



Projet de parc éolien des Vents des Closiaux à Poligné (35)

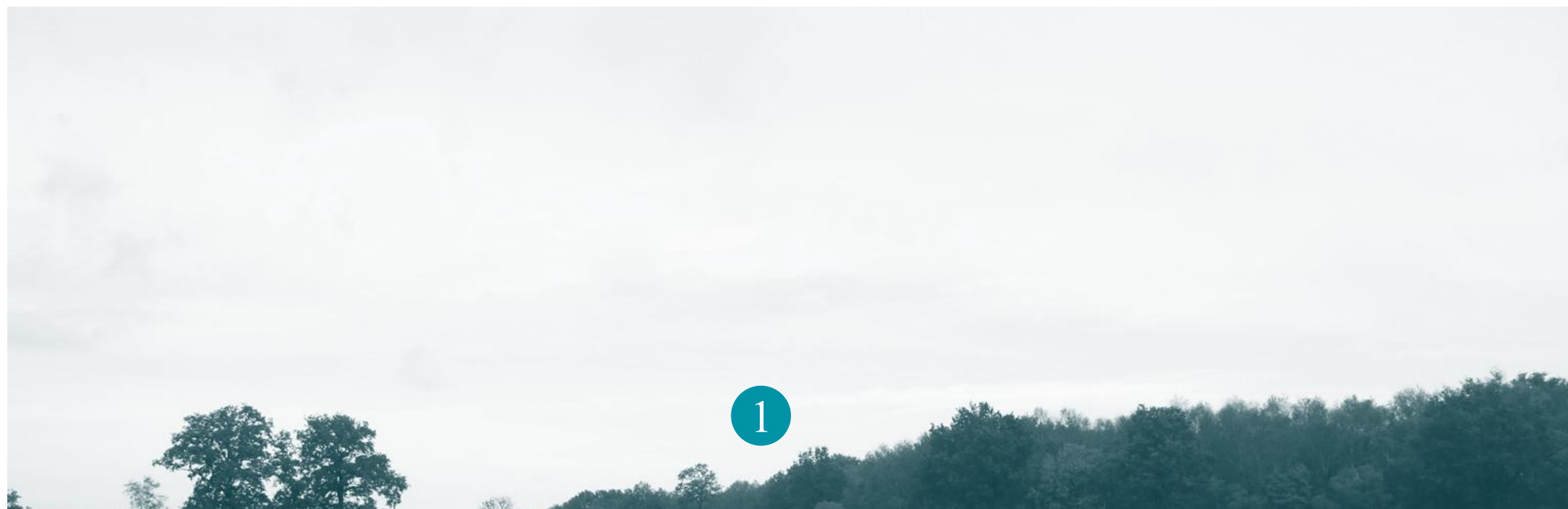
Renner Energies
Mai 2025

Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale

Description technique du projet

Sommaire

1	Description générale du projet de parc éolien	3
1.1	Localisation du projet	4
1.2	Principes de fonctionnement d'un aérogénérateur	6
1.3	Caractéristiques générales du parc éolien	6
1.4	Couleur et balisage lumineux des éoliennes	8
1.5	L'ancrage au sol des éoliennes	9
1.6	Les accès et les aires de travail	9
1.7	Le raccordement électrique : l'évacuation de l'électricité produite	12
1.8	Caractéristiques des éoliennes du projet des Vents des Closiaux	13
1.9	Modalités en phase chantier prévues du parc éolien	15
1.10	Modalités d'exploitation prévues du parc éolien	26
1.11	Moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident	31
1.12	La phase de démantèlement	31



Description générale du projet de parc éolien



1 Description générale du projet de parc éolien

1.1 Localisation du projet

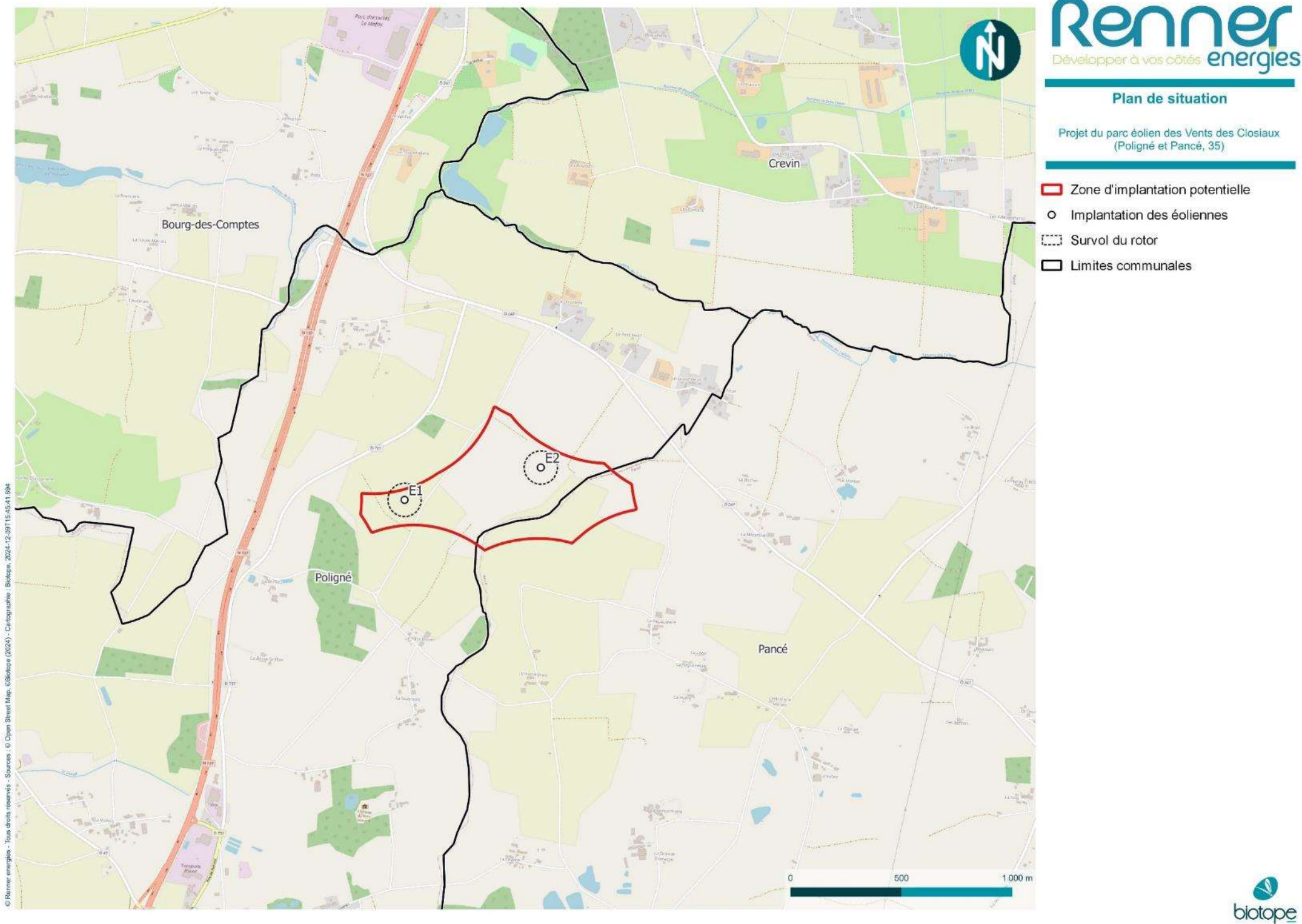
Le projet du parc éolien des vents des Closiaux est localisé sur la commune de Poligné, dans le département d'Ille-et-Vilaine, en région Bretagne. La zone d'implantation potentielle du projet est située à environ 2 km au nord du centre du bourg de Poligné et 3 km au nord de Pancé. Plusieurs voies structurantes se trouvent à proximité du parc : RD 247, RD 737 et RN 137.

Elle s'insère dans une matrice agricole parsemée de haies. Le parc éolien des Vents des Closiaux comportera 2 aérogénérateurs.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison du projet

Eolienne	Commune	Section	Parcelle	Coordonnées Lambert 93	
				X	Y
E1	Poligné	ZC	75	350878	6766622
E2	Poligné	ZC	35	351492	6766768
Poste de livraison E1	Poligné	ZC	75	350929	6766582
Poste de livraison E2	Poligné	ZC	35	351440	6766875

1 Description générale du projet de parc éolien



Carte 1 : Plan de situation du parc éolien des Vents des Closiaux

1 Description générale du projet de parc éolien

1.2 Principes de fonctionnement d'un aérogénérateur

Les instruments de mesure de vent placés au-dessus de la nacelle conditionnent le fonctionnement de l'éolienne. Grâce aux informations transmises par la girouette qui détermine la direction du vent, le rotor se positionnera pour être continuellement face au vent.

Dans le cas présent, les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ». L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 660 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique inter-éolienne. Ce réseau est relié au réseau électrique public au niveau du poste de livraison.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

- Le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent et n'offrent plus de portance ;
- Le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle.

1.3 Caractéristiques générales du parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de :

- De plusieurs **éoliennes** ;
- D'un **réseau de câbles électriques enterrés** assurant dans un premier temps le transfert de l'électricité produite par chaque aérogénérateur vers un ou plusieurs **postes de livraison** puis, son injection depuis le(s) poste(s) de livraison vers le réseau public ; couplé ou pas à un réseau de terre
- D'une/de sous-station/s ou de/s poste/s de livraison (cabine/s de tête)
- D'un **réseau de télécommunication, fibres optiques, enterré** permettant le contrôle et la supervision à distance du parc éolien ;
- D'un réseau de **chemins d'accès en terrains privés et/ou publics**.
- De zones temporaires utiles pendant la construction telles que : base de vie, zones de stockage, zones de manœuvre...

La figure suivante illustre le fonctionnement d'un parc éolien et la distribution électrique sur le réseau.

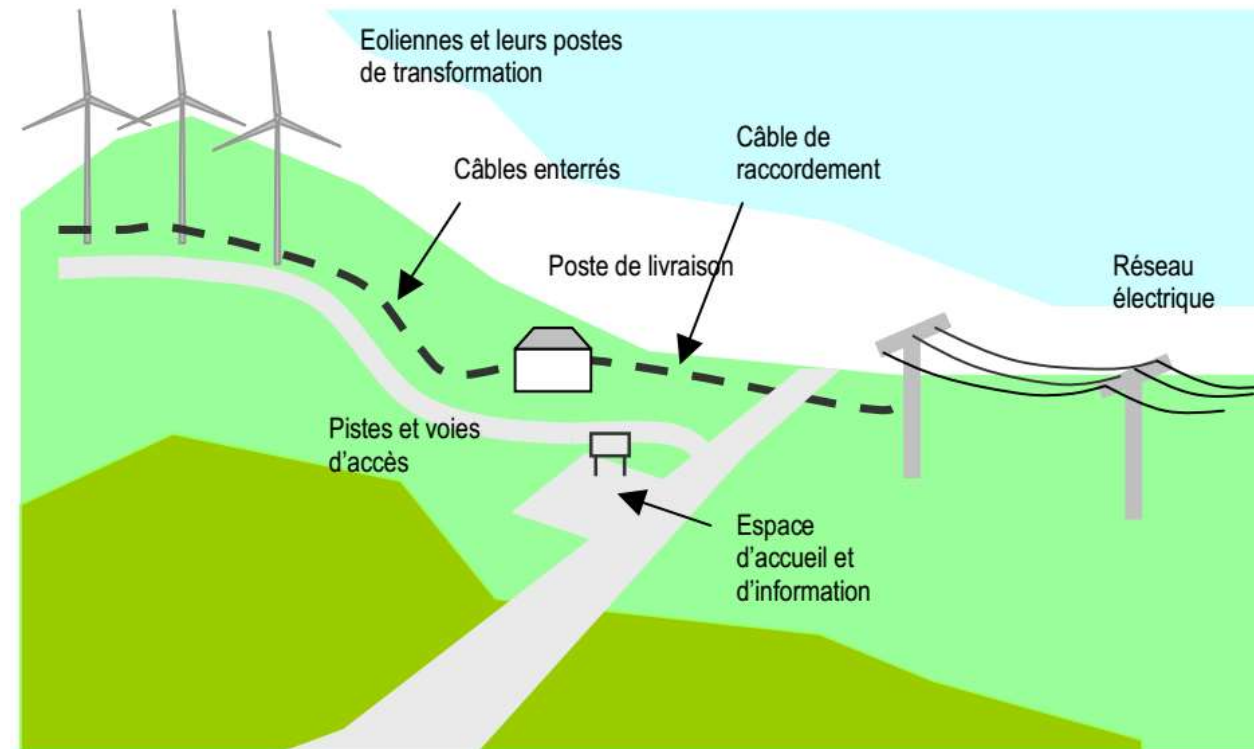


Figure 1. Schéma descriptif d'un parc éolien terrestre (rapports d'échelle non représentatifs) (Source : Ministère de l'environnement et du développement durable, Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens – Actualisation 2010)

Dans le cadre de ce projet, il est constitué de :

- Deux éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage ». L'aérogénérateur type a une **hauteur de mât de 125 mètres** et un diamètre **de rotor de 150 mètres**. **La hauteur totale en bout de pale est de 200 mètres**. Les aérogénérateurs, au sens du l'arrêté modifié du 26 août 2011, sont définis comme un « *dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur* ».

1 Description générale du projet de parc éolien

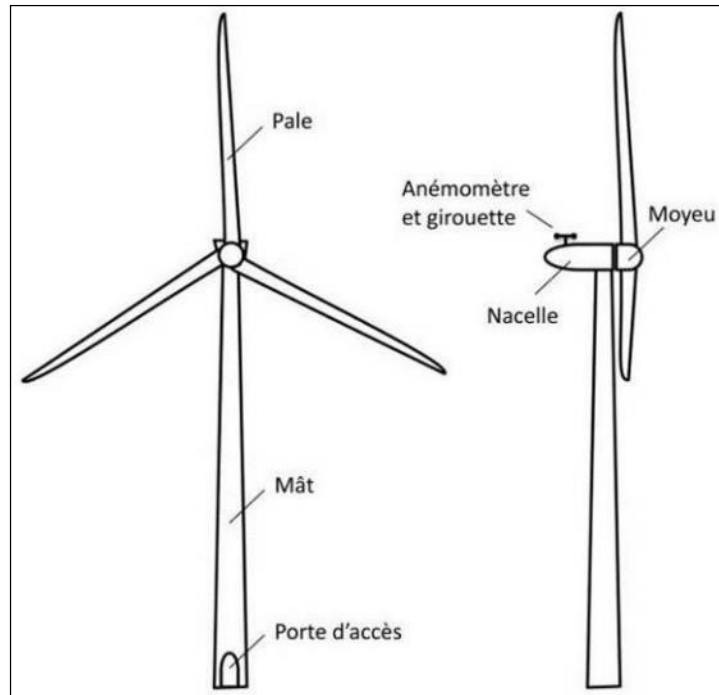


Figure 2 - composition d'une éolienne (source : Renner Energies)

L'éolienne sera équipée d'un rotor de 150 mètres de diamètre maximal constitué de 3 pales fixées au moyeu.

1.3.1 Les pales

Ces pales correspondent généralement à l'assemblage de deux coques sur un longeron de soutien ; elles sont habituellement composées de fibre de verre renforcée de résine époxy et de fibre de carbone. L'utilisation de ces matériaux permet de réduire le poids de ces structures. Les dimensions des pales de l'éolienne varient en fonction du rotor choisi et représentent environ la moitié du diamètre du rotor. Un système de captage de la foudre constitué de collecteurs métalliques associés à un câble électrique ou méplat situé à l'intérieur de la pale permet d'évacuer les courants de foudre vers le moyeu puis vers la tour, la fondation et enfin vers le sol.

1.3.2 Le moyeu

Le moyeu constitue la pièce centrale du rotor ; souvent réalisé en fonte monobloc, il renferme le système de contrôle d'angle de calage des pales "pitch system". L'inclinaison des pales s'ajuste à l'aide de vérins hydrauliques (1 par pale) permettant une diminution ou une augmentation de leur portance. Un système de contrôle (microprocesseur) permet de déterminer la meilleure position de celles-ci en fonction de la vitesse du vent et commande le système hydraulique afin d'exécuter le positionnement. Ce système permet donc de maximiser l'énergie absorbée par l'éolienne mais il fonctionne également comme le premier mécanisme de freinage en plaçant les pales "en position drapeau"; en cas de vents violents ou de toute autre raison nécessitant un arrêt de l'aérogénérateur. L'angle d'inclinaison des pales peut varier entre -5° et 95° .

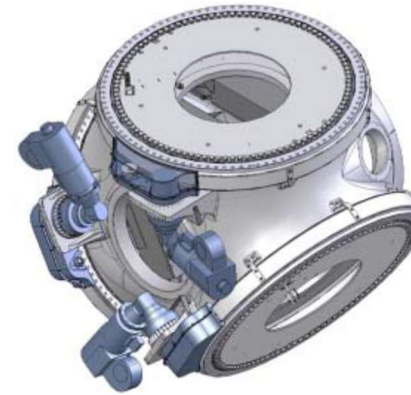


Figure 3. Exemple de moyeu

Le rotor de l'éolienne est solidaire de la nacelle grâce à un arbre cylindrique horizontal constituant le prolongement du moyeu. Cet arbre permet de transmettre le mouvement du rotor à la génératrice électrique (Cf. chapitre suivant).

1.3.3 La nacelle

L'enveloppe de la nacelle est généralement composée de fibre de verre. Son châssis métallique sert de support aux différents éléments qu'elle renferme dont les principaux sont : l'arbre de transmission, la génératrice, le multiplicateur, les armoires de commandes et le transformateur (ce dernier peut également se trouver dans le mât sur certains modèles d'éoliennes). Le toit est équipé de capteurs de vent (girouette et anémomètre) et de puits de lumière qui peuvent être ouverts depuis l'intérieur de la nacelle pour un accès au toit en cas de maintenance notamment.

Les principaux éléments présents dans la nacelle sont détaillés ci-après.

(a) Le multiplicateur

Pour produire une quantité suffisante d'électricité, la génératrice de l'éolienne, lorsqu'elle est asynchrone (Cf. chapitre suivant), a besoin de tourner à très grande vitesse. Pour ce faire, il est nécessaire de démultiplier la vitesse de rotation du rotor ; cette tâche est assurée par le multiplicateur (train d'engrenage) qui s'insère entre le rotor et la génératrice.

Le rotor transmet donc l'énergie du vent au multiplicateur via un arbre lent (une dizaine de tours/min) ; le multiplicateur va ensuite entraîner un arbre rapide qui est couplé à la génératrice électrique. Un frein à disque est monté directement sur l'arbre rapide, il permet de protéger la génératrice en cas d'emballement.

(b) La génératrice

Elle convertit l'énergie mécanique produite par la rotation du rotor en énergie électrique. Il existe deux grands types de génératrices :

- Les génératrices synchrones : ici, l'entraînement mécanique entre le rotor et la génératrice est direct. Ainsi, la fréquence du courant délivré par la génératrice varie proportionnellement à la vitesse de rotation du rotor. Cette variation de fréquence implique la présence d'un convertisseur en sortie de génératrice afin de stabiliser la fréquence à la valeur de référence du réseau de distribution national : 50 Hz. Le principal avantage des modèles synchrones est qu'ils demandent une maintenance limitée en raison d'un nombre réduit de pièces en rotation (pas de boîte de vitesse). Leur usure est également réduite ;
- Les génératrices asynchrones : ces modèles nécessitent de tourner à une certaine vitesse (plusieurs centaines de tours/minute) afin de produire du courant. L'entraînement mécanique est donc indirect en raison de la présence d'un multiplicateur entre le moyeu et la génératrice. Les modèles asynchrones ont pour avantage principal de produire directement un courant de fréquence stable adapté au réseau de distribution. Ils sont par ailleurs moins coûteux à l'achat du fait d'une technologie plus simple à mettre en œuvre.

1 Description générale du projet de parc éolien

Il est à noter qu'une gamme de génératrices synchrones équipées de multiplicateurs tend à se développer.

(c) Le transformateur

Le transformateur constitue l'élément électrique qui va élever la tension issue de la génératrice pour permettre l'injection sur réseau de distribution d'électricité. Il se situe dans une pièce séparée et verrouillée et des dispositifs parafoudre assurent sa protection. Il peut se trouver dans le mât selon les modèles.

(d) Le convertisseur

Il contrôle l'énergie convertie dans le générateur en assurant une puissance débitée continue dont la fréquence est indépendante de la vitesse de rotation du rotor.

(e) Le système auxiliaire

Il fournit l'électricité nécessaire au fonctionnement des différents moteurs, pompes, ventilateurs et appareils de chauffage ou de refroidissement de l'éolienne ; il se trouve dans les armoires de commande.

(f) Le système de refroidissement

Le refroidissement des principaux composants de la nacelle (multiplicateur, génératrice, convertisseur, groupe hydraulique, transformateur) se fait par le biais d'un circuit à liquide de refroidissement (mélange eau/glycol ou mélange eau/huile). De même, tous les autres systèmes produisant de la chaleur sont équipés de ventilateurs ou de refroidisseurs mais ils sont considérés comme des contributeurs mineurs à la thermodynamique de la nacelle.

1.3.4 Le mât

Le mât de l'éolienne se présente sous la forme d'une tour conique ou en sections acier, ou en sections de béton ou pouvant aussi comporter les 2 matériaux, constitué d'un nombre variable de sections (selon les modèles de machines). Il supporte l'ensemble nacelle + rotor.

L'accès au mât se fait par une porte verrouillable au pied de la tour. Le niveau d'accès au mât est dépendant du modèle d'éolienne installée (parfois proche du niveau de fondation, parfois via un escalier ou même à un niveau extérieur supérieur nécessitant une échelle avec système antichute). Dans le mât, il est possible de monter jusqu'à la nacelle avec un "ascenseur de service" (facultatif) ou via une échelle équipée d'un système antichute. On trouve une plateforme et un système d'éclairage de secours au niveau de chaque segment de la tour. Selon les modèles, il peut également abriter le transformateur si celui-ci ne se trouve pas dans la nacelle.

1.3.5 Les autres éléments électriques

Si la génératrice et le transformateur constituent les deux systèmes électriques principaux dans le fonctionnement des éoliennes, on retrouve d'autres éléments nécessaires à la production d'électricité :

- L'onduleur qui sert à transformer un courant continu en courant alternatif
- Un jeu de d'accumulateurs d'énergie qui assure l'alimentation des principaux composants en cas de panne
- Le système de commande qui correspond aux différents processeurs situés dans le rotor, dans la nacelle et en pied de mât ;
- Les câbles haute-tension allant de la nacelle au bas de la tour.

Différents capteurs peuvent aussi être installés sur le mât ou la nacelle, tel que pour le suivi avifaune, chiroptère, ombrage, sonore etc.

1.3.6 Lubrification et produits de maintenance

La présence de nombreux éléments mécaniques dans la nacelle et le moyeu implique un graissage au démarrage et en exploitation afin de réduire les différents frottements et l'usure entre deux pièces en contact et, en mouvement l'une par rapport à l'autre.

Les éléments chimiques et les lubrifiants utilisés dans les éoliennes implantées sur le site de Poligné seront certifiés selon la norme ISO 14001. Les principaux éléments chimiques rencontrés dans un aérogénérateur sont les suivants :

- Le liquide de refroidissement ;
- Les huiles de lubrification (palier principal, multiplicateur et génératrice) ;
- Les huiles mises sous pression par le système hydraulique ;
- Les graisses pour la lubrification des roulements ;
- Les divers agents nettoyeurs et produits chimiques pour la maintenance de l'éolienne.

L'étude de dangers, pièce constitutive du Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale, s'attache à analyser la dangerosité de ces produits.

1.3.7 Autres aménagements nécessaires à l'activité du parc éolien

De manière générale, plusieurs emprises au sol sont nécessaires pour la construction et l'exploitation des parcs éoliens :

- **La surface de chantier** est une surface temporaire, durant la phase de construction, destinée aux manœuvres des engins et au stockage au sol des éléments constitutifs des éoliennes. La fondation de l'éolienne est recouverte de terre végétale. Ses dimensions exactes sont calculées en fonction des aérogénérateurs et des propriétés du sol.
- **La zone de surplomb** ou de survol correspond à la surface au sol au-dessus de laquelle les pales sont situées, en considérant une rotation à 360° du rotor par rapport au centre de l'éolienne.
- **La plateforme** correspond à une surface permettant le positionnement de la grue destinée au montage et aux opérations de maintenance liées aux éoliennes. Sa taille varie en fonction des éoliennes choisies et de la configuration du site d'implantation.

Pour accéder à chaque aérogénérateur, des pistes d'accès sont aménagées pour permettre aux véhicules d'accéder aux éoliennes aussi bien pour les opérations de constructions du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien. Les chemins sont soit créés, soit reprennent les cheminements existants. Une partie des accès sont temporairement aménagés pour la phase chantier.

Durant la phase de construction et de démantèlement, les engins empruntent ces chemins pour acheminer les éléments constituant les éoliennes et de leurs annexes. Durant la phase d'exploitation, les chemins sont utilisés par des véhicules légers (maintenance régulière) ou par des engins permettant d'importantes opérations de maintenance (ex : changement de pale).

1.4 Couleur et balisage lumineux des éoliennes

Ces critères sont encadrés par l'annexe II de l'arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

1.4.1 La couleur des éoliennes

La couleur des éoliennes est définie par les quantités colorimétriques et le facteur de luminance. Dans le cas des éoliennes terrestres (cas du présent projet) :

- Les quantités colorimétriques sont limitées aux domaines du gris et du blanc ;
- Le facteur de luminance du gris est supérieur ou égal à 0,4 ; celui du blanc est supérieur ou égal à 0,75.
- Les références RAL utilisables par les constructeurs sont :
- Les nuances RAL 9003, 9010, 9016 et 9018 qui se situent dans le domaine blanc et qui ont un facteur de luminance supérieur ou égal à 0,75 ;
- - la nuance RAL 7035 qui se situe dans le domaine du gris et qui a un facteur de luminance supérieur ou égal à 0,5 mais strictement inférieur à 0,75 ;
- - la nuance RAL 7038 qui se situe dans le domaine du gris et qui a un facteur de luminance supérieur ou égal à 0,4 mais strictement inférieur à 0,5.

1 Description générale du projet de parc éolien

- La couleur choisie est appliquée uniformément sur l'ensemble des éléments constituant l'éolienne (tour, moyeu et pales). Dans le cas des aérogénérateurs du parc éolien Vents des Closiaux, le RAL n'est pas encore précisément connu au moment du dépôt du présent Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale, mais il sera conforme à la réglementation en vigueur.

1.4.2 Le balisage des éoliennes

Au regard de l'arrêté du 23 avril 2018 :

Le jour : chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux assuré par des feux d'obstacle moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]). Ces feux doivent être installés sur le sommet de la nacelle et doivent assurer la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°).

La nuit : chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux assuré par des feux d'obstacle moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 candelas). Ces feux doivent être installés sur le sommet de la nacelle et doivent assurer une visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°).

Passage du balisage lumineux de jour au balisage de nuit : le jour est caractérisé par une luminance de fond supérieure à 500 cd/m², le crépuscule est caractérisé par une luminance de fond comprise entre 50 cd/m² et 500 cd/m², et la nuit est caractérisée par une luminance de fond inférieure à 50 cd/m². Le balisage actif lors du crépuscule est le balisage de jour, le balisage de nuit est activé lorsque la luminance de fond est inférieure à 50 cd/m².

Les feux à éclats de même fréquence doivent être synchronisés entre eux pour un même parc éolien, à un rythme de 20 éclats par minute pour les installations terrestres non côtières (cas du présent projet).

Dans le cas d'une éolienne terrestre de hauteur totale supérieure à 150 mètres, le balisage par feux moyenne intensité est complété par des feux d'obstacles basse intensité de type B (rouges, fixes, 32 cd) installés sur le mât et opérationnels de jour comme de nuit. Ils doivent assurer la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°) et varieront en nombre et en position selon la hauteur totale de l'aérogénérateur :

- Si l'éolienne mesure entre 151 m et 200 m, elle sera équipée d'un seul niveau de feux implantés à 45 m de hauteur (ce qui est le cas pour le projet éolien Vents des Closiaux) ;
- Si l'éolienne mesure entre 201 m et 250 m, elle sera équipée de deux niveaux de feux implantés à 45 m et 90 m de hauteur.

Selon l'organisation des éoliennes d'un même parc (notion de "champ éolien"), **certaines adaptations du balisage sont possibles** afin de limiter la gêne des riverains. Ainsi, de jour et sous certaines conditions, il est possible de n'appliquer un balisage lumineux que sur les éoliennes dites "périphériques". De nuit, il est possible d'installer, sur les éoliennes dites "secondaires", un balisage fixe plutôt qu'à éclat ou des feux de moindre intensité (200 candelas au lieu de 2000). Les détails de ces adaptations sont consultables en annexe II de l'arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

Les feux de balisage font l'objet d'un certificat de conformité, délivré par le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), à moins que la conformité

1.5 L'ancrage au sol des éoliennes

Compte tenu de leurs dimensions et de leurs poids, les éoliennes sont fixées au sol par le biais de fondations en béton armé enterrées assurant la transmission dans le sol des efforts statiques et dynamiques générés par l'aérogénérateur.

Le type et le dimensionnement exacts des fondations seront déterminés en tenant compte des caractéristiques de l'éolienne, des conditions météorologiques générales du site et de la nature du terrain d'implantation qualifiée lors des études géotechniques menées en amont de la construction du parc. Un système constitué de tiges d'ancrage, disposé au centre du massif de la fondation appelé "cage d'ancrage", permet la fixation de la bride inférieure de la tour. La fondation est conçue pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2.

Les fondations du parc éolien Vents des Closiaux devraient être similaires à celles présentées sur le schéma ci-après, majoritairement de forme ronde dans l'ingénierie éolienne, d'environ 25 m de diamètre maximal. Ce diamètre sera défini suite à une étude géotechnique préparatoire. Un diamètre inférieur peut par exemple être obtenu avec un ferrailage plus important, l'utilisation de pieux ou de fondation dites « hors-sol ». On se reportera au chapitre « Incidences sur le milieu physique » pour en apprécier les impacts.

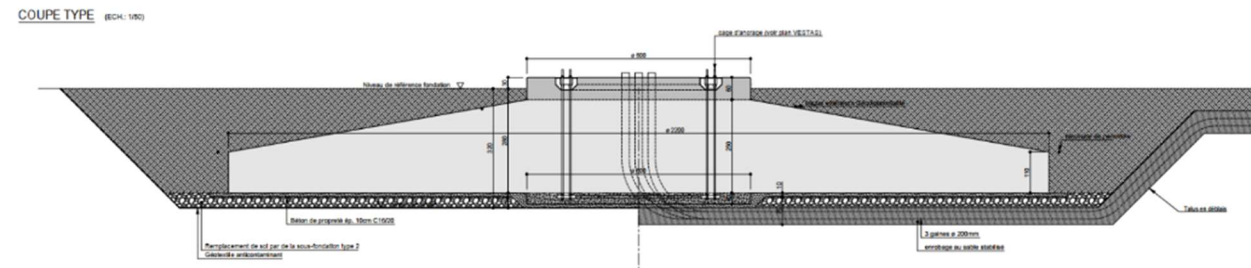


Figure 4 : Schéma type d'une fondation (source Renner Energies)



Photo 1: ferrailage terminé

Photo 2: fondation terminée

1.6 Les accès et les aires de travail

1.6.1 Les contraintes d'accès pour les convois

En amont de la construction, des études techniques et simulations de transport sont réalisées afin de choisir le bon tracé à suivre et de vérifier l'adéquation des contraintes du site vis-à-vis des dimensions des éléments constituant les

1 Description générale du projet de parc éolien

éoliennes à transporter. Ceci pour réaliser alors un design correct du réseau de chemins existants à renforcer et des nouveaux à construire.

Trois paramètres principaux doivent être pris en compte afin de finaliser l'accès au site :

- La charge des différents convois durant la phase de travaux ;
- L'encombrement des éléments à transporter (pales, tours et nacelles) pendant cette période ;
- La topographie du site dans son ensemble et du réseau de chemins existants et à mettre en place
- Concernant l'encombrement, ce sont les pales, vu leur très grande longueur, qui représentent la plus grosse contrainte. Leur transport est réalisé par convoi exceptionnel à l'aide de camions adaptés (tracteur et semi-remorque).

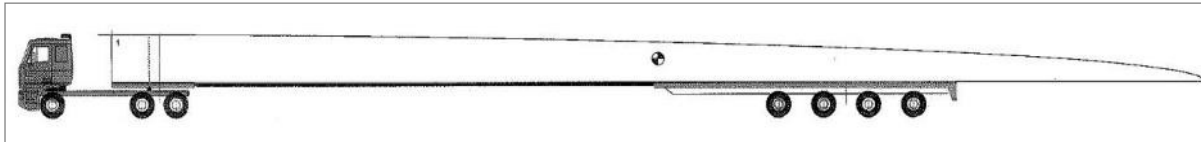


Figure 5 : Transport d'une pale

Lors du transport des éoliennes, le poids maximal à supporter est celui du transport des nacelles qui peuvent peser près de 100 t. Le poids total du véhicule chargé avec la nacelle peut alors atteindre jusqu'à 120 t.

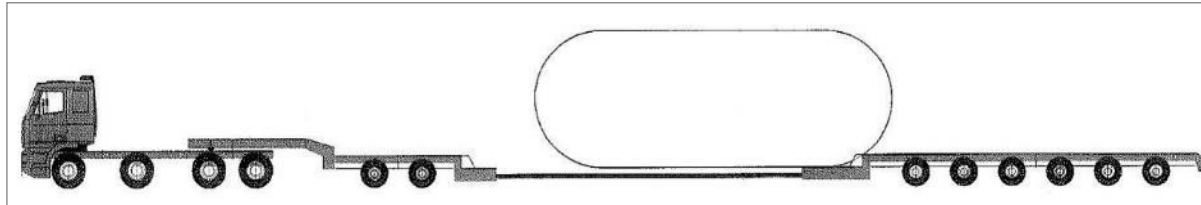


Figure 6 : Transport de la nacelle

Les différentes sections du mât sont généralement transportées une par une à l'aide d'une semi-remorque. La longueur totale de l'ensemble et sa masse sont variables selon la section transportée.

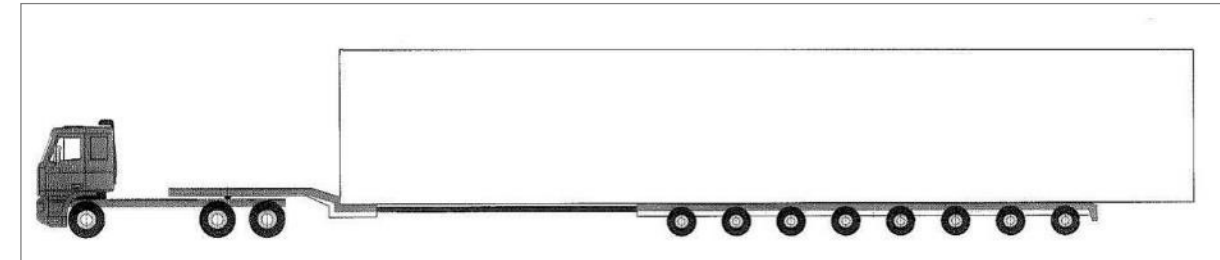


Figure 7 : Transport d'une section du mât

Certains autres équipements tels que les grues et autres engins spécifiques (par exemple : machine à pieux) peuvent aussi influencer sur les dessins du réseau de chemins et son dimensionnement.

1.6.2 Caractéristique des accès

Un réseau de pistes et de chemins existe déjà sur le site et sera utilisé pour le chantier. Plusieurs pistes seront néanmoins créées pour permettre la desserte de l'ensemble des éoliennes du parc éolien Vents des Closiaux. De plus, pour répondre à la charge et au gabarit des véhicules de transport, certains chemins existants seront renforcés et/ou élargis au démarrage du chantier. La largeur utile de la voie doit être en moyenne de 5 mètres avec un dégagement de part et d'autre.

Au cours de l'exploitation du parc éolien, les pistes créées et les élargissements de voies seront maintenus en l'état.

Certaines zones, dont des virages ou zones de manœuvres spécifiques seront aussi créées de façon temporaire ; ces dernières seront démontées et remises en état après la mise en service du parc éolien.

2 virages, d'une superficie cumulée maximale de 1 444 m², seront également créés afin d'offrir un rayon de courbure suffisant aux convois volumineux pour manœuvrer entre les chemins de desserte. Ils seront supprimés à l'issue de la phase chantier afin de rendre les surfaces à l'activité agricole.

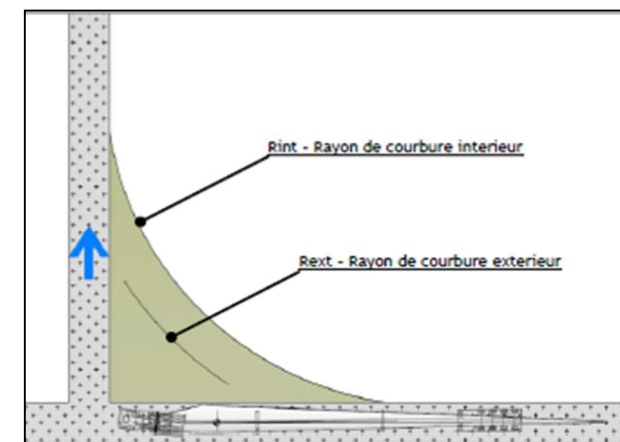


Figure 8 : Aménagement d'un virage

1 Description générale du projet de parc éolien

Le dimensionnement, réalisé en phase de pré-construction, des accès et virages devra assurer la stabilité des aménagements réalisés pour un usage sur toute la durée de vie du parc éolien. Il dépendra à la fois :

- Des contraintes inhérentes au site : nature, composition et résistance des couches de sol et de sous-sol en place, pente des terrains (topographie générale), conditions météorologiques (résistance au ruissellement, au gel, etc.), éléments spécifiques tels que ponts, lignes électriques aériennes, réseaux enterrés divers (gaz, eau, télécommunication, électrique...) ; spécifications locales et normes techniques en vigueur.
- Des contraintes du chantier : charge et nature des convois, intensité du trafic. Un cahier de spécifications techniques et d'ailleurs fournis par tous les turbiniers et est inhérents au modèle choisi pour le projet. Mais aussi du tracé du réseau électrique d'interconnexion de chaque éolienne avec le/les poste/s de livraison. Et enfin des plannings de livraison, d'installation et de mise en service.

Le dimensionnement structural n'est pas connu à ce stade de définition du projet ; Il sera calculé suite aux conclusions des études géotechniques et de calculs de stabilité qui sont réalisés en amont des travaux de construction.

La mise en place des aménagements de voiries se fait généralement de la manière suivante, et en ce qui concerne le domaine public, après prise en compte des prescriptions particulières des gestionnaires de voirie. Par exemple pour des nouvelles voiries :

- La couche supérieure, dite de terre végétale, est retroussée et stockée sur site dans un premier temps.
- Les couches de terres inférieures sont excavées afin d'atteindre un niveau jugé stable (appelé fond de forme) pour y construire le coffre défini et calculé pendant l'étude pour supporter le passage des convois et les contraintes météorologiques. Dans le cas de terrains vallonnés une partie de ces terres peut être utilisée pour mettre à niveau le fond de forme, technique appelée de déblais/remblais. Les matériaux extraits sont généralement remplacés par des couches de graves non traitées (GNT) compactées (cas le plus fréquent). Généralement au nombre de 2 ou 3 (de haut en bas : fondation et sous-fondation, éventuellement couche de forme), la granulométrie de ces couches sera plus fine en surface et elles seront perméables. Lorsque la pente des terrains atteint 7 à 10 %, un liant (de type bitume) est coulé afin d'assurer la cohésion de la voirie et surtout l'adhérence des véhicules de transport des composants éoliens. Les spécificités du milieu (zones humides à proximité, etc.) devront également être prises en compte dans le dimensionnement des accès (ouvrages de collecte des eaux de ruissellement, etc). L'excédent de terres excavées impropres à l'usage sur le site sera alors évacué vers un site autorisé.

Si aucun traitement chimique n'est prévu lors de l'étude pour le fond de forme alors une membrane géotextile perméable est mise en place entre le sol en place compacté et le complexe de coffre de voirie afin d'éviter la pollution de celui-ci et garantir une vie pérenne des voiries créées.

1.6.3 Cas particulier des voiries temporaires par plaques de répartition

Dans certaines situations, il est possible d'envisager la création de voiries ou virages temporaires en utilisant des plaques de roulage. Ces plaques répartissent uniformément la charge au sol, permettant le passage d'engins de chantier lourds sur tout type de sols, mêmes instables. Elles ne nécessitent pas d'excavation ou de remaniement de sol, ce qui peut être favorable dans des contextes particuliers, comme la présence de milieux humides.



Figure 9 : Plaques de répartition

1.6.4 Caractéristiques des plateformes nécessaires à la construction et à la maintenance des éoliennes

Afin de permettre l'assemblage des différents composants de l'éolienne, des aires spécifiques seront aménagées au pied de chaque éolienne. Ces plateformes, planes et stabilisées en restant perméables grâce à l'utilisation de GNT, auront pour principale vocation d'assurer le stationnement et le travail des grues de levage et de guidage des composants de la turbine ; elles permettront également le stockage avant montage de certains de ces composants ainsi que la manœuvre des engins les plus volumineux.

À l'instar des pistes d'accès et des virages, le traitement des plateformes dépendra de la portance du sol. Les études géotechniques et de résistance réalisées avant le démarrage du chantier détermineront plus en détail les modalités du traitement réalisé (épaisseur des couches, apport éventuel de liant sur certains secteurs, etc.).

Les emprises des plateformes s'étendront sur une superficie unitaire maximale de 2100 m². Certaines aires de levage peuvent avoir une configuration et un dimensionnement variables afin de faciliter leur accès et de permettre une meilleure cohérence dans le découpage et l'exploitation des parcelles agricoles concernées ; ce n'est cependant pas le cas pour le projet Vents des Closiaux.

Les plateformes peuvent être conservées tout au long de l'exploitation du parc afin de permettre une intervention rapide en cas d'opération nécessitant le stockage d'éléments volumineux et la mise en place d'une grue (changement de pale par exemple), quand les conditions le permettent (éolienne E1). La composition et méthodologie de construction est semblable à celle décrite pour les pistes d'accès au point précédent.

Pour l'éolienne E2, afin d'éviter l'impact sur les zones humides, la superficie de l'aire de grutage a été réduite au strict minimum et sera démontée après la mise en service de l'éolienne. Afin de soutenir le poids de la grue principale cette aire doit être construite en GNT, isolées du sol par un géotextile. A l'issu du chantier, les GNT seront retirées puis la surface pourra retrouver sa fonction de terre agricole. Une aire de stockage temporaire des éléments de mat en attente d'installation sera quant-à-elle réalisée à partir de plaques de répartition, évoquées précédemment

1.6.5 Caractéristiques des zones de stockage temporaires et de la base vie

Des aires de stockage temporaires, implantées le long des plateformes de levage, seront nécessaires pour entreposer les différents éléments constitutifs des éoliennes avant leur installation. De forme rectangulaire en général, elles doivent être suffisamment planes et stabilisées ; certaines, où des éléments lourds peuvent être entreposés, seront composées de GNT selon les mêmes modalités de construction que les accès permanents et d'autres comme pour le stockage de pales ne nécessiteront pas de traitement spécifique. Ces surfaces seront restituées à leur usage d'origine une fois le chantier terminé. C'est pourquoi les terres déplacées pour ces zones temporaires sont toujours stockées au droit de leur construction. Une des raisons majeures de la mise en place de ces zones temporaires est le travail en toute sécurité en ayant les surfaces utiles pour stocker, manœuvrer les éléments à installer.

Par ailleurs, quelle que soit la durée du chantier, le maître d'ouvrage est tenu de mettre à disposition une base vie pour l'hygiène, la santé et le bien-être du personnel. La zone de la base vie devra être plane, stabilisée de la même manière que les autres zones construites en GNT mais avec moins de contraintes de charges et facilement accessible ; elle sera constituée de bungalows (vestiaires, outillages, bureaux), de sanitaires autonomes, de places de parkings pour

1 Description générale du projet de parc éolien

les véhicules personnels des intervenants et sera alimentée par un groupe électrogène et bénéficiera d'une connexion internet par antenne parabolique si possible et d'un accès à l'eau via des containers adaptés (voir plus bas). Sa localisation est prévue sur l'aire de stockage temporaire unique (voir ci-après).

Cas particulier de la zone de stockage temporaire unique

Dans certaines situations, il est possible de créer une seule zone de stockage temporaire centrale et éviter la multiplication d'emprises temporaires autour des éoliennes. Dans ce cas, le stockage central permet d'accueillir les éléments de plusieurs éoliennes, notamment s'ils ne peuvent pas être livrés en « juste à temps » depuis les sites de production. Cette solution a pour avantage de limiter l'emprise au sol au niveau des éoliennes (pour éviter le remaniement du sol de milieux naturels à enjeu par exemple) et de limiter la durée d'immobilisation de la grue sur le chantier (le stockage central permettant de créer une zone tampon pour la livraison). Le chantier devient moins dépendant des délais de livraison et des conditions météorologiques pour le levage.



Figure 10 : zone de stockage temporaire centrale (source Vestas)

1.7 Le raccordement électrique : l'évacuation de l'électricité produite

Le transformateur présent dans chaque éolienne élèvera la tension produite par les génératrices à la tension requise pour le transport et la vente (20 000 volts en général).

Cette électricité sera acheminée vers un poste de livraison implanté sur le parc via le **réseau de câbles inter-éolien**. Elle est ensuite livrée au Réseau Public de Distribution (RPD) par l'intermédiaire d'un **poste source**. Le raccordement entre le poste de livraison et le poste source est assuré par le gestionnaire de réseau de distribution d'électricité local ; il relève du domaine public et ne concerne pas la présente demande d'autorisation environnementale.

La figure suivante présente le principe de raccordement électrique d'un parc éolien :

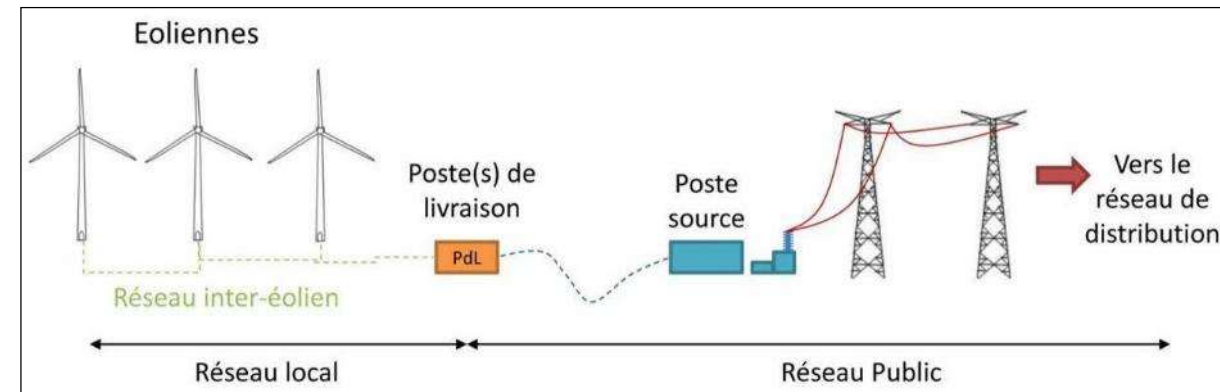


Figure 11 : Principe de raccordement électrique d'une installation éolienne (Source : Ineris)

1.7.1 Le réseau inter-éolien

Le réseau électrique inter-éolien permet de transférer l'électricité produite par chaque éolienne au poste de livraison du parc. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication (fibre optique) qui assure la communication entre chaque aérogénérateur et le terminal de télésurveillance. L'ensemble des câbles constitue le réseau inter-éolien ; ils seront souterrains et enfouis dans des tranchées profondes de minimum 1.20 m de moyenne et dont la largeur pourra varier selon le nombre de câbles enfouis. En fond de tranchée, et si l'étude électrique le demande, un câble de terre sera installé. Les câbles seront enfouis dans une couche sable autocompactant stable de type poussier. Au-dessus des câbles installés un ruban de protection contre le poinçonnement ainsi qu'un grillage avertisseur sont installés pendant le remblayage des tranchées, celui-ci réalisé avec les terres provenant des excavations si ces dernières ne présentent aucun risque de poinçonnement et si elles sont de nature à être correctement compactées, ceci est défini dans la mission géologique préalable au chantier. En cas de franchissement de canalisations existantes, le passage des câbles sera réalisé selon les prescriptions du gestionnaire du réseau concerné. Dans certains cas complexes ou pour des raisons de sécurité, certains tronçons sont réalisés par fonçage ou forage dirigés.

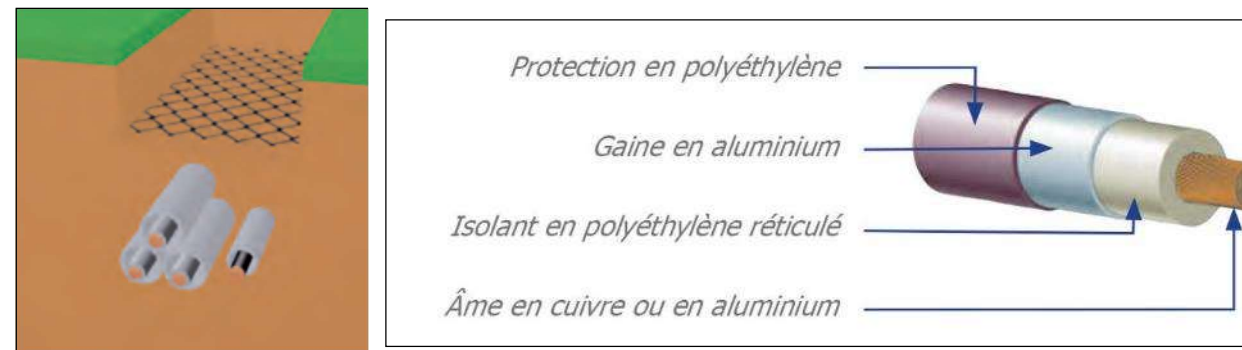


Figure 12 : Principe d'enfouissement et coupe d'un câble de raccordement souterrain (source : RTE)

1.7.2 Le poste de livraison

Les postes de livraison matérialisent le point de raccordement d'un parc éolien au réseau public d'électricité. Ils servent d'interface entre le réseau électrique en provenance des éoliennes et celui d'évacuation de l'électricité vers le réseau de distribution d'électricité.

Compte tenu de la puissance du parc de Vents des Closiaux (12 MW maximal), 2 postes seront nécessaires pour évacuer l'électricité produite.

Les postes de livraison doivent être accessibles en voiture/camionnette de service pour la maintenance et l'entretien. Ils seront placés sur l'aire de grutage de chaque éolienne.

1 Description générale du projet de parc éolien

Une attention particulière sera portée sur l'intégration paysagère du poste de livraison en fonction du contexte local (topographie, hydrologie, végétation, architecture des bâtis...).

Des panneaux indicateurs réglementaires avertissant le public de la nature de cette construction et des dangers électriques présents à l'intérieur seront apposés sur la porte d'accès.

1.7.3 Le raccordement électrique externe

Le réseau électrique externe relie le poste de livraison avec le poste source, point de raccordement avec le réseau public de distribution (RPD) d'électricité. Ce réseau externe est réalisé par le gestionnaire du réseau public de distribution (RPD) local ; Il est lui aussi entièrement enterré.

Sur le plan technique, le raccordement au poste source se fera par des liaisons souterraines à 20 000 volts. Le tracé de ces liaisons, implantées dans une tranchée commune, empruntera au maximum les routes et chemins existants. Comme indiqué précédemment, le maître d'ouvrage de ce raccordement ne sera pas le pétitionnaire mais le gestionnaire de réseau de distribution d'électricité local. Le coût du raccordement est néanmoins à la charge de l'exploitant du parc éolien. La construction des lignes électriques souterraines à 20 000 volts se fera conformément aux dispositions de l'article R.323-25 du code de l'énergie.

Le tracé du raccordement au réseau ne peut être connu qu'à l'issue de l'obtention de l'ensemble des autorisations administratives du projet (procédures de raccordement ENEDIS / RTE). Trois scénarios de raccordement sont étudiés à ce jour.

1.8 Caractéristiques des éoliennes du projet des Vents des Closiaux

Concernant le projet éolien des Vents des Closiaux, le choix a été de retenir un gabarit plutôt qu'un modèle, dont les caractéristiques maximisant sont présentées ci-après.

Tableau 2: Principales caractéristiques techniques du modèle d'éolienne

Caractéristique du gabarit enveloppe type	
Longueur maximale d'une pale	75 m
Chorde maximale d'une pale	4,5 m
Largeur de la base de la pale	3 m
Hauteur du moyeu	125 m
Diamètre à la base du mât	6 m
Diamètre maximal du rotor envisagé	150 m

Il sera ainsi composé de deux aérogénérateurs avec une hauteur au moyeu de 125 mètres au-dessus du terrain naturel et un diamètre de rotor de 150 mètres. La hauteur en bout de pale est de 200 mètres par rapport au niveau du terrain naturel.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs, avec les altitudes en bout de pale pour chaque éolienne.

Tableau 3 : Localisation et dimensions des éoliennes

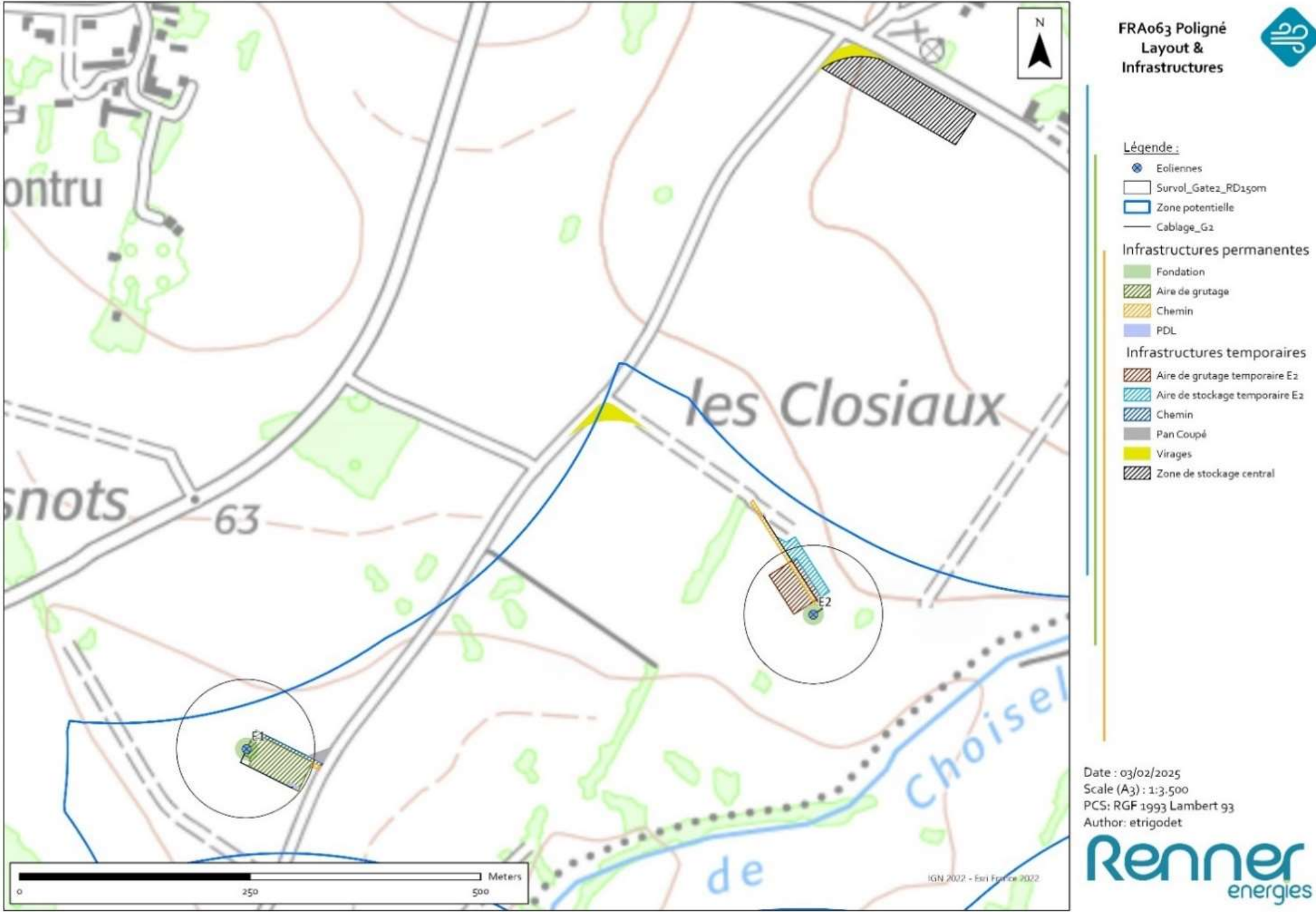
Eolienne	Coordonnées (L93)		Niveau du terrain naturel	Dimensions du gabarit (m)	Altitude en bout de pale
	X	Y			
E1	350878	6766622	58 m NGF	Hauteur du mât au moyeu : 125 m	258 m NGF
E2	351492	6766768	57 m NGF		257 m NGF

Les deux aérogénérateurs du parc sont implantés sur des parcelles cultivées. La distance inter-éoliennes est de 632 m.

Le parc éolien des Vents des Closiaux se compose aussi d'emprises temporaires et permanentes nécessaires au fonctionnement de l'installation. Ces emprises sont détaillées dans le tableau ci-après :

Eoliennes	E1	E2
Parcelle	ZC 75	ZC 35
Emprises permanentes artificialisées (3 630 m²)		
Plateforme permanente	2 104 m²	-
Fondation superficielle	491 m²	414 m²
Accès permanent (aménagé)	46 m²	523 m²
Postes de livraison	36 m²	16 m²
Survol du rotor		
Emprise au sol survolée par le rotor	17 663 m²	17 663 m²
Emprises temporaires, uniquement en phase travaux (10 478 m²)		
Plateforme temporaire	-	1 529 m²
Aire de stockage temporaire et base vie	6 055 m²	
Virages temporaires	1 444 m²	
Chemin d'accès temporaires	1 242 m²	
Pan coupé temporaire	208 m²	

1 Description générale du projet de parc éolien



Carte 2 : Plan de masse du projet des Vents des Closiaux en phase construction (Source : Renner Energies, 2025)

1 Description générale du projet de parc éolien

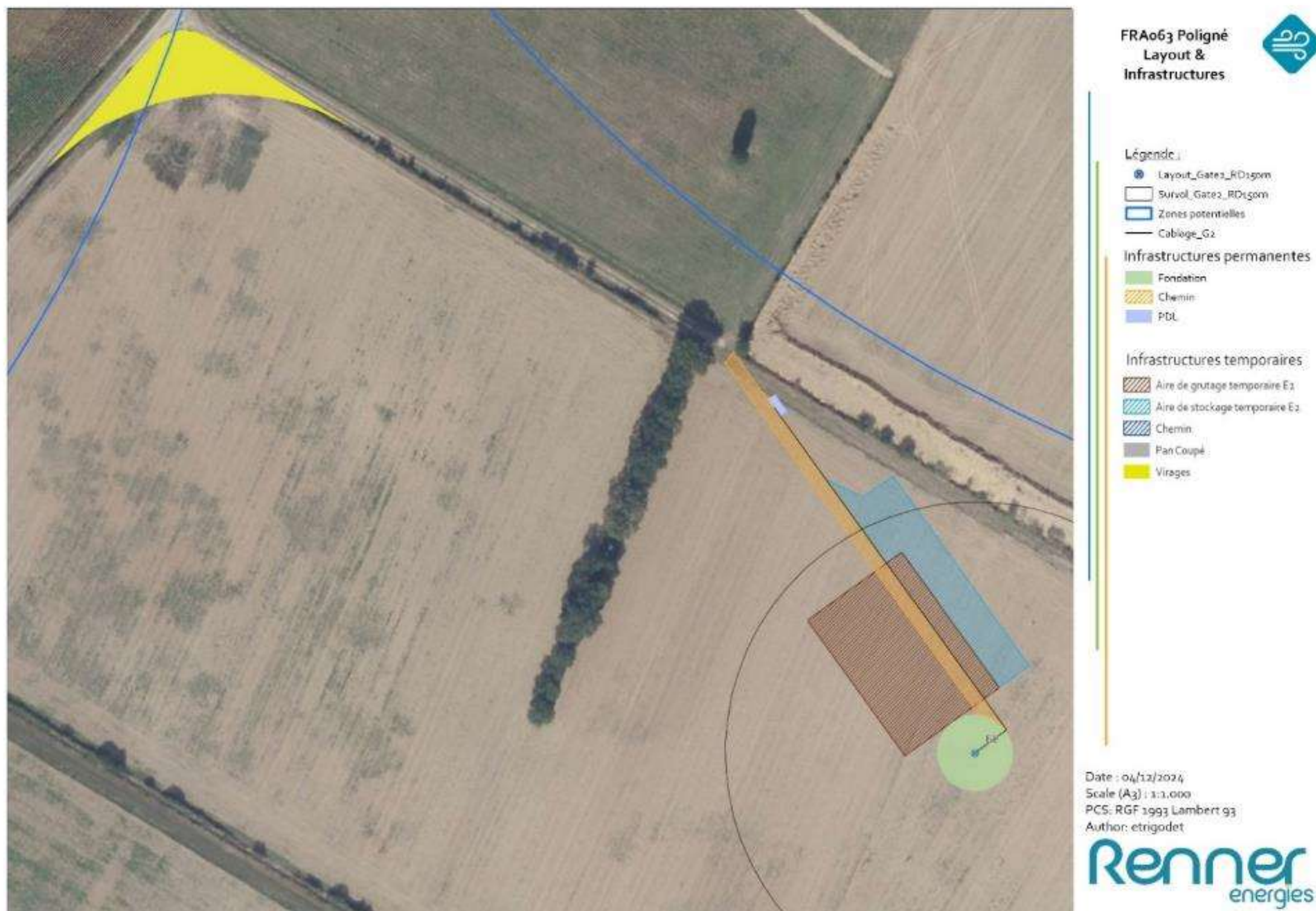
1.9 Modalités en phase chantier prévues du parc éolien

Les cartes suivantes présentent les aménagements du chantier de construction du parc éolien Vents des Closiaux.



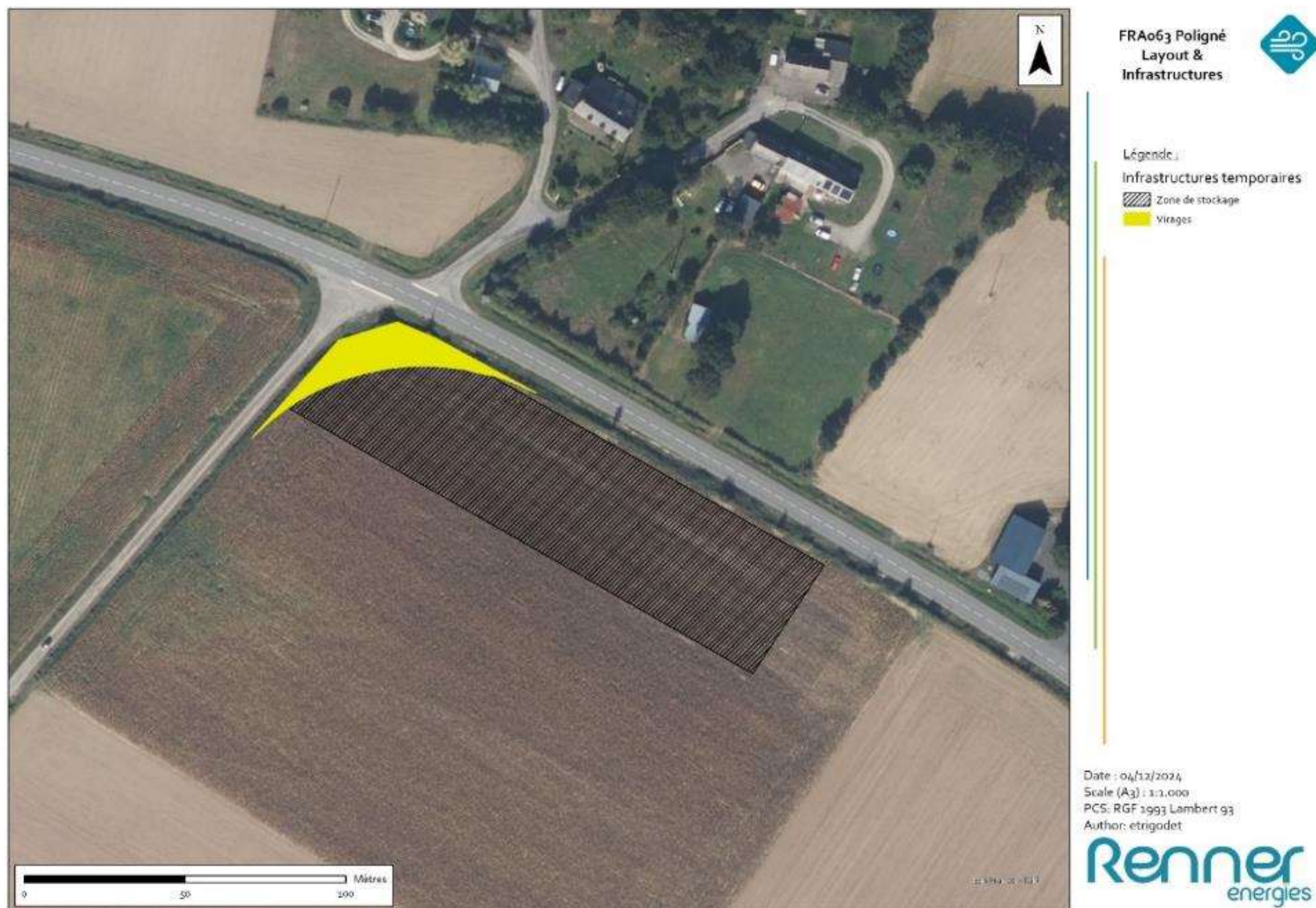
Carte 3 : Plan des aménagements liés à l'éolienne E1 en phase construction (Source : Renner Energies, 2025)

1 Description générale du projet de parc éolien



Carte 4 : Plan des aménagements liés à l'éolienne E2 en phase construction (Source : Renner Energies, 2025)

1 Description générale du projet de parc éolien



Carte 5 : Virage temporaire et plateforme de stockage en phase de construction (Source : Renner Energies, 2025)

1 Description générale du projet de parc éolien

1.9.1 Les conditions d'accès au chantier

Transport des composants des éoliennes et accès au chantier

La provenance des éléments constitutifs des aérogénérateurs dépend de leur site de production : celui-ci variera en effet selon les composants considérés.

Dans tous les cas, ces composants sont acheminés jusqu'au site du chantier par convois exceptionnels. **Le choix de l'itinéraire n'est effectué qu'une fois l'autorisation environnementale obtenue** et il fait l'objet d'une expertise technique fine (visites de site, simulations virtuelles...) en concertation avec les gestionnaires de routes tels que les Directions Interdépartementales des Routes, les Conseils Départementaux, les Directions Départementales des Territoires (et de la Mer), etc. Et en faisant toutes les demandes de permis et autres autorisations auprès de toutes ces entités compétentes.

La desserte du chantier

L'organisation de la desserte du chantier repose sur le principe de minimisation de la création des chemins d'accès par une utilisation maximale des chemins existants (chemins ruraux ou communaux). Elle s'appuie également sur :

- La volonté de réduire autant que possible la destruction des habitats naturels identifiés ;
- L'objectif de limiter les atteintes aux activités agricoles par effet de fragmentation des parcelles cultivées ;
- Les disponibilités foncières (la largeur de l'assiette du domaine public vis-à-vis des normes techniques des différents charrois (gabarits, surface utile, topographie)

Une fois les convois arrivés sur le site du chantier depuis la RN137 puis la RD247, l'accès individuel à chaque éolienne est détaillé dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Desserte du chantier

Aménagement	Accès	Commentaire
Stockage temporaire central	Cette zone est située au carrefour de la RD247 et de la voie communale n°11	Afin de faciliter l'accès au site, cette zone permettra également la giration des convois volumineux. Elle abritera également la base vie.
Eolienne 1 (E1)	Par la voie communale n°11 depuis le stockage central. La route communale desservira la piste d'accès à E1, située directement à l'ouest de la route.	Un pan coupé temporaire sera aménagé afin d'offrir un rayon de courbure suffisant pour les convois volumineux. Une piste temporaire longera la plateforme pour permettre le déchargement des pales.
Eolienne 2 (E2)	Par la voie communale n°11 depuis le stockage central, puis le chemin d'exploitation n°203	Une piste d'accès sera aménagée sur 70 m entre le chemin d'exploitation et la plateforme de E2. Un pan coupé et une piste temporaire permettront l'arrivée des convois et le déchargement des pales.

La carte en page précédente permet de visualiser la desserte du chantier.

1.9.2 Les étapes du chantier

La construction d'un parc éolien implique la réalisation de travaux faisant appel à différentes spécialités :

- Les entreprises de Voiries et Réseaux Divers (VRD) pour la réalisation des accès (pistes, plateformes, gestion des réseaux divers) ;
- Les entreprises de Génie Civil pour les fondations (excavation, ferrailage, coulage du béton) et éventuels ouvrages d'art ;
- Les entreprises de Génie Electrique pour la réalisation des réseaux internes, les raccordements et la pose du poste de livraison ;
- Les entreprises spécialistes du transport et du levage pour le montage des éoliennes ;
- Les entreprises en signalisation de chantier temporaire ;

- Les bureaux d'études divers (Architecte, Ingénieurs, Coordinateur sécurité et santé, Experts techniques dans différents domaines, etc.).

Le chantier de construction s'étendra sur une période d'environ 9 à 12 mois incluant les arrêts inhérents au calendrier naturaliste (période(s) d'hivernage et/ou de reproduction) et aux éventuelles contraintes climatiques. Plusieurs phases se succèdent depuis la préparation du chantier à la mise en service du parc éolien.

Tableau 5 : Phasage du chantier de construction

Principaux types de travaux	
Préparation du chantier - VRD	Installations temporaires de chantier (base vie notamment) et installation de la signalisation
	Terrassement/nivellement des accès et des aires de chantier (éoliennes, plateformes)
	Réalisation des pistes d'accès et des plateformes permanents destinés au stockage et levage des éoliennes, réalisation des zones temporaires diverses ainsi que le renforcement et/ou élargissement (même temporaire) des voies existantes.
Raccordement électrique	Réalisation des tranchées et pose des câbles électriques
Réalisation des fondations	Réalisation des excavations, incluant la pose des conduites en attente pour les entrées des câbles et réseaux
	Préparation du fond de fouille et mise en place du coffrage et ferrailage de la fondation et de la partie de liaison avec le mât (anchor cage)
	Coulage du béton (dont un mois de séchage)
Levage des éoliennes	Décoffrage de la fondation, mise en place de la mise à la terre et remblais jusqu'au niveau de plateforme
	Montage de la grue sur la plateforme de levage et de son bras dans le prolongement
	Acheminement et stockage des éléments de l'éolienne au droit et/ou autour de la plateforme de levage
Installation du poste de livraison	Montages des différents éléments (sections de mât, nacelle, pales)
	Excavation du puits de fondation, réalisation de la surface de support et du drainage périphérique
	Préparation d'une zone de grutage temporaire pour le levage du poste de livraison, acheminement et livraison sur le site
	Levage et installation des différents composants du poste (installation du corps de la cabine, installation des éléments électriques (cellulage), installation de la toiture).
	Placement des étanchéités et insertion des câbles d'énergie et de télécommunication intra-parc, raccordements externes (réseau et télécommunications)
Phases de test	Remblai périphérique de la fouille et création de la couche de finition gravier
	Raccordements électriques des éoliennes et contrôle du bon fonctionnement du parc, phases de tests de fonctionnement intra-parc et externe avec le réseau, vérification technique (mécanique et électrique) de toutes les installations par des experts externes et mise en service en cascade ou par secteurs en fonction du nombre de machines installées
Remise en état du site	Démantèlement de la base vie et de toutes les zones temporaires, remise en état du sol et de toutes autres zones temporaires comme à l'origine

Les principales étapes du chantier sont présentées ci-après.

1 Description générale du projet de parc éolien

1. L'installation de la base vie et de la signalétique

Description

L'installation d'une base vie est un préalable à l'ouverture du chantier. Elle apportera toutes les commodités notamment aux entrepreneurs et leurs sous-traitants (réfectoires, sanitaires (douches, toilettes), vestiaires, etc.) et à la bonne conduite du chantier (salle de réunion, poste de premiers secours, bennes de collecte des déchets, etc.). La zone de la base vie sera plane, stabilisée, sécurisée et facilement accessible. Dans certain cas et certaine configuration plusieurs bases de vie peuvent être préparées.

Une seule base vie est prévue pour la construction du parc éolien de Vents des Closiaux. Son emplacement est prévu sur l'aire de stockage unique temporaire à l'entrée du site. Plusieurs critères ont déterminé sa localisation :

- une position centrale vis-à-vis du chantier ; (avec une disponibilité foncière)
- l'évitement de toutes zones environnementales sensibles (périmètre de protection de captage, boisements, zone à fort risque de remontée de nappe, etc.) ;
- les possibilités d'adduction en eau potable, électricité et ligne téléphonique à proximité (dans l'ordre de priorité) ;
- un site facile d'accès, pour les véhicules ainsi que les poids lourds.

La signalétique sera également installée. Il peut s'agir de : limitation de vitesse, panneaux d'orientation sur le chantier, mise en défense de zones sensibles (préservation de l'environnement), etc.

Illustrations



Exemples de bases vie

2. La pose du raccordement électrique inter-éolien

Description

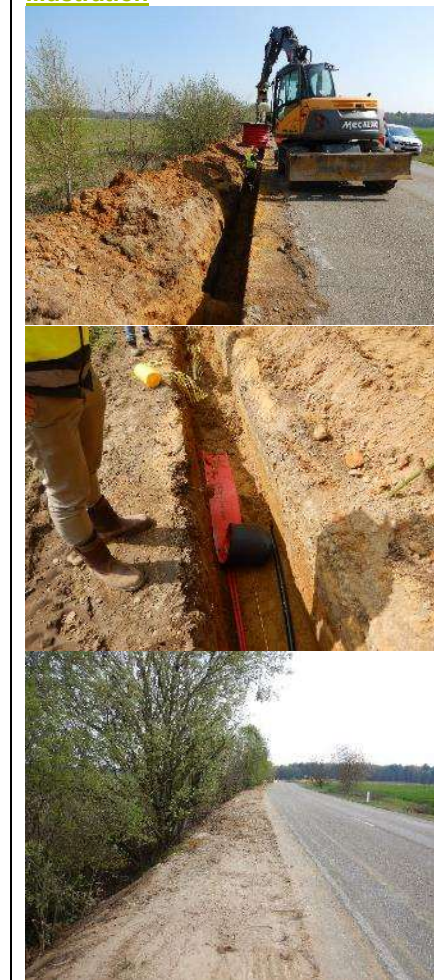
La pose des liaisons électriques et de la télécommunication souterraines avec la création des pistes d'accès, constitue l'une des premières étapes d'un chantier éolien. En effet, le tracé du raccordement prendra majoritairement place dans l'accotement des pistes et plateformes de levage permanents.

Pour ces travaux, comme pour tous les travaux en pleine terre, un décapage des terres végétales est nécessaire au niveau de l'emplacement de la future tranchée et les zones adjacentes (circulation de chantier, zone de dépôt de matériau, zone de stockage des câbles, de, des protections et déblais, et). La largeur de décapage est variable en fonction de la situation des travaux et des accès et foncier disponibles

Ensuite, la tranchée est creusée sur une profondeur minimale de 1,20 m et une largeur variable selon le nombre de câbles implantés et le type de tranchée et des règles de sécurité (environ 50-120 cm). Seule la quantité, des matériaux extraits, nécessaire et utile aux remblais est déposée le long de la tranchée. A ce stade un relevé précis de géomètre est réalisé afin d'avoir des informations utiles au récolement électrique final.

L'étape suivante consiste à tirer et déposer les câbles électriques (et éventuelle mise à la terre) et les fourreaux télécommunication (de réserve et de soufflage) et les couvrir de sable autocompactant stable de type poussier. Alors la protection mécanique ainsi que le grillage avertisseur sont installés avant que le reste de la tranchée ne soit comblé et correctement compacté pour finalement remettre la couche de terre végétale. La tranchée est ensuite recouverte avec les matériaux extraits.

Illustration



Engin utilisé pour le creusement de la tranchée et la pose des câbles

1 Description générale du projet de parc éolien

3. La préparation des terrains, la création des pistes et des plateformes

Description

La construction d'un parc éolien nécessite la préparation des terrains qui seront utilisés pour l'implantation et l'acheminement des éoliennes. Ainsi, des aménagements (renforcements, élargissements etc.) et/ou des constructions (permanentes ou temporaires) de chemins, virages, zones de croisement, zones de manœuvres et de plateformes de levage seront réalisés.

Les pistes seront créées et aménagées sur une largeur carrossable de moins de 5 m de large, pour les modèles d'éoliennes les plus répandus, de manière à permettre et supporter le passage de tous les engins pour la construction.

Dans un premier temps, la couche terre végétale (environ 30 cm) est retirée et stockée, séparément des autres types de terres sur site afin d'être réutilisée lors de la remise en état après le chantier, l'excédent lui est rendu disponible au propriétaire foncier. Ensuite, le sol est terrassé sur une profondeur variable selon sa portance et le traitement choisi. Enfin les couches successives de GNT sont installées selon les calculs de portance attendues en fonction des charrois et la stabilité du sol en place.

Ces données seront affinées suite à la réalisation des études géotechniques.

Les essais de portance seront réalisés sur l'ensemble des plateformes et chemins construits/renforcés, afin de s'assurer que les véhicules chantier et camions de livraison des aérogénérateurs puissent les emprunter en toute sécurité, ce sur toutes les couches du coffre prévu en phase d'études.

Des accès et virages temporaires peuvent également être réalisés en plaque de répartition, permettant de répartir la charge du convoi sur le sol existant.

Illustrations



Photo 1 : Arasement des terres végétales et stockage



Nivellement du fond de forme, et création des pistes, virages et plateformes

1 Description générale du projet de parc éolien



Suite Nivellement du fond de forme, et création des pistes, virages et plateformes



Suite Nivellement du fond de forme, et création des pistes, virages et plateformes



Accès temporaires en plaque de roulage

4. La réalisation des fondations

Description

Avant toute réalisation des fondations des études géologiques et géotechniques sont réalisées et permettent aux ingénieurs de faire le calcul et le design final en adéquation entre les capacités portantes des sites d'implantation et les descentes de charge des éoliennes en statique et dynamique. Une révision de tout le design et calcul est aussi faite par un bureau d'expertise et de certification tiers afin de vérifier l'ensemble et de donner son aval pour la construction.

Ainsi, en fonction des caractéristiques et des particularités des terrains sur lesquels est envisagé le projet, les dimensions et le type de ferrailage des fondations seront déterminés ainsi que les éventuels renforcements de sol spécifiques si besoin.

Grâce aux engins de terrassements, et suite à l'implantation précise des coordonnées X, Y et Z des massifs par un géomètre expert, les fouilles sont réalisées dans le respect des règles et normes de sécurité. Pour une fondation hors-sol, l'excavation est de l'ordre de 50 cm de profondeur. Dans le cas d'une fondation enterrée, un terrassement en excavation est réalisé préalablement à sa réalisation. Un passage obligatoire du géologue pour une vérification et validation du fond de fouille est nécessaire, ce à chaque puits, avant de mettre en œuvre le béton de propreté sur lequel seront installés coffrages et ferrailage (inclus la cage d'ancrage).

Une fois le ferrailage terminé, l'ingénieur de calcul et contrôle fera une visite de validation avant coulage de chacun des massifs.

Seulement alors, le coulage (avec des camions-toupies) sera planifié et mis en œuvre et s'ensuivra la période de décoffrage, de séchage et de vérification des surfaces avant le remblai du puits par couches successives compactées (sauf en cas de fondation hors-sol). Dans le cas d'une fondation enterrée, seule une partie émergente du sol permet l'installation de la première section de la tour qui celle-ci permet de faire le lien avec la cage d'ancrage prise dans la masse de la fondation, et l'éolienne. Le coulage de la fondation doit se faire en une seule fois ; une rotation en flux tendu des camions toupie de béton sera alors organisée.

Illustrations



Excavations, préparation du fond de fouille et pose des gaines de passage des câbles

1 Description générale du projet de parc éolien



Ferrailage, coffrage et coulage



Coulage, finition de surface et décoffrage pour séchage

5. Le stockage des éléments des éoliennes

Description

Les camions transportant les pales, les nacelles et les sections de mâts empruntent les pistes de construction créées, déposent leur chargement avec l'aide d'une grue de moyenne capacité et ressortent par le même chemin ; s'ils n'ont pas l'opportunité de faire demi-tour des zones de manœuvres temporaires pourront être créées. Certaines manœuvres sont facilitées par l'utilisation de camions dont la partie remorque est rétractable et de ce fait reprennent des dimensions standards de transport.

Des aires de stockage temporaires des pales peuvent être implantées à proximité des plateformes de levage ; elles seront nivelées et munies de bandes transversales (2 à 4) réalisées en terre ou gravier afin de permettre l'installation des éléments supports spécifiques au stockage et à la manutention des pales. Aucun autre aménagement n'est prévu pour ces zones. Les autres composants des éoliennes seront entreposés sur des zones temporaires empierrées dédiées ; juxtaposant chaque plateforme de levage. Toutes les zones temporaires seront démontées et remise en état à la fin du chantier après la mise en service du parc complet.

Dans le cas du projet éolien Vents des Closiaux, ces zones de stockage sont remplacées par une zone de stockage unique à l'entrée du site. Seule une zone de stockage temporaire subsiste à proximité de l'éolienne E2, dont l'aire de grutage principale est de dimension réduite, afin de permettre le déchargement des éléments de mâts avant d'être pris en charge par la grue. Dans ce cas particulier, cette aire de déchargement sera réalisée par des plaques de répartition temporaire, posée directement sur la culture existante.

Illustrations

1 Description générale du projet de parc éolien



Exemple de camions assurant le transport des composants d'un parc éolien



Manipulation des tronçons d'éoliennes



Nacelle, pales et segments de tour entreposés sur un chantier éolien



Pales entreposées sur un chantier éolien



Aires de stockage temporaire en plaque de répartition

6. Le montage des éoliennes

L'installation d'une éolienne est une suite d'opérations d'assemblage, sensibles aux conditions climatiques (vent, froid...) et se déroule comme suit :

Assemblage de la tour : l'emploi de grues de grande capacité de manutention est nécessaire pour empiler les composants les uns sur les autres. Dans la pratique, une seconde grue dite d'assistance, plus petite, accompagne la première (de façon à maintenir les différents éléments aux deux extrémités pour le déplacement du site de stockage et le basculement en position verticale).

Hissage de la nacelle : la nacelle est l'élément le plus lourd d'une éolienne ; abritant notamment la génératrice électrique, elle est hissée sur la tour et assemblée. Il s'agit d'une opération délicate étant données les masses en jeu et la précision requise.



Hissage de nacelles

Assemblage du rotor. Deux options peuvent être envisagées au cas par cas pour l'assemblage du rotor :

- soit le moyeu et les pales sont assemblés au sol puis l'ensemble (rotor) est levé et fixé à la nacelle (Cf. images suivantes). Cette manœuvre a ses avantages de sécurité car tout est fait au sol mais le levage complet est plus tributaire des conditions météorologiques.
- soit les éléments (moyeu et pales) sont levés et installés et fixés les uns après les autres successivement aux points d'assemblage.

La manipulation pièce par pièce est souvent la plus courante car le plus rapide et la moins impactée par les conditions météorologiques. Et permet de travailler avec des grues moins puissantes et plus disponible sur le marché international.



Levage et installation de pales

1.9.3 Le trafic routier en phase chantier

Le tableau ci-après présente le nombre de camions ou convois estimé pour l'acheminement des différents éléments composant le parc éolien :

Tableau 6 : trafic routier lié au chantier (source Renner Energies)

Type d'activité	Ratio utilisés	Pour le chantier du projet de Vents des Closiaux (trafic aller)
Coulage de la fondation	Toupies de 7 à 9 m ³ Environ 75 camions par fondation de 600 m3	150 camions
Transport des composants de l'éolienne	Nacelle, transformateur, pales, moyeu, tronçons de mât, Anchor cage et matériaux divers → Environ 15 camions par éolienne	30 camions
Poste(s) de livraison	→ 1 camion par poste de livraison	2 camions
Acheminement d'engins de chantier sur site	Grue(s), pelleteuse, pelle-mécanique, bulldozer, rouleau compresseur, trancheuse... → 1 camion par engin de chantier Sauf grue principale de levage qui a elle seule mobilise pour sa livraison près de 30 camions	Environ 40 camions
Acheminement des installations temporaires de chantiers sur site	Préfabriqués de chantier, benne(s) à déchets → 5 camions	5 camions
Transport de matériaux pour le traitement des pistes, virages et plateformes	-	Environ 300 camions
Transport du personnel	Véhicules légers (environ 5 durant toute la durée des travaux)	5 véhicules quotidiens

1 Description générale du projet de parc éolien

Au total, un trafic aller-retour d'environ 1 050 camions est à prévoir sur les 9 à 12 mois que durera environ le chantier de construction, soit un trafic journalier moyen de 4 à 5 camions sur les quelques 195-260 jours ouvrés de chantier.

Toutefois, ce sont les opérations de coulage des fondations qui génèreront le plus de trafic avec, pour chaque journée, 150 camions cumulés (trafic aller-retour) circulant en flux tendu (le coulage d'une fondation d'éolienne prend une journée). Ces opérations ne se feront cependant pas de manière simultanée pour les éoliennes prévues dans ce projet, mais de façon consécutive.

À ce trafic de camions, il y a lieu d'ajouter le trafic de véhicules utilitaires ou des véhicules du personnel employé sur site qui est estimé à 5 véhicules utilisés quotidiennement durant toute la durée des travaux (trafic aller-retour).

1.9.4 La gestion des déchets en phase de chantier

Le chantier sera source de production de déchets. Le tableau suivant présente les principaux types de déchets produits lors du chantier, ainsi que les filières de traitement et de valorisation existantes. Les déchets dangereux apparaissent dans des cases orange et ont une étoile à la fin du code déchet correspondant. Les autres sont considérés comme des déchets d'activités économiques (DAE) non dangereux.

Tableau 7 : Type de déchets produits lors du chantier de construction

Étape du chantier	Type de déchets	Code de nomenclature ¹	Stockage	Traitement
Défrichement (si nécessaire)	Bois	03 03 01	Sur site	Enlèvement
Transport	Emballages : cartons et plastiques PE	15 01 01, 15 01 02 et 17 02 03	Bennes de collecte	Déchetterie
Terrassement	Généralement pas de déchet, excepté sur des terrains cultivés (déchets verts).	20 02 01	Bennes de collecte	Transformation en engrais vert, compostage
Fondations	Ligatures, ferrailles	19 10 01	Bennes	Déchetterie
	Béton	17 01 01	Plateformes de séchage	Déchetterie
Montage	Palettes de bois	17 02 01	Bennes de collecte	Déchetterie
	Bidon vide de graisse, de lubrifiant, ...	17 02 03 15 01 10*	Bennes de collecte	
Raccordement	Chutes de câbles	17 04 02	Bennes de collecte	Déchetterie
Remise en état	Éventuellement la terre décaissée non utilisée	17 05 04	Bennes de collecte	Évacuation vers des centres de stockage de déchets inertes agréés

¹ le Code de nomenclature désigne chaque type de déchet par un code à six chiffres selon l'annexe 2 de l'article R 541-8 du code de l'environnement

Le tableau ci-après donne un exemple des quantités de déchets typiquement produits lors de l'installation et la mise en service d'une éolienne d'un gabarit proche de celui de l'éolienne retenue pour le présent projet. Toutefois, les quantités peuvent varier en fonction de la technique de transport et du type de machine. Les quantités en jeu sont données d'une part par éolienne et d'autre part pour l'ensemble du projet éolien Vents des Closiaux à titre informatif à défaut de pouvoir être exhaustives.

Tableau 8 : Quantité approximative de déchets produits lors de la phase chantier

Type de déchets	Code de nomenclature	Quantité en jeu		Filière d'élimination
		Pour une éolienne	Pour le projet	
Film de polyéthylène (PE)	17 02 03	380 m²	760 m²	Déchetterie
Carton	15 01 01	50 m²	100 m²	Déchetterie
Restes de papier (chiffons en papier)	15 01 01	50 m²	100 m²	Déchetterie
Bois (palettes)	17 02 01	70 kg	140 kg	Déchetterie
Polystyrène	15 01 06	2 m³	4 m³	Déchetterie
Restes de tapis	04 01 99	5 kg	10 kg	Déchetterie
Restes de câbles	17 04 01, 17 04 02	30 kg	60 kg	Déchetterie
Restes d'attache-câbles	Selon matériaux	1 kg	2 kg	Déchetterie
Matériaux d'emballage	15 01 01, 15 01 02, 15 01 03, 15 01 06	30 kg	60 kg	Déchetterie
Déchets ménagers et assimilés	20 01 39	20 kg	40 kg	Déchetterie
Chiffons souillés	15 02 02*	10 kg	20 kg	Déchetterie

Les déchets du polyéthylène (PE) font partie de la gamme des thermoplastiques, qui fondent sous l'effet de la chaleur et reprennent leur rigidité en refroidissant. Selon l'ADEME, ces matières plastiques peuvent être recyclées et régénérées.

Comme précisé dans les tableaux précédents, la majorité des déchets sera transportée en déchetterie pour valorisation et les bordereaux de livraisons seront à fournir. Aucun déchet ne sera abandonné sur le site. Ils seront stockés dans des bennes étanches. Les déchets sont, dans tous les cas, gérés par les entreprises intervenant sur le site.

Les opérations d'entretien des engins de chantier seront réalisées soit directement sur la base de chantier pour l'entretien d'appoint (approvisionnement carburant, huile, graissage), soit en dehors de la zone de chantier. Les stockages sur site d'huiles et de carburants pour les engins seront réalisés dans des bacs de rétention étanches, en général dans des containers de chantier.

Les engins de terrassement ou *a minima* le véhicule du chef de chantier seront équipés de kits anti-pollution d'urgence permettant d'absorber d'éventuelles fuites d'huile accidentelles. Des kits seront également localisés sur chaque zone d'activité afin de pouvoir intervenir quelques minutes après une pollution éventuelle.

Pour toutes les dispositions relatives à la gestion des pollutions accidentelles, un Plan Assurance Qualité ou autre document du même type (par exemple Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Environnement-SOPAE) sera élaboré.

1 Description générale du projet de parc éolien

1.9.5 La gestion de l'eau en phase de chantier

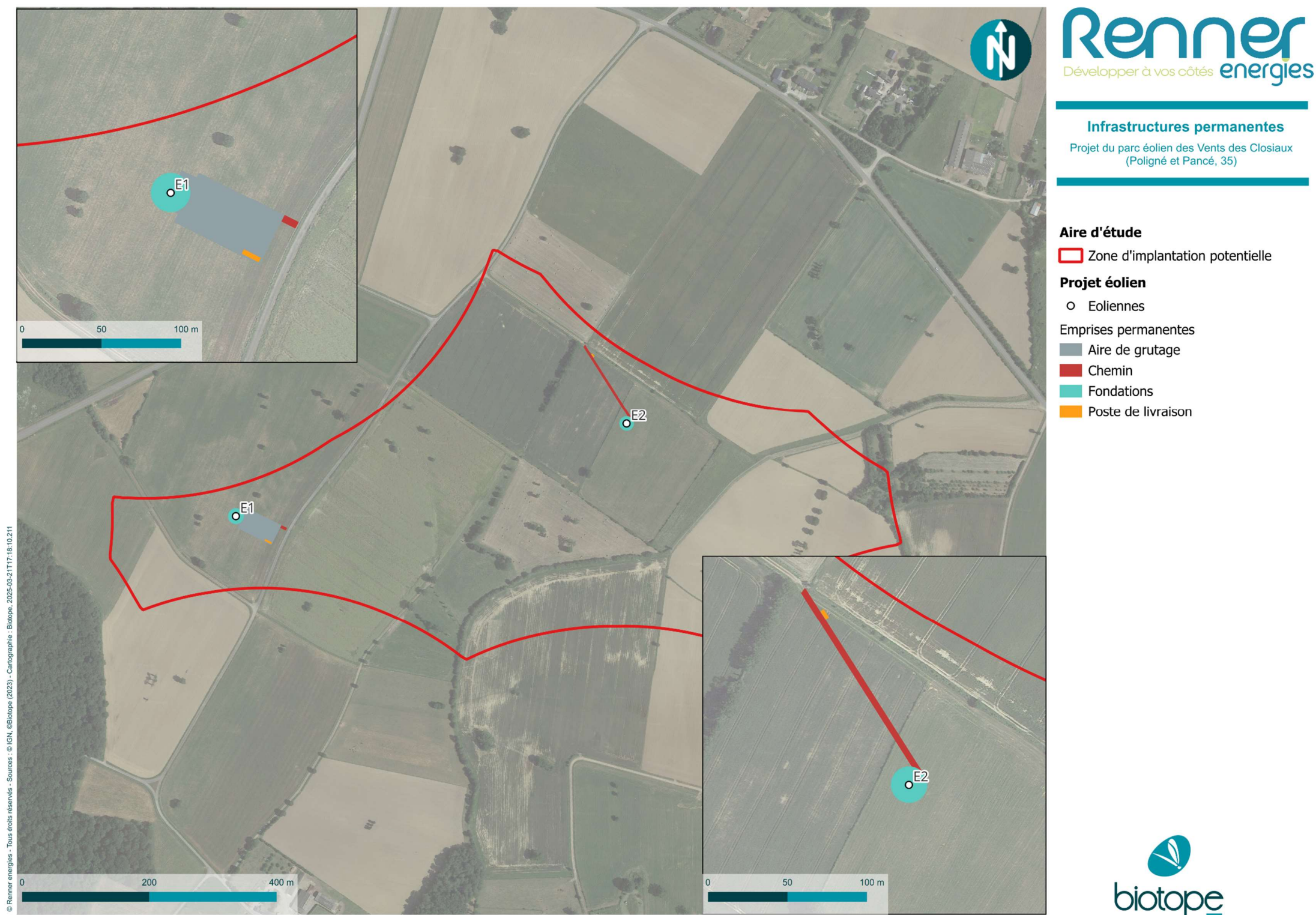
En phase de chantier, les besoins en eau sont limités :

- Base vie : l'eau pour les besoins sanitaires est stockée dans un container adapté (traitement anti-UV notamment). Les eaux usées de la base vie, si aucun raccordement vers le réseau d'assainissement collectif n'est possible, sont stockées dans des fosses septiques étanches temporaires. Une entreprise spécialisée dans l'élimination sera chargée de leur enlèvement et de leur acheminement vers une station d'épuration. Si le chantier est très long, un raccordement au réseau d'assainissement sera envisagé ainsi qu'un système de récupération des eaux de pluie. Il est précisé que l'eau de consommation est dispensée via des fontaines à eau ou des bouteilles d'eau minérale.
- Béton des fondations : le béton est acheminé directement par les entreprises spécialisées dans des toupies. Il n'y a donc pas de gestion de l'eau sur place en lien avec la préparation du béton. En revanche, après chaque déversement de béton pour la réalisation des fondations, les toupies des camions feront l'objet d'un rinçage par le chauffeur. Les eaux de lavage alors usées seront déversées au sein de containers étanches dédiés et enlevés vers un sens de traitement autorisé hors du site.

1.10 Modalités d'exploitation prévues du parc éolien

La carte ci-après présente les infrastructures permanentes en phase d'exploitation.

1 Description générale du projet de parc éolien



Carte 6. Infrastructures permanentes en phase d'exploitation (source Renner Energies, 2025)

1 Description générale du projet de parc éolien

1.10.1 La durée de vie du parc éolien

La présente installation n'a pas un caractère permanent (ou non réversible) comme d'autres installations de production énergétique : elle est réversible à condition de respecter un certain nombre de règles.

L'exploitation du parc éolien de Vents des Closiaux est prévue pour une durée de 20 à 25 ans environ.

1.10.2 Le trafic routier en phase d'exploitation

Ponctuellement des équipes de maintenance seront présentes sur le site pour des visites de prévention et pour des interventions ponctuelles, le plus souvent à l'aide de véhicules utilitaires. Le trafic induit sera dans ce cas très faible, de l'ordre d'un à deux véhicules utilitaires par intervention.

1.10.3 La gestion des déchets d'exploitation

En période d'exploitation, un parc éolien n'est la source d'aucun déchet atmosphérique (poussières, émission de gaz, vapeur d'eau, etc.). Toutefois, les opérations de maintenance peuvent produire des déchets, notamment des contenants d'hydrocarbures ou de lubrifiants et pièces d'usure. Mais les quantités de ces déchets restent très limitées. Ils seront pris en charge par les équipes de maintenance et acheminés à une plateforme de traitement. Des vidanges ou *a minima* le filtrage des différentes huiles (pour le transformateur électrique, pour le frein hydraulique, le palier d'orientation, le dispositif de blocage du rotor, la transmission d'orientation, l'arbre de renvoi, etc.) ont lieu périodiquement : tous les quatre ou deux ans.

Conformément aux dispositions des articles 20 et 21 de l'arrêté ICPE du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, « l'exploitant élimine ou fait éliminer les déchets produits dans des conditions propres à garantir la préservation de l'environnement. Il s'assure que les installations utilisées pour cette élimination sont régulièrement autorisées à cet effet. Le brûlage des déchets à l'air libre est interdit.

Les déchets non dangereux (définis à l'article R. 541-8 du code de l'environnement) et non souillés par des produits toxiques ou polluants sont récupérés, valorisés ou éliminés dans des installations autorisées. Les seuls modes d'élimination autorisés pour les déchets d'emballage sont la valorisation par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux utilisables ou de l'énergie ».

Les déchets les plus importants en volume pendant la période d'exploitation sont les huiles usagées. Ces déchets ne sont toutefois pas produits de façon continue, mais seulement selon les besoins et à intervalles déterminés. Lors des interventions de maintenance, des échantillons d'huile du multiplicateur sont prélevés, et l'état de l'huile est analysé en laboratoire. Si une vidange s'avère nécessaire, les huiles usagées survenant de cette intervention sont éliminées par une entreprise spécialisée dans l'élimination et agréée à cet effet sur présentation d'un justificatif.

Type de déchets	Code de nomenclature	Quantité en jeu (en kg)		Origine	Gestion
		Pour une éolienne	Pour le projet		
Joint d'étanchéité	15 01 10*	nd*	nd*	Vidange	Collecte centralisée des déchets par le maintenancier ou l'exploitant depuis le parc jusqu'à sa base de maintenance. Puis un collecteur/transporteur prend en charge les déchets lorsque nécessaire OU Mise à disposition d'un container à déchet sur le parc temporairement lors des maintenances préventives. Un collecteur/transporteur prend en charge les déchets après la maintenance
Récipients des lubrifiants	17 02 03, 15 01 10*	nd*	nd*	Vidange	
Accumulateurs	16 06 06*	nd*	nd*	Remplacement de composants	
Déchets non dangereux	15 01, 20 01 ; 06 13 03; 16 01 12	19	38	Matériaux d'emballage, matériaux d'entretien	
Matériaux souillés	15 02 02*	94	188	Vidange ; Lubrification ; Surveillance des points de graissage	
Filtres à huile, filtres à air	15 02 02*	13	26	Vidange, Entretien général	
Liquide de refroidissement	16 10 01*	5	10	Vidange	
Graisse	20 01 25, 20 01 26*	4	8	Lubrification, Surveillance des points de graissage	
Aérosols	16 05 04*	2	4	Lubrification	
Huiles usagées, huiles de rinçage	13 01 ; 11 01 11*	30	60	Vidange	

nd* : non déterminé

Lors de l'inspection, indépendamment des modalités de gestion des déchets en place, l'exploitant peut être amené à fournir (au-delà des articles 21 et 22 de l'arrêté du 26 août 2011, les obligations applicables sont celles du code de l'environnement sur la gestion des déchets) :

- Les Bordereaux de Suivi des Déchets (BSD) à l'ordre de l'exploitant (déclaré producteur de déchets). La législation impose l'archivage des bordereaux de suivi de déchets pendant 3 ans (art R.541-45 code de l'environnement) ;
- Le registre des déchets de l'installation au nom de l'exploitant, incluant notamment les entreprises intervenant dans le processus de traitement des déchets avec les contacts et les références correspondantes (code Nomenclature déchets, SIRET, quantité, période). Le contenu du registre des déchets doit être conforme aux dispositions de l'article 2 de l'arrêté du 29 février 2012 (code de l'environnement). ;
- Une copie des autorisations préfectorales pour chacun des acteurs (transport/ traitement/ stockage) intervenant dans la chaîne de traitement des déchets.

1.10.4 La gestion de l'eau

En phase d'exploitation il n'y a pas de besoin en eau de manière récurrente.

De manière ponctuelle, il peut arriver qu'il faille nettoyer une éolienne (suite à une fuite par exemple). Dans ce cas une entreprise spécialisée est sollicitée. Elle intervient avec une grue et utilise un nettoyeur haute pression. Les eaux usées sont récupérées au pied de l'éolienne et traitées en station d'épuration.

1 Description générale du projet de parc éolien

1.10.5 L'exploitation et la maintenance

L'exploitation et la maintenance sont confiées contractuellement à un exploitant. Pour le projet Vents des Closiaux, cet exploitant sera RES (voir présentation dans le document capacités techniques), un acteur reconnu dans le secteur de l'exploitation-maintenance éolien avec lequel le groupe RENNER ENERGIES entretient des relations privilégiées et dont l'organisation est présentée ci-après (*sources : RES*).

Organisation générale

Chaque parc éolien est suivi par un superviseur de site dont le rôle est de coordonner les activités techniques et de vérifier les bonnes conditions de sécurité de l'exploitation, notamment auprès des sous-traitants intervenant sur le parc et la gestion des différents suivis tels que les bridages éventuels, la mise en place de mesures compensatoires et autres suivis de la faune, précisés à l'obtention du permis. Il s'assure également de la traçabilité de l'ensemble des opérations par l'usage d'un registre consultable dans chaque éolienne et s'assure de la bonne mise en œuvre sur site de la politique Qualité Hygiène Sécurité Environnement de RES. En cas d'urgence, un responsable technique de l'exploitant est joignable 7jours/7 grâce à un système d'astreinte.

Par ailleurs, une surveillance à distance 24/24 est établie par la société chargée de l'entretien des machines, sur base d'un contrat de maintenance dont la période est définie lors de la préparation du dit contrat (ce contrat en fin de vie peut être reconduit) ; en général le constructeur des éoliennes. Cette surveillance permet la remise en service à distance d'une machine à l'arrêt, lorsque cela est possible d'un point de vue sécurité, et l'envoi de techniciens de maintenance dans les autres cas.

L'exploitant veille également à maintenir, durant toute la vie du parc éolien, des contrats d'entretien concernant les éoliennes et les postes électriques présents sur le parc. Il veille également à l'entretien des chemins, des abords et bas-côtés dans un souci de protection contre l'incendie.

Conformité réglementaire

S'agissant d'une installation classée ICPE, à l'intérieur de laquelle des travaux considérés « dangereux » ont lieu de façon périodique, l'exploitant s'assure également de la conformité réglementaire de ses installations au regard de la sécurité des travailleurs et de l'environnement. Il veille notamment au contrôle par un organisme indépendant du maintien en bon état des équipements électriques, des moyens de protection contre le feu, des protections individuelles et collectives contre les chutes de hauteur, des moyens de levage, des élévateurs de personnes et des équipements sous pression.

Par ailleurs, conformément à la réglementation ICPE, un suivi environnemental est effectué périodiquement, l'entretien est réalisé selon une périodicité définie dans le plan de service du parc et l'ensemble des déchets est enlevé, trié puis retraité. Les équipements de sécurité des éoliennes, tels les systèmes de contrôle de survitesse, arrêt d'urgence ou la vérification du boulonnage des tours font l'objet de vérifications de maintenance particulières selon des protocoles définis par les constructeurs et suivi dans le cadre du système qualité de l'exploitant.

Surveillance des éoliennes

La surveillance est rendue possible par l'ensemble des capteurs d'état présent dans les éoliennes, tous reliés à l'automate qui la contrôle. Le report d'alarme se fait via le système de surveillance à distance, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). L'entreprise chargée de l'entretien a la tâche primaire de surveiller le SCADA 24h/24 et de déclencher les interventions nécessaires. Par ailleurs, l'exploitant possède une organisation d'exploitation capable de prendre en compte tout problème de sécurité se déclarant. Les moyens de prévention sont divers : accès au SCADA via une connexion internet, réception SMS ou courriel. Par ailleurs, on utilise les capteurs embarqués à des fins de maintenance préventive, c'est-à-dire la détection de panne naissante, avant qu'elle n'ait de conséquence sur le fonctionnement de l'éolienne.

Le système SCADA décrit précédemment permet à l'exploitant d'être alerté des défauts de fonctionnement du parc éolien et de prendre des dispositions de sécurité très rapidement à distance (mise à l'arrêt de l'éolienne, mise hors tension du parc ...). Lorsqu'une intervention urgente sur site est nécessaire (entre 8h et 20h), les équipes de maintenance peuvent potentiellement être sur place dans un délai de deux heures.

Emprise en phase exploitation

Les plateformes : Les plateformes aménagées pour les aires de grutage (y compris les fondations et structures de livraison qui y sont intégrées) seront maintenues en l'état lors de la phase d'exploitation notamment en cas d'intervention de nouvelles opérations de maintenance.

Les chemins d'exploitation : La desserte des éoliennes en phase d'exploitation utilisera au maximum les chemins déjà existants. Toutefois, les aménagements des accès principaux nécessaires en phase de chantier seront maintenus pour l'exploitation du parc.

Entretien des éoliennes et maintenance

L'entretien des éoliennes est réalisé par les fabricants qui possèdent toute l'expertise nécessaire, des techniciens formés, la documentation, les outillages, les pièces détachées, selon des contrats d'une durée de 5 à 15 ans. L'objectif de l'entretien est le maintien en état des éoliennes pour la durée de leur exploitation, soit 20 ans minimum, avec un niveau élevé de performance et dans le respect de la sécurité des intervenants et des riverains.

Le plan d'entretien des éoliennes est rédigé par l'exploitant sur la base des recommandations de chaque constructeur d'éoliennes et dans le respect des règles ICPE. Chaque constructeur d'éoliennes construit ses matériels selon les normes européennes et respecte en particulier la norme IEC61400-1 définissant les besoins pour un plan de maintenance.

a) Entretien préventif

Typiquement et conformément aux prescriptions de l'arrêté ministériel du 26 août 2011, l'entretien est réalisé au cours de deux visites annuelles au cours desquelles on s'assure des points suivants :

- État des structures métalliques (tours, brides, pales) et bon serrage des fixations
- Lubrification des éléments tournants, appoints d'huile au niveau des boîtes de vitesse ou groupes hydrauliques
- Vérification des éléments de sécurité de l'éolienne, dont l'arrêt d'urgence, la protection contre les survitesses, la détection d'incendie
- Vérification des différents capteurs et automates de régulation
- Entretien des équipements de génération électrique
- Tâches de maintenance prédictive : surveillance de la qualité des huiles, état vibratoire...
- Propreté générale

b) Entretien prédictif

Afin d'optimiser les conditions d'exploitation et de réduire les coûts parfois associés à des arrêts de production non programmés, l'exploitant peut mettre en place un programme de maintenance prédictive qui va au-delà des prescriptions usuelles du constructeur.

Cette anticipation de pannes est faite par la surveillance des paramètres d'exploitation des éoliennes, tels que les températures des équipements, l'analyse en laboratoire des lubrifiants et l'analyse des signatures vibratoires de certains équipements tournants. Ainsi, lorsqu'un paramètre dévie de sa plage normale de fonctionnement, l'exploitant déclenche une opération de maintenance ciblée sur le problème détecté, sans qu'une panne n'ait arrêté l'éolienne.

c) Entretien correctif

Par ailleurs, tout au long de l'année, des interventions sont déclenchées au besoin lorsqu'un équipement tombe en panne. Il s'agit de maintenance corrective dans ce cas. Le centre de surveillance envoie une équipe de maintenance après l'avoir avertie de la nature de la panne observée et des éléments probables pouvant contribuer à la panne.

1 Description générale du projet de parc éolien

Présentation des interventions sur site

Au cours de la vie du parc, régulièrement, des équipes de techniciens sont présents sur le site, afin d'assurer les tâches décrites ci-dessus. Les équipes interviennent dans le cadre de l'exploitation du parc ainsi que de la maintenance courante et de dépannage.

- Interventions en lien avec l'exploitation du parc
 - Fréquence : 1 à 2 jours par mois, soit 12 à 24 jours par an
 - Type de véhicule utilisé : véhicule léger
- Interventions en lien avec la maintenance courante des éoliennes
 - Fréquence : Visite de chaque éolienne 2 fois par an.
 - Type de véhicule utilisé : véhicule léger
- Interventions en lien avec la maintenance de dépannage des éoliennes
 - Fréquence : La fréquence de dépannage des éoliennes n'est pas prévisible, puisque par définition elle dépend des pannes rencontrées par celles-ci. Néanmoins, le retour d'expérience montre que la fréquence des pannes suit une courbe dite « en baignoire » (cf. schéma ci-dessous).

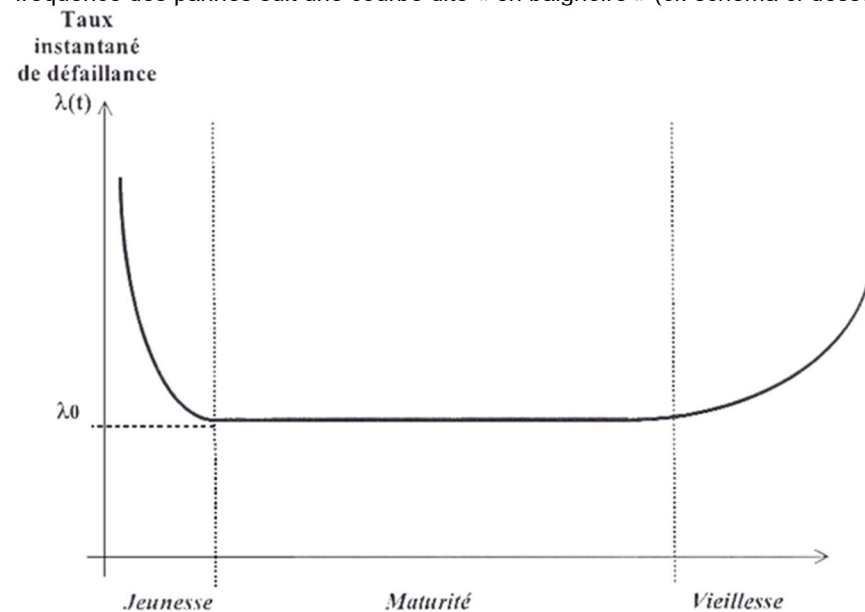


Figure 13 – Evolution du taux de défaillance en fonction du temps (source : RES)

Cette courbe se divise en 3 parties : jeunesse, maturité et vieillesse du système.

- La **jeunesse** qui correspond à la période proche de la mise en fonctionnement possède la probabilité la plus importante de défaillances : les causes possibles sont un défaut de fabrication, la mise en place des réglages et des corrections...
- La **maturité** qui correspond à la période où le système est arrivé en période de fonctionnement normal et dont l'usure ne se fait pas ressentir possède la plus faible probabilité de défaillance de la vie du système
- La **vieillesse** qui correspond à la période où l'usure commence à être importante et qui voit la probabilité de défaillance augmentée. Il peut alors être nécessaire de changer certains éléments de machines.

Ainsi, la présence des équipes de maintenance sera plus importante en début de vie du parc (première année) et en fin de vie du parc (5 dernières années).

- Type de véhicule utilisé : véhicule léger en maintenance courante, grue accompagnée de poids lourds pour sa mise en œuvre dans le cas exceptionnel du remplacement d'un composant principal (multiplicateur, génératrice, pâle).

1.10.6 Suivi et surveillance

Le personnel de maintenance

Conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 Août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, la maintenance est assurée « par un personnel compétent disposant d'une formation portant sur les risques accidentels [...], ainsi que sur les moyens mis en œuvre pour les éviter ». Le personnel de maintenance « connaît les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement, le cas échéant, en lien avec les services de secours. La réalisation des exercices d'entraînement, les conditions de réalisations de ceux-ci, et le cas échéant les accidents/incidents survenus dans l'installation, sont consignés dans un registre. Le registre contient également l'analyse de retour d'expérience réalisée par l'exploitant et les mesures correctives mises en place ».

Chaque équipe de maintenance dispose d'un local bureau et d'un atelier, des outils nécessaires aux interventions mécaniques et électriques sur les éoliennes, des moyens de protection individuels et de véhicules utilitaires.

Les équipes sont généralement composées d'un chef d'équipe et de plusieurs techniciens dans les domaines de l'électricité, de la mécanique et de la maintenance industrielle, et spécialisés pour l'intervention sur les éoliennes retenues dans le cadre du présent projet.

Arrêts d'urgence

Conformément à l'article 17 de l'arrêté du 26 Août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, « l'exploitant réalise, avant la mise en service industrielle d'un aérogénérateur, des essais permettant de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble des équipements mobilisés pour mettre l'aérogénérateur en sécurité. Ces essais comprennent :

- Un arrêt ;
- Un arrêt d'urgence ;
- Un arrêt depuis un régime de survitesse ou depuis une simulation de ce régime.

Suivant une périodicité qui ne peut excéder 1 an, l'exploitant réalise des tests pour vérifier l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt, de mise à l'arrêt d'urgence et de mise à l'arrêt depuis un régime de survitesse en application des préconisations du constructeur de l'aérogénérateur. Les résultats de ces tests sont consignés dans le registre de maintenance visé à l'article 19.

Avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs et des équipements connexes, les installations électriques [...] sont contrôlées par une personne compétente. Par ailleurs elles sont entretenues, elles sont maintenues en bon état et elles sont contrôlées à fréquence annuelle après leur installation ou leur modification. [...]. Les rapports de contrôle des installations électriques sont annexés au registre de maintenance. »

Opérations périodes de contrôle et systèmes de sécurité

Conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 Août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 :

- « Trois mois, puis un an après leur mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procède à un contrôle des brides de fixations, des brides de mât, de la fixation des pales et un contrôle visuel du mât de chaque aérogénérateur. Le contrôle de l'ensemble des brides et des fixations de chaque aérogénérateur peut être lissé sur trois ans tant que chaque bride respecte la périodicité de trois ans.
- Selon une périodicité définie en fonction des conditions météorologiques et qui ne peut excéder 6 mois, l'exploitant procède à un contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être endommagés, notamment par des impacts de foudre, au regard des limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt spécifiées dans les consignes établies en application de l'article 22 du présent arrêté.
- L'installation est équipée de systèmes instrumentés de sécurité, de détecteurs et de systèmes de détection destinés à identifier tout fonctionnement anormal de l'installation, notamment en cas d'incendie, de perte d'intégrité d'un aérogénérateur ou d'entrée en survitesse. L'exploitant tient à jour la liste de ces équipements de sécurité, précisant leurs fonctionnalités, leurs fréquences de tests et les opérations de maintenance destinées à garantir leur efficacité dans le temps. Selon une fréquence qui ne peut excéder

1 Description générale du projet de parc éolien

un an, l'exploitant procède au contrôle de ces équipements de sécurité afin de s'assurer de leur bon fonctionnement.

- La liste des équipements de sécurité ainsi que les résultats de l'ensemble des contrôles prévus par le présent article sont consignés dans le registre de maintenance. »

Registre de maintenance

Conformément aux articles 16 et 19 de l'arrêté du 26 Août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, « l'intérieur de l'aérogénérateur est maintenu propre. L'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables est interdit.

L'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations de maintenance qui doivent être effectuées afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation, ainsi que les modalités de réalisation des tests et des contrôles de sécurité, notamment ceux visés par le présent arrêté.

L'exploitant tient à jour, pour son installation, un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance qui ont été effectuées, leur nature, les défaillances constatées et les opérations préventives et correctives engagées »

1.11 Moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident

1.11.1 Généralités

Conformément à l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, le site dispose en permanence d'une voie d'accès carrossable au moins pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours. Cet accès est entretenu et les abords de l'installation placés sous le contrôle de l'exploitant sont maintenus en bon état de propreté. Les personnes étrangères au site n'auront pas accès à l'intérieur des éoliennes, ces dernières étant fermées à clefs tout comme les postes de livraison.

Chaque aérogénérateur est identifié par un numéro, affiché en caractères lisibles sur son mât. Les prescriptions à observer par les tiers seront affichées soit en caractères lisibles, soit au moyen de pictogrammes sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur les postes de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement. Elles concernent notamment :

- Les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale ;
- L'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur ;
- La mise en garde face aux risques d'électrocution ;
- La mise en garde face au risque de chute de glace.

Des consignes de sécurité sont déjà établies et portées à connaissance du personnel. Elles indiqueront :

- Les procédures d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité de l'installation ;
- Les limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt ;
- Les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles ;
- Les procédures d'alertes avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours
- Le cas échéant, les informations à transmettre aux services de secours externes

Les consignes de sécurité indiquent également les mesures à mettre en œuvre afin de maintenir les installations en sécurité dans les situations suivantes : survitesse, conditions de gel, orages, tremblements de terre, haubans rompus ou relâchés, défaillance des freins, balourd du rotor, fixations détendues, défauts de lubrification, tempêtes de sables, incendie ou inondation.

En cas de détection d'un fonctionnement anormal notamment en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse d'un aérogénérateur, l'exploitant ou une personne qu'il aura désigné et formé est en mesure :

- De mettre en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées à l'article 22 dans un délai maximal de 60 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur ;
- De transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur.

1.11.2 Survitesse

En cas d'entrée de l'aérogénérateur en survitesse, le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.

1.11.3 Incendie

En cas de détection d'incendie, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. De façon concomitante un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande. Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011. De plus, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).

1.12 La phase de démantèlement

La question se pose du destin final du parc éolien au terme de son activité. Plusieurs solutions ou scénarios sont possibles, selon notamment le coût des énergies (fossiles et fissiles) concurrentes :

- le premier scénario repose sur la continuité d'exploitation du site étant donnée sa qualité éolienne. Il s'agit alors d'une démarche de "**repowering**", ou "renouvellement", qui consiste à démanteler la centrale éolienne en vue d'une reconfiguration optimale du site. Concrètement, les anciennes éoliennes seraient remplacées par des nouvelles, capables de générer plus d'électricité ;
- le second scénario concerne la **fin d'exploitation du site et sa remise en état**. La législation encadre aujourd'hui le processus de démantèlement et de remise en état d'un site d'exploitation éolien qui est désormais obligatoire même si l'exploitant du parc éolien devait rencontrer des difficultés financières.

1.12.1 Dispositions réglementaires et garanties financières

Le démontage des installations est relativement rapide et aisé. Ce démontage est rendu obligatoire depuis la parution de la Loi du 3 janvier 2003, relative aux marchés du gaz et de l'électricité et au service public de l'énergie. Ceci a été confirmé par la Loi du 2 juillet 2003 « Urbanisme et Habitat » ainsi que la Loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010, portant Engagement National pour l'Environnement.

Cette obligation est inscrite dans le code de l'environnement ; l'article L.515-46 indique que « l'exploitant d'une installation produisant de l'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent ou, en cas de défaillance, la société mère est responsable de son démantèlement et de la remise en état du site, dès qu'il est mis fin à l'exploitation, quel que soit le motif de la cessation de l'activité. Dès le début de la production, puis au titre des exercices comptables suivants, l'exploitant ou la société propriétaire constitue les garanties financières nécessaire ».

L'article 29 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, précise les modalités de remise en état du site. Les opérations de démantèlement et de remise en état prévues à l'article R. 515-106 du code de l'environnement comprennent :

- Le démantèlement des installations de production d'électricité, des postes de livraison ainsi que les câbles dans un rayon de 10 mètres autour des aérogénérateurs et des postes de livraison ;
- L'excavation de la totalité des fondations jusqu'à la base de leur semelle, à l'exception des éventuels pieux. Par dérogation, la partie inférieure des fondations peut être maintenue dans le sol sur la base d'une étude adressée au préfet, et ayant été acceptée par ce dernier, démontrant que le bilan environnemental du décaissement total est défavorable, sans que la profondeur excavée ne puisse être inférieure à 2 mètres dans les terrains à usage forestier au titre du document d'urbanisme opposable et 1 m dans les

1 Description générale du projet de parc éolien

autres cas. Les fondations excavées sont remplacées par des terres de caractéristiques comparables aux terres en place à proximité de l'installation ;

- La remise en état du site avec le décaissement des aires de grutage et des chemins d'accès sur une profondeur de 40 centimètres et le remplacement par des terres de caractéristiques comparables aux terres à proximité de l'installation, sauf si le propriétaire du terrain sur lequel est sise l'installation souhaite leur maintien en l'état ».

Des garanties financières devront également être apportées par l'exploitant du futur parc éolien (SAS Vents des Closiaux). D'après l'article 30 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020, du 10 décembre 2021 et 11 juillet 2023, le montant des garanties financières mentionnées à l'article R. 515-101 du code de l'environnement est déterminé selon les dispositions suivantes :

Le montant initial (M) de la garantie financière d'une installation correspond à la somme du coût unitaire forfaitaire (Cu) de chaque aérogénérateur composant cette installation :

$$M = \sum (Cu)$$

Où Cu est fixé par les formules suivantes :

- Cu = 75 000 € lorsque la puissance unitaire installée de l'aérogénérateur est inférieure ou égale à 2 MW ;
- Cu = 75 000 € + 25 000 € * (P-2) lorsque sa puissance unitaire installée de l'aérogénérateur est supérieure à 2 MW. Où P est la puissance unitaire installée de l'aérogénérateur, en mégawatt (MW).

Ce montant est réactualisé par un nouveau calcul lors de leur première constitution avant la mise en service industrielle, puis actualisé tous les 5 ans. L'arrêté préfectoral fixe le montant de la garantie financière (articles 31 et 32 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié).

Le montant prévisionnel de la garantie financière que devra constituer le maître d'ouvrage est ainsi estimé à 350 000 € pour une puissance installée de 12 MW.

1.12.2 Le démantèlement du parc éolien

Le démantèlement d'un parc éolien est soumis aux conditions fixées par l'arrêté du 26 août 2011, notamment en son article 29. Le pétitionnaire réalisera les opérations prévues en conformité avec ces dispositions réglementaires, avec l'appui de RENNER ENERGIES NV et selon les 4 phases résumées ci-après.

1. Phase préparatoire dite de pré-engineering

Afin d'évaluer les différents risques et difficultés susceptibles d'être rencontrés lors des démontages des aérogénérateurs et de planifier aussi précisément que possible les travaux à venir, des inspections visuelles et techniques du site seront menées en lien avec :

- Les autorités locales et les propriétaires fonciers, agriculteurs, etc. concernés par le projet ;
- Un coordinateur sécurité d'expérience ainsi que des bureaux de contrôle certifiés pour la partie sécurité, santé et environnement ;
- Des experts pour la partie technique et logistique (entrepreneurs en génie civil, en génie électrique, turbinier, société de grutage et démontage habilitée et expérimentée).
- Des géomètres experts assermentés pour la partie état des lieux, de sorte à établir des relevés précis du site et de ses alentours proches, à réaliser une évaluation des quantités à démonter, évacuer et remplacer, et à définir le profil du terrain à mettre en place en accord avec les personnes impliquées localement.

2. Phase d'étude dite d'engineering

Une analyse complète de la situation et des besoins est tout d'abord réalisée (plans de démontage, plannings d'exécution, métrés quantitatifs détaillés, cahiers des charges, plan de sécurité...).

Sont également effectués des échantillonnages et des analyses des matériaux et des sols à excaver, déplacer et évacuer afin de respecter les règles et normes en vigueur relatives à l'évacuation et à la mise en dépôt.

Les appels d'offres de travaux sont ensuite lancés en différents lots (infrastructure, génie civil, génie électrique, turbines, grutage et transports, évacuation et recyclage) et les contrats d'entreprise conclus par le pétitionnaire. Les bureaux d'étude et experts chargés du suivi du chantier ainsi que les assurances chantier sont choisis parallèlement.

Des réunions de démarrage visant à présenter le planning général ainsi qu'à appuyer sur certaines particularités du chantier et sur les questions de sécurité sont planifiées. Ces réunions sont organisées en lien avec les autorités locales, les exploitants et propriétaires fonciers, les gestionnaires de réseaux, les services de sécurité civile et d'urgences, les entrepreneurs sélectionnés et leurs sous-traitants. Le phasage des travaux est précisé en suivant.

3. Phase de travaux

Les travaux de démantèlement proprement dits sont exécutés en phasages successifs et nécessitent en premier lieu l'intervention des géomètres pour délimiter leur emprise exacte.

Les bases de vie et d'approvisionnement sont ensuite installées, de même que la signalisation chantier et sécurité. La procédure de mise en consigne et d'arrêt de tous les éléments électriques internes et externes (avec le gestionnaire de réseau) au parc est également mise en œuvre.

De manière générale, des réunions de chantiers hebdomadaires sont tenues avec les différents corps des métiers et les experts, ainsi que des réunions d'information mensuelles avec les autorités locales.

Les travaux de construction des zones temporaires utiles aux opérations de démontage et aux stockages divers sont entrepris.

Après montage de la grue principale, sont mis en place le démontage et l'évacuation vers les sites de recyclage / Valorisation/ élimination autorisés :

- Des aérogénérateurs ;
- Des massifs de fondation ;
- Des éléments issus de l'excavation de puits de fondation ;
- Des postes de livraison ainsi que des câbles électriques dans un rayon de 10 mètres autour des aérogénérateurs et des postes de livraison ;
- Des éléments d'infrastructures aménagés sur les terrains (chemins, virages, zones temporaires...), sauf si leur propriétaire souhaite leur maintien en l'état.

Le processus d'évacuation est suivi par un processus de remise en état du site par remblayage des fondations, tranchées, plateformes...etc. au moyen de terres de caractéristiques comparables aux terres en place à proximité. Ces terres sont ensuite amendées afin d'améliorer la reprise de culture.

Les demandes spécifiques (pose de clôtures, drainages de terrains, têtes d'aqueducs...) sont également mises en œuvre, et des plantations d'arbres et de végétaux effectuées en accord avec les autorités compétentes.

4. Phase de repli (évacuation, nettoyage et documentation)

Cette phase correspond aux derniers démontages à effectuer, visant les bases-vie et les dispositifs de signalisation et de sécurité.

Les géomètres interviennent en suivant en réalisant des relevés 2D et 3D permettant de vérifier le respect des plans de démontage et de remise en état, et en réalisant les états des lieux de sortie de toutes les zones impactées par le projet, les travaux et la logistique.

Une fois les différents équipements du parc éolien démantelés et évacués, les fondations seront détruites et retirées en totalité puis les emplacements des aires de grutage et des chemins d'accès décompactés, ainsi que des fondations

1 Description générale du projet de parc éolien

excavées, seront remplacés par des terres de caractéristiques comparables aux terres à proximité de l'installation. Les mêmes mesures de prévention et de réduction que celles prévues pour le chantier seront appliquées.

Si l'utilité de certains accès était avérée pour les activités agricoles notamment, la question de garder une partie des chemins d'accès en état sera abordée avec les usagers et la municipalité concernée.

Après nettoyage du site, les opérations de réception sont préparées avec les entrepreneurs en charge des différents lots de travaux.

Les terrains sont enfin remis officiellement à leurs propriétaires. Dans le cas du présent projet, les activités agricoles pourront reprendre à l'issue du démantèlement.

1.12.3 La gestion des déchets de démantèlement

Obligations réglementaires

Les aérogénérateurs sont essentiellement composés de fibres de verre et d'acier, ainsi que de béton pour les fondations et éventuellement le mât. En réalité la composition d'une éolienne est plus complexe et d'autres composants interviennent tels que le cuivre ou l'aluminium.

L'article 29 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 indique que « les déchets de démolition et de démantèlement sont réutilisés, recyclés, valorisés, ou à défaut éliminés dans les filières dûment autorisées à cet effet ». L'arrêté prévoit qu'à partir du 1er juillet 2022, au minimum 90 % de la masse totale des aérogénérateurs démantelés, fondations incluses, et 35 % de la masse des rotors, devront être réutilisés ou recyclés.

L'arrêté prévoit que les aérogénérateurs dont le dossier d'autorisation complet est déposé après les dates du tableau suivant ainsi que les aérogénérateurs mis en service après cette même date dans le cadre d'une modification notable, doivent avoir au minimum.

Date d'application	Proportions de l'aérogénérateur réutilisable ou recyclable
1er janvier 2022	90 % de la masse totale des aérogénérateurs démantelés, fondations incluses, et 35 % de la masse des rotors sont réutilisables ou recyclables
1er janvier 2023	90 % de la masse totale des aérogénérateurs démantelés, fondations incluses, et 45 % de la masse des rotors sont réutilisables ou recyclables
1er janvier 2024	95 % de la masse totale des aérogénérateurs démantelés, fondations incluses, et 45 % de la masse des rotors sont réutilisables ou recyclables
1er janvier 2025	95 % de la masse totale des aérogénérateurs démantelés, fondations incluses, et 55 % de la masse des rotors sont réutilisables ou recyclables

Les différents matériaux récupérables et /ou valorisables d'une éolienne sont donc analysés en détails.

Identification des types de déchets

Pour chaque composant de l'éolienne plusieurs types de déchets sont identifiables :

- Les pales et le moyeu (rotor) : les pales sont constituées de composites de résine, de fibres de verre et de carbone ; ces matériaux pourront être broyés pour en faciliter le transport. Le moyeu est souvent en acier moulé et pourra être recyclé ;
- La nacelle : différents matériaux composent ces éléments : de la ferraille d'acier, de cuivre et différents composites de résine et de fibre de verre voire des terres rares dans le cas de génératrices synchrones à aimants permanents. Si la plupart de ces matériaux sont facilement recyclables ce n'est pas le cas des composites de résines et de fibres de verre qui seront traités et valorisés via des filières adaptées ;
- Le mât : le poids du mât est principalement fonction de sa hauteur. Dans le cadre du présent projet il s'agit de mâts en acier principalement composé de ferrailles de fer qui est facilement recyclable. Des échelles sont souvent présentes à l'intérieur du mât. De la ferraille d'aluminium sera récupérée pour être recyclée ;
- Le transformateur et les installations de distribution électrique : chacun de ces éléments sera récupéré et évacué conformément à l'ordonnance sur les déchets électroniques ;
- La fondation : la fondation est détruite en totalité ; du béton armé sera donc récupéré. L'acier sera séparé des fragments et des caillasses.

Identification des voies de recyclage et/ou de valorisation

Avec le développement de l'énergie éolienne à travers le monde, le traitement des déchets associés au démantèlement des aérogénérateurs en fin de vie constitue une problématique grandissante. Si une éolienne de modèle récent peut être recyclée à hauteur de 90 % de sa masse (fondations mises à part), les matériaux composites dont sont constituées les pales des éoliennes représentent un défi d'ampleur pour la filière, en raison notamment de leur nature complexe, de leur taille conséquente et d'une qualité altérée par une longue exposition aux aléas climatiques.

Ce chapitre présente, pour chaque composant entrant dans la fabrication d'une éolienne, les différentes voies de recyclage ou de valorisation mises en œuvre à l'heure actuelle. Il se base notamment sur le travail réalisé par le Conseil général de l'économie et le Conseil général de l'environnement et du développement durable à la demande du ministre de la Transition écologique et solidaire pour étudier les pistes d'émergence d'un modèle d'économie circulaire dans la filière éolienne².

La fibre de verre et autres matériaux composites

À l'heure actuelle ces matériaux sont en majorité enfouis ou incinérés en dépit d'une réglementation européenne nettement favorable aux autres types de valorisation des déchets (recyclage, valorisation énergétique, ...).

Les principaux matériaux pouvant être récupérés du recyclage des pales sont la fibre de carbone et la fibre de verre. Les perspectives concernant les composites renforcés de fibres de carbone sont intéressantes, avec une demande conséquente à l'échelle mondiale qui devrait encore grandir grâce à de nouvelles applications industrielles (dans l'aérospatiale et l'automobile notamment). Les fibres de carbone recyclées auront l'avantage de satisfaire quantitativement à cette demande, avec des coûts de production et des prix de vente moindres par rapport au matériau vierge. La recherche se consacre actuellement à résoudre les problèmes posés par le traitement des matériaux composites, avec de larges investissements sur les solutions de recyclage des composites renforcés en fibres de carbone. Concernant le recyclage des composites renforcés de fibre de verre, les débouchés sont actuellement plus limités que pour la fibre de carbone, en raison notamment de la faible valeur du produit recyclé.

Deux principaux types de valorisation peuvent être distingués concernant les matériaux composites :

- La valorisation matière :
 - Dans cette optique, il s'agit de dissocier les matières plastiques des fibres afin de récupérer ces dernières pour les réintégrer dans de nouveaux procédés de fabrication. Toutefois, les procédés utilisés pour cette dissociation des matériaux, la solvolysé et la pyrolyse demeurent au stade d'essai laboratoire pour le premier et très énergivore pour le second. Ce dernier n'est, par ailleurs, adapté

² CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ÉCONOMIE. Économie circulaire dans la filière éolienne terrestre en France. Mai 2019, 88 pages

1 Description générale du projet de parc éolien

qu'à la récupération des fibres de carbones car il dégrade trop fortement les propriétés mécaniques des fibres de verre ;

- Une troisième solution de valorisation matière consiste à broyer l'ensemble du composite afin d'obtenir un mélange aggloméré de fibres et de résine pouvant être réintroduit dans la filière de fabrication de produits à base de composites. Toutefois, les propriétés du matériau réutilisé s'avèrent inférieures à celles d'un matériau vierge. Certaines innovations sont à noter en ce sens : la fibre de verre possède des propriétés anti-bruit pouvant être valorisées ; ainsi, une entreprise danoise recycle la fibre de verre constituant les pales d'éoliennes pour en faire des granulés qui sont utilisés pour la construction de murs anti-bruit. Ce procédé s'avère par ailleurs intéressant sur le plan énergétique et climatique puisque, si l'on compare la construction de 100 m² de murs anti-bruit constitués de plastique et de fibre de verre à une surface équivalente de murs construits de manière « classique » à partir d'aluminium et de laine de roche, les murs faits de plastique et de fibres de verre recyclés permettent une réduction d'environ 60 % des émissions de CO₂ et de près de 40 % de la consommation d'énergie nécessaire à leur construction.
- La valorisation énergétique :
 - Parmi les différentes possibilités de valorisation énergétique, la plus probable pour les déchets de pales d'éoliennes reste celle de la valorisation en tant que Combustible Solide de Récupération (CSR). Les principales débouchées en la matière concernent actuellement l'industrie du ciment qui cherche à substituer les combustibles fossiles par des combustibles déchets pour faire fonctionner leurs fours. Bien que ne possédant pas le pouvoir calorifique des combustibles fossiles classiques ainsi que des autres déchets, les composites des éoliennes comportent un taux élevé de fibres de verre, ce qui constitue un avantage dans la mesure où la silice est un des composants du clinker³. En Allemagne, par exemple, les pales sont découpées, broyées puis brûlées ; les cendres de verre sont ensuite utilisées comme substitut du sable (silice) dans la formulation des ciments ;
 - La mise en décharge est une des solutions si aucune possibilité de valorisation n'est trouvée pour les matériaux composites des pales. En effet, en France, la réglementation n'autorise que la mise en décharge des déchets ultimes⁴, or la majorité des déchets composites est encore considéré à ce titre. A l'inverse, en Allemagne, il est interdit de mettre en décharge tout déchet comportant plus de 5% de matière organique, ce qui est le cas des déchets composites.

L'acier

Mélange de fer et de coke (charbon) chauffé à près de 1 600°C dans des hauts-fourneaux, l'acier est préparé pour ses multiples applications en fils, bobines et barres. Ainsi on estime que pour une tonne d'acier recyclé, 1 tonne de minerai de fer est économisée. Ainsi l'acier se recycle à 100 % et à l'infini. Avec un taux de recyclage qui dépasse les 62 %, l'acier est le matériau le plus recyclé en Europe. Son taux de collecte peut atteindre 80 à 90 % selon les usages (source : Centre d'Information sur les Emballages Recyclés en Acier).

Le cuivre

Selon l'International Copper Study Group (ICSG), 41,5 % du cuivre utilisé en Europe provient du recyclage, ce qui souligne l'importance croissant de ce mode d'approvisionnement. Le cuivre a la propriété remarquable d'être recyclable et réutilisable à l'infini sans perte de performances ni de propriétés.

Le recyclage a un rôle important à jouer dans la chaîne d'approvisionnement en ce sens qu'il permet d'éviter l'extraction des ressources naturelles.

En 2011 en France, 2,1 millions de tonnes de cuivre, en provenance de produits en fin de vie et de déchets d'usine directement recyclés (refonte sur site), ont été réutilisés, soit une augmentation de 12 % en un an (source : Centre d'Information du Cuivre, Laiton et Alliages). Cette augmentation des quantités de cuivre recyclé est la conséquence de l'accroissement de l'utilisation de ce métal dans le monde.

³ Produit de la cuisson des constituants principaux du ciment, à la sortie du four, mais avant broyage

⁴ Déchet résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux

Le cuivre est devenu omniprésent dans les équipements de notre vie actuelle : électroménager, produits high-tech, installations électriques, télécommunications, moteurs, systèmes solaires ou bâtiments intelligents.

L'aluminium

Comme l'acier, l'aluminium se recycle à 100 %. Une fois récupéré, il est chauffé et sert ensuite à fabriquer des pièces moulées pour des carter de moteurs de voitures, de tondeuses ou de perceuses, des lampadaires, etc.

Les huiles et les graisses

Les huiles et graisses seront récupérées et traitées dans des filières de récupération spécialisées.

L'ensemble des déchets et résidus issus du chantier, de la maintenance, du démantèlement et de la remise en état du site sera évacué vers des filières adaptées et agréées en vue du traitement le plus adéquat le moment venu. L'article 20 de l'arrêté ICPE du 26 août 2011⁵ stipule notamment que les déchets doivent être éliminés dans des conditions propres à garantir les intérêts mentionnés à l'article L.511-1 du code de l'environnement. Le brûlage de déchets à l'air libre est interdit.

L'article 21 de ce même arrêté précise que les déchets non dangereux et non souillés par des produits toxiques sont récupérés, valorisés ou éliminés dans des filières autorisées. Les seuls modes d'élimination autorisés pour les déchets d'emballage sont la valorisation par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux utilisables ou de l'énergie. Cette disposition n'est pas applicable aux détenteurs de déchets d'emballage qui en produisent un volume hebdomadaire inférieur à 1 100 litres et qui les remettent au service de collecte et de traitement des collectivités.

Le béton

Le béton provient de deux sources possibles dans le cadre du démantèlement d'un parc éolien :

- Les fondations, qui représentent la plus grande quantité de béton ;
- Le mât, qui peut être composé en partie de béton sur certaines éoliennes.

En ce qui concerne les fondations, conformément à la réglementation en vigueur sur le démantèlement, leur excavation totale est obligatoire. Le béton armé qui est récupéré est alors trié, concassé et déferpillé. Le béton issu de ce processus est alors recyclé sous forme de gravillons ou de graves principalement valorisés en sous-couche routière dans le cadre de chantiers de travaux publics, en remplacement de granulats naturels. Si leur qualité le permet, les graviers peuvent également être réutilisés en construction pour être incorporés au sable et au ciment et produire à nouveau du béton. Cette méthode de recyclage du béton a notamment fait l'objet d'un projet de recherche à partir de 2012 dont les résultats révélés en 2018 ont démontré qu'il était possible de dépasser les limites techniques de sa réutilisation. Ainsi, des opérations pilotes ont été menées comme la construction d'ouvrages d'art ou de voies routières (contournement Nîmes-Montpellier), où l'utilisation de bétons recyclés a été mise en œuvre.

Concernant les tiges d'armature métallique collectées, celles-ci sont constituées d'acier ; elles sont donc valorisées conformément aux dispositions présentées dans le chapitre 1.4.3.3.2.

Les terres rares

L'utilisation de terres rares ne concerne qu'une très faible proportion d'éoliennes (3% des éoliennes en France) et implique les éoliennes les plus puissantes dont les génératrices utilisent des aimants permanents.

L'enjeu du recyclage des aimants permanents des éoliennes ne se posera qu'à partir de 2030 en France et les quantités demeureront très faibles (excepté en prenant en compte la probable montée en puissance du parc éolien offshore où l'utilisation des aimants permanents est systématique mais dont le démantèlement n'interviendrait pas avant 2040). En

⁵ Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement

1 Description générale du projet de parc éolien

tout état de cause, la voie de recyclage la plus probable des terres rares concernerait une « réutilisation directe » des aimants après reconfiguration dans une optique similaire.

A noter qu'étant donné les problématiques inhérentes à la production et l'approvisionnement en terres rares (impact environnemental, concurrence, etc.), les fabricants d'éoliennes cherchent de plus en plus à diminuer la quantité de terres rares composant les aimants permanents, voire à s'en passer simplement.



Siège social :
22 boulevard Maréchal Foch - BP58 - F-34140 Mèze
Tél. : +33(0)4 67 18 46 20 - Fax : +33(0)4 67 18 65 38 - www.biotope.fr