

# Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale

Projet de parc éolien de Moulins, commune de Moulins-en-Tonnerrois (Yonne, 89)

## PIÈCE 1 : DESCRIPTION DU PROJET



**Maître d'Ouvrage : SAS Parc éolien de Moulins**

SAS Parc éolien de Moulins  
37/39 avenue de Friedland  
75008 Paris





# SOMMAIRE

Conformément aux articles R181-13-4° et D181-15-2 du Code de l'Environnement, la demande d'autorisation environnementale comprend « une description de la nature et du volume de l'activité, l'installation, l'ouvrage ou les travaux envisagés, de ses modalités d'exécution et de fonctionnement, des procédés mis en œuvre, ainsi que l'indication de la ou des rubriques des nomenclatures dont le projet relève. Elle inclut les moyens de suivi et de surveillance, les moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident ainsi que les conditions de remise en état du site après exploitation et, le cas échéant, la nature, l'origine et le volume des eaux utilisées ou affectées » ainsi que « les procédés de fabrication que le pétitionnaire mettra en œuvre, les matières qu'il utilisera, les produits qu'il fabriquera, de manière à apprécier les dangers ou les inconvénients de l'installation ».

La présente pièce s'attache donc à décrire le projet éolien de Moulins.

- 1 DESCRIPTION DU PROJET EOLIEN DE MOULINS ..... 5
  - 1.1 Nature de l'activité..... 7
  - 1.2 Description générale du projet de parc éolien de Moulins..... 8
  - 1.3 Description technique du parc éolien de Moulins ..... 11
  - 1.4 La phase chantier ..... 20
  - 1.5 La phase d'exploitation..... 27
  - 1.6 Les emprises du projet ..... 31
- 2 MOYENS DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE ET MOYENS D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT ..... 33
  - 2.1 Suivi et surveillance ..... 35
  - 2.2 Moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident ..... 36
- 3 DEMANTELEMENT ET REMISE EN ETAT DU SITE ..... 37
  - 3.1 Le démantèlement ..... 38
  - 3.2 Remise en état du site ..... 41





# 1 DESCRIPTION DU PROJET EOLIEN DE MOULINS

- 1.1 Nature de l'activité..... 7
- 1.2 Description générale du projet de parc éolien de Moulins..... 8
  - 1.2.1 Présentation simplifiée d'une éolienne et de son fonctionnement ..... 8
  - 1.2.2 Composition générale d'un parc éolien ..... 8
  - 1.2.3 Situation géographique du projet ..... 9
- 1.3 Description technique du parc éolien de Moulins ..... 11
  - 1.3.1 Présentation générale..... 11
  - 1.3.2 Les aérogénérateurs du parc éolien ..... 11
  - 1.3.3 Les accès et les aires de travail ..... 14
  - 1.3.4 Le raccordement électrique : l'évacuation de l'électricité produite ..... 16
- 1.4 La phase chantier ..... 20
  - 1.4.1 Les conditions d'accès au chantier ..... 21
  - 1.4.2 Les étapes du chantier ..... 21
  - 1.4.3 Le trafic routier en phase chantier ..... 25
  - 1.4.4 La gestion des déchets en phase de chantier ..... 25
- 1.5 La phase d'exploitation..... 27
  - 1.5.1 La durée de vie du parc éolien ..... 28
  - 1.5.2 La production estimée ..... 28
  - 1.5.3 La maintenance..... 28
  - 1.5.4 Le trafic routier en phase d'exploitation..... 29
  - 1.5.5 La gestion des déchets d'exploitation..... 29
- 1.6 Les emprises du projet ..... 31



## 1.1 Nature de l'activité

Le présent Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE) concerne le **projet de parc éolien de Moulins**, composé de six aérogénérateurs et de deux postes de livraison implantés sur la commune de Moulins-en-Tonnerrois dans le département de l'Yonne. La société de projet du Parc éolien de Moulins sera le Maître d'Ouvrage et l'exploitant du futur parc éolien.

En tant qu'installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs, le projet éolien de Moulins s'inscrit à la **rubrique n°2980 de la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement<sup>1</sup>**.

Le présent projet comprend au moins un aérogénérateur dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est supérieure ou égale à 50 m, à ce titre il est soumis au **régime de l'autorisation**.

<sup>1</sup> Rubrique créée par le Décret n° 2011-984 du 23 août 2011 et modifiée par le Décret n° 2019-1096 du 28 octobre 2019

## 1.2 Description générale du projet de parc éolien de Moulins

### 1.2.1 Présentation simplifiée d'une éolienne et de son fonctionnement

#### 1.2.1.1 Composition

Une éolienne est composée de :

- **trois pales** réunies au moyeu, l'ensemble est appelé rotor ;
- une **nacelle** supportant le rotor, dans laquelle se trouvent des éléments techniques indispensables à la création d'électricité (multiplicateur, génératrice, ...). La nacelle peut pivoter à 360° ;
- un **mât** maintenant la nacelle et le rotor, généralement composé de 3 à 5 tubes s'imbriquant les uns dans les autres ;
- une **fondation** assurant l'ancrage de l'ensemble ; elle comprend des ferraillages, un massif-béton et une virole (ou cage d'ancrage, pièce à l'interface entre la fondation et le mât).

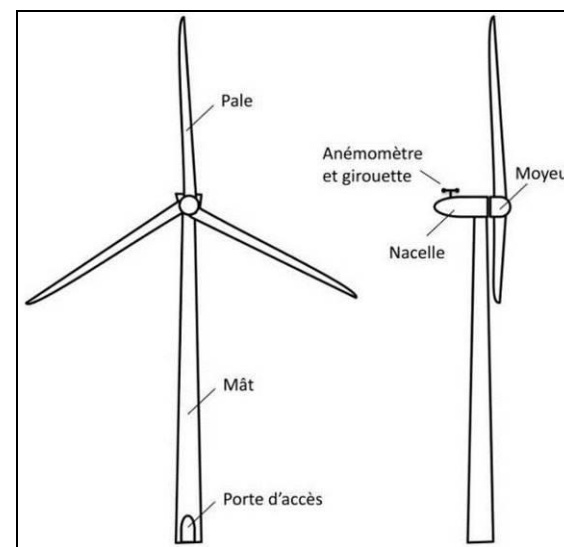


Figure 1 : Schéma simplifié d'une éolienne

Elle transforme l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Cette transformation, détaillée ci-après, se fait en plusieurs étapes principalement par le couple rotor/nacelle.

#### 1.2.1.2 Principe de fonctionnement

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 2 m/s, et c'est seulement à partir de 3 m/s 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 14 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 -120 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 la vitesse minimale nécessaire à la production maximale, l'éolienne fournit sa puissance nominale.

L'électricité produite par la génératrice est convertie en courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension d'environ 750 V. La tension est ensuite élevée par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre dépasse la vitesse maximale de fonctionnement, 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 ;
- Le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle. Ce frein mécanique n'est activé que par un arrêt d'urgence.

### 1.2.2 Composition générale d'un parc éolien

Un parc éolien est composé :

- 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 ;
- d'un **réseau de télécommunication enterré** permettant le contrôle et la supervision à distance du parc éolien ;
- de **chemins d'accès**.

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

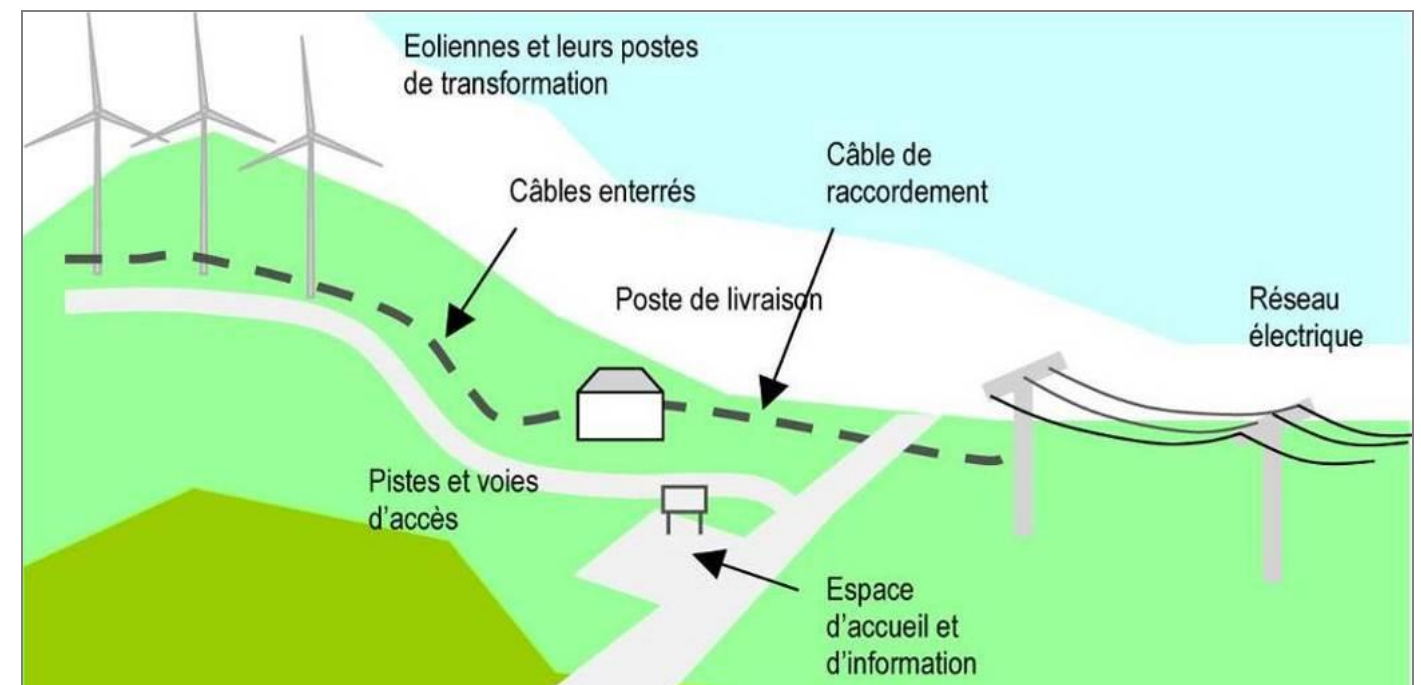


Figure 2 : Schéma de principe d'un parc éolien (Source : Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens, 2010)



### 1.2.3 Situation géographique du projet

Le projet de parc éolien de Moulins se compose de six aérogénérateurs et d’un poste de livraison implantés sur la commune de Moulins-en-Tonnerrois, dans le département de l’Yonne, en région Bourgogne-Franche-Comté.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques de ces équipements (référentiel Lambert 93).

Tableau 1 : Coordonnées des équipements du projet éolien de Moulins (Source : Velocita Energies)

Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison (Lambert 93)				
Équipements	X	Y	Z (altitude du terrain en mètres)	Commune d’implantation
Éolienne 1 (E1)	779069,6487	6736899,297	265	Moulins-en-Tonnerrois
Éolienne 2 (E2)	779199,9928	6736596,067	271	
Éolienne 3 (E3)	779319,0798	6736286,425	277	
Éolienne 4 (E4)	778269,0916	6736073,396	267	
Éolienne 5 (E5)	778650,1173	6735446,575	276	
Éolienne 6 (E6)	778850,6699	6735126,873	278	
Poste de livraison (PDL 1)	779259,46	6736276,45	278	
Poste de livraison (PDL 2)	778790,58	6735133,39	276	

Les six aérogénérateurs du parc s’organisent selon deux alignements orientés nord-ouest / sud-est. Ces deux lignes viennent compléter les alignements existants du parc éolien construit « du Tonnerrois ». L’éolienne E1 est la plus au nord.

Les distances entre éoliennes de chaque alignement (distance de mât à mât) sont détaillées ci-après :

- E1 - E2 : 330 m ;
- E2 - E3 : 340 m ;
- E4 - E5 : 730 m ;
- E5 - E6 : 375 m.

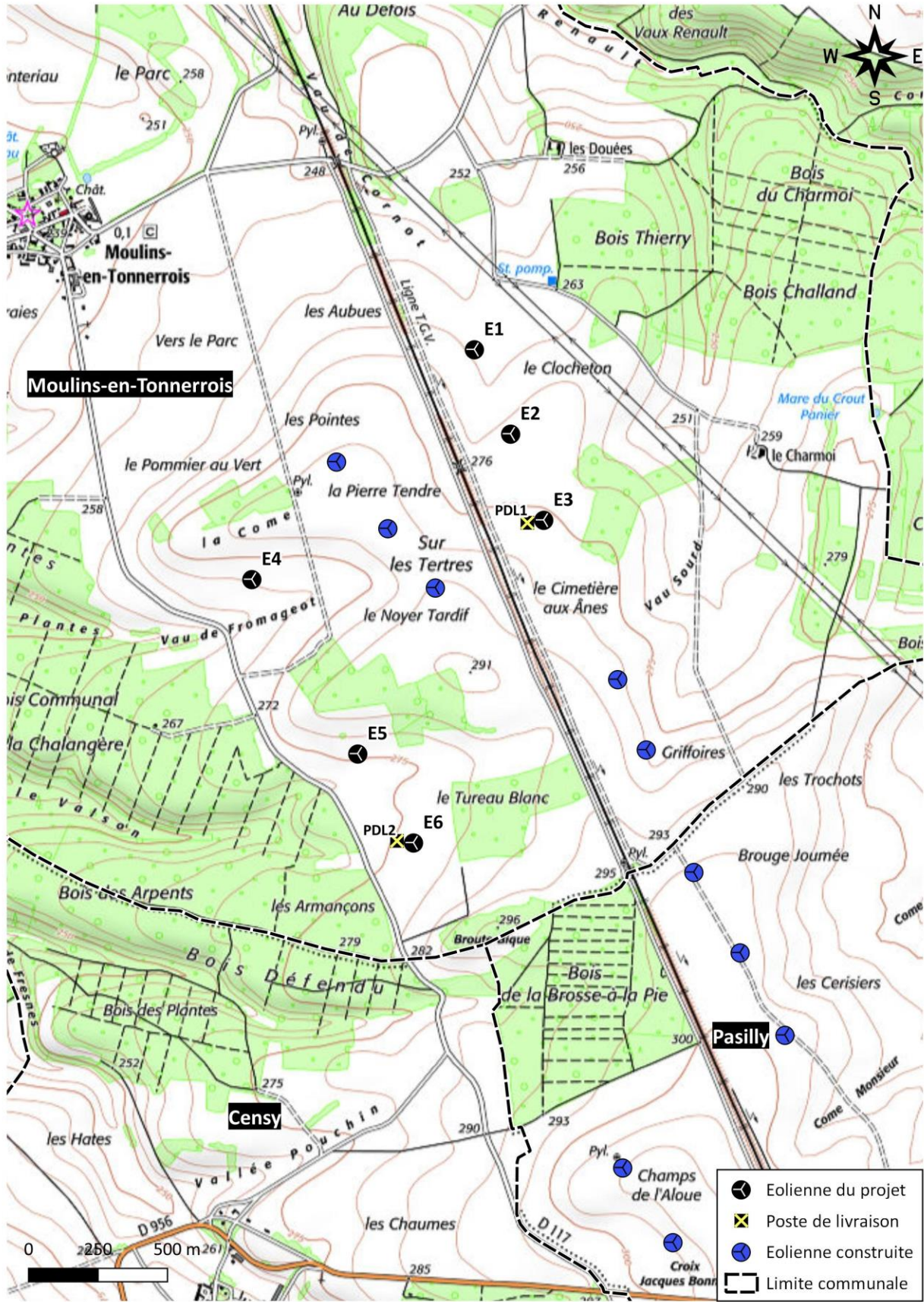
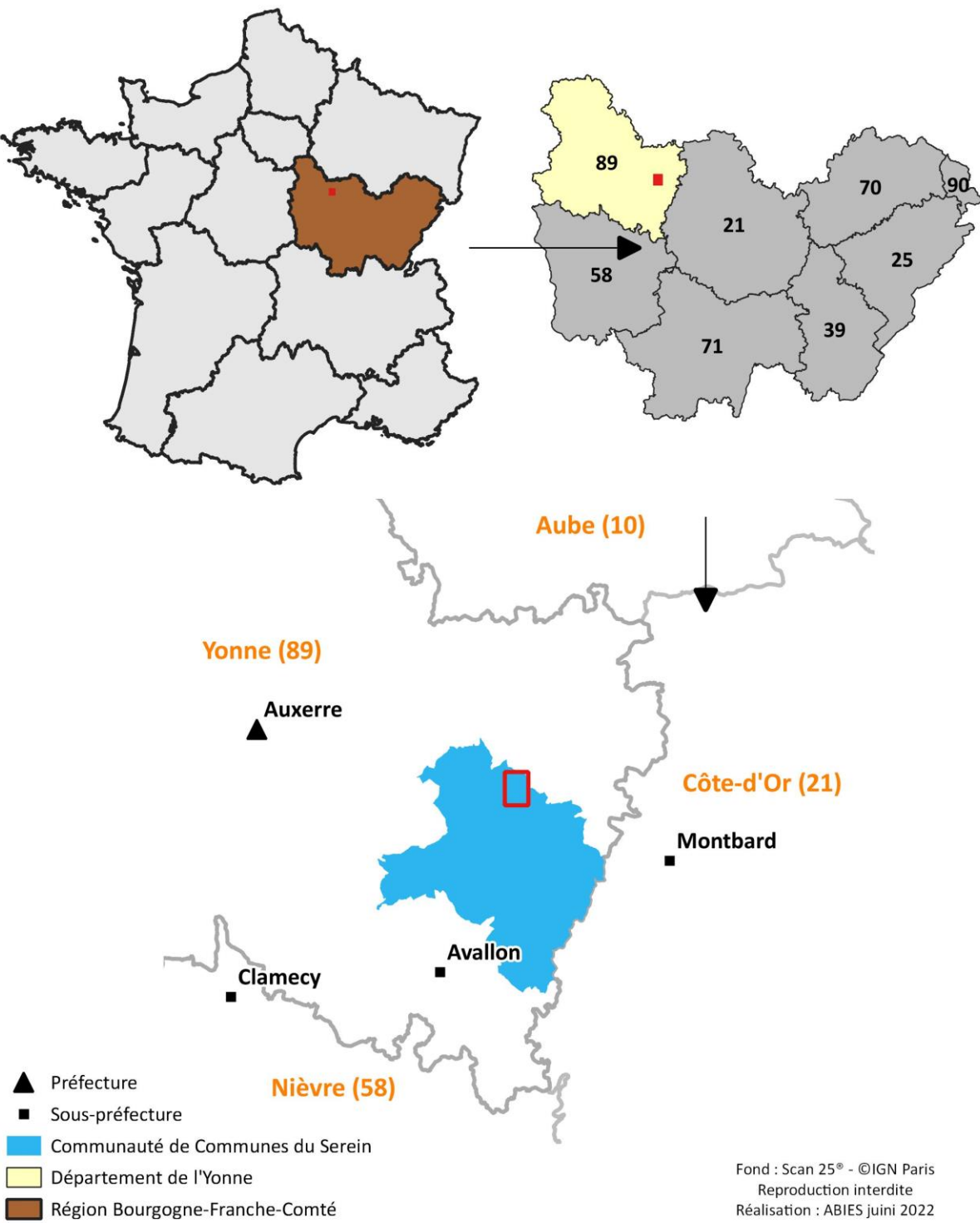
L’écart moyen entre chaque machine est de 444 m. Cet espacement correspond à 3,4 fois le diamètre des plus grands rotors envisagés pour équiper les éoliennes du projet (131 m).

Les postes de livraison PDL 1 et PDL 2 prennent respectivement place sur les plateformes d’E3 et d’E6.

La carte suivante présente la situation des éoliennes et des poste de livraison sur un fond de carte IGN au 1/25 000.

Projet de parc éolien de Moulins-en-Tonnerrois

Plan de situation



Carte 1 : Plan de situation du projet de parc éolien de Moulins



# 1.3 Description technique du parc éolien de Moulins

## 1.3.1 Présentation générale

Les principales caractéristiques du parc, tenant compte des modèles de machines retenus, sont les suivantes :

Tableau 2 : Caractéristiques principales du parc éolien de Moulins

Paramètre	Parc éolien
Nombre d'éoliennes	6
Puissance nominale unitaire	2 à 3,6 MW
Puissance totale du parc éolien	Entre 12 et 21,6 MW
Nombre de postes de livraison	2
Linéaire de tranchées pour l'implantation du raccordement électrique interne et du réseau de télécommunication	3,27 km
Emprise au sol immobilisée par le projet	2,36 ha
Nombre d'heures estimé de fonctionnement pleine puissance	2 089 h/an
Production annuelle estimée en tenant compte des pertes	36 403 MWh/an
Population moyenne alimentée en électricité par ce parc, hors chauffage	11 739 habitants

## 1.3.2 Les aérogénérateurs du parc éolien

### 1.3.2.1 Choix des éoliennes

À la date de dépôt du présent Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale, le modèle d'aérogénérateurs qui équipera le parc éolien de Moulins n'est pas déterminé.

Seul le gabarit maximal des machines est arrêté. Les différents critères dimensionnels (hauteur totale, diamètre du rotor, hauteur de moyeu, etc.) ne peuvent être déterminés précisément à ce stade tant il existe de variabilité entre chaque constructeur et modèle produit.

Afin de disposer de données exploitables pour la réalisation de la présente étude d'impact, il a été décidé par le maître d'ouvrage de s'appuyer sur un gabarit maximal et adapté aux caractéristiques de vent du site. A noter que selon la thématique étudiée, les caractéristiques majorantes retenues peuvent varier pour analyser les impacts prévisionnels.

Les caractéristiques et le gabarit global de ces différentes turbines sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Caractéristiques et gabarits des aérogénérateurs envisagés pour le parc éolien de Moulins

Nom de la machine	Gabarit envisagé
Constructeur	NC
Puissance nominale	2 à 3,6 MW
Diamètre maximal du rotor	131 m

Hauteur maximale en bout de pale	180 m
Hauteur maximale de moyeu	114,5 m
Hauteur libre sous rotor (minimum)	44 m
Longueur de pale	Environ 64 m
Largeur maximale de la pale	4,5 m
Diamètre de la base du mât	4,2 m

Afin de ne pas risquer de sous-évaluer les impacts, dangers et inconvénients de l'installation sur l'environnement, il a été décidé de considérer pour la présente étude d'impact les paramètres dimensionnels ayant les incidences négatives sur l'environnement les plus importantes.

Ainsi, les principaux paramètres intervenants sont :

- le **diamètre du rotor**. Plus celui-ci est important et plus la surface balayée par les pales sera grande ; le risque de collision avec la faune volante est donc accru. Par ailleurs un rotor de grande taille aura une visibilité et un effet de surplomb majorés. Le diamètre retenu pour la suite de l'étude est le **diamètre maximal : 131 m** ;
- la **hauteur en bout de pale**. Les éoliennes les plus hautes seront visibles sur des distances plus importantes. Elles pourront également intercepter les axes de déplacement d'espèces d'oiseaux de haut vol et de chauves-souris. La valeur retenue pour la suite de l'étude est : **180 m** ;
- la **hauteur libre sous le rotor** (ou garde au sol). Plus celle-ci est réduite plus le risque de collision avec les espèces d'oiseaux et de chauves-souris volant au plus près du sol est augmenté. Ainsi, le porteur de projet a privilégié une hauteur libre élevée, permettant de préserver au mieux la faune volante : la valeur retenue pour la suite de l'étude correspond à une **hauteur libre sous rotor de 44 m**, soit la plus faible.

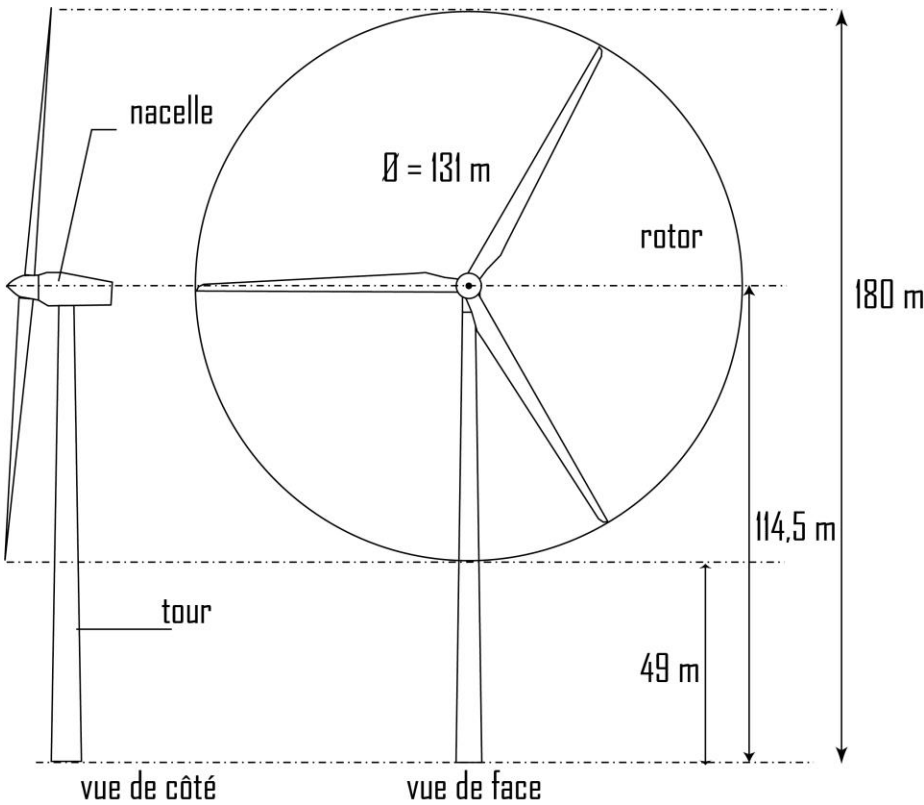


Figure 3 : Schéma des dimensions du gabarit maximal retenu

## 1.3.2.2 Caractéristiques techniques des éoliennes

### 1.3.2.2.1 Composition

#### A) Le rotor : moyeu et pales

L'éolienne retenue sera équipée d'un rotor de 131 mètres de diamètre (au maximum) et constitué de trois pales fixées au moyeu.

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 pales de l'éolienne mesureront 68 m au maximum. 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.

Le moyeu constitue la pièce centrale du rotor ; 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 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°.

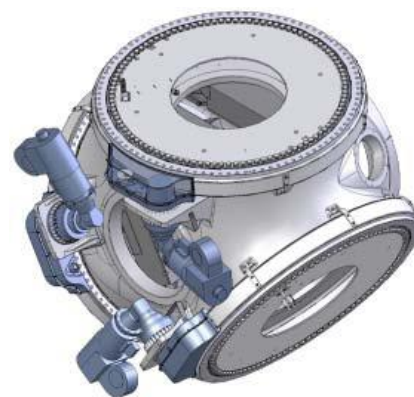


Figure 4 : Exemple de moyeu

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).

#### B) 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 et les armoires de commandes. 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.

##### B.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.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.

Les modèles d'éoliennes retenus pour le présent projet sont dotés de génératrices asynchrones avec multiplicateur.

##### B.c) 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.

##### B.d) Le système de refroidissement

Le refroidissement des principaux composants de la nacelle (multiplicateur, génératrice, 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.

#### C) Le mât

Le mât de l'éolienne se présente sous la forme d'une tour conique en acier constituée de 3 à 4 sections. Il supporte l'ensemble nacelle + rotor.

L'accès au mât se fait par une porte verrouillable au pied de la tour. Dans le mât, il est possible de monter jusqu'à la nacelle avec un ascenseur (facultatif) ou 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.

#### D) 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 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 ;
- Le transformateur constitue l'élément électrique qui va élever la tension issue de la génératrice pour permettre le raccordement au réseau de distribution d'électricité. Il se situe dans une pièce séparée et verrouillée et des dispositifs parafoudre assurent sa protection.

### E) Lubrification et produits chimiques

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 Moulins-en-Tonnerrois 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 nettoyants 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.

#### 1.3.2.2.2 La couleur et le 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.

### A) 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.

La couleur choisie est appliquée uniformément sur l'ensemble des éléments constituant l'éolienne (tour, moyeu et pales). Dans le cas des aérogénérateurs de Moulins, 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.

### B) 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/m<sup>2</sup>, le crépuscule est caractérisé par une luminance de fond comprise entre

50 cd/m<sup>2</sup> et 500 cd/m<sup>2</sup>, et la nuit est caractérisée par une luminance de fond inférieure à 50 cd/m<sup>2</sup>. 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/m<sup>2</sup>.

**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 ;
- 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.

**Les éoliennes de Moulins, dont la hauteur maximale en bout de pale sera de 180 m, seront donc équipées d'un niveau de feux d'obstacles basse intensité de type B.**

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 de leurs performances ne soit démontrée par un organisme détenteur d'une accréditation NF EN ISO/CEI 17025 pour la réalisation d'essais de colorimétrie et de photométrie.

#### 1.3.2.3 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 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 (virole), disposé au centre du massif de la fondation, 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 de Moulins devraient être similaires à celle présentée sur le schéma ci-après, probablement de forme ronde, de 24 m de diamètre environ.

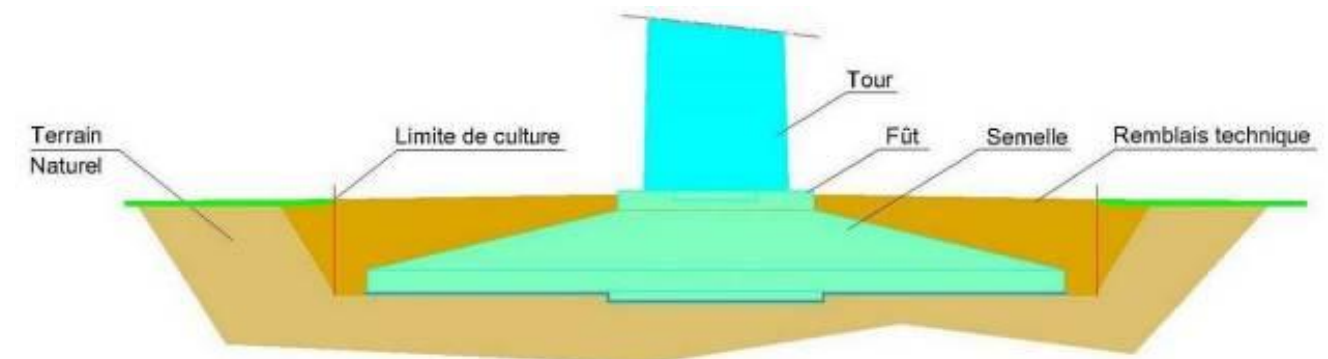


Figure 5 : Schéma type d'une fondation



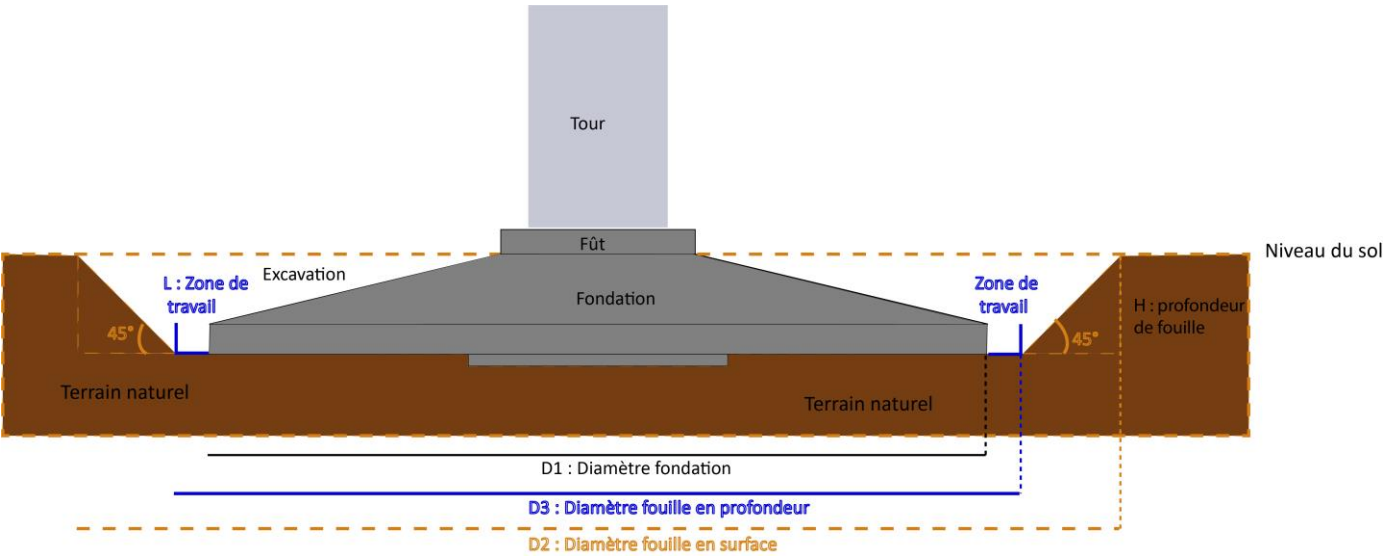


Figure 6 : surfaces et volumes en jeu pour les fondations



Photo 1 : Exemple de ferraillage en radier pour une éolienne



Photo 2 : La fondation terminée



Photo 3 : Détail des fixations de la fondation

Tableau 4 : Les emprises cumulées des fondations

Zoom sur les emprises cumulées	
Concernant l'emprise au sol des fondations :	
<ul style="list-style-type: none"><li>● <b>En phase chantier</b> : l'emprise de la fondation en phase de chantier est matérialisée ici par la fouille aménagée pour accueillir l'ouvrage. De forme circulaire, elle est creusée sur une profondeur maximum de 3 à 3,5 m et reçoit à sa base : la semelle de la fondation, dont le diamètre maximal attendu D1 est de 24 m, ainsi qu'une bande périphérique de 2 m de large permettant le travail des ouvriers. Afin d'éviter tout risque d'effondrement, les parois de la fouille sont inclinées suivant un angle d'environ 45°, ce qui lui donne une forme évasée.</li></ul> <p>Ainsi, bien que chaque fondation occupe à elle seule une emprise finale de 452 m<sup>2</sup>, l'excavation nécessaire à sa réalisation s'étend en surface sur un diamètre D2 pouvant atteindre environ 34 m, soit 908 m<sup>2</sup>. Cette emprise n'est toutefois pas immobilisée sur la durée complète des travaux puisque la fouille est remblayée par les terres initialement extraites dès que le massif béton est sec, soit un mois après coulage.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● <b>En phase d'exploitation</b> : la fouille est remblayée et la majorité de la fondation est recouverte par les terres initialement extraites ; seule la partie centrale de l'ouvrage est apparente, c'est-à-dire le fût qui atteindra 6 m de diamètre. Toutefois la surface correspondante à la fondation en surface est balisée et interdite aux labours.</li></ul>	
Emprise cumulée des fondations/excavations en phase chantier	Emprise cumulée des fondations (fût + surface remblayée hors plateforme) en phase exploitation
Fondations : 2 712 m <sup>2</sup> / 0,27 ha Fouilles : 5 448 m <sup>2</sup> / 0,58 ha	2 712 m <sup>2</sup> / 0,27 ha

### 1.3.2.4 Respect des normes en vigueur

Conformément à l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 :

- « L'aérogénérateur est conçu pour garantir le maintien de son intégrité technique au cours de sa durée de vie. Le respect de la norme NF EN 61 400-1 ou IEC 61 400-1, dans leur version en vigueur à la date de dépôt du dossier de demande d'autorisation environnementale [...], ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne [...], permet de répondre à cette exigence. Un rapport de contrôle d'un organisme compétent atteste de la conformité de chaque aérogénérateur de l'installation avant leur mise en service industrielle. » (Article 8) ;
- « L'installation est mise à la terre pour prévenir les conséquences du risque foudre. Le respect de la norme IEC 61 400-24, dans sa version en vigueur à la date de dépôt du dossier de demande d'autorisation environnementale [...], permet de répondre à cette exigence. Un rapport de contrôle d'un organisme compétent atteste de la mise à la terre de l'installation avant sa mise en service industrielle. » (Article 9) ;
- « L'installation est conçue pour prévenir les risques électriques. [...] Les installations électriques à l'intérieur de l'aérogénérateur respectent les dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables. Pour les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur, le respect des normes NF C 15-100, NF C 13-100 et NF C 13-200, dans leur version en vigueur à la date de dépôt du dossier de demande d'autorisation environnementale [...], permet de répondre à cette exigence. Un rapport de contrôle d'un organisme compétent atteste de la conformité de l'installation pour prévenir les risques électriques, avant sa mise en service industrielle. » (Article 10).

### 1.3.3 Les accès et les aires de travail

#### 1.3.3.1 Les contraintes d'accès pour les convois

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

- la charge des convois durant la phase de travaux ;
- l'encombrement des éléments à transporter (pales, tours et nacelles).

Concernant l'encombrement, ce sont les pales, de 64 mètres de long, qui représentent la plus grosse contrainte. Leur transport est réalisé par convoi exceptionnel à l'aide de camions adaptés (tracteur et semi-remorque).

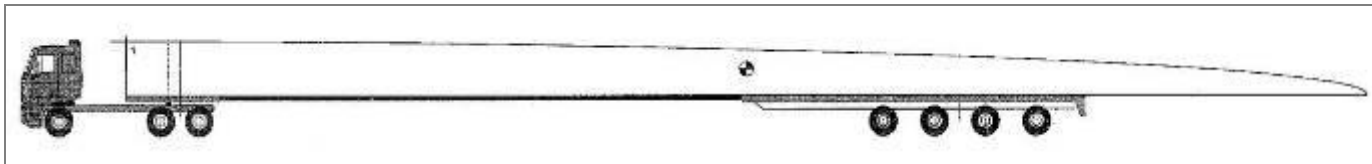


Figure 7 : Transport d'une pale

Lors du transport des aérogénérateurs, 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.

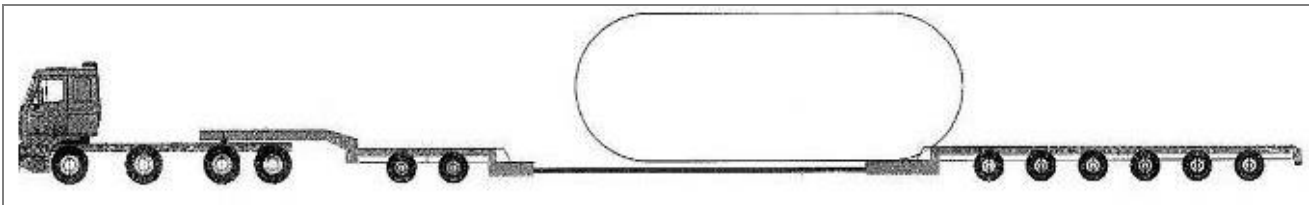


Figure 8 : Transport de la nacelle

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.

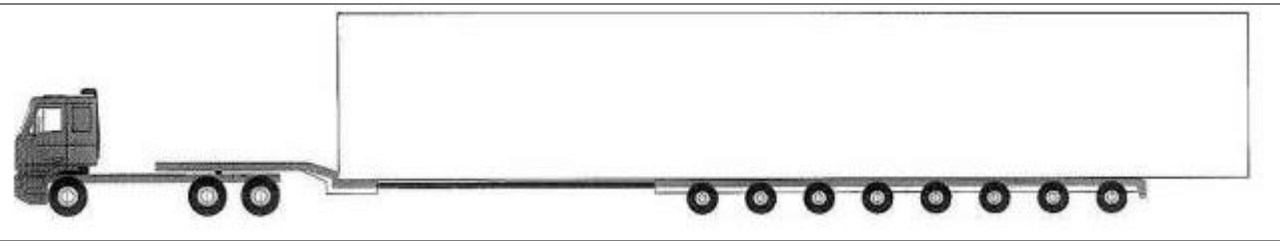


Figure 9 : Transport d'une section du mât

#### 1.3.3.2 Caractéristique des accès

Un réseau de routes, pistes et de chemins, adaptés pour le passage des véhicules, existe déjà sur le site et sera utilisé pour le chantier. Plusieurs pistes seront néanmoins créées pour permettre la desserte des éoliennes du parc. La largeur utile de la voie doit être de 4 à 5 mètres avec un dégagement de part et d'autre.

Au cours de l'exploitation du parc éolien, les pistes créées seront maintenues en l'état.

Six virages (pans coupés et pans coupés en porte à faux), d'une superficie cumulée de 2 977 m<sup>2</sup>, seront également créés afin d'offrir un rayon de courbure suffisant aux convois volumineux pour manœuvrer entre les chemins de desserte. Ils seront supprimés lors de la phase d'exploitation.

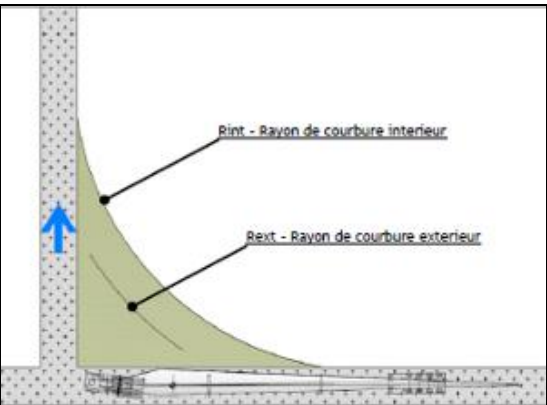


Figure 10 : Aménagement d'un virage

Les pistes d'accès seront constituées d'une couche de renforcement, capable de supporter le trafic et le travail des engins lourds, de façon pérenne et sécurisée pendant toute la durée du chantier.

Une étude géotechnique devra caractériser le sol sur lequel les routes du parc seront construites. Des échantillons de sol seront soumis à des tests en laboratoire pour la caractérisation du terrain (granulométrie, plasticité, compacté à 98% à l'essai Proctor, etc.) et plus particulièrement un essai CBR. Ces tests seront complétés par des essais à la plaque in-situ.

Dans les cas où il n'est pas possible d'atteindre les valeurs minimales CBR, les voies devront être améliorées par l'application de la technique la plus appropriée (traitement à la chaux ou au ciment, empierrement, etc.) en fonction du type de sol. Le gravier utilisé doit avoir une faible plasticité afin d'éviter la formulation de boue. Les voies internes et les accès au parc éolien seront ensuite dimensionnés pour supporter une reprise à l'effort de 12T à l'essieu minimum, quelle que soient les conditions météorologiques.

Tableau 5 : Les emprises cumulées des accès et virages

Zoom sur les emprises cumulées	
Au total, pour l'ensemble du projet éolien de Moulins :	
<ul style="list-style-type: none"><li>• environ <b>1 287 mètres linéaires de chemins d'accès</b> seront à créer ; d'une largeur utile de 5 m, ils occuperont une surface cumulée de 6 419 m<sup>2</sup> ;</li><li>• <b>six virages nouveaux</b> seront aménagés pour une emprise totale de 2 977 m<sup>2</sup>. Ils ne seront pas conservés en phase d'exploitation.</li></ul>	
Emprise cumulée des accès et virages à créer en phase chantier	Emprise cumulée des accès à créer en phase d'exploitation
9 396 m <sup>2</sup> / 0,94 ha	6 419 m <sup>2</sup> / 0,64 ha

#### 1.3.3.3 Caractéristiques des plateformes nécessaires à la construction et à la maintenance des éoliennes

Afin de permettre l'assemblage des différents composants de l'aérogénérateur, des aires spécifiques seront aménagées au pied de chaque éolienne. Ces plateformes, planes et stabilisées, 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.

La plateforme de montage doit être constituée d'une couche de renforcement, généralement en Matériaux Granulaires non traités (GNT), capable de supporter le trafic et le travail des engins lourds de façon pérenne et sécurisée. Sa réalisation doit donc être assurée par une série d'investigations, de calculs et de contrôles.

Hormis pour les pales et fûts, les éléments éoliens seront tous stockés sur cette plateforme de travail aménagée pour le montage de la turbine. Les déchargements des nacelles, drive-trains et moyeux seront réalisés à l'aide d'une grue. La manutention au sol des éléments est nécessaire, en vue de leurs préparations avant levage. Chaque

colis stocké sur la plateforme devra ainsi être accessible aux techniciens sur site et aux chariots élévateurs pour la préparation et l’assemblage des composants.

Les plateformes seront 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).

Tableau 6 : Les emprises cumulées des plateformes de levage et de maintenance

Zoom sur les emprises cumulées	
Afin d’assurer la construction et la maintenance des aérogénérateurs de Moulins, 6 plateformes de levage seront aménagées.	
Emprise cumulée des plateformes en phase chantier	Emprise cumulée des plateformes en phase d’exploitation
Emprise plateforme de levage hors fouilles : 11 688 m² / 1,17 ha	14 400 m² / 1,44 ha

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

Les pales arrivent sur site avant la livraison des tours et le montage de la machine. Un convoi est dédié pour chaque pale. La livraison est généralement effectuée simultanément avec celles des nacelles. Les pales seront déchargées à la grue sur une zone qui répondra aux caractéristiques suivantes :

- la zone doit être exempte de tout obstacle, stabilisée et accessible avec un chariot télescopique par tout temps ;
- l’aire de stockage devra être nivelée ;
- la zone de stockage devra être située en périphérie directe de la plateforme, en prohibant l’arrière de la turbine ;
- la longueur de la zone devra être de 70 m et la largeur de 15 m ;
- des cavaliers de stockage seront utilisés pour le stockage au sol des pales une fois déchargées, sous lesquels seront positionnées des plaques de répartition pour augmenter la stabilité de l’ensemble.

Ces surfaces seront restituées à leur usage d’origine une fois les pales mises en place.

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 surface dédiée à la base vie devra pouvoir accueillir des containers de stockage, des bennes qui permettront le traitement des déchets, des outillages de levage et des bureaux pour les acteurs du chantier. La base vie devra être plane, stabilisée, empierrée, drainée et facilement accessible. En l’état actuel de définition de la phase de chantier, sa localisation n’est pas encore arrêtée.

Tableau 7 : Les emprises cumulées des aires de stockage des pales et de la base vie

Zoom sur les emprises cumulées	
Au total, six aires de stockage temporaires de dimensions 15 m x 70 m sont prévues pour le chantier. Une base vie de de 1 500 m² (surface envisagée) sera installée pour l’accueil du personnel.	
Emprise cumulée des aires de stockage des pales et de la base vie en phase de chantier	Emprise cumulée des aires de stockage des pales et de la base vie en phase d’exploitation
Base vie et aires de stockage : 7 800 m² / 0,78 ha	0 m² / 0 ha

1.3.4 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 :

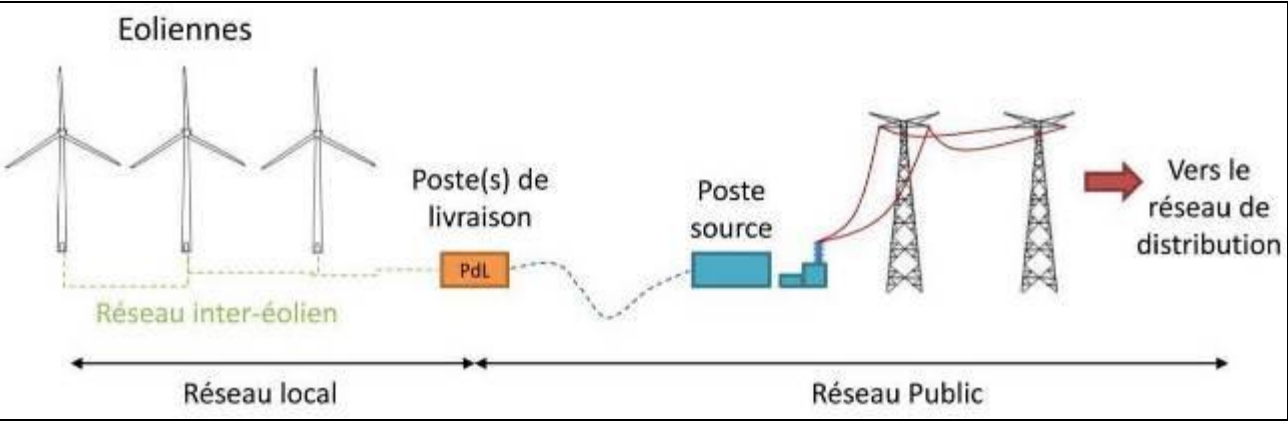


Figure 11 : Principe de raccordement électrique d’une installation éolienne (Source : Ineris)

1.3.4.1 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 dont la profondeur pourra varier selon le nombre de câbles enfouis, le type de tranchée et l’occupation du sol : généralement, la profondeur minimale d’enfouissement est de 1,20 m sur les espaces agricoles, afin de ne pas gêner l’exploitation, et de 0,8 m à l’axe des chemins et accotement des routes existantes. En cas de franchissement de canalisations existantes, le passage des câbles sera réalisé selon les prescriptions du concessionnaire du réseau concerné. La largeur des tranchées est de l’ordre de 0,6 m.

La présence du câble est matérialisée par un grillage avertisseur de couleur rouge, conformément à la réglementation en vigueur. Les câbles seront des câbles HTA conformes à la norme C13-200.



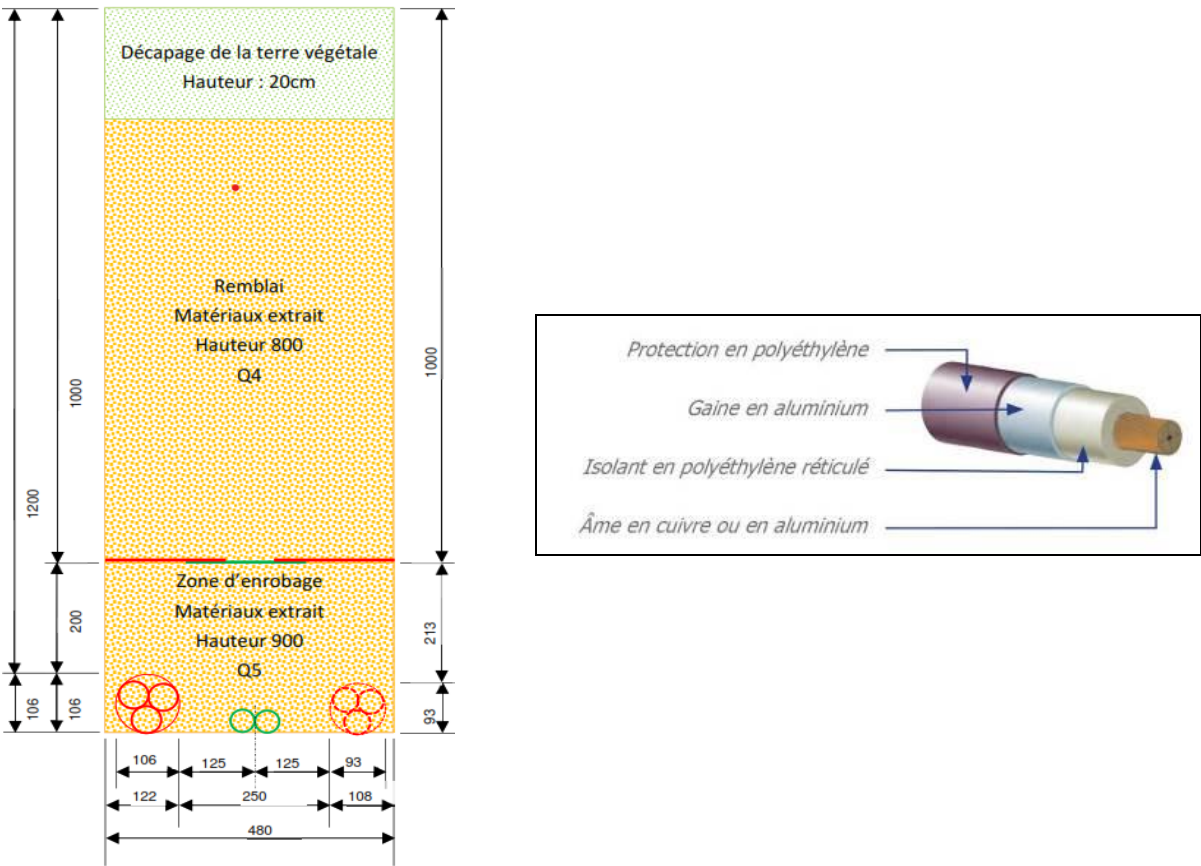
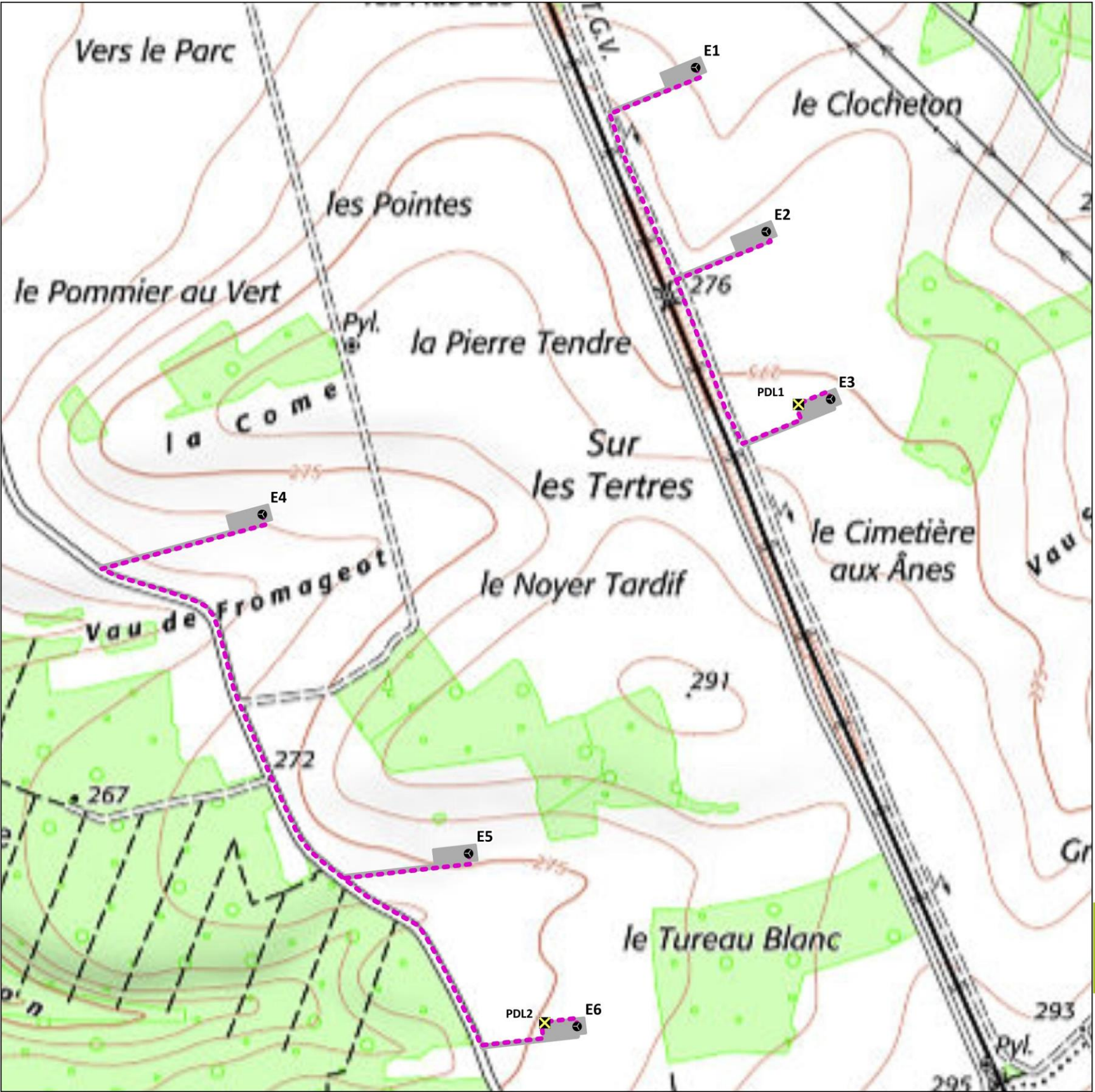


Figure 12 : Principe d'enfouissement et coupe d'un câble de raccordement souterrain (source : RTE)

Tableau 8 : Les emprises cumulées du raccordement électrique et de télécommunication inter-éolien

Zoom sur les emprises cumulées	
Dans le cadre du présent projet, le réseau électrique et de télécommunication souterrain inter-éolien suivra autant que possible les chemins et routes existants ou à créer (Cf. carte suivante). Le linéaire de tranchées dans lequel ces câbles seront implantés s'étend sur 3 269 m, plusieurs câbles pouvant transiter dans une même tranchée. De largeur moyenne de 60 cm, nous estimons les emprises temporaires correspondantes à 1 962 m².	
Emprise cumulée du raccordement en phase de chantier	Emprise cumulée du raccordement en phase d'exploitation
Emprise nette : 1 962 m² soit 0,2 ha	0 m² / 0 ha



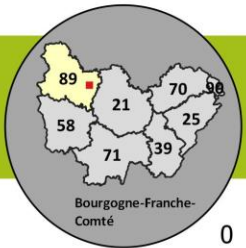
Carte 2 : Plan du raccordement inter-éolien et des postes de livraison

Projet de parc éolien de  
Moulins-en-Tonnerrois

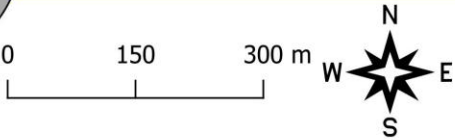
89  
Yonne

Raccordement électrique  
interne

- Eolienne du projet
- ✕ Poste de livraison
- Raccordement inter-éolien
- Routes et aménagements liés au projet éolien



Source : Vélocita Energie  
Fond : BDOrtho® - ©IGN Paris  
Reproduction interdite  
Réalisation : ABIES, avril 2022





1.3.4.2 Les postes 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.

Un poste de livraison standard permet de raccorder une puissance de 12 MW à 15 MW environ. Compte tenu de la puissance du parc de Moulins (21,6 MW maximum), deux postes seront implantés pour évacuer l’électricité produite. Le poste de livraison n°1 (PDL1) constituera le point de collecte de l’électricité produite par les éoliennes E1, E2 et E3 tandis que le poste de livraison n°2 prendra en charge la production des aérogénérateurs E4, E5 et E6.

Les postes de livraison doivent être accessibles en voiture pour la maintenance et l’entretien. Ils seront respectivement placés :

- à proximité d’E3 ;
- à proximité d’E6.

Une attention particulière sera portée sur l’intégration paysagère des postes de livraison en fonction du contexte local (topographie, 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 les portes d’accès.

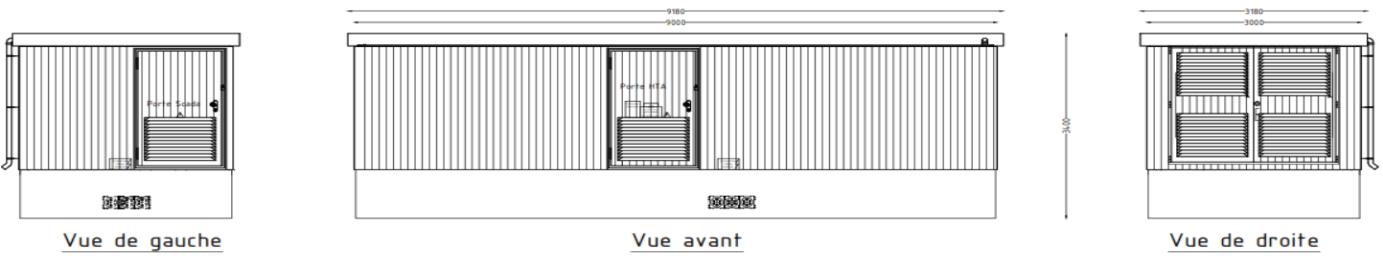


Figure 13 : Plan et dimensions du poste de livraison électrique de Moulins-en-Tonnerrois

Tableau 9 : Les emprises du poste de livraison

Zoom sur les emprises	
Dans le cadre du présent projet, chaque poste de livraison aura une emprise au sol de 27 m².	
Emprise du/des poste s de livraison en phase de chantier	Emprise du/des poste s de livraison en phase d’exploitation
54 m²	54 m²

1.3.4.3 Le raccordement électrique externe

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

En juin 2022, l’état du réseau électrique en région Bourgogne-Franche-Comté se trouve néanmoins en situation de saturation. Toutefois, en raison du potentiel de développement éolien du secteur, le S3RENr de la région a été révisé, et de nouvelles capacités de raccordement vont être proposées à moyen terme (cf. chapitre 6.3 - compatibilité de l’étude d’impact, pièce 4B du DAE).

Parmi les possibilités envisagées pour le raccordement au réseau public de distribution du parc éolien de Moulins, la plus proche porte sur le poste source d’Annay, implanté à l’ouest de la commune de Moulins-en-Tonnerrois, à

environ 6 km à vol d’oiseau. Pour ce poste source, le Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Énergies Renouvelables (S3RENr) fait état d’une capacité d’accueil réservée aux énergies renouvelables (EnR) de 36,9 MW. La consultation du site internet [www.capareseau.fr](http://www.capareseau.fr) confirme cette valeur, mais en juin 2022, la capacité restante à affecter est nulle.

Dans tous les cas, quelle que soit l’hypothèse de raccordement envisagée, **le poste source retenu et le tracé précis et définitif de ce raccordement ne seront connus qu’à la réception de la convention de raccordement (CR) délivrée par le gestionnaire de réseau de distribution d’électricité local.** Ce document est transmis une fois l’autorisation environnementale obtenue et permet la mise en attente du projet pour son raccordement au réseau régional des Energies Renouvelables (EnR).

Sur le plan technique, le raccordement au poste source se fera par liaison souterraine à 20 000 volts. Le tracé de ce raccordement électrique, via une tranchée, 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 de cette ligne électrique souterraine à 20 000 volts se fera conformément aux dispositions de l’article R.323-25 du code de l’énergie.

La carte suivante présente les aménagements du chantier de construction du parc éolien de Moulins.



## 1.4.1 Les conditions d'accès au chantier

### 1.4.1.1 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 en concertation avec les gestionnaires de routes tels que les Directions Interdépartementales des Routes, les Conseils Départementaux, les Directions Départementales des Territoires, etc.

### 1.4.1.2 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.

L'accès aux éoliennes E1, E2 et E3 se fera via la depuis la route longeant la voie ferrée, à l'ouest de l'éolienne, tandis que la desserte des éoliennes E4, E5 et E6 se fera via la D 117.

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

## 1.4.2 Les étapes du chantier

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

- les entreprises de VRD pour la réalisation des accès (pistes, plateformes, gestion des réseaux divers) ;
- les entreprises de Génie Civil et Travaux Publics pour les fondations (excavation, ferrailage, coulage du béton) ;
- les entreprises des métiers de l'électricité 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.

Le chantier de construction s'étendra sur une période d'environ 15 à 18 mois. Plusieurs phases se succèdent depuis la préparation du chantier à la mise en service du parc éolien.

Tableau 10 : Phasage du chantier de construction

Principaux types de travaux	
<b>Préparation du chantier - VRD</b>	Installations temporaires de chantier (base vie notamment) et installation de la signalétique
	Terrassement/nivellement des accès et des aires de chantier (éoliennes, plateformes)
	Réalisation des pistes d'accès et des plateformes destinées au levage des éoliennes, renforcement des pistes existantes
<b>Raccordement électrique</b>	Creusement des tranchées et pose des câbles électriques
<b>Réalisation des fondations</b>	Réalisation des excavations
	Mise en place du ferrailage de la fondation
	Coulage du béton (dont un mois de séchage)
	Ancrage de la virole de pied du mât
<b>Levage des éoliennes et installation du poste de livraison</b>	Montage de la grue sur la plateforme de levage
	Acheminement et stockage des éléments de l'éolienne au droit et/ou autour de la plateforme de levage
	Montages des différents éléments (sections de mât, nacelle, pales)
	Le poste de livraison est mis en place puis raccordé
<b>Phases de test</b>	Raccordement électrique des éoliennes et contrôle du bon fonctionnement du parc
<b>Remise en état du site</b>	Démantèlement de la base vie, remise en état du sol, etc.

Les principales étapes du chantier sont présentées ci-après.



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 opérateurs (salle de restauration, eau, vestiaires, etc.) et à la bonne conduite du chantier (salle de réunion, bennes de collecte des déchets, etc.).

La zone de la base vie devra être plane, stabilisée, empierrée, drainée et facilement accessible.

Une seule base vie est prévue pour la construction du parc éolien de Moulins. Son emplacement sera défini ultérieurement ; les critères suivants déterminent sa localisation :

- une position centrale vis-à-vis du chantier ;
- 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 et isolé des habitations pour éviter les nuisances.

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

Illustrations



Photo 4 : Exemples de bases vie

2. La pose du raccordement électrique inter-éolien

Description

La pose des liaisons électriques et de télécommunication souterraines constitue l'une des premières étapes d'un chantier éolien. En effet, le tracé du raccordement prendra notamment place sous les futurs aménagements du parc (pistes d'accès, plateformes, fondations).

Pour ces travaux, un décapage des sols 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 fourreaux, etc...). La largeur de décapage est variable en fonction de la situation des travaux et des accès possibles existants.

Ensuite, la tranchée est creusée sur une profondeur de 0,8 à 1,2 m et une largeur variable selon le nombre de câbles implantés et le type de tranchée (de l'ordre de 0,6 m). L'ensemble des matériaux extraits est déposé le long de la tranchée.

L'étape suivante consiste à mettre en place les fourreaux puis à tirer les câbles dans les ouvrages. La tranchée est ensuite recouverte avec les matériaux extraits.

Illustration



Photo 7 : Engin utilisé pour le creusement de la tranchée et la pose des câbles

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 et/ou des constructions de pistes et de chemins seront réalisés : aplanissement du terrain, arasement, élargissement des virages, etc.

Les pistes seront stabilisées sur 5 m de large de manière à supporter le passage des engins pour la construction.

Dans un premier temps, la terre végétale est retirée et stockée sur site afin d'être réutilisée lors de la remise en état après le chantier. Ensuite, le sol est décapé sur une profondeur variable selon sa portance et le traitement choisi (Cf. chapitre 1.3.3.2). 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.

Illustrations



Photo 5 : Aplanissement du terrain



Photo 6 : Création des pistes

4. La réalisation des fondations

Illustrations

Description

La réalisation des fondations pourra se faire uniquement après la réalisation des expertises géotechniques. 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.

Une pelle-mécanique interviendra dans un premier temps afin de creuser le sol sur un volume déterminé. Puis des opérateurs mettront en place un ferrailage dont les caractéristiques seront issues des analyses géotechniques ainsi qu'un coffrage. Enfin, des camions-toupies assistés d'une pompe à béton déverseront les volumes de béton nécessaires. 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.

Ensuite, le chantier sera interrompu pendant quelques semaines (1 mois en général) afin d'assurer le séchage du béton. Une fois cette opération achevée, l'excavation est remblayée avec une partie des matériaux excavés et compactée de façon à ne laisser dépasser que la partie haute du fût (embase) sur laquelle viendra se positionner le premier tronçon du mât de l'éolienne. La fondation est donc enterrée.



Photo 8 : Excavation



Photo 9 : Fouille de la fondation



Photo 10 : Stockage des ferrailles



Photo 11 : Préparation des fondations



Photo 12 : Ferrailage de la fondation



Photo 13 : Coulage du béton



Photo 14 : La fondation terminée



5. Le stockage des éléments des éoliennes

Description

Les camions transportant les pales, la nacelle et les sections de mât empruntent les pistes de construction, déposent leur chargement avec l'aide d'une grue et ressortent en marche arrière par le même chemin s'ils n'ont pas l'opportunité de faire demi-tour. Cette manœuvre est possible grâce aux remorques "rétractables" utilisées pour le transport de ce type de chargement.

Des aires de stockage temporaires des pales seront implantées à proximité des plateformes de levage ; elles seront aplanies mais ne feront l'objet d'aucun autre aménagement. Leur présence sera de courte durée (quelques jours). Les autres composants des éoliennes seront entreposés sur une zone dédiée présente sur chaque plateforme de levage.

Illustrations



Photo 15 : Exemple de camion assurant le transport des composants d'un parc éolien



Photo 16 : Manipulation des tronçons d'éoliennes



Photo 17 : Pales entreposées sur un chantier éolien

6. Le montage des éoliennes

L'installation d'un aérogénérateur est une opération d'assemblage, se déroulant comme suit :

**Assemblage de la tour :** l'emploi d'une grue télescopique avec une grande capacité de manutention est nécessaire pour empiler des éléments les uns sur les autres. Dans la pratique, une seconde grue, plus petite, accompagne la première (de façon à maintenir les différents éléments aux deux extrémités).



Photo 18 : Vue d'ensemble des étapes d'assemblage de la tour (exemple de tour en acier)



**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.



Photo 19 : 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);
- soit les éléments (moyeu et pales) sont fixés un à un en hauteur.



Photo 20 : Hissage et assemblage du rotor

### 1.4.3 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 11 : Trafic routier lié au chantier (Source : Velocita Energies)

Type d’activité	Ratio utilisés	Pour le chantier du projet (trafic aller)
Ferraillage et coulage de la fondation	Ferraillage : 60 à 65 tonnes par éolienne Toupies de 7 à 8 m³ Environ 60 à 80 toupies par fondation	360 à 480 camions
Transport des composants de l’éolienne	Nacelle, transformateur, pales, moyeu, tronçons de mât, virole et matériaux divers → 15 camions par éolienne	90 camions
Camions de transport des câbles électriques HTA	→ 1 camion pour environ 0,5 à 1 km de câbles	3 à 6 camions
Postes de livraison	→ 1 camion par poste de livraison et une grue	3 camions
Acheminement d’engins de chantier sur site	Grue(s), pelleteuse, pelle-mécanique, bulldozer, rouleau compresseur, trancheuse, ... → 1 camion par engin de chantier	Environ 10 camions
Acheminement des installations temporaires de chantiers sur site	Préfabriqués de chantier, benne(s) à déchets → 35 camions	35 camions
Transport de matériaux pour le traitement des pistes, virages et plateformes	-	Inconnu à ce stade
Transport du personnel	Véhicules légers (environ 10 à 15 durant toute la durée des travaux)	15 véhicules quotidiens

Au total, un trafic aller-retour d’au minimum 500 camions est à prévoir sur les 15 à 18 mois que durera environ le chantier de construction, soit un trafic journalier moyen de 2 camions sur les quelques 300 jours ouvrés de chantier.

Toutefois, ce sont les opérations de coulage des fondations qui génèreront le plus de trafic avec, pour chaque journée, jusqu’à 80 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 6 aérogénérateurs, 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 de 10 à 15 véhicules utilisés quotidiennement durant toute la durée des travaux (trafic aller-retour).

### 1.4.4 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 12 : Type de déchets produits lors du chantier de construction

Étape du chantier	Type de déchets	Code de nomenclature <sup>2</sup>	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

NB : Les déchets dangereux apparaissent dans des cases orange et ont une étoile à la fin du code déchet correspondant

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 de Moulins à titre informatif à défaut de pouvoir être exhaustives.

<sup>2</sup> 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

Tableau 13 : 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	2 280 m²	Déchetterie
Carton	15 01 01	50 m²	300 m²	Déchetterie
Restes de papier (chiffons en papier)	15 01 01	50 m²	300 m²	Déchetterie
Bois (palettes)	17 02 01	70 kg	420 kg	Déchetterie
Polystyrène	15 01 06	2 m³	12 m³	Déchetterie
Restes de tapis	04 01 99	5 kg	30 kg	Déchetterie
Restes de câbles	17 04 01, 17 04 02	30 kg	180 kg	Déchetterie
Restes d'attache-câbles	Selon matériaux	1 kg	6 kg	Déchetterie
Matériaux d'emballage	15 01 01, 15 01 02, 15 01 03, 15 01 06	30 kg	180 kg	Déchetterie
Déchets ménagers et assimilés	20 01 39	20 kg	120 kg	Déchetterie
Chiffons souillés	15 02 02*	10 kg	60 kg	Déchetterie

NB : Les déchets dangereux apparaissent dans des cases orange et ont une étoile à la fin du code déchet correspondant

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. Quant aux eaux usées de la base vie, si aucun raccordement vers le réseau d’assainissement collectif n’est possible, elles seront stockées dans des fosses étanches temporaires. Une entreprise spécialisée dans l’élimination sera chargée de leur enlèvement. Les déchets sont, dans tous les cas, gérés par les entreprises intervenant sur le site.

Comme précisé dans les tableaux précédents, la majorité des déchets sera transportée en déchetterie pour valorisation. Aucun déchet ne sera abandonné sur le site. Ils seront stockés dans des bennes étanches.

Enfin, il reste à préciser qu’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 fosses étanches dédiées. Les résidus de béton seront alors récupérés et évacués vers un centre de stockage des déchets inertes ; les eaux seront également aspirées et traitées avant tout rejet dans le milieu. Une fois le chantier terminé, les fosses seront débarrassées du revêtement imperméabilisant tapissant leur fond puis comblées avec les terres excavées.

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.

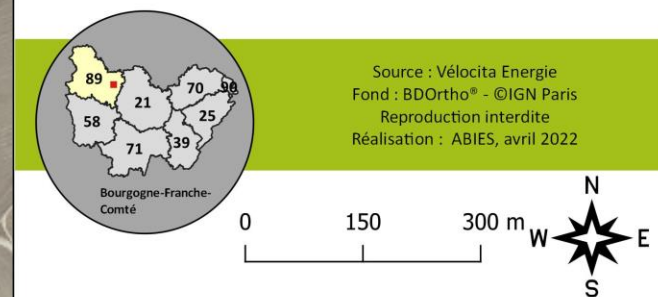


La carte suivante présente les aménagements de la phase exploitation du parc éolien de Moulins.



### **Implantation du projet phase exploitation**

-  Éolienne du projet
-  Zone de survol des pales
-  Poste de livraison
-  Plateforme de levage
-  Accès aux éoliennes



#### Carte 4 : Le projet en phase d'exploitation

## 1.5.1 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 Moulins est prévue pour une durée de 20 à 25 ans environ.

## 1.5.2 La production estimée

L'analyse du gisement éolien permet d'estimer la production électrique qui sera délivrée par le parc éolien objet du présent dossier.

La production estimée des six éoliennes atteindra environ 36 403 MWh par an (hypothèse d'éoliennes EN131 d'une puissance unitaire de 2,625 MW en tenant compte des pertes). Elle correspond à l'équivalent de la consommation électrique domestique, de près de 11 496 personnes<sup>3</sup>.

Il s'agit d'une production annuelle estimée, étant entendu que les parcs éoliens produisent « au fil du vent » une électricité injectée sur le réseau électrique.

## 1.5.3 La maintenance

L'objectif global des services de maintenance est de veiller au fonctionnement optimal des éoliennes au long de leur fonctionnement, afin qu'elles répondent aux attentes de performance et de fiabilité. On distingue alors deux types de maintenance :

**la maintenance préventive** qui permet de veiller au bon fonctionnement du parc éolien, en assurant un suivi permanent des éoliennes pour garantir leur niveau de performance tant sur le plan de la production électrique (disponibilité, courbe de puissance...) que sur les aspects liés à la sécurité des installations et des tiers (défaillance de système, surchauffe...) ; elle est menée suivant un calendrier bien précis tout au long de la vie du parc ;

**la maintenance curative** qui est mise en place suite à une défaillance du matériel ou d'un équipement (remplacement d'un capteur, ajout de liquide de refroidissement suite à une fuite, etc.) ; ces opérations sont faites à la demande, dès détection du dysfonctionnement.

### 1.5.3.1 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.

<sup>3</sup> En 2019, la consommation électrique en Bourgogne Franche-Comté du secteur résidentiel a été de 8,7 TWh (source bilan RTE 2019) alors que la population en région était de 2 805 580 habitants selon l'INSEE, soit une consommation électrique moyenne de 3 101 kWh/habitant et par an.

### 1.5.3.2 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. »

### 1.5.3.3 Opérations périodiques 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 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. »

### 1.5.3.4 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 ».*

### 1.5.4 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.

### 1.5.5 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.

Le tableau suivant donne les quantités moyennes de déchets produits en une année pour les maintenances sur une éolienne similaire. Les actions de maintenance n'étant pas effectuées chaque année, les quantités peuvent varier d'une année à l'autre (ce sont des quantités annuelles moyennes). Les déchets dangereux apparaissent dans des lignes orange du tableau ci-après. Les autres sont considérés comme des déchets non dangereux.

L’ensemble de ces déchets est regroupé sous l’appellation de “déchets d'activités économiques” (DAE) ; ils correspondent à tous les déchets, dangereux ou non dangereux, qui ne sont pas générés par des ménages. Les déchets non dangereux peuvent se décomposer, brûler, fermenter ou encore rouiller.

Tableau 14 : Type, quantité et modalités de gestion des déchets de la phase exploitation

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	114	Matériaux d'emballage, matériaux d'entretien	
Matériaux souillés	15 02 02*	94	564	Vidange ; Lubrification ; Surveillance des points de graissage	
Filtres à huile, filtres à air	15 02 02*	13	78	Vidange, Entretien général	
Liquide de refroidissement	16 10 01*	5	30	Vidange	
Graisse	20 01 25, 20 01 26*	4	24	Lubrification, Surveillance des points de graissage	
Aérosols	16 05 04*	2	12	Lubrification	
Huiles usagées, huiles de rinçage	13 01 ; 11 01 11*	30	180	Vidange	

nd\* : non déterminé

NB : Les déchets dangereux apparaissent dans des cases orange et ont une étoile à la fin du code déchet correspondant

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.

# 1.6 Les emprises du projet

Tableau 15 : Les emprises du projet de parc éolien de Moulins en phases de construction et d'exploitation

Poste	Détails	Emprise construction	Emprise exploitation
Parc éolien			
Socles des 6 éoliennes	<u>Chantier</u> : la mise en place des fondations (24 m de diamètre) nécessitera l'aménagement de fouilles dont l'emprise en surface s'étendra sur un diamètre de 35 m. <u>Exploitation</u> : Les fondations seront recouvertes de terre et balisées sur leur pourtour	5 448 m <sup>2</sup>	2 712 m <sup>2</sup>
Chemins de desserte des éoliennes	<u>Chantier</u> : Près de 1 300 m de voies nouvelles (6 419 m <sup>2</sup> ), des élargissements et renforcements de voies existantes (emprises non connues) et aménagement de 6 virages (2 977 m <sup>2</sup> ). <u>Exploitation</u> : Les différents virages ne seront pas conservés en exploitation.	9 396 m <sup>2</sup>	6 419 m <sup>2</sup>
6 plateformes de levage	<u>Chantier</u> : Surface unitaire de 2 400 m <sup>2</sup> (1 948 m <sup>2</sup> lors de la mise en place des fondations). <u>Exploitation</u> : Les plateformes seront conservées.	11 688 m <sup>2</sup> (emprise hors fouilles)	14 400 m <sup>2</sup>
Postes de livraison	Dimensions des 2 postes : 3 m x 9 m chacun.	54 m <sup>2</sup>	54 m <sup>2</sup>
Tranchées d'implantation du réseau électrique et de télécommunication inter-éolien	<u>Chantier</u> : un linéaire de 3 269 m de tranchées creusées sur des terrains agricoles. <u>Exploitation</u> : Tranchées intégralement recouvertes. Les tronçons inscrits sur des terres cultivées sont restitués à l'agriculture.	1 962 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
6 aires de stockage des pales	<u>Chantier</u> : Surface unitaire de 1 050 m <sup>2</sup> . <u>Exploitation</u> : Aires de stockage effacées.	6 300 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
Base vie	<u>Chantier</u> : Surface maximale de 1 500 m <sup>2</sup> . <u>Exploitation</u> : La base vie sera effacée.	1 500 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
TOTAL		36 348 m <sup>2</sup> 3,63 ha	23 585 m <sup>2</sup> 2,36 ha





## 2 MOYENS DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE ET MOYENS D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT OU D'ACCIDENT

- 2.1 Suivi et surveillance ..... 35
  - 2.1.1 La maintenance..... 35
  - 2.1.2 La surveillance..... 36
- 2.2 Moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident ..... 36
  - 2.2.1 Généralités ..... 36
  - 2.2.2 Survitesse ..... 36
  - 2.2.3 Incendie ..... 36





## 2.1 Suivi et surveillance

### 2.1.1 La maintenance

L'objectif global des services de maintenance est de veiller au fonctionnement optimal des éoliennes au long de leur fonctionnement, afin qu'elles répondent aux attentes de performance et de fiabilité. On distingue alors deux types de maintenance :

- **la maintenance préventive** qui permet de veiller au bon fonctionnement du parc éolien, en assurant un suivi permanent des éoliennes pour garantir leur niveau de performance tant sur le plan de la production électrique (disponibilité, courbe de puissance...) que sur les aspects liés à la sécurité des installations et des tiers (défaillance de système, surchauffe...) ; elle est menée suivant un calendrier bien précis tout au long de la vie du parc ;
- **la maintenance curative** qui est mise en place suite à une défaillance du matériel ou d'un équipement (remplacement d'un capteur, ajout de liquide de refroidissement suite à une fuite, etc.) ; ces opérations sont faites à la demande, dès détection du dysfonctionnement.

#### 2.1.1.1 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.

#### 2.1.1.2 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. »

#### 2.1.1.3 Opérations périodiques 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 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. »

#### 2.1.1.4 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 ».

## 2.1.2 La surveillance

Une fois le parc éolien mis en service, sa surveillance est assurée par un système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) installé dans les éoliennes.

Chaque éolienne dispose d'un boîtier de contrôle contenant un automate programmable, un convertisseur de puissance et des cartes de commande. Des capteurs de vitesse et de direction du vent, de vitesse de rotation d'axe, et de nombreux autres paramètres, collectent quelques 300 à 350 données et les transmettent à l'automate programmable. En détectant la direction du vent, le système de contrôle est capable de commander le système d'orientation permettant d'aiguiller toute la turbine dans la direction optimum pour une production d'électricité maximum.

L'ensemble des éoliennes du parc est relié à un réseau local, le boîtier de contrôle de chaque turbine étant relié par liaison Ethernet à la base de la tour, elle-même connectée au réseau local par une liaison en fibre optique redondante. Le réseau local est relié à une station de contrôle distante, qui gère et collecte les données, ajuste les paramètres des turbines, génère des alarmes intelligentes et permet des fonctions de dépannage et de reporting par l'intermédiaire du centre de contrôle et de traitement des données.

## 2.2 Moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident

### 2.2.1 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.

### 2.2.2 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.

### 2.2.3 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).

# 3 DEMANTELEMENT ET REMISE EN ETAT DU SITE

3.1

Le démantèlement .....

38

3.1.1

Dispositions réglementaires et garanties financières .....

38

3.1.2

Le démantèlement du parc éolien .....

38

3.1.3

La gestion des déchets de démantèlement .....

38

3.2

Remise en état du site .....

41



### 3.1 Le démantèlement

#### 3.1.1 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 nécessaires.* ».

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 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 ».*

D’après l’article 30 de l’arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, puis l’article 25 de la Loi APER entrée en vigueur le 20 juillet 2023 suite à la publication de l’arrêté du 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 = Σ (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 par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 11 juillet 2023).

Le montant prévisionnel de la garantie financière que devra constituer le maître d’ouvrage est ainsi estimé à **690 000 €**, en prenant l’hypothèse d’éoliennes de 3,6 MW de puissance<sup>4</sup>. Il est à constituer au démarrage du chantier.

#### 3.1.2 Le démantèlement du parc éolien

Les principales étapes du démantèlement sont les suivantes :

Tableau 16 : Les différentes étapes du démantèlement d’un parc éolien

1	Installation du chantier	Mise en place du panneau de chantier, des dispositifs de sécurité, du balisage de chantier autour des éoliennes et de la mobilisation, location et démobilisation de la zone de travail.
2	Découplage du parc	Mise hors tension du parc au niveau des éoliennes ; mise en sécurité des éoliennes par le blocage de leurs pales ; rétablissement du réseau de distribution initial, dans le cas où le gestionnaire du réseau local ou RTE ne souhaiterait pas conserver ce réseau.
3	Démontage des éoliennes	Procédure inverse au montage. Recyclage ou traitement par des filières spécialisées (cf. 3.1.3).
4	Démantèlement des fondations	Excavation de la totalité des fondations jusqu’à la base de la semelle
5	Démantèlement du raccordement électrique	Retrait de 10 m de câbles autour des éoliennes et du poste de livraison.
6	Remise en état du site	Décaissement des aires de grutage et des chemins d’accès sur une profondeur de 40 centimètres. Remplacement des aires de grutage, des chemins d’accès et des fondations excavées par des terres de caractéristiques comparables aux terres à proximité de l’installation.

Les différents constructeurs ont mis en place des processus de démantèlement bien définis pour leurs éoliennes. Des documents-guides décrivent les principales activités du processus de démantèlement allant du démontage de la turbine jusqu’aux préparatifs pour un transport ultérieur.

Dans de bonnes conditions météorologiques, le temps consacré au démantèlement d’une éolienne est estimé à trois à cinq jours.

Concernant le réseau inter-éolien, à l’image des travaux d’implantation, de nouvelles tranchées seront creusées à l’aide d’une pelle mécanique pour atteindre les câbles enterrés. L’ensemble des matériaux extraits sont déposés le long de la tranchée. Les câbles et les fourreaux sont ensuite retirés puis la tranchée est recouverte avec les matériaux extraits.

#### 3.1.3 La gestion des déchets de démantèlement

##### 3.1.3.1 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*

<sup>4</sup> La formule indique : 75 000 x X éoliennes pour des éoliennes ≤ 2 MW ou 75 000 + 25 000\* (P-2) x X éoliennes pour des éoliennes ≥ 2 MW

autorisées à cet effet ». L'arrêté prévoit qu'à partir du 1<sup>er</sup> 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 d'une installation existante, doivent avoir au minimum :

Tableau 17 : Obligations réglementaires de réutilisation ou recyclage des déchets du démantèlement des aérogénérateurs

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

Nous allons donc analyser en détails les différents matériaux récupérables et /ou valorisables d'une éolienne.

3.1.3.2 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 (Cf. chapitre 3.1) ; du béton armé sera donc récupéré. L'acier sera séparé des fragments et des caillasses.

3.1.3.3 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 80 % 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 éolienne<sup>5</sup>.

<sup>5</sup>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

### 3.1.3.3.1 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 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 m<sup>2</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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 clinker<sup>6</sup>. 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 ultimes<sup>7</sup>, 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.

<sup>6</sup> Produit de la cuisson des constituants principaux du ciment, à la sortie du four, mais avant broyage.

<sup>7</sup> 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"

### 3.1.3.3.2 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).

### 3.1.3.3.3 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.

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.

### 3.1.3.3.4 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 carters de moteurs de voitures, de tondeuses ou de perceuses, des lampadaires, etc.

### 3.1.3.3.5 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 2011<sup>8</sup> 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.

### 3.1.3.3.6 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.

<sup>8</sup> 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



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 3.1.3.3.2.

#### 3.1.3.3.7 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 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.

## 3.2 Remise en état du site

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 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.

Dans le cas du présent projet, les activités agricoles pourront reprendre à l'issue du démantèlement.