A la fin de sa durée de vie, la liaison souterraine sera mise hors conduite ou hors exploitation.

1.6 Calendrier prévisionnel

Calendrier envisagé pour le projet de raccordement



Justification technico-économique du projet

2.1 Développement de l'éolien en mer

Le plan de développement des énergies renouvelables de la France issu du Grenelle de l'Environnement a été présenté le 17 novembre 2008. Il vise à augmenter la production annuelle d'énergies renouvelables de sorte qu'elle couvre au moins 23 % de la consommation d'énergie finale d'ici à 2020. Cet objectif a été inscrit dans la loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement.

Ce plan, décliné par le Grenelle de la mer, prévoit le développement de 6 000 MW⁴ d'installations éoliennes en mer et d'énergies marines en France à l'horizon 2020.

Ainsi, un premier appel d'offres « éolien en mer » a été lancé le 11 juillet 2011, à hauteur de 3 000 MW sur cinq sites. Le gouvernement a désigné les lauréats des quatre zones retenues le 6 avril 2012.



Figure 14 : Zones de l'appel d'offres éolien en mer

⁴ 1 MW : 1 mégawatt = 1 000 000 watts

Le cahier des charges de cet appel d'offres désigne RTE comme maître d'ouvrage et maître d'œuvre des études et de la réalisation du raccordement de chaque zone de production, le point de livraison étant localisé en mer.

En outre, les pouvoirs publics ont fixé les objectifs de mise en service des parcs de production, en affichant des dates butées (dates au plus tard) comme suit :

- 20 % de l'installation 6 ans après désignation du lauréat, soit d'ici avril 2018,
- 50 % de l'installation 7 ans après désignation du lauréat, soit d'ici avril 2019,
- 100 % de l'installation 8 ans après désignation du lauréat, soit d'ici avril 2020.

2.2 Parc éolien en mer au large de Courseulles-sur-Mer

Le site de Courseulles-sur-Mer a été attribué à la société « Eoliennes offshore du Calvados» pour une puissance nominale de 450 MW.

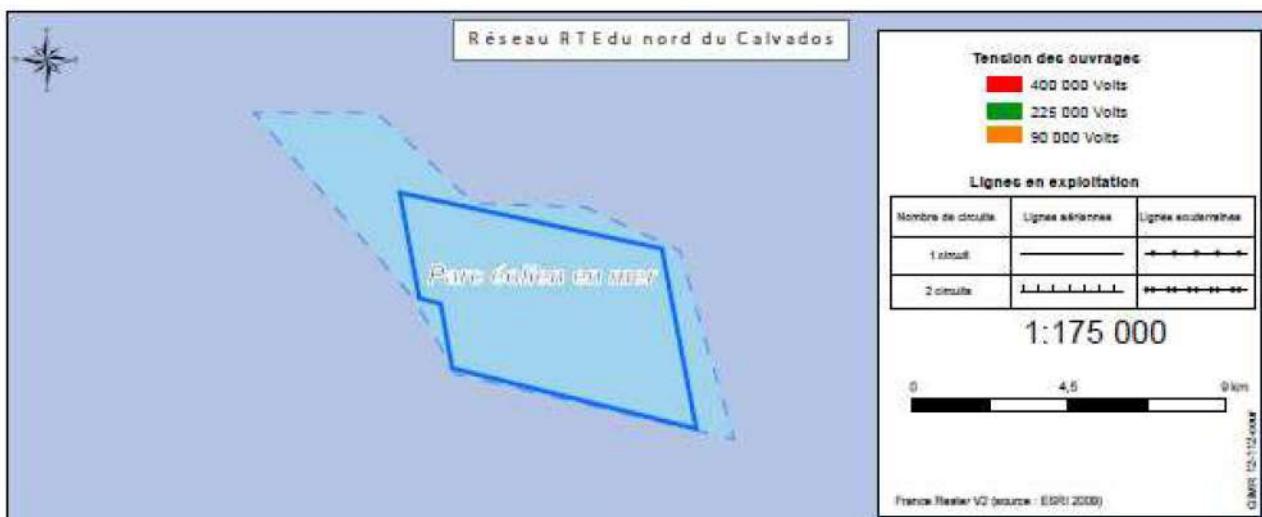
2.3 Raccordement du futur parc éolien en mer du Calvados au réseau de transport d'électricité

2.3.1 Description locale du réseau public de transport d'électricité

La zone étudiée s'étend de l'agglomération de Caen jusqu'au littoral. Le réseau public de transport d'électricité est composé localement de deux sous-ensembles :

- Le réseau 400 000 volts, assurant le transport de quantités d'énergie importantes sur de longues distances, décrivant un axe est-ouest entre la vallée de la Seine et le Cotentin. Le poste de TOURBE, localisé au sud de Caen, est le seul poste à 400 000 volts identifié sur cet axe,
- Le réseau 225 000 volts et 90 000 volts, dont la vocation est de répartir l'énergie en quantité moindre sur des distances plus courtes :
 - Le réseau 225 000 volts décrit une boucle, à l'est de l'agglomération caennaise, constituée notamment des postes 225 000 volts de DRONNIERE, LES EMALES, CAEN, MONDEVILLE, TOURBE et RANVILLE,
 - Le réseau 90 000 volts, présent au nord-ouest de l'agglomération de Caen.

La carte suivante permet de situer le projet de parc éolien en mer de production d'électricité de la zone de Courseulles-sur-Mer dans son environnement électrique et géographique.



Carte 2 : Réseau RTE du nord du Calvados

2.3.2 Niveau de tension du raccordement

Le niveau de tension de référence pour le raccordement d'une production d'une puissance de 450 MW est le 400 000 volts. Il est toutefois possible de le réaliser en 225 000 volts si le coût de la solution de raccordement est inférieur.

La technologie pour les câbles sous-marins n'étant pas mature à la tension de 400 000 volts (absence de proposition industrielle sur le marché), le niveau de tension retenu est donc le 225 000 volts.

La puissance à transiter nécessite la mise en place d'une liaison à deux circuits sous-marine et souterraine.

2.3.3 Solutions techniques envisagées et solution retenue

Au regard des premières réflexions, il était ressorti deux solutions de raccordement:

- Un raccordement sur le poste électrique à 225 000 volts de RANVILLE, situé au nord-est de l'agglomération de Caen
- Un raccordement sur le poste électrique à 400 000 volts de TOURBE, situé au sud-est de l'agglomération de Caen

La puissance à transiter nécessite la mise en place d'une liaison sous-marine et souterraine à deux circuits.

2.3.3.1 Solution de raccordement retenue

La solution envisagée consiste à créer une liaison électrique à 2 circuits 225 000 volts d'environ **40 kilomètres** (dont 15 kilomètres pour la partie marine) en technologie sous-marine et souterraine entre le poste en mer du parc éolien du Calvados et le poste de RANVILLE 225 000 volts.

Ce raccordement nécessite une extension du poste de RANVILLE 225 000 volts pour accueillir les nouveaux équipements liés au raccordement du parc éolien en mer ainsi que le renforcement de l'ouvrage aérien existant entre le poste urbain de CAEN et le poste de DRONNIERE, situé sur la commune de Ifs.

Le coût estimé de cette solution est d'environ 150 M€.

2.3.3.2 Solution écartée

Cette solution écartée aurait consisté à créer une liaison électrique à 2 circuits 225 000 volts d'environ **52 kilomètres** (dont 15 à 25 kilomètres pour la partie marine) en technologie sous-marine et souterraine entre le poste en mer du parc éolien du Calvados et le poste 400 000 volts de TOURBE.

Par ailleurs, ce dernier aurait dû faire l'objet de travaux d'agrandissement et de modifications des installations existantes pour accueillir les câbles de raccordement et les nouveaux équipements liés au raccordement. Cette solution aurait impliqué une longueur de liaison de raccordement à deux circuits 225 000 volts supérieure de **12 kilomètres** à la solution de raccordement et présente un coût supérieur d'environ 35 M€.

Historique de la concertation

L'intégration des préoccupations d'environnement dans la conception du projet suit un processus progressif et continu qui s'articule autour des grandes étapes suivantes :

- évaluation des solutions techniques envisagées ;
- définition de l'aire d'étude dans laquelle s'inscrira le projet ;
- identification, évaluation et comparaison des solutions envisageables pour aboutir à un fuseau de moindre impact ;
- mise au point du tracé général, analyse de ses impacts et proposition d'éventuelles mesures supplémentaires destinées à éviter, réduire et, si nécessaire, compenser les impacts du projet.

Chacune de ces étapes se conclut par une décision prise après concertation. Chaque choix définit le champ d'investigation de l'étape suivante et donc, en quelque sorte, son cahier des charges environnemental (territoire à étudier, niveau de précision...).

- la définition de l'aire d'étude vise à identifier le territoire dans lequel peut être envisagée l'insertion de l'ouvrage en excluant, a priori, les espaces étendus au sein desquels l'ouvrage aurait des impacts forts ;
- la recherche des fuseaux a pour objectif de mettre en évidence, à travers une analyse plus fine, les différentes options de cheminement possibles pour éviter les impacts, en réfléchissant, à ce stade, à la possibilité d'en réduire certains ;
- enfin, la mise au point du tracé s'appuie sur une même logique d'évitement et de limitation des impacts, voire, si nécessaire de compensation des impacts résiduels.

3.1 Concertation

La concertation pour le raccordement électrique du parc éolien en mer du Calvados s'inscrit dans le cadre de la circulaire ministérielle du 9 septembre 2002 de la Ministre déléguée à l'industrie ayant pour objet le « Développement des réseaux publics de transport et de distribution d'électricité ». Conformément à cette circulaire, le projet a fait l'objet d'un dossier de justification technico-économique approuvé par la Direction de l'Energie en date du 16 novembre 2012.

3.1.1 Présentation du projet

Dans une première phase qui s'est déroulée du 30 août 2012 au 20 mars 2013, l'objectif, le contexte et les premiers principes du projet ont été présentés lors de rencontres personnalisées à l'ensemble des acteurs du territoire susceptibles d'être concernés par le projet : grands élus, collectivités territoriales, professions agricole et de la pêche, organismes de représentation professionnelle, services de l'Etat, etc.

En parallèle RTE a participé et réalisé de nombreuses présentations dans l'instance de concertation et de suivi mise en place par les préfectures terrestre et maritime dans le cadre du projet de parc éolien ainsi que dans les groupes de travail associés.

Cette phase visait à permettre aux acteurs du territoire de s'approprier les enjeux du projet, d'en comprendre les grands principes et à RTE de recueillir des informations sur les projets et attentes en matière d'environnement et d'aménagement du territoire.

3.1.2 Dossier de présentation et de proposition d'aire d'étude

Le cabinet TBM, mandaté par RTE pour réaliser l'étude d'impact environnementale, a collecté les données environnementales et d'aménagement du territoire disponibles auprès des services de l'Etat ou des collectivités. Il a réalisé les premières investigations de terrain et pris en compte les informations complémentaires issues des rencontres préalables. Sur ces bases, il a élaboré une proposition d'aire d'étude, vaste zone à l'intérieur de laquelle ont été réalisées par la suite les études environnementales détaillées afin de rechercher les fuseaux de passages potentiels pour la liaison électrique et les emplacements possibles pour le poste de raccordement.

Cette proposition ainsi que les éléments de présentation du projet ont été intégrés dans le « Dossier de présentation et de proposition d'aire d'étude ». Ce dossier a reçu l'aval de la Direction de l'énergie le 19 février 2013 qui a confié à M. le Préfet de la région Basse-Normandie, préfet du Calvados, le soin d'organiser la concertation au sens de la circulaire citée en préambule.

Ce dossier a été diffusé le 25 février 2013 aux acteurs du territoire ainsi qu'aux associations reconnues par la préfecture en vue d'une réunion plénière de concertation le 8 mars 2013 qui s'est déroulée sous la présidence de la préfecture du Calvados.

L'aire d'étude a été validée lors cette réunion.

3.1.3 Contribution au débat public

Au vu du dossier soumis par « Eolienne offshore du Calvados », porteur du projet de parc éolien en mer, la Commission nationale du débat public (CNDP) a décidé le 4 juillet 2012 d'organiser un débat public sur ce projet en demandant que le dossier du débat explicite les projets d'aménagements connexes dont le raccordement au réseau électrique national.

Lors de ce débat piloté par la Commission particulière du débat public, RTE a contribué à l'information du public à l'occasion des échanges et au travers des actions suivantes :

- Réalisation d'un document de contribution au débat public présentant les grands principes du raccordement diffusé à 80 000 exemplaires par la CPDP et mis en ligne sur le site internet du débat (<http://www.debatpublic-eolien-en-mer-courseulles.org/>).
- Présentation du fonctionnement du réseau électrique et de l'insertion de la production électrique renouvelable lors de la réunion d'ouverture du débat le 04/04/2013, réponses aux questions du public.
- Mise en ligne du dossier de présentation et de proposition d'aire d'étude sur le site du débat.
- Présentation détaillée sur le raccordement à terre du parc éolien en mer lors de la réunion du 23 avril 2013, réponses aux questions du public.
- Réponses à toutes les questions du débat (107 questions sur les caractéristiques du projet portant majoritairement sur le raccordement éolien au réseau électrique).
- Participation à la réunion du 20 juin 2013 (complément sur la présentation du raccordement terrestre et au réseau électrique issue de la sous-station) et réponses aux questions.

RTE a assisté à l'ensemble des réunions du débat public.

3.1.4 Elaboration des solutions et poursuite de la concertation

Sur la base de l'aire d'étude validée, le bureau d'études environnementales a lancé une mise à jour exhaustive de l'ensemble des éléments pouvant être recueillis et a initié les études de terrain nécessaires à l'établissement de l'état initial de l'étude d'impact, en particulier les études benthiques, faune, flore et habitats terrestres.

RTE a examiné les possibilités de passage de la liaison en mer avec l'objectif d'un ensouillage optimal des câbles pour minimiser la gêne aux usages. Des études géotechniques (entre autres) ont été réalisées dans cet objectif. Les possibilités d'atterrage ont fait l'objet d'études spécifiques.

De nombreuses études techniques ont également été initiées à terre pour examiner les possibilités de passage de la liaison.

Pour la partie maritime, les études sur les ressources halieutiques ont été menées conjointement avec la société Eolienne Offshore du Calvados avec la collaboration de la profession de la pêche.

Pour les zones en approche de l'atterrage et terrestre, de nombreuses études techniques ont également été initiées pour examiner les possibilités de passage de la liaison. La concertation et l'élaboration progressive des solutions ont été organisées principalement avec les acteurs suivants :

- pour l'atterrage avec la ville de Bernières-sur-Mer,
- pour la partie terrestre, avec les communes concernées par le projet, le Conseil général du Calvados gestionnaire de la voirie départementale, la chambre d'agriculture du Calvados et Ports Normands Associés,
- pour l'extension du poste avec la commune de Ranville, la cimenterie Calcia et la chambre d'agriculture du Calvados.

De nombreuses réunions techniques avec les gestionnaires d'infrastructures (routes, zone portuaire, etc.) ou de réseaux (eau potable, assainissement, gaz, électricité, télécommunications,etc.) ont permis d'examiner en parallèle la compatibilité du projet avec ces ouvrages.

Entre avril et décembre 2013, les réunions techniques ou de concertation, avec les collectivités, les gestionnaires de réseaux et d'infrastructures ont permis d'examiner les différentes possibilités de réalisation du projet puis de faire émerger les solutions principales.

Au total de mars à octobre 2013, ce sont environ 50 réunions techniques ou de concertation, avec les collectivités, les professions agricoles et de la pêche, les gestionnaires de réseaux et d'infrastructures qui ont permis d'examiner les différentes possibilités de réalisation du projet puis de faire émerger les solutions principales.

Pour le fuseau maritime et hors atterrage, un seul fuseau permettait d'éviter les principales contraintes. Les études, géotechniques en particulier, ont permis d'identifier les contraintes à éviter dans ce fuseau pour l'élaboration ultérieure du tracé.

Pour l'atterrage, au stade actuel du projet, deux solutions techniques restent envisagées au niveau du parking : une en tranchée ouverte jusqu'au parking et une en forage dirigé.

Pour le fuseau terrestre, plusieurs options ont été envisagées. Les études techniques et environnementales qui ont été menées ont permis de dégager un fuseau de moindre impact présenté en concertation.

L'extension du poste de RANVILLE sera réalisée au sud du poste existant, dans le prolongement des installations à 225 000 volts, seule solution techniquement possible.

3.1.5 Dossier de concertation et réunion plénière du choix de fuseau de moindre impact

A ce stade, les éléments récoltés lors de la réflexion sur l'aire d'étude ont été plus détaillés et l'ensemble de l'aire d'étude a été parcouru pour identifier les sensibilités du territoire en combinant toute les thématiques étudiées.

Les éléments ont permis d'élaborer quatre fuseaux potentiels qui ont fait l'objet de comparaison.

L'ensemble des informations recueillies et des solutions élaborées a été rassemblé dans un dossier de concertation qui a été examiné par les services de l'Etat puis diffusé le 18 septembre 2013 en vue d'une réunion plénière de concertation qui s'est tenue le 15 octobre 2013 sous la présidence de la préfecture du Calvados.

Tout d'abord, lors de la réunion, une aire d'étude modifiée a été présentée et validée. Cette modification a fait suite à l'obtention de nouvelles informations.

Enfin, cette réunion, durant laquelle quatre fuseaux ont été présentés, a permis de valider le fuseau de moindre impact.

3.1.6 La mise au point du projet général

Le tracé général a été défini avec les acteurs du territoire concernés, en particulier la chambre d'agriculture du Calvados, le conseil général du Calvados, les élus et les services des communes et des collectivités territoriales traversées, Ports Normands Associés et les gestionnaires de réseaux au second semestre 2014 et premier semestre 2015.

La définition du tracé de la liaison souterraine a fait l'objet de plusieurs réunions regroupant les élus et leurs services, les directions des routes du conseil général, la chambre d'agriculture du Calvados, les concessionnaires d'infrastructures, afin de concilier au mieux la prise en compte des contraintes techniques et la réduction de la gêne.

Pour l'extension du poste de raccordement de Ranville, un travail mené avec la commune de Ranville, la chambre d'agriculture du Calvados, la DDTM et la DREAL a permis d'adapter le projet à l'environnement du poste.

3.2 Acteurs et partenaires du projet

3.2.1 Responsables du projet

Le Responsable du raccordement

Gilles SERNA – Tél : 01 49 01 34 58 – gilles.serna@rte-france.com

RTE – Centre D&I Paris
Service Concertation Environnement Tiers
29 rue des Trois Fontanot
92 024 Nanterre Cedex

Le Responsable Ingénierie

Julien MARGOLOFF – Tél : 01 79 24 85 94 – julien.margoloff@rte-france.com

RTE – Groupe Développement Ingénierie National
Cœur Défense – Tour B
110 Esplanade du Général de Gaulle
92 932 La Défense

Les Chargés de la Concertation

Nicolas VINTRIN – Tél : 01 49 01 32 08 – nicolas.vintrin@rte-france.com

Aude LAURENS – Tél : 01 49 01 32 89 – aude.laurens@rte-france.com

RTE – Centre D&I Paris
Service Concertation Environnement Tiers
29 rue des Trois Fontanot
92 024 Nanterre Cedex

3.2.2 Bureau d'études en environnement

Pour ce projet, le groupement de bureaux d'études TBM - HOCER a été mandaté.

Le chargé de projet

Gaël BOUCHERY – Tél : 02 97 56 27 76 – tbm-bouchery@orange.fr

TBM
6 rue Ty Mad
56 400 Auray

3.2.3 Responsables de l'instruction administrative du projet

Les services de l'Etat sont en charge de l'instruction administrative du projet. A cette occasion, les collectivités locales, les organismes publics et élus, les partenaires socioéconomiques, associés aux différentes phases de la concertation et qui sont directement concernés par le projet pourront être consultés en fonction de la nature des dossiers.

3.2.3.1 Services de l'Etat

- La préfecture et la sous-préfecture (département du Calvados)
- La préfecture maritime
- La Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (région Basse-Normandie)
- La Direction inter-régionale de la mer Manche Est-Mer du Nord
- La délégation territoriale du Calvados de l'Agence régionale pour la santé (ARS)
- La Direction départementale des territoires et de la mer (département du Calvados)
- La Direction régionale des affaires culturelles (région Basse-Normandie)
- Le Service territorial de l'architecture et du patrimoine
- ...

3.2.3.2 Collectivités locales, organismes publics et Elus

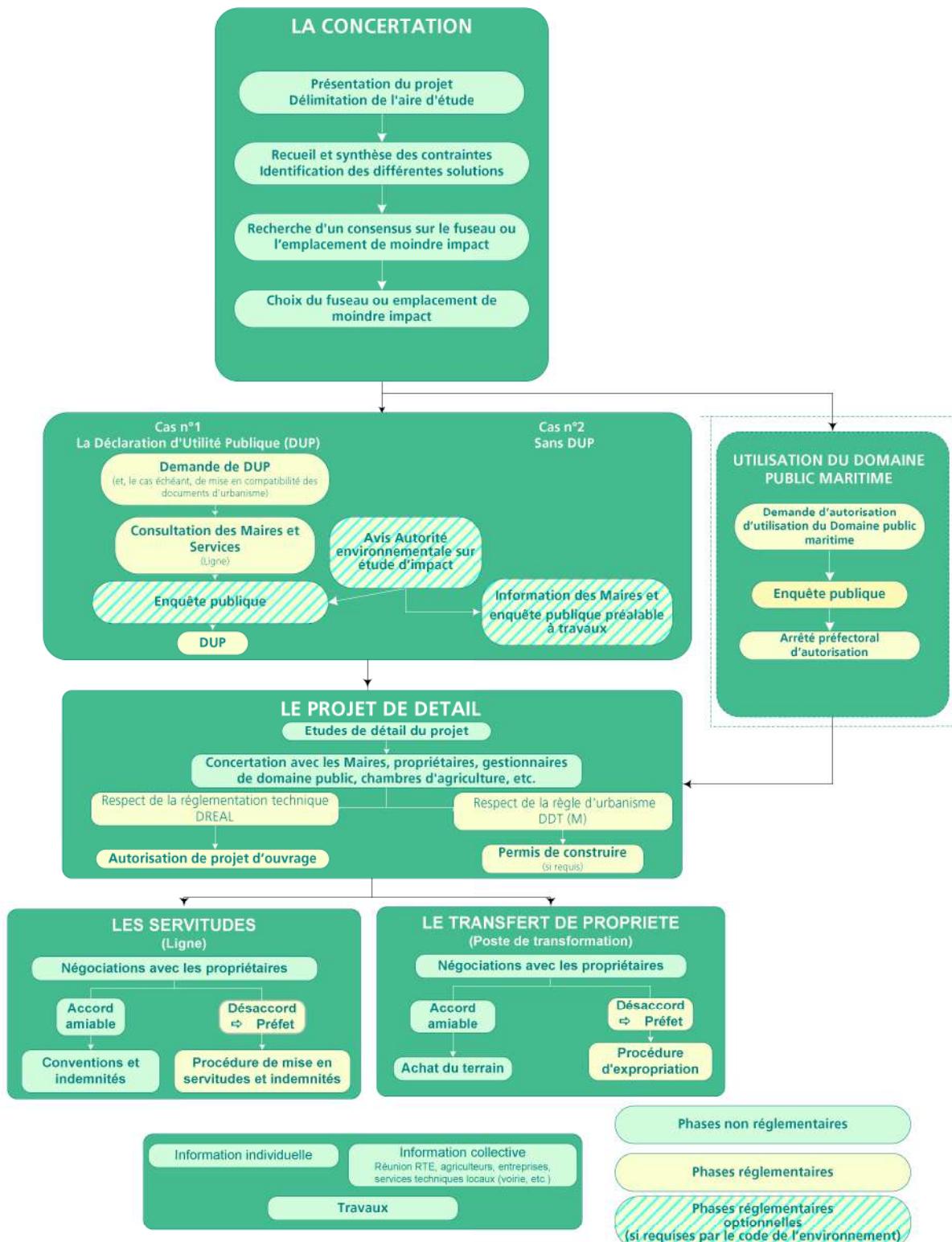
- les maires des communes concernées,
- le Conseil régional de la Basse-Normandie,
- le Conseil général du Calvados,
- les collectivités territoriales concernées dans le département,
- ...

3.2.3.3 Partenaires socio-économiques & syndicats mixtes

- Les organismes consulaires (chambres d'agriculture, chambres de commerce et d'industrie en particulier)
- Le comité régional des pêches maritimes de Basse-Normandie
- L'autorité portuaire du port de Caen-Ouistreham (Ports Normands associés)
- Les gestionnaires de services publics
- Les associations agréées de protection de l'environnement
- Les concessionnaires
- ...

Contexte réglementaire et administratif

Tout projet d'ouvrage doit faire l'objet d'une justification technico-économique et d'une concertation visant à préparer les étapes réglementaires de son autorisation.



4.1 Justification technico-économique des projets d'ouvrages électriques et le dossier de présentation

Pour chaque nouveau projet d'ouvrage, RTE élabore une note de justification technico-économique qui présente le besoin et son échéance d'apparition. Pour les projets de lignes à 400 000 et 225 000 volts, ce document est transmis à la Direction de l'énergie (DE), du Ministère chargé de l'énergie.

RTE y développe les motifs qui conduisent à envisager un renforcement (ou assimilé) et les avantages et inconvénients de chaque solution étudiée, puis présente la solution qu'il souhaite privilégier ainsi que les raisons de son choix. La pertinence de ce dossier est soumise à l'appréciation de l'État. S'il est jugé recevable, RTE établit ensuite un dossier de présentation.

Ce second dossier résume la justification technico-économique du projet et propose une zone de recherche de sites (pour un poste) ou de cheminements (pour une ligne), appelée « aire d'étude ».

Si, à son tour, il est jugé recevable par l'autorité administrative, il servira de support à la concertation, qui pourra dès lors être engagée.

4.2 Concertation : de l'aire d'étude au fuseau de moindre impact

Les fondements de la concertation sur les projets d'ouvrages électriques ont été posés par le protocole du 25 août 1992 dans lequel EDF s'est engagé vis-à-vis de l'Etat à mettre en œuvre, le plus en amont possible de chacun de ses projets d'ouvrage de 63 000 à 400 000 volts, une large concertation avec l'ensemble des partenaires concernés (élus, services de l'Etat, associations, etc.).

Ce principe a été reconduit, tout en étant renforcé, par les accords « Réseaux électriques et Environnement » de 1997 et 2001 et le « contrat de service public » de 2005 entre l'Etat, EDF et RTE.

Il a en outre été relayé par plusieurs circulaires. Celle actuellement en vigueur est la circulaire⁵ de la Ministre déléguée à l'industrie du 9 septembre 2002, relative au développement des réseaux publics de transport et de distribution de l'électricité, qui précise que la concertation sur les projets a pour objectif :

- « de définir, avec les élus et les associations représentatifs des populations concernées, les caractéristiques du projet ainsi que les mesures d'insertion environnementale et d'accompagnement du projet,
- d'apporter une information de qualité aux populations concernées par le projet, et de répondre à leurs interrogations ».

Cette concertation prend la forme de réunions associant les services de l'Etat, les élus, les associations et le maître d'ouvrage. Sous l'égide du préfet, elle se déroule généralement en deux phases :

- la première phase porte sur la présentation du projet et la délimitation d'une aire d'étude, qui doit être suffisamment large pour n'écartez aucune solution,
- la seconde phase consiste à procéder au recensement des différentes contraintes et enjeux à l'intérieur de cette aire d'étude, à présenter les différentes solutions envisageables pour aboutir au choix de l'une d'entre elles, solution permettant de déterminer un fuseau⁶ (pour les liaisons) ou un emplacement (pour les postes) de moindre impact.

⁵ Circulaire signée par Mme Nicole Fontaine le 9 septembre 2002.

⁶ Bande d'une certaine largeur (quelques centaines de mètres) au sein de laquelle sera recherché le tracé de l'ouvrage.

In fine, l'étude d'impact⁷ exposera les solutions envisagées, expliquera le choix issu de la concertation et présentera les mesures d'évitement, de réduction et de compensation des impacts.

4.3 Procédures préalables à la construction des ouvrages du réseau public de transport d'électricité

4.3.1 Pièce essentielle à la procédure : l'étude d'impact

Une étude d'impact doit être systématiquement réalisée pour tout projet :

- de liaison souterraine de tension supérieure ou égale à 225 000 volts et d'une longueur supérieure à 15 km ;
- de construction ou d'extension de poste.

L'étude d'impact⁸ est élaborée tout au long de la concertation préalable et a pour objet de recueillir et synthétiser les conséquences des projets d'ouvrages sur l'environnement et la santé.

Elle comprend :

- une description du projet comportant des informations relatives à sa conception et à ses dimensions,
- une analyse de l'état initial de la zone et des milieux susceptibles d'être affectés par le projet (milieu physique, milieux naturels, milieu humain, paysage et patrimoine et interrelations entre ces éléments),
- une analyse des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires (y compris pendant la phase des travaux) et permanents, à court, moyen et long terme, du projet sur l'environnement sur la consommation énergétique, la commodité du voisinage (bruits, vibrations, odeurs, émissions lumineuses), l'hygiène, la santé, la sécurité, la salubrité publique, ainsi que l'addition et l'interaction de ces effets entre eux,
- une analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus,
- une esquisse des principales solutions de substitution examinées et raisons pour lesquelles, eu égard aux effets sur l'environnement ou la santé, le projet présenté a été retenu ;
- les éléments permettant d'apprecier la compatibilité du projet avec les documents de planification,
- les mesures prévues pour éviter, réduire et, si possible, compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement et sur la santé, ainsi que l'estimation des dépenses correspondantes. Les effets attendus de ces mesures à l'égard des impacts du projet et les principales modalités de suivi de ces mesures et du suivi de leurs effets,
- une analyse des méthodes utilisées pour établir l'état initial et évaluer les effets du projet sur l'environnement et la mention des difficultés méthodologiques éventuellement rencontrées.
- la mention des difficultés méthodologiques éventuellement rencontrées.

L'étude d'impact est soumise à l'avis de l'autorité administrative de l'État compétente en matière d'environnement prévue à l'article R122-6 du code de l'environnement. Cet avis est joint au dossier d'enquête publique.

⁷ Voir chapitre « Les procédures préalables à la construction des ouvrages du réseau public de transport d'électricité/Une pièce essentielle à la procédure : l'étude d'impact ».

⁸ Instituée par la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, régie aujourd'hui par les articles L.122-1 et R.122-1 et suivants du Code de l'environnement.

Un résumé non technique, facilitant la prise de connaissance par le public des informations contenues dans l'étude d'impact, l'accompagne.

La publicité de l'étude d'impact est assurée grâce à l'enquête publique, voire, pour certains projets et à titre subsidiaire, grâce à une mise à disposition sur le site Internet de RTE (www.rte-france.com).

Le projet de parc éolien en mer et le raccordement électrique au réseau public de transport d'électricité constituent un même programme de travaux sans condition d'échelonnement dans le temps au sens du Code de l'environnement. Dans cette optique, l'instruction administrative se déroulera sur l'ensemble du programme pour lequel une étude d'impact sera déposée.

Cette étude d'impact se composera de trois fascicules et d'un résumé non technique :

- Fascicule A : présentation du programme
Une description du projet du raccordement électrique sera insérée dans ce fascicule.
- Fascicule B : étude des impacts spécifiques des projets de programmes
Le fascicule B1 sera celui traitant du parc éolien en mer.
Le Fascicule B2 sera celui traitant du raccordement électrique. Il comportera l'ensemble des chapitres d'une étude d'impact.
- Fascicule C : appréciation des impacts globaux du programme.

De plus, au titre de l'article R.414-19 du Code de l'environnement « *les travaux et projets devant faire l'objet d'une étude d'impact* » doivent faire l'objet d'une évaluation des incidences au titre de Natura 2000. Cette évaluation fera l'objet d'un fascicule séparé.

4.3.2 Déclaration d'utilité publique (DUP)

La déclaration d'utilité publique (DUP) permet à l'administration de prononcer le caractère d'intérêt général d'un projet d'ouvrage électrique, en vue de mettre en œuvre les procédures de mise en servitudes légales (ligne) ou d'expropriation (poste), dès lors que les propriétaires concernés auraient refusé, respectivement, de signer une convention amiable ou de vendre leur terrain.

Pour les lignes à 400 000 et 225 000 volts, la demande de DUP d'un projet d'ouvrage électrique est adressée, par RTE au ministre chargé de l'énergie qui transmet, pour instruction, le dossier au préfet (ou au préfet coordonnateur si plusieurs départements sont concernés),

Dans le cas où le projet ne serait pas compatible avec les documents d'urbanisme⁹, une procédure de mise en compatibilité, prévue par le Code de l'urbanisme et menée avec l'État¹⁰, doit être engagée. Dans ce cas, l'enquête publique porte à la fois sur la DUP du projet et sur la mise en compatibilité des documents d'urbanisme.

La DUP sera demandée pour l'ensemble du projet.

La DUP permettra de mettre en conformité les documents d'urbanisme des communes de Courseulles-sur-Mer, Hermanville-sur-Mer et Bénouville.

⁹ Schémas de cohérence territoriale, plans locaux d'urbanisme...

¹⁰ Dans le cadre de la réforme des administrations déconcentrées de l'État, les DDE et les DDAF ont fusionné pour créer les DDT (Direction départementale des territoires) et les DDTM (Direction départementale des territoires et de la mer).

La procédure d'instruction comporte :

- **une consultation des maires et des services de l'État**
 - pour les lignes : les maires des communes concernées par le projet et les services de l'État sont consultés afin de leur permettre de faire valoir leurs éventuelles remarques et de concilier les intérêts publics, civils et militaires selon les modalités et formes prévues par le décret du 11 juin 1970,
 - pour les postes de transformation : une consultation des maires et des services peut être organisée en fonction de chaque projet par le préfet.
- **une enquête publique**

Pour les projets soumis à étude d'impact, le projet d'ouvrage électrique est soumis à une enquête publique¹¹ organisée dans les communes concernées.

Un exemplaire du dossier d'enquête publique est transmis au maire de chaque commune concernée par le projet, même si cette commune n'a pas été désignée comme lieu d'enquête.

L'autorité administrative de l'état compétente en matière d'environnement prévue à l'article R122-1-1 du code de l'environnement est le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) pour les lignes de tension supérieure ou égale à 225 000 volts. Son avis est inséré dans le dossier soumis à l'enquête publique.

Cette enquête est diligentée par un commissaire enquêteur ou une commission d'enquête désigné(e) par le président du tribunal administratif. D'une durée minimale d'un mois, elle permet de faire la publicité de l'étude d'impact, de tenir le public informé du projet et de recueillir ses observations.

À l'issue de l'enquête, le commissaire enquêteur (ou la commission d'enquête) rédige un rapport, qui relate le déroulement de l'enquête, puis donne un avis personnel et motivé sur le projet. Le rapport et les conclusions sur l'enquête sont adressés au préfet, qui les transmet à RTE.

- **la signature de la DUP**

Pour les lignes à 400 000 et 225 000 volts, la DUP est signée par le ministre chargé de l'énergie et, si une mise en compatibilité de documents d'urbanisme est nécessaire, cosignée par le ministre chargé de l'urbanisme.

4.3.3 Autorisation au titre de la loi sur l'eau

L'article R. 214-1 du code de l'environnement portant nomenclature des installations, ouvrages, travaux et aménagements (IOTA) soumis à déclaration ou à autorisation au titre de la loi sur l'eau contient une rubrique 4.1.2.0 aux termes de laquelle les « ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu » sont soumis à autorisation si leur montant est supérieur ou à égal à 1.900.000 euros, et à déclaration si leur montant est supérieur ou égal à 160.000 euros mais inférieur à 1.900.000 euros.

Au regard du coût de l'ouvrage de raccordement, le régime applicable est celui de l'autorisation. Le dossier de demande d'autorisation, intégrant les autres rubriques de la nomenclature IOTA concernées par le projet, devra être adressé au préfet du département. Le contenu de ce dossier est fixé à l'article R. 214-6 du code de l'environnement qui exige notamment un « document

¹¹ Enquête de type « Bouchardau » régie par les articles L123-1 et suivants et R123-1 et suivants du Code de l'environnement

d'incidences» analysant spécifiquement les incidences directes et indirectes, temporaires et permanentes du projet sur le milieu marin ainsi que les mesures correctives ou compensatoires envisagées.

Par ailleurs, au regard des articles L214-1 à L214-6 du code de l'Environnement et du décret d'application associé du 22 mars 2007 (décret n°2007-397), les travaux d'aménagement et d'extension du poste électrique de Ranville sont concernés la rubrique 2.1.5.o du titre II de la loi sur l'eau. Le projet d'extension du poste de Ranville est donc soumis à une procédure de déclaration au titre de la loi sur l'eau.

4.3.4 Concession d'utilisation du domaine public maritime (CUDPM)

Toute utilisation ou occupation du domaine public maritime (DPM) nécessite une autorisation, conformément aux articles L. 2124-1 et suivants et R. 2124-1 et suivants du code général de la propriété des personnes publiques (CGPPP).

A ce titre, l'implantation des ouvrages de raccordement d'un parc de production d'électricité en mer nécessite l'obtention d'une concession d'utilisation du domaine public maritime régie par les articles R.2124-1 et suivants du CGPPP. Cette concession est délivrée pour une durée qui ne peut excéder 30 ans.

Le dossier de demande de concession doit être adressé au préfet du département. L'article R.2124-2 du CGPPP détermine précisément le contenu de ce dossier et indique les éléments qu'il doit comprendre, notamment l'étude d'impact ainsi que son résumé non technique.

Dès qu'il est saisi de la demande, le préfet (du département) doit consulter le préfet maritime. Il lui incombe ensuite de procéder à une publicité dans la presse préalablement à l'ouverture de l'instruction administrative. Dans le cadre de cette instruction administrative, le service gestionnaire procède à différentes consultations (administrations civiles, communes concernées, commission nautique locale...).

Le projet doit ensuite être soumis à enquête publique. Au terme de la procédure, le préfet adopte un arrêté approuvant la convention de concession qui est soumise à des exigences de publication.

Pour le projet, la CUDPM concernera la liaison sous-marine entre le poste électrique en mer du parc éolien et l'atterrage.

4.3.5 Approbation du projet d'ouvrage (APO) et permis de construire

RTE élabore le projet de détail de l'ouvrage, en liaison notamment avec les services de l'administration, les communes et organisations professionnelles concernées. Il engage ensuite avec les propriétaires et les exploitants des terrains concernés un dialogue destiné à permettre de dégager, dans toute la mesure du possible, un consensus sur le tracé de détail.

Sous l'égide du préfet, un double contrôle sur la réalisation des ouvrages s'exerce :

- La DREAL procède à l'instruction de l'approbation du projet d'ouvrage qui vise à assurer le respect de la réglementation technique (arrêté interministériel du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques d'établissement des réseaux électriques) et notamment des règles de sécurité. La décision est publiée au recueil des actes administratifs de la préfecture et est affichée dans les mairies des communes concernées par les ouvrages projetés.

- La DDT/DDTM¹² procède à l'instruction de la demande de permis de construire qui vise à vérifier la conformité du projet aux règles d'urbanisme. Le permis de construire est accordé par arrêté préfectoral.

Dans le cadre de ces deux procédures, les maires et les gestionnaires du domaine public sont à nouveau consultés.

4.3.6 Servitudes

Lorsque le tracé de détail de la ligne est connu, il est proposé au propriétaire de signer avec RTE une convention assortie d'une indemnité destinée à réparer le préjudice résultant de la gêne causée par la présence de l'ouvrage.

Ce n'est qu'en cas de désaccord du propriétaire que la procédure administrative de mise en servitudes légales est engagée. Chaque propriétaire concerné par le projet d'ouvrage est informé individuellement de l'ouverture d'une enquête de type parcellaire de huit jours, organisée sous le contrôle du préfet. À la suite de cette enquête de servitudes, le préfet institue par arrêté les servitudes légales et, à défaut d'accord avec le propriétaire sur le montant de l'indemnité, celle-ci est fixée par le juge de l'expropriation.

4.3.7 Indemnisation des propriétaires, des exploitants, des riverains

Après évaluation de la gêne pouvant résulter de la présence de ses ouvrages, RTE entre dans une phase de discussion en proposant une indemnisation des servitudes. L'implantation de lignes électriques sur des terrains privés n'entraîne aucun transfert de propriété au profit de RTE. On distingue deux catégories de dommages susceptibles de réparation :

- les dommages dits permanents qui résultent de la présence de la ligne sur une propriété,
- les dommages dits instantanés, c'est-à-dire les dégâts de chantier, tels que des ornières.

Il est proposé une indemnisation des dommages, en s'appuyant sur des barèmes déterminés actualisés chaque année.

4.3.8 Mesures fiscales liées aux ouvrages

Les revenus communaux issus de la présence d'ouvrages électriques sur le territoire proviennent **des taxes classiques, sur les postes électriques appartenant à RTE**.

Il s'agit de :

- La taxe foncière calculée sur le revenu net cadastral de tous les immeubles bâties et non bâties. Elle est due à partir du 1er janvier qui suit la date de fin des travaux pour la partie communale et deux ans plus tard pour la partie départementale et régionale.
- La contribution économique territoriale (CET), est composée d'une cotisation foncière des entreprises (CFE) et d'une cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises (CVAE).

La CET est complétée par une Imposition Forfaitaire sur les Entreprises de Réseau (IFER) qui s'applique, dans le cas de RTE, aux transformateurs électriques dont le réseau de transport est propriétaire. Le montant de cette imposition est établi en fonction de la tension en amont des matériels.

¹² DDT (Direction Départementale des Territoires) et les DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer)

Généralités sur le fonctionnement du système électrique

5.1 Fonctionnement du réseau

o Petit rappel d'électricité

Le courant électrique provient du déplacement d'électrons dans un conducteur, avec un mouvement continu (courant continu) ou avec un mouvement de va-et-vient (courant alternatif). Le courant le plus utilisé pour le transport et la distribution est le courant alternatif.
L'électricité est caractérisée par plusieurs grandeurs physiques : l'intensité, la tension, la puissance, la fréquence, les champs électriques et magnétiques.

o L'intensité

L'intensité est la mesure du courant électrique.

Elle est exprimée en ampères [A]. C'est la quantité d'électricité qui traverse un conducteur pendant une seconde. Si l'on compare l'électricité à l'eau, l'intensité correspond au débit dans un tuyau.

o La tension

La tension est exprimée en volts [V] ou en kilovolts ($1\text{kV} = 1000\text{ V}$). Elle représente la force fournie à une quantité d'électricité donnée qui va d'un point à un autre. Si l'on compare l'électricité à l'eau, la tension correspond à la pression.

o La puissance et l'énergie

La puissance, qui s'exprime en watts (W) ou en kilowatts ($1\text{kW}=1000\text{ W}$), est le produit de la quantité d'électricité qui traverse le conducteur pendant une seconde (intensité du courant en ampères [A]) et de la tension (en volts [V]) : Puissance = Intensité x Tension.

L'énergie consommée, qui correspond à une puissance électrique pendant une unité de temps, s'exprime en wattheures [Wh] ou kilowattheures [kWh].

Exemple : une ampoule de 75 watts (puissance) qui éclaire pendant 1 000 heures, consomme une énergie de 75 000 Wh, soit 75 kWh.

o La fréquence

La fréquence correspond au nombre de cycles que fait le courant alternatif en une seconde. Elle s'exprime en hertz [Hz]. En France et en Europe continentale, la fréquence nominale est fixée à 50 Hz.

La notion de champ traduit l'influence que peut avoir un objet sur l'espace qui l'entoure (la terre crée par exemple un champ de pesanteur qui se manifeste par les forces de gravitation).

Les champs électriques et magnétiques se manifestent par l'action des forces électriques. Le champ électrique se mesure en volt par mètre (V/m) et le champ magnétique en micro Tesla (μT).

S'il est connu depuis longtemps que les champs électriques et magnétiques se composent pour former les champs électromagnétiques (CEM), cela est surtout vrai pour les hautes fréquences. En basse fréquence, et donc à 50 Hz, ces deux composantes peuvent exister indépendamment :



La lampe est branchée mais éteinte, il y a un champ électrique mais pas de champ magnétique



Le courant passe, le champ magnétique est présent avec le champ électrique

Par conséquent, pour le réseau de transport d'électricité à 50Hz, on distinguera le champ magnétique (CM50) et le champ électrique (CE50).

o L'effet Joule

L'effet Joule est un effet thermique qui se produit lors du passage du courant électrique dans un conducteur. Il se manifeste par une augmentation de l'énergie interne du conducteur et généralement de sa température. L'effet Joule peut être responsable de pertes d'énergie, c'est à dire la conversion indésirable, mais inévitable, d'une partie de l'énergie électrique en énergie thermique. C'est le cas, par exemple, des pertes en ligne lors du transport du courant électrique.

5.2 Système électrique

On appelle système électrique l'ensemble composé d'une structure de production (centrales nucléaires, thermiques, hydrauliques, cogénération, éoliennes, photovoltaïque...) et de consommation (communes, entreprises...), reliées par les réseaux électriques (transport et distribution).

La consommation n'est pas stable ; la production ne l'est pas non plus : elle dépend d'aspects industriels (délais de mise en route, maintenance...) à une échelle locale, mais également d'événements naturels (vent, ensoleillement ...). Par ailleurs, la consommation et la production ne fluctuent pas au même rythme. Le réseau de transport d'électricité permet alors, non seulement de transmettre de la puissance d'un point à un autre, mais également de mutualiser ces multiples aléas et de fournir constamment l'énergie dont la collectivité et les clients ont besoin. C'est un outil de solidarité entre territoires.

o La production industrielle de l'électricité

La production d'électricité est essentiellement un secteur industriel, destiné à mettre à disposition de l'ensemble des consommateurs la possibilité d'un approvisionnement adapté à leurs besoins en énergie électrique.

La production d'électricité se fait depuis la fin du XIX^{ème} siècle à partir de différentes sources d'énergie primaires. Les premières centrales électriques fonctionnaient au bois. Aujourd'hui, la production peut se faire à partir d'énergie fossile (charbon, gaz naturel ou pétrole), d'énergie nucléaire, d'énergie hydraulique, d'énergie solaire, d'énergie éolienne et de biomasse.

Les moyens mis en œuvre sont diversifiés, et dépendent de nombreux facteurs :

- les techniques disponibles,
- la réactivité de mise en œuvre,
- la production nécessaire,
- le rendement possible,
- les coûts d'investissement, d'exploitation et de déconstruction,
- le coût des éventuelles matières premières,
- la disponibilité locale de ces matières premières ou les moyens d'acheminement,
- les impacts écologiques occasionnés,
- etc.

o La consommation et la production en France

La consommation de la France à fin décembre 2013 s'établit à 476,2 TWh¹³ (soit 476.2 milliard de kWh), quasiment au même niveau que celles de 2011 et 2012. La consommation d'électricité en France tend à se stabiliser, c'est ce que traduit le graphe ci-après.

Evolution de la consommation corrigée hors soutirage du secteur énergie

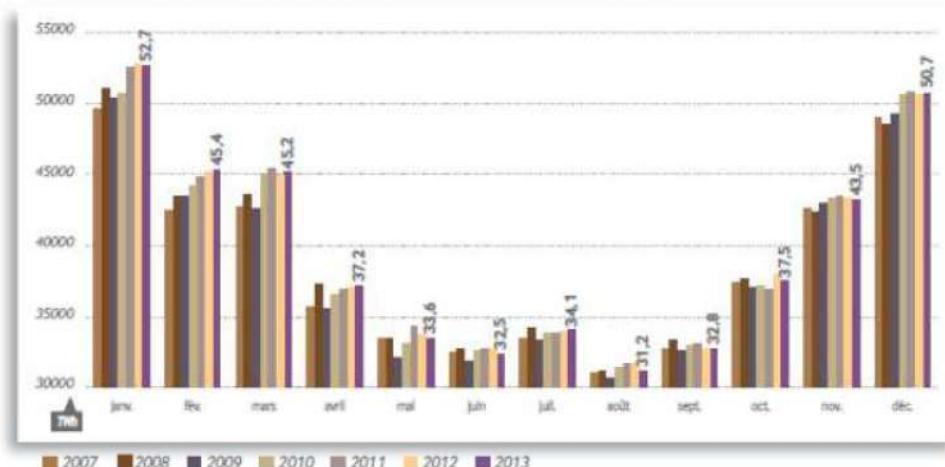


Figure 15 : Évolution de la consommation électrique en France et par mois, comparée sur 7 ans entre 2007 et 2013

Source : RTE, bilan électrique 2013

La production totale d'électricité en France s'établit pour l'année 2013 à 550,9 TWh, ce qui correspond à une hausse de 1,7% par rapport à 2012. Cette évolution couvre une croissance de la consommation de 1,1%, et conduit cette année à une légère hausse du solde exportateur¹⁴.

o Les principaux consommateurs

La France compte environ 27 millions de sites de consommation d'électricité. La majeure partie d'entre eux est alimentée par le réseau de distribution basse tension (230 et 400 volts) : pavillons, immeubles d'habitation, écoles, artisans, commerçants, professions libérales, exploitations agricoles... D'autres sont alimentés en 20 000 volts : grands hôtels, hôpitaux et cliniques, petites et moyennes entreprises... De gros industriels (voies ferrées électrifiées, cimenteries, aciéries électriques, usines d'électrolyse de l'aluminium...) sont alimentés directement par le réseau de

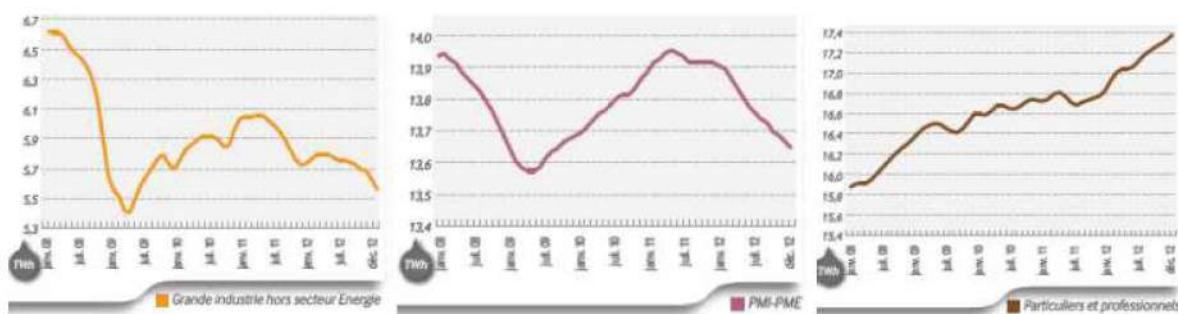
¹³ Source : RTE – Bilan électrique 2013

¹⁴ Source : RTE – Bilan électrique 2013

transport, avec un niveau de tension adapté à la puissance électrique dont ils ont besoin, à savoir 63 000, 90 000 ou 225 000 volts, voire 400 000 volts dans quelques cas.

Les graphiques ci-après indiquent la tendance et la part dans la consommation globale d'électricité des trois grandes catégories de clients :

- la grande industrie,
- les petites et moyennes entreprises,
- les autres consommateurs, dont les particuliers.



Source : RTE, bilan énergétique 2012

Figure 16 : Répartition de la consommation électrique entre janvier 2008 et décembre 2012 pour la grande industrie, les PME et les autres consommateurs dont les particuliers

Entre 2009 et 2012, cette hausse avait été en moyenne de 1% par an. L'évolution de 2013 traduit un ralentissement qui n'avait jamais été aussi prononcé¹⁵. Il peut s'expliquer par la conjugaison des effets de la crise économique sur les consommations tertiaires et résidentielles, et par les gains en termes d'efficacité énergétique, notamment sur le parc électrique spécifique¹⁶, sans qu'il soit possible de déterminer la part de ces facteurs explicatifs.

L'analyse tendancielle sur les consommations corrigées mensuelles des PMI/PME, particuliers et professionnels des cinq dernières années semble confirmer une tendance à la stagnation en 2013.

o Les énergies renouvelables

Globalement, la puissance installée du parc de production d'électricité en France diminue de 785 MW¹⁷ sur l'année 2013. Cette baisse est le résultat de la fermeture de centrales thermiques classiques, en partie compensée par une hausse de l'éolien, du photovoltaïque et des autres sources d'énergies renouvelables.

¹⁵ Source : RTE – Bilan électrique 2013

¹⁶ Usages électriques non substituables par d'autres énergies

¹⁷ Source : RTE – Bilan électrique 2013

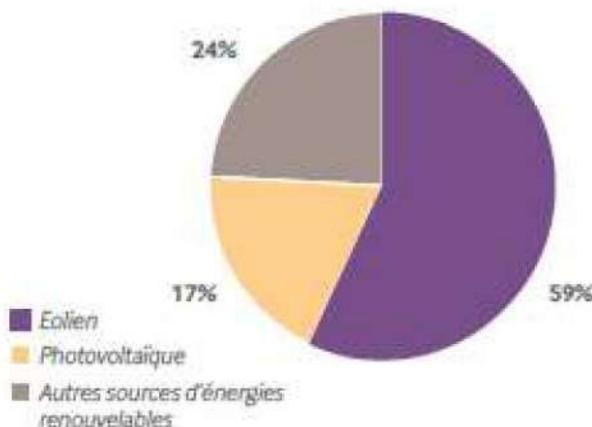
Puissance installée au 31/12/2013 (MW)	Ensemble France		
	Puissance (MW)	Evolution (%) par rapport au 31/12/2012	Evolution (MW)
Nucléaire	63 130	0,0%	0
Thermique à combustible fossile	25 576	-8,1%	-2 251
dont charbon	6 341	-19,9%	-1 573
fioul	8 779	-6,5%	-607
gaz	10 456	-0,7%	-71
Hydraulique	25 404	0,0%	-3
Eolien	8 143	+8,4%	+630
Photovoltaïque	4 330	+21,0%	+752
Autres sources d'énergies renouvelables	1 478	+6,3%	+88
Total	128 061	-0,6%	-785

Source : RTE, bilan énergétique 2013

Figure 17 : Répartition de la production française en fonction du mode de production au 31/12/2013 (MW)

La production hydraulique augmente fortement (+18,7%) suite à de fortes précipitations au printemps 2013. La production issue de l'ensemble des sources d'énergies renouvelables atteint 20,7%¹⁸ de la consommation française en 2013.

L'illustration ci-après présente la répartition des productions d'énergies renouvelables, hors hydraulique.



Source : RTE, bilan énergétique 2013

Figure 18 : Répartition des productions d'énergies renouvelables, hors hydraulique en 2013

Les principales énergies renouvelables, hors hydraulique, sont aujourd'hui :

- **les éoliennes (ou aérogénérateurs)** : elles convertissent la force du vent en électricité. Elles sont constituées d'un mât sur lequel tourne une hélice. Celle-ci capte l'énergie du vent pour faire tourner une génératrice qui produit du courant électrique. Les éoliennes peuvent être terrestres ou maritimes (offshore).

¹⁸ Source : RTE – Bilan électrique 2013

- **les hydroliennes** : elles convertissent l'énergie des courants de marée en énergie électrique. Elles sont généralement immergées dans les zones à fort courant, si possible à proximité des côtes. La force des courants marins actionne les pales d'un ou plusieurs générateurs produisant de l'électricité.
- **le solaire photovoltaïque** : couramment appelés panneaux solaires, les modules photovoltaïques convertissent la lumière du soleil (les photons) en électricité (les électrons), laquelle peut être directement utilisée (éclairage) ou stockée (batterie).
- **la géothermie** : elle permet d'alimenter des réseaux de chaleur à partir des eaux chaudes du sous-sol ou d'utiliser les sources d'eau bouillante ou encore de roches chaudes pour produire de l'électricité. En France, il existe une centrale géothermique en service, située à Bouillante en Guadeloupe.
- **la biomasse** : produire de l'électricité à partir de biomasse consiste à valoriser en l'incinérant toute matière d'origine organique ou végétale issue de la nature (bois, bagasse...) mais aussi les déchets organiques produits par l'homme.

o Les perspectives de développement de la production

L'arrêté du 15/12/2009 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité fixe, en France à l'horizon 2020, les objectifs suivants de développement de production à partir d'énergies renouvelables :

- puissance totale installée de 25 000 MW d'éolien répartis en 19 000 MW à terre et 6000 MW en mer,
- puissance totale installée de 5400 MW de photovoltaïque,
- puissance supplémentaire à mettre en service de 2300 MW de biomasse,
- accroissement de l'énergie produite de 3 TWh/an et augmentation de la puissance installée de 3000 MW pour l'hydraulique.

C'est dans ce cadre que le Gouvernement a annoncé, le 6 avril 2012, les résultats du premier appel d'offres « éolien en mer » lancé le 11 juillet 2011 pour 3000 MW.

o L'équilibre consommation / production

Puissance appelée = puissance fournie

L'énergie électrique produite ne se stocke pas. À chaque instant, l'énergie appelée par les consommateurs doit être disponible grâce à l'ensemble des moyens de production d'énergie électrique, et du réseau pouvant l'acheminer des sites de production jusqu'aux sites de consommation. L'équilibre consommation / production se traduit par l'égalité qui doit exister entre la puissance appelée et la puissance fournie.

Cette capacité de stockage limitée constitue un défi de chaque instant pour RTE. Elle est en même temps une remarquable opportunité car les stocks sont toujours source d'inefficacités et de consommations de ressources de telle sorte que tous les processus industriels ont cherché à les supprimer.

L'illustration ci-après donne par région la répartition consommation / production en 2012.



- Production supérieure au double de la consommation
- Production comprise entre 120% et 200% de la consommation
- Production équivalente à la consommation
- Production entre 20% et 80% de la consommation
- Production inférieure à 20% de la consommation

Source : RTE, bilan énergétique 2013

Figure 19 : Rapport production/consommation en 2012

La consommation d'électricité varie constamment au cours d'une même journée, d'une même semaine et au fil de l'année. Elle reflète les horaires de travail, les jours de congés, les saisons.

Lorsqu'il fait froid, la consommation d'électricité augmente fortement en raison d'une plus forte utilisation de l'électricité (chauffage électrique ...). Ainsi en hiver, une baisse de température de 1°C représente un accroissement de consommation de 2300 MW. En été, une hausse de température de 1°C provoque une hausse de consommation pouvant aller jusqu'à 600 MW.

Le pic de consommation en France métropolitaine de 101 700 MW a été atteint le 8 février 2012 à 19 heures.

5.3 Réseau public de transport et réseaux de distribution

On distingue trois niveaux de réseaux¹⁹ :

- le réseau de grand transport et d'interconnexion qui achemine, en 400 kV ou 225 kV de grandes quantités d'énergie sur de longues distances avec un faible niveau de perte (« autoroutes de l'énergie ») ;
- les réseaux régionaux de répartition qui répartissent l'énergie au niveau des régions et alimentent les réseaux de distribution publique ainsi que les gros clients industriels en 225 kV, 90 kV et 63 kV ;
- les réseaux de distribution à 20 kV et 400 V, qui desservent les consommateurs finals en moyenne tension (PME-PMI) ou en basse tension (clientèle domestique, tertiaire, petite industrie).

¹⁹ Source : CRE, site internet, <http://www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics-d-electricite/description-generale> (consulté en avril 2014)

Le réseau public de transport de l'électricité est exploité par RTE.

Les réseaux publics de distribution sont la propriété des communes qui peuvent en confier la gestion à ERDF (pour 95 % des réseaux de distribution du territoire métropolitain continental), ou à des entreprises locales de distribution (ELD) par le biais de contrats de concession.

Les gestionnaires des réseaux de transport et de distribution d'électricité exercent des monopoles régulés par la Commission de régulation de l'énergie (CRE).



Source : CRE, Commission de régulation de l'énergie, module pédagogique (<http://www.cre.fr/infos-consommateurs/modules-pedagogiques2>, consulté en avril 2013)

Figure 20 : Schématisation de la production, du transport et de la distribution d'électricité

5.3.1 Réseau public de transport

Le réseau public de transport de l'électricité²⁰ se compose d'un réseau dit « de grand transport et d'interconnexion », d'une part, et d'un réseau dit « de répartition », d'autre part. Leur longueur cumulée représente environ 100.000 kilomètres.

Le réseau de grand transport et d'interconnexion, exploité à 400 000 et 225 000 volts (dits « réseaux HTB »), permet de transporter d'importantes quantités d'énergie sur de longues distances. Ses lignes forment ce que l'on pourrait appeler les « autoroutes de l'électricité ». Elles desservent les interconnexions avec les réseaux des pays étrangers, les centrales nucléaires et quelques grandes installations de production hydraulique et thermique, ainsi que les réseaux de répartition.

Le réseau de répartition assure le transport de l'électricité à l'échelle régionale. Il est exploité aux autres niveaux de tension HTB (225 000, 90 000 et 63 000 volts). Ses lignes permettent d'acheminer l'électricité jusqu'aux consommateurs industriels et jusqu'aux réseaux de distribution. Elles collectent aussi l'énergie produite par les installations de production de taille intermédiaire.

Le réseau public de transport de l'électricité est la propriété de RTE Réseau de Transport d'Électricité, filiale d'EDF à 100 %, et est exploité par lui.

²⁰ Source : CRE, site internet, <http://www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics-d-electricite/description-generale> (consulté en avril 2014)

5.3.2 Réseaux de distribution

Les réseaux publics de distribution de l'électricité²¹ acheminent l'énergie électrique jusque chez les particuliers, mais aussi chez les artisans, PME et petites industries. Ils collectent, également, l'énergie produite par la plupart des fermes éoliennes, les installations de production photovoltaïque et la majorité des installations de cogénération. Ils sont composés de réseaux exploités à 20 000 et 15 000 volts, dits « réseaux HTA », et de réseaux exploités à 400 volts triphasé et 230 volts monophasé, dits « réseaux BT ». Leur longueur cumulée représente plus de 1,3 millions de kilomètres.

L'interface entre le réseau public de transport et les réseaux publics de distribution est constituée par environ 2 200 postes de transformation HTB/HTA dits « postes sources ». L'interface entre les réseaux HTA et les réseaux BT est constituée par les postes de transformation dits « postes de distribution ». On en compte plus de 700 000.

Les réseaux publics de distribution sont la propriété des communes. Celles-ci peuvent déléguer tout ou partie de leur compétence d'autorité concédante à des syndicats intercommunaux ou départementaux. Si elles ne l'assurent pas elles-mêmes par le biais de régies, ces autorités concédantes ont confié la gestion de leurs réseaux de distribution à Électricité Réseau Distribution France (ERDF), filiale d'EDF à 100 % (pour 95 % des réseaux de distribution du territoire métropolitain continental), ou à des entreprises locales de distribution (ELD) par le biais de contrats de concession. En Corse et dans les départements et collectivités d'outre-mer, c'est EDF Systèmes Énergétiques Insulaires (SEI) qui est le gestionnaire des réseaux publics de distribution.

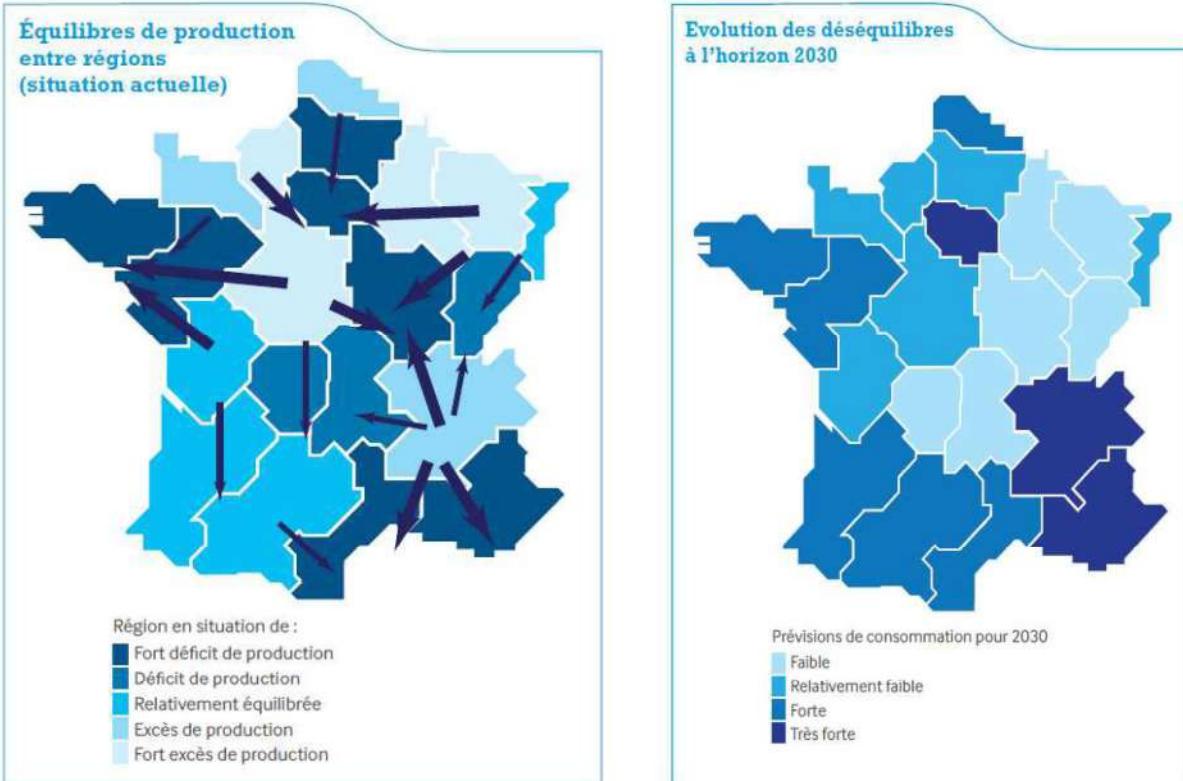
Les régies et les ELD sont au nombre d'environ 160. Quatre d'entre elles comptent plus de 100 000 clients. Il s'agit de Gérédis (Deux-Sèvres), Électricité de Strasbourg Réseaux (ESR – Bas-Rhin), Sorégies Réseaux de Distribution (SRD – département de la Vienne) et URM (Metz).

5.3.3 Pourquoi des réseaux ? Pourquoi interconnecter des territoires ?

Le réseau de transport d'électricité relie entre eux des centres de consommation et de production. Pratiquement, dès la naissance de l'industrie électrique, à la fin du XIXe siècle, très tôt et très vite, des réseaux et des systèmes électriques interconnectés se sont développés. La raison principale en est que construire une infrastructure de réseau permet à la fois de rendre une meilleure qualité de fourniture et de limiter considérablement les ressources nécessaires pour produire l'électricité. Cette infrastructure de réseau électrique – comme tout autre type de réseau – est en cela d'autant plus efficace qu'elle relie davantage d'utilisateurs. Ainsi le réseau constitue-t-il une réponse à trois types de préoccupations : la sécurité, l'économie de ressources et l'aménagement du territoire.

Les centres de production et de consommation peuvent selon les régions être éloignés, ce qui entraîne des flux entre les territoires. Le réseau permet de prendre en compte ces déséquilibres.

²¹ Source : CRE, site internet, <http://www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics-d-electricite/description-generale> (consulté en avril 2014)



La sécurité :

La continuité de service est assurée en dépit des incidents les plus communs (selon la « règle du N-1 », qui stipule que la panne d'un élément du système n'affecte pas les utilisateurs connectés). En permettant à l'un de compléter l'autre, la mise en réseau des moyens de production permet de mutualiser les risques de perturbations susceptibles d'affecter le système électrique (panne d'une centrale, intermittence du vent, vague de froid, etc.) et par suite, comme un système d'assurance, de réduire considérablement les besoins de « capacités de réserve » (production ou stockage) et autres mesures palliatives.

Les utilisateurs peuvent soutirer plus ou moins d'électricité (ou, s'agissant des unités de production, produire plus ou moins d'électricité) à tout instant et sans préavis, car la gêne est négligeable pour les autres utilisateurs dès lors que cette variation est petite par rapport à la taille de l'ensemble du système interconnecté.

La qualité de l'électricité (en fréquence, tension) est d'autant plus haute que le réseau est maillé.

L'économie de ressources :

Moteur historique de l'interconnexion, le foisonnement des consommations rend les besoins d'investissement en production bien moindre. On peut à titre d'illustration comparer le total des puissances souscrites par chacun des clients finaux connectés aux réseaux français de transport et de distribution – de l'ordre de 400 GW – à la consommation effective totale en France – comprise en 2012 entre 31 GW en creux d'août et 102 GW au pic de froid de février – et la capacité de production installée – 129 GW.

La mise en réseau des moyens de production permet de les spécialiser : quelques-uns, plus flexibles et donc relativement plus chers, pour suivre les variations de la demande ; d'autres, moins flexibles mais plus économiques dans la durée pour produire « en base », à longueur de temps. Leur

conception en est ainsi rationalisée, profitant d'économie d'échelle ou de série pour diminuer les coûts unitaires, c'est-à-dire au MW installé, du parc.

Le réseau permet de marier un « mix énergétique », qui permet de tirer le meilleur parti de chaque filière et d'organiser la complémentarité de ces moyens de production, du moins cher au plus cher. (Ce « merit order » commence par la production « fatale » des fil-de-l'eau, éolien, photovoltaïque, c'est-à-dire les énergies de flux, dont la ressource – débit des rivières, vent, soleil –, gratuite, est perdue si elle n'est pas transformée en électricité au gré des variations saisonnières et météorologiques).

L'aménagement du territoire en France et en Europe :

Les utilisateurs peuvent s'installer sur tout le territoire, et pas seulement à proximité des centres de production.

Réciproquement, il est possible de tirer parti de ressources éloignées des centres de consommation (par exemple hydraulique de montagne, énergies offshore, etc.) pour produire l'électricité dont les utilisateurs ont besoin. Le réseau maillé est ainsi l'outil-clé de composition du mix énergétique.

L'infrastructure que gère RTE permet d'interconnecter l'ensemble des utilisateurs français. Au-delà, l'interconnexion des réseaux des pays européens permet de gagner encore significativement dans chacun des domaines évoqués précédemment. On peut en donner deux illustrations :

- La pointe de consommation synchrone de l'Allemagne, du Benelux et de la France (environ 205 GW) est aujourd'hui de l'ordre de 4 GW inférieure à la somme de leurs pointes individuelles. Leur interconnexion permet ainsi sur ce seul critère de diminuer de 2% la capacité de production installée nécessaire à leur approvisionnement.
- D'autre part, en matière de dimensionnement des réserves, l'aléa majeur, en France l'hiver, est aujourd'hui la sensibilité de la consommation à la température ; en Allemagne, c'est l'aléa de production éolienne qui est le plus important. Isolés, chacun des deux pays devrait se doter de capacités de production ou d'effacement de consommation à hauteur d'une vingtaine de gigawatts²² ; interconnectés, les deux risques étant largement décorrélés, les deux pays peuvent partager cette charge. Interconnectée avec ses voisins européens, la France n'a ainsi besoin aujourd'hui en hiver de prévoir qu'une « marge 8 heures » de l'ordre de 4,5 GW (le risque d'erreur de prévision sur la demande, liée à l'incertitude de prévision des températures, en est la cause principale).

5.4 Assurer la fourniture d'une électricité en tout lieu à tout moment

5.4.1 Sûreté du système électrique

La politique de sûreté du système électrique

La maîtrise du fonctionnement du système électrique (ou sûreté du système) se définit comme l'aptitude à :

- assurer le fonctionnement normal du système électrique ;
- limiter la probabilité d'incidents et éviter les grands incidents ;
- maîtriser les conséquences d'un grand incident s'il survenait malgré tout.

Elle concerne alors aussi bien la maîtrise des équilibres essentiels comme l'équilibre offre-demande que la maîtrise des tensions sur le réseau ou des transits dans les ouvrages de réseau.

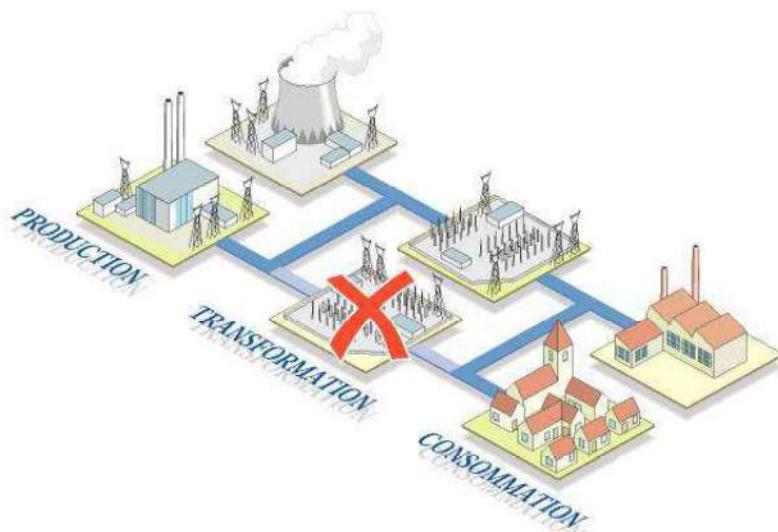
²² Il s'agit d'un ordre de grandeur. Cette comparaison pays isolé/pays interconnecté est quelque peu théorique dans la mesure où le dimensionnement de parcs européens isolés serait tout autre qu'il ne l'est aujourd'hui, sachant pouvoir bénéficier de l'interconnexion.

Elle fait l'objet de prescriptions inscrites dans la "Politique de Sûreté" de RTE. Ces dernières expriment formellement les principes à suivre pour l'exploitation du réseau. L'une de ces principales prescriptions est la règle du N-1.

La règle du N-1

Afin de garantir la robustesse du système électrique à l'égard du risque d'une coupure électrique liée à une perte d'ouvrage, du fait par exemple d'un coup de foudre, une règle de sécurité standard est mise en œuvre : on la dénomme la règle du N-1.

Elle signifie qu'en cas de défaillance d'un élément du réseau de transport ou d'une unité de production, l'électricité devra pouvoir être acheminée par une autre partie du réseau ou fournie depuis une autre unité de production. Ainsi, toute défaillance d'un élément sera-t-elle sans conséquence pour l'ensemble des consommateurs raccordés au réseau.



5.4.2 Origine des principaux incidents affectant le système électrique

Un incident de grande ampleur a toujours pour origine l'un ou plusieurs des quatre grands phénomènes suivants, qui se succèdent et/ou se conjuguent :

Les surcharges en cascades

Il peut arriver que l'intensité transitant dans une ligne dans certaines conditions exceptionnelles (niveau de consommation non pris en compte dans les études prévisionnelles, par exemple lors de période de grand froid) dépasse sa limite admissible (limite liées aux caractéristiques de l'ouvrage et à son environnement). En quelques minutes ou quelques secondes, suivant l'ampleur du dépassement d'intensité, un dispositif de protection met alors la ligne hors tension.

Le transit supporté auparavant par cette ligne va alors se reporter dans d'autres chemins électriques en raison du maillage²³ du réseau de transport, risquant à son tour de provoquer de nouvelles surcharges. C'est alors l'amorce d'un phénomène de cascade qui peut conduire à la mise hors tension de vastes zones du réseau. C'est ce qui s'est passé en France en décembre 1978, aux États-Unis sur la côte ouest en 1996 et 1999, sur la côte est en août 2003. Ce phénomène s'est également produit le 4 novembre 2006 où, vers 22h15, une partie de l'Europe s'est retrouvée sans électricité. A

²³ Maillage du réseau : mise en relation des réseaux électriques entre eux pour assurer les échanges d'énergie. Cf. Règle du N-1.

l'origine de ce phénomène, un incident sur le réseau de transport allemand a provoqué un déficit brutal entre la consommation et la production.

L'écroulement de la tension

Lorsque la consommation varie au cours du temps, la tension évolue. Elle baisse lorsque la consommation augmente et monte lorsque la consommation diminue.

Lorsque la tension commence à baisser dans une zone, les zones voisines sont affectées : leur tension baisse également. Des dispositifs de régulation existent mais ont une action limitée. A un certain niveau, ils ne peuvent plus enrayer la chute de tension et la propagation de l'incident. C'est l'effet « château de cartes ». En quelques minutes, une zone très vaste peut être affectée. La reprise du service qui conduit à retrouver une tension à sa valeur nominale prend en général plusieurs heures. Pour éviter une telle situation, RTE peut être contraint d'effectuer un délestage, c'est-à-dire une coupure maîtrisée d'une partie de la consommation.

L'écroulement de la fréquence

La fréquence correspond au nombre de cycles que fait le courant alternatif en une seconde (qui dépend de la vitesse de l'alternateur des centrales de production). Elle est en permanence homogène dans tout le réseau électrique.

Lorsqu'un réseau est dans une situation tendue du point de vue de l'équilibre production/consommation (niveau exceptionnel de la consommation, ou parc de production en partie indisponible), une baisse de fréquence peut se produire. En dessous d'un certain seuil, les groupes de production se déconnectent du réseau pour éviter d'être endommagés. La fréquence chute alors un peu plus, et de nouveaux groupes se séparent du réseau, accélérant le déséquilibre entre production et consommation, donc la chute de fréquence : c'est l'écroulement de fréquence. Le seul moyen de faire remonter la fréquence est alors de diminuer rapidement la consommation en ayant recours au délestage. C'est ce qui s'est passé en Italie en septembre 2003.

La rupture du synchronisme

Le synchronisme est le fonctionnement à la même fréquence de toutes les centrales interconnectées autour de 50 Hz en Europe. Dans un réseau électrique, cela revient à dire que toutes les centrales de production d'électricité connectées en Europe doivent fonctionner à la même fréquence. La rupture de synchronisme apparaît si une centrale ou un groupe de centrales fonctionne quelques secondes à une fréquence différente du reste du réseau après un court-circuit (en général dû à un coup de foudre ou un événement météorologique violent).

Dans ce cas, la zone désynchronisée est séparée du reste du réseau. Il y a un risque que cette zone soit mise hors tension si l'équilibre production/consommation n'y est pas respecté.

5.4.3 Qualité de l'alimentation électrique : un enjeu essentiel

La qualité d'alimentation délivrée par le réseau de transport est essentielle.

Face à des processus de production de plus en plus pointus, les entreprises sont extrêmement sensibles aux variations de la qualité de l'électricité. Les chutes de tension, les coupures ont un effet immédiat sur la production industrielle, qui se traduit par un préjudice financier direct, et sur le fonctionnement des technologies de l'information et de la communication. A titre d'exemple, un creux de tension (de 200 à 500 millièmes de secondes) peut provoquer dans l'industrie automobile un arrêt de production de plusieurs heures dans différents secteurs (emboutissage, peinture, tôlerie) et la mise au rebut des voitures en cours de traitement de peinture. Par conséquent, une zone où est

assurée une bonne qualité de l'électricité est susceptible davantage qu'une autre de favoriser le développement économique.

Malgré d'inévitables variations d'un point à un autre du réseau, RTE sous le contrôle de la commission de régulation de l'énergie, doit fournir à ses clients une électricité de qualité garantie en matière de nombre et temps de coupure, de forme de l'onde de tension et de courant.

5.4.4 Caractéristiques de la qualité d'alimentation

La continuité de l'alimentation

Des mises hors tension fortuites localisées, longues ou brèves selon la gravité de l'incident, peuvent intervenir sur un ouvrage de réseau. Selon la structure d'alimentation des points de livraison considérés, ces mises hors tension d'ouvrages peuvent n'avoir aucune incidence sur la continuité d'alimentation ou au contraire se traduire aux points de livraison par des coupures dites brèves, de durée supérieure à 1 seconde et inférieure à 3 minutes, et des coupures dites longues de durée supérieure ou égale à 3 minutes.

La qualité de l'onde de tension

La régularité de l'onde de tension sur les réseaux constitue une composante importante de la qualité d'alimentation. Les fluctuations de fréquence, les creux de tension, les fluctuations rapides de la tension, le déséquilibre constituent des perturbations de l'onde de tension.

La puissance d'un réseau électrique ressemble à bien d'autres puissances, par exemple à celle d'un fleuve : cette puissance en régime normal s'écoule dans le conducteur (ou dans le canal) et prodigue de nombreux services à ses utilisateurs. Mais en régime d'incident (par exemple claquage²⁴ de l'isolant en situation maximale de production pour le réseau électrique ou rupture d'une digue du fait de la crue d'un fleuve), ce flux n'est plus canalisé et libère brutalement des énergies considérables, qui peuvent être à l'origine de conséquences plus ou moins dangereuses pour la sécurité des personnes, des matériels ou des infrastructures. La notion caractéristique de ce phénomène est la puissance de court-circuit. On peut faire une analogie entre cette notion de puissance de court-circuit et le débit maximal qui s'écoulerait par la digue rompue dans le cas du fleuve. Autrement dit, la puissance de court-circuit est la puissance maximale susceptible de s'écouler par le point de rupture. La valeur des puissances de court-circuit dépend des moyens de production démarrés, ainsi que de la nature et de la topologie du réseau électrique.

Cette notion est importante pour maintenir une haute qualité de l'électricité car une puissance de court-circuit élevée traduit la capacité du réseau à atténuer les perturbations de l'onde de tension. En revanche, cela présente des contraintes d'exploitation et de dimensionnement pour RTE. En effet, si elle dépasse les valeurs limites de dimensionnement des matériels, un court-circuit ne pourrait pas être éliminé par les disjoncteurs du réseau. Les conséquences de ce court-circuit seraient alors aggravées pour le matériel du réseau (risque d'endommagement) et les consommateurs (perturbation plus longue). RTE calcule à l'avance les puissances de court-circuit du réseau et si besoin adopte un schéma d'exploitation particulier pour les limiter et éviter de tels dépassements, ou remplace les matériels qui le nécessitent.

5.4.5 Quels paramètres influent sur la qualité de l'alimentation électrique ?

Un ouvrage électrique est susceptible d'être le siège d'incidents qui émaillent l'exploitation au quotidien. Le plus souvent, ils ne se traduisent pas par des mises hors tension d'ouvrages pendant de longues durées (notamment grâce au fonctionnement de dispositifs de ré-enclenchement

²⁴ Détérioration irréversible de l'isolant d'un câble

automatiques), mais ils peuvent générer des imperfections de l'onde de tension (creux de tension...), dont des coupures complètes de l'alimentation pour des durées brèves (moins d'une seconde à quelques secondes).

Les principaux facteurs pouvant être à l'origine de ces perturbations sont :

- les aléas climatiques (orage, givre, neige collante, vents violents, températures excessives, etc.) qui peuvent endommager les installations ;
- certaines activités industrielles (four à arc, trains...) qui déséquilibrent les courants ou les tensions²⁵ ;
- des pannes de matériels du réseau ;
- des agressions externes (chutes d'arbres sur les lignes, accidents).

5.5 Engagements de RTE

5.5.1 Politique environnementale de RTE

Le 26 novembre 2008, RTE s'engageait officiellement dans Le respect et la protection durables de l'environnement.

L'électricité est vecteur de confort, de progrès et de développement économique et social pour tous. Le réseau électrique dans nos sociétés modernes est un lien indispensable entre les activités humaines. Indissociable d'un aménagement du territoire équilibré, il assure la sécurité de l'approvisionnement national et l'économie globale des moyens de production.

Fort de ces atouts majeurs, le réseau de transport d'électricité est un acteur déterminant du développement durable de notre société.

C'est pourquoi, RTE s'inscrit dans une démarche continue de maîtrise de ses impacts sur l'environnement, tout en préservant les intérêts économiques de tous les utilisateurs de l'électricité. Des objectifs concrets et des résultats précis traduisent son engagement.

o La préservation des milieux naturels et de la biodiversité

RTE s'assure de l'intégration de ses ouvrages et activités dans l'environnement naturel et sociétal, et contribue à maintenir la biodiversité des habitats et espèces concernées par ses ouvrages.

Cette préservation des paysages, des milieux naturels et urbanisés se traduit par :

- la réalisation en technique souterraine au moins 30 % des circuits HT à créer ou à renouveler,
- le choix préférentiel des liaisons souterraines,
- la limitation de la longueur totale des ouvrages aériens grâce à la dépose d'ouvrages aériens existants sur une longueur équivalente à celle des ouvrages aériens nouveaux et reconstruits,
- l'optimisation du réseau existant pour répondre aux besoins de transit et à l'exigence croissante de sûreté du système électrique,

²⁵ Le courant utilisé sur le réseau de transport est par nature triphasé. En régime normal, les courants qui circulent dans les trois phases sont équilibrés et les tensions entre phases sont identiques. Certaines activités industrielles n'utilisent qu'une ou deux des trois phases. Ceci entraîne un déséquilibre qui peut être ressenti comme une perturbation par d'autres consommateurs du réseau électrique. Le déséquilibre peut apparaître sur les courants (ce qui entraîne un échauffement anormal de certains moteurs de machines électriques), ou sur les tensions (ce qui entraîne une diminution de la puissance des moteurs électriques par réduction de leur couple).

- la durée de vie plus longue des ouvrages existants pour éviter la création de nouveaux ouvrages,
 - la recherche des tracés de moindre impact, en particulier par le regroupement des infrastructures avec d'autres aménagements dans les couloirs existants,
 - la limitation de l'incidence des travaux de construction par la maîtrise des impacts : préparation et planification des chantiers, modes opératoires spécifiques, réhabilitation des lieux après travaux,
 - l'intervention ponctuelle sur des ouvrages existants afin d'améliorer leur insertion environnementale (déviation, dissimulation, enfouissement ou suppression des tronçons) :
 - à l'occasion de projets de développement qui entraînent une réorganisation de ces réseaux,
 - dans un cadre conventionnel associant les collectivités.
- o La maîtrise des ressources et la prévention des pollutions

Par une juste maîtrise des ressources naturelles disponibles, RTE entend contribuer à la réduction de ses impacts environnementaux.

RTE veille à assurer une maîtrise opérationnelle de ses activités susceptibles de générer des pollutions, en formant de manière régulière son personnel, et par la mise en œuvre de dispositifs techniques adaptés.

Bien qu'ayant un faible impact sur l'environnement, les activités de RTE sont susceptibles de générer des pollutions accidentelles. Afin de réduire les conséquences de ces situations accidentelles, les agents de RTE sont formés et entraînés à faire face aux situations d'urgence environnementales.

- o La concertation et l'écoute

Pour développer et rénover son réseau, RTE a l'ambition de parvenir, par la concertation, à des solutions partagées par les acteurs impliqués.

Pour le réseau existant, RTE met en œuvre une écoute attentive des riverains, des associations et des institutions concernées, et vise ainsi à mieux satisfaire les attentes sociétales.

5.5.2 Amélioration continue

- o Par l'anticipation à travers la recherche et l'innovation

Pour mieux satisfaire, demain, les attentes en termes d'environnement, RTE promeut et soutient les actions de recherche. Il en est ainsi de la réduction des impacts sur les milieux naturels et les paysages, pour lesquels RTE est à l'initiative de recherches sur les techniques, les méthodes et les matériaux pour le transport de l'électricité.

De même, RTE soutient les études sur les effets éventuels des champs magnétiques 50 Hz sur la santé, et contribue à d'autres qui sont relatives à la faune et à la flore.

- Par son système de management

RTE est engagé dans une démarche d'amélioration continue qui s'appuie sur un système de management environnemental, conforme à l'ISO 14001. Ainsi, RTE affiche sa volonté :

- de former et de mobiliser son personnel à porter une attention permanente à l'environnement,
- d'inciter ses fournisseurs à une gestion environnementale de leurs produits et services,
- de considérer avec le même niveau d'exigence la réglementation environnementale et les protocoles ou accords dans lesquels RTE prend des engagements environnementaux,
- de réexaminer annuellement ses actions et objectifs en matière environnementale.

Les dirigeants de RTE impulsent et développent cette politique, et en vérifient les résultats dans la durée.

Au quotidien, chacun en est acteur dans son métier, et œuvre pour sa réussite.

RTE, porteur des valeurs de service public, outil au service des acteurs du marché européen de l'électricité, vise, par sa politique environnementale, à obtenir une reconnaissance d'excellence de ses clients, de ses partenaires et de ses concitoyens.

5.5.3 De multiples partenariats

- Avec la profession agricole

Depuis 1970, plusieurs accords ont été signés par EDF, l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA), la Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles (FNSEA) et le Syndicat des Entreprises de Génie Électrique (SERCE) pour évaluer les préjudices causés aux propriétaires et exploitants agricoles et fixer des barèmes d'indemnisation (actualisés chaque année).

Les derniers protocoles en vigueur dits "dommages permanents" et "dommages instantanés" datent du 20 décembre 2005.

Par ailleurs, une convention de partenariat entre l'APCA et RTE a été signée le 31 mars 2005, pour répondre au souhait de la profession agricole d'être mieux informée avant les travaux (entretien, peinture, élagage...). Elle fait l'objet d'une diffusion par RTE auprès de chaque Chambre Départementale d'Agriculture (CDA), d'un programme prévisionnel annuel des travaux et de la désignation d'un interlocuteur privilégié.

- Avec le Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CNPMEM)

Par cet accord signé le 11 décembre 2013, l'opérateur de réseau et les pêcheurs ont pour objectif de promouvoir le dialogue et de renforcer leur coopération, tant au niveau national que local, autour des nouveaux projets de raccordement électrique des installations d'énergies marines et de leur exploitation future.

5.5.4 Engagements de RTE à l'égard du public

- Le contrat de service public

Le contrat de service public signé le 24 octobre 2005 entre l'État, EDF et RTE pris en application de l'article 1er de la loi du 9 août 2004, apporte des garanties sur le maintien d'un haut niveau de service public de l'électricité en France, dans les domaines dont RTE a la responsabilité.

Il reprend dans son titre 3 les engagements environnementaux de RTE en vue d'assurer la pérennité des missions de service public que le législateur lui a confiées (cf. loi de février 2000, août 2004 et juillet 2005).

Ces engagements se déclinent dans deux domaines : la gestion du réseau public de transport et la sûreté du système électrique. En matière d'insertion environnementale du réseau de transport, les engagements pris par RTE sont dans la continuité des accords précédents. Les dispositions sont les suivantes :

- Renforcer et élargir la concertation,
- Protéger les paysages, les milieux naturels et urbanisés.

- Renforcer et élargir la concertation

Les projets de développement du réseau de transport d'électricité par nature, répondent aux ambitions de développement durable des territoires : attractivité démographique, compétitivité du tissu industriel, développement économique, protection de l'environnement...

La réglementation, et la volonté de bâtir des solutions techniques répondant aussi fidèlement que possible aux besoins d'un territoire, font de RTE un des principaux acteurs industriels de la participation du public en France. La concertation doit permettre de détecter des outils permettant une meilleure acceptabilité des projets par l'ensemble des parties prenantes ; ainsi sera possible l'atteinte des objectifs comme l'intégration des énergies renouvelables que la France et l'Europe se sont fixés.

- Pour développer le réseau :
 - en établissant des volets régionaux du schéma de développement.
- Pour définir et réaliser des projets :
 - en facilitant la participation des citoyens à la définition et à l'amélioration du projet ;
 - en améliorant l'information des populations concernées pour les projets qui entrent dans le champ du débat public ;
 - en définissant les meilleures dispositions d'insertion de l'ouvrage dans l'environnement ;
 - en mettant en place un Plan d'Accompagnement de Projet (PAP) pour toute création de ligne aérienne nouvelle, ce PAP permettant la mise en œuvre d'actions de réduction d'impacts du projet, d'amélioration de l'insertion des réseaux existants ou de développement économique local.

La contribution financière de RTE pour le PAP s'élève à 10% du coût d'investissement pour les lignes à 400 kV et à 8% pour les autres niveaux de tension.

Au moins la moitié du fonds est utilisée pour des actions concernant les communes traversées par l'ouvrage. Le reste peut être utilisé sur d'autres communes sous réserve d'un abondement des collectivités concernées de 50% (pour 1 € versé par RTE les partenaires financiers versent 1 €).

- Protéger les paysages, les milieux naturels et urbanisés

- En réalisant en technique souterraine au moins 30% des circuits haute tension créés ou renouvelés annuellement ;
- en recourant aux liaisons souterraines dans les conditions ci-après :
 - pour le 400 000 volts : son utilisation « est limitée aux situations exceptionnelles », du fait du coût de la mesure ;
 - pour le 225 000 volts : dans les « unités urbaines de plus de 50 000 habitants au sens de l'INSEE » pour les projets situés en dehors des couloirs de lignes existants ;
 - pour le 63 000 et le 90 000 volts, il sera préférentiellement fait recours à la technique souterraine dans les zones urbaines de plus de 50 000 habitants (au sens de l'INSEE), dans les zones d'habitats regroupés, dans les zones considérées comme prioritaires (ZICO, ZNIEFF, ZPPAUP, PNR, zones d'adhésion des parcs nationaux) et aux abords des postes sources.
- en n'accroissant pas la longueur totale des ouvrages aériens grâce à la dépose d'ouvrages aériens existants sur une longueur équivalente à celle des ouvrages aériens nouveaux et reconstruits ;
- en évitant la création de nouveaux ouvrages par l'optimisation des ouvrages existants et par la prolongation de la durée de vie des ouvrages existants ;
- en maîtrisant les impacts des travaux ;
- en intervenant ponctuellement sur des ouvrages existants afin d'améliorer leur insertion environnementale (déviation, dissimulation, enfouissement ou suppression de tronçons) à l'occasion de projets de développement ou par convention associant les collectivités.

