

IV.1.1.1 ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AEROGENERATEUR

Au sens de l'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, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont définis comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Toutes les éoliennes qui composent le parc sont de même type, de matériau et de couleur sobres. La couleur correspond à une des teintes autorisées par la réglementation en vigueur (par exemple : RAL 7035).

A ce stade de développement, EOLISE a défini un gabarit issu des dimensions « maximisantes » de modèles existants sur le marché.

Tableau 17 : Exemples de modèles existants (Source : Eolise)

Constructeur	Modèle	Puissance (en MW)	Diamètre du rotor (en mètres)	Hauteur du mât (en mètres)	Hauteur totale (en mètres)
Vestas	V 150	5,6	150	125	200
Nordex	N 149	5,7	149	125	199,5
Enercon	E 147 EP5	5,0	147	126	199,5
Siemens Gamesa	SG 145	4,5	145	127,5	200
Gabarit	Maximum	5,7	150	125	200

Dans la suite de l'étude de dangers, les calculs sont donc effectués à partir des dimensions suivantes :

- La hauteur maximale en bout de pale est de 200 m
- La hauteur de mât, au sens de la réglementation est de 125 m au maximum
- Le diamètre de rotor de 150 m
- La puissance nominale maximale de 5,7 MW

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- Un rotor dimensionné suivant le standard IEC. Il est composé de trois pales, un moyeu et de couronnes d'orientation et d'entraînements pour le calage des pales. Les pales du rotor sont fabriquées en fibres de verre parfois complétées par des fibres de carbone. Chaque système pitch (rotation de pale) est indépendant.
- Un mât (ou tour tubulaire) est généralement composé de 4 à 5 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique. Il est en acier couvert d'un revêtement époxy (protection anti-corrosion) et de peinture acrylique. Le mât comporte des plates-formes intermédiaires et est équipé d'une échelle, pourvue d'un système antichute (rail), de plateformes de repos et d'un élévateur de personnel.
- Une nacelle composée d'un châssis en fonte et d'une coquille fabriquée en matière plastique renforcée de fibres de verre, dimensionnés suivant le standard IEC classe S. Elle dispose d'un train d'entraînement, d'une génératrice, d'un système d'orientation, du convertisseur ainsi que du transformateur dans certains cas. Elle abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - Le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique
 - Le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas)
 - Le système de freinage mécanique
 - Le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie
 - Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette)
 - Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

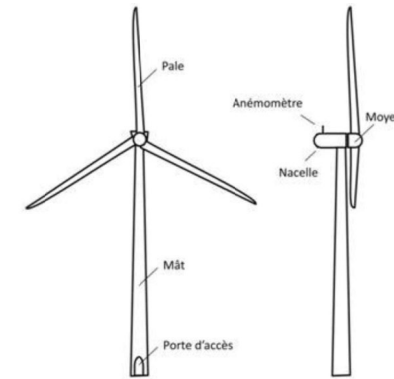


Figure 21 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

• LE ROTOR

Le rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en mouvement de rotation de l'éolienne. Il est composé de trois pales, d'un moyeu de rotor, de trois roulements et de trois entraînements pour l'orientation des pales.

- Le moyeu du rotor est une construction en fonte modulaire et rigide. Le roulement d'orientation de pale et la pale sont montés dessus.
- Les pales sont constituées de deux moitiés collées ensemble. Le matériau utilisé pour les pales est un composé de fibres de verre parfois complété de fibre de carbone. Le profil aérodynamique des pales résiste bien aux salissures et à la glace, ce qui permet une réduction des pertes de puissance. Chaque pale est pourvue d'une pointe en aluminium qui dévie le courant de foudre par un câble en acier vers le moyeu du rotor. Les pales sont fixées au roulement d'orientation du système Pitch.
- Système à pas variable : chaque pale est commandée et entraînée séparément par un entraînement électromagnétique avec moteur triphasé, un engrenage planétaire, et une unité de commande avec convertisseur de fréquence et alimentation électrique de secours. Le système à pas variable est le frein principal de l'éolienne. Les pales se tournent ainsi de 90° pour le freinage, ce qui interrompt la portance et crée une grande résistance de l'air provoquant ainsi le freinage du rotor (frein aérodynamique).

• LA NACELLE

Une vue d'ensemble de la nacelle est présentée sur la figure suivante :

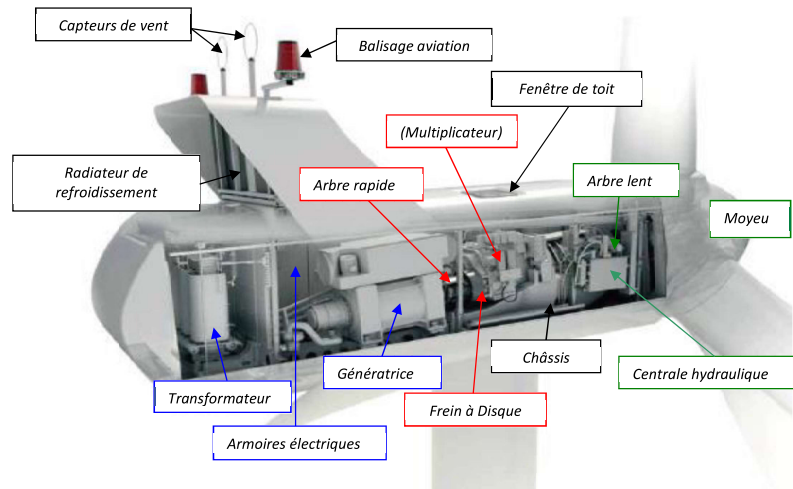


Figure 22 : Composants d'une nacelle (Source : Vestas)

- La couronne d'orientation** : La direction du vent est mesurée de manière continue à hauteur de moyeu par deux appareils indépendants. L'un d'entre eux est un appareil ultrasonique. Tous les anémomètres sont chauffés. Si la direction du vent relevée diffère du positionnement de la nacelle d'une valeur supérieure à la valeur limite, la nacelle est réorientée via quatre entraînements constitués d'un moteur électrique, d'un engrenage planétaire à plusieurs niveaux et de pignons d'entraînement. Les freins d'orientation sont activés.
- Le train d'entraînement** transmet le mouvement de rotation du rotor à la génératrice. Il est constitué des composants principaux suivants :
 - L'arbre du rotor : il transmet les forces radiales et axiales du rotor au châssis machine. Le roulement du rotor contient un dispositif de verrouillage mécanique du rotor
 - Un multiplicateur (présence ou non selon la technologie utilisée) : il augmente la vitesse de rotation au niveau nécessaire pour la génératrice. L'huile du multiplicateur assure non seulement la lubrification mais aussi le refroidissement du multiplicateur. La température des roulements du multiplicateur et de l'huile est surveillée en permanence
 - Une frette de serrage : elle relie l'arbre de rotor et le multiplicateur
 - Un coupleur : il compense les décalages entre multiplicateur et génératrice. Une protection contre les surcharges (limitation prédéfinie de couple) est montée sur l'arbre de la génératrice. Elle empêche la transmission de pics de couple qui peuvent avoir lieu dans la génératrice en cas de panne de réseau. Le coupleur est isolé électriquement.
- La génératrice** : la transformation de l'énergie éolienne en énergie électrique s'effectue grâce à une génératrice de 50 Hz. Elle est maintenue à une température de fonctionnement optimale grâce au circuit de refroidissement. Son stator est directement relié au réseau du parc éolien, son rotor l'est via un convertisseur de fréquence à commande spéciale.
- Le transformateur électrique** : installé dans la nacelle ou au pied du mât, il permet d'élever la tension de 690 Volts à 20 000 ou 30 000 Volts en sortie de la génératrice dans le réseau inter-éolien. Il remplit les conditions de classe de protection incendie F1.
- Convertisseur de fréquence** : il est situé à l'arrière de la nacelle. Grâce à un système générateur-convertisseur à régime variable, les pics de charge et pointes de surtension sont limités.

- Circuit de refroidissement** : (multiplicateur), génératrice et convertisseur sont refroidis via un échangeur air/eau parfois couplé avec un échangeur eau/huile. Tous les systèmes sont conçus de manière à garantir des températures de fonctionnement optimales même en cas de températures extérieures élevées. La température de chaque roulement, de l'huile, des bobinages et des roulements de la génératrice ainsi que du réfrigérant est contrôlée en permanence et en partie de manière redondante par le système contrôle-commande.
- Les freins** : L'éolienne est équipée d'un frein aérodynamique disposant de deux niveaux de freinage. Ce frein est déclenché par rotation des pales. Il peut être couplé à un deuxième système de freinage mécanique disposant lui aussi de 2 niveaux de freinage.

LE PIED DU MÂT

Le mât est tubulaire cylindrique. L'échelle d'ascension avec son système de protection antichute et les plateformes de repos et de travail à l'intérieur du mât permettent un accès à la nacelle à l'abri de la météo.

Le mât est placé sur une fondation de 25 à 32 m de diamètre. La construction des fondations dépend de la nature du sol du site d'implantation prévu. Pour l'ancrage du mât, une cage est bétonnée dans les fondations. Le mât et la cage d'ancrage sont vissés ensemble.

IV.1.1.2 EMPRISE AU SOL

Plusieurs emprises au sol sont nécessaires pour la construction et l'exploitation des parcs éoliens :

- La surface de chantier (aire de grutage)** est une zone non revêtue. Elle est destinée au stockage au sol des composants de l'éolienne durant la construction et le démantèlement. Elle est temporaire.
- La fondation de l'éolienne** est recouverte de terre végétale. Ses dimensions exactes sont calculées en fonction des aérogénérateurs et des propriétés du sol.
- La zone de surplomb ou de survol** correspond à la surface au sol au-dessus de laquelle les pales sont situées, en considérant une rotation à 360° du rotor par rapport à l'axe du mât.
- La plateforme** correspond à une surface permettant le positionnement de la grue destinée au montage et aux opérations de maintenance liées aux éoliennes. Sa taille varie en fonction des éoliennes choisies et de la configuration du site d'implantation.
- Les virages (pans coupés)** permettent aux camions de transport des composants des éoliennes de manœuvrer. Il est nécessaire que les virages respectent un certain rayon de courbure, calculé selon le type d'éolienne.

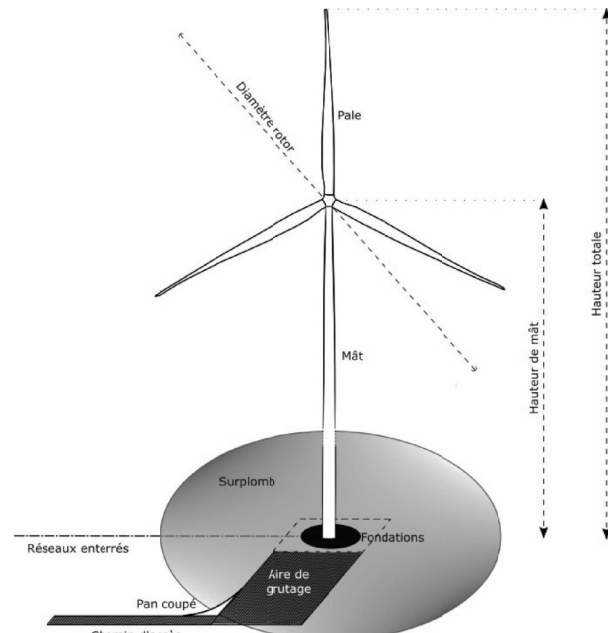


Figure 23 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne (source : Eolise)

Les emprises au sol de chaque éolienne du parc éolien de la plaine de Balusson sont les suivantes :

- **Plateforme** (aire de grutage) : entre 2 000 et 2 100 m² pour chaque éolienne
- **Fondation** : 25 à 32 m de diamètre
- **Zone de survol** : 150 m de diamètre.

IV.1.1.3 CHEMINS D'ACCES

Pour accéder à chaque aérogénérateur, des pistes d'accès sont aménagées pour permettre aux véhicules d'accéder aux éoliennes aussi bien pour les opérations de constructions du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien :

- L'aménagement de ces accès concerne principalement les chemins agricoles existants ;
- Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles agricoles.

Durant la phase de construction et de démantèlement, les engins empruntent ces chemins pour acheminer les éléments constituant les éoliennes et de leurs annexes.

Durant la phase d'exploitation, les chemins sont utilisés par des véhicules légers (maintenance régulière) ou par des engins permettant d'importantes opérations de maintenance (ex : changement de pale).

IV.1.1.4 AUTRES INSTALLATIONS

Une aire de stationnement est prévue au niveau des postes de livraison permettant aux visiteurs de se garer pour consulter les panneaux pédagogiques et les coordonnées de l'exploitant du parc éolien. Les aires de grutage seront également utilisées comme aire de stationnement uniquement pour la maintenance du parc éolien car elles ne seront pas accessibles au public.

IV.1.2 ACTIVITE DE L'INSTALLATION

L'activité principale du parc éolien de la plaine de Balusson est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) de 125 mètres. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

IV.1.3 COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien de la plaine de Balusson est composé de 6 aérogénérateurs et de 3 postes de livraison.

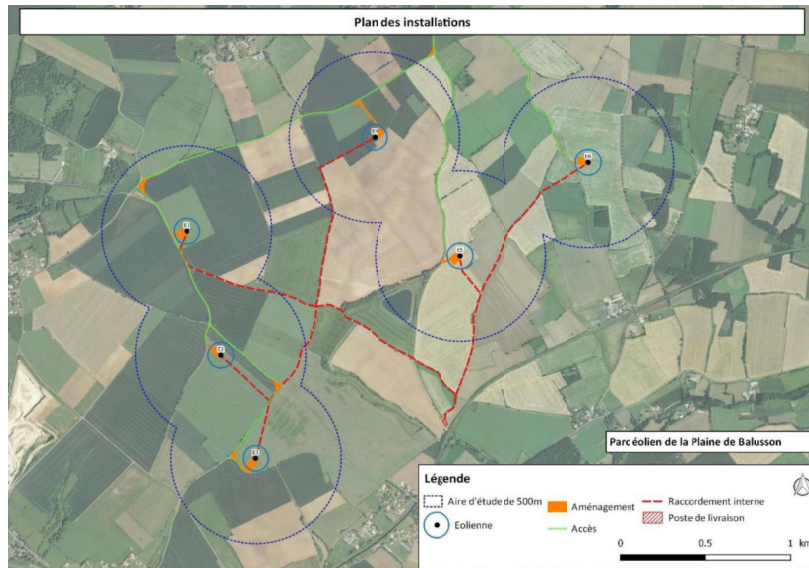
Le choix précis de la machine retenue se fera sur la base d'un appel d'offre constructeur après obtention des demandes d'autorisations. Ainsi, à ce stade de développement, seul un gabarit de machine a été choisi, possédant une puissance maximale de 5,7 MW. La puissance totale du parc éolien sera donc au maximum de 34,2 MW. La machine sera conforme aux dispositions de la norme NF EN 61400-1.

Les dimensions utilisées dans cette étude sont donc des dimensions « maximisantes », définies à partir de modèles existants, mais qui ne correspondent pas à un modèle précis d'aérogénérateur. Elles permettent d'appréhender de manière maximale les risques potentiels engendrés. Ainsi, les dimensions retenues pour chaque aérogénérateur sont : 125 mètres à une hauteur de moyeu (soit une hauteur de mât de 125 mètres au sens de la réglementation ICPE) et un diamètre de rotor de 150 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 200 mètres.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison central :

Tableau 18 : Coordonnées géographiques des installations du parc éolien

Numéro de l'éolienne	Coordonnées Lambert 93		Coordonnées WGS84		Altitude en mètres NGF (m)
	Longitude (X)	Latitude (Y)	Longitude (X)	Latitude (Y)	
E1	460288,64	6593600,07	0° 7'14.89"O	46°23'58.96"N	130
E2	460488,73	6592874,69	0° 7'4.18"O	46°23'35.72"N	129
E3	460693,85	6592269,83	0°6'53.46"O	46°23'16.39"N	121
E4	461390,63	6594150,23	0°6'24.31"O	46°24'18.19"N	140
E5	461892,95	6593455,34	0°5'59.51"O	46°23'56.32"N	130
E6	462646,38	6594003,72	0°5'25.24"O	46°24'15.04"N	139
PdL central	461805,51	6592480,13	0° 6'1.81"O	46°23'24.62"N	95



IV.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

IV.2.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN AEROGENERATEUR

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h (2,8 m/s) et c'est seulement à partir de 12 km/h (3,3 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 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes à entraînement direct sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

Pour un aérogénérateur de 4 MW par exemple, la production électrique atteint 4 000 kW dès que le vent atteint environ 50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V ou 30 000 V 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, atteint des vitesses de plus de 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

- le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent ;

- le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle.

Tableau 19 : Découpage fonctionnel du parc éolien

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser le mât dans le sol	<p>D'environ 3 m d'épaisseur pour un diamètre d'environ 25 à 35 m, elle est composée de béton armé. Elle est constituée soit d'une virole d'ancrage métallique préfabriquée, soit d'une cage d'ancrage, tous deux enchâssés dans un réseau de ferrillage à béton.</p> <p>L'étude géotechnique, réalisée plusieurs mois avant le démarrage des travaux de construction, permettra de dimensionner précisément les fondations pour chaque éolienne. Les dimensions dépendent : du type d'éolienne, de la nature des sols, des conditions météorologiques extrêmes et des conditions de fatigue. Elles sont enterrées sous le niveau du sol naturel, par remblaiement avec une partie des matériaux excavés.</p> <p>Le dimensionnement et la construction des fondations sont soumis au Contrôle Technique Obligatoire.</p>
Mât	Supporter le rotor et la nacelle	<p>Mât en acier ou en béton de plusieurs tronçons, de couleur blanc grisé (RAL 7035 ou similaire). Il est fixé aux tiges d'ancrage disposées dans la fondation. La hauteur maximale du mât (125 m), et ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topologie du site et la puissance recherchée. L'accès au mât se fait par une porte verrouillable en pied d'éolienne. Il abrite une armoire de contrôle, des armoires de batteries d'accumulateurs, les cellules de protection électriques, et le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle. Il est doté d'un dispositif assurant un éclairage intégral des plates-formes et de la montée</p>
Nacelle	Supporter le rotor et abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	<p>La nacelle, de forme elliptique, est positionnée au sommet du mât. Elle abrite un certain nombre d'équipements fonctionnels :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un générateur : transforme l'énergie mécanique en énergie électrique - un multiplicateur : augmente le nombre de rotation de l'arbre (certaines technologies n'en utilisent pas) - Arbre de rotor : transmet le mouvement de rotation des pales - un système de freinage mécanique - un système d'orientation permettant de positionner le rotor face au vent - des instruments de mesure de vent (anémomètre, girouette) - un balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	<p>Le rotor se compose de trois pales, construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface. Son diamètre maximum est de 150 m. Les pales sont de la même couleur que le mât (disposition réglementaire).</p> <p>Les pales de l'éolienne sont conçues pour fonctionner à angle et à vitesse variables. Elles pivotent autour de leur axe longitudinal, afin de s'adapter aux conditions de vent. Le réglage d'angle individuel de chaque pale du rotor est assuré par trois systèmes indépendants et commandés par microprocesseurs. L'angle de chaque pale est surveillé en continu par une mesure d'angle des</p>

		pales, et les trois angles sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux conditions du vent (ce qui limite la vitesse du rotor et la force engendrée par le vent). La puissance fournie par l'éolienne est ainsi limitée exactement à la puissance nominale, même pour des courtes durées. Elles peuvent également se mettre en position « drapeau » (parallèle à la direction du vent) pour assurer un freinage aérodynamique en cas de vitesses de vent élevées, qui peut être suivi du freinage mécanique (système à l'intérieur de la nacelle).
Transformateur	Élever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	Le transformateur permet l'élévation en tension de l'énergie électrique produite par l'aérogénérateur de 690 à 30 000 V. Il est composé d'un transformateur élévateur ainsi que d'une cellule de protection du transformateur et de cellules interrupteur-sectionneurs permettant de mettre hors tension les câbles HTA souterrains auxquels l'aérogénérateur est raccordé. Il peut être installé soit dans l'éolienne (pied de mât ou nacelle), soit dans un local à proximité.
Postes de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (Enedis ou régie locale) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique. Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont. Les liaisons électriques entre éoliennes et poste(s) de livraison sont assurées par des câbles souterrains.
Câbles souterrains	Permettent d'acheminer l'électricité depuis les éoliennes jusqu'au réseau de distribution via le poste de source	Câbles enterrés entre 80 et 120 cm de profondeur. Présence d'un grillage avertisseur, réseau borné et repéré. Tension des câbles : 20 000 à 30 000 volts.
Plateforme	Permet le positionnement des grues nécessaires au levage et à la maintenance	Empierrement stabilisé d'environ 2 000 m ² pour supporter le poids des grues.
Conditions climatiques	Température ambiante de survie	-20 °C à +50 °C
	Puissance nominale	-20 °C à +40 °C
	Arrêt	-20 °C, redémarrage à -18 °C
Période de fonctionnement	1,1 à 3 m/s (4 à 10,8 km/h)	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent
	Environ 3 m/s (≈ 10,8 km/h)	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique.
	Supérieur à 3 m/s (> à 10,8 km/h)	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent

	De 13 à 26 m/s (de 46,8 à 93,6 km/h)	L'éolienne fournit sa puissance nominale, qui est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales. La plage de fonctionnement est dépendante de la puissance nominale de la turbine. Au-delà de 20 m/s (72 km/h), certains modèles produisent légèrement en dessous de la puissance nominale.
Conception technique	Puissance nominale	5,7MW
	Régulation de puissance	Variation active de pale individuelle
	Diamètre du rotor	150 m
	Hauteur du moyeu	125 m
	Concept de l'installation	Boîte de vitesse, vitesse de rotation variable
Système de freinage	Plage de vitesse de rotation du rotor	6.4 à 12.3 tours par min
	Frein principal aérodynamique	Orientation individuelle des pales par activation électromécanique avec alimentation de secours
	Frein auxiliaire mécanique	Frein à disque à actionnement actif sur l'arbre rapide

IV.2.2 SECURITE DE L'INSTALLATION

La description des différents systèmes de sécurité de l'installation sera effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques dans le paragraphe VII. 6 de l'étude de dangers. Seule une présentation des principales dispositions réglementaires en vigueur en matière de sécurité est fournie ci-après.

Le parc éolien de la plaine de Balusson sera conforme à la réglementation en vigueur concernant les éoliennes terrestres, et notamment aux prescriptions de l'arrêté ministériel du 26 août 2011 relatives à la sécurité.

IV.2.2.1 NORMES GENERALES

L'objectif de ce paragraphe est de montrer que l'installation respecte la réglementation en vigueur en matière de sécurité.

La société fournissant les machines et en assurant la maintenance, est certifiée ISO 9001. Le système de management de la qualité et tous les processus de production sont conformes à la norme ISO 9001.

Les différents types d'éoliennes font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Aussi, les équipements satisferont à la norme IEC 61 400-22 (avril 2011), relative aux essais de conformité et certification. Cette norme définit les règles et procédures d'un système de certification des éoliennes. Ce système spécifie les règles relatives aux procédures et à la gestion de mise en œuvre de l'évaluation de la conformité d'une éolienne et des parcs éoliens, avec les normes spécifiques et autres exigences techniques en matière de sécurité, de fiabilité, de performance, d'essais et d'interaction avec les réseaux électriques.

D'autres normes de sécurité sont applicables :

- la norme CEI/TS 61400-23:2001 Avril 2001 intitulée « essais en vraie grandeur des structures des pales » relative aux essais mécaniques et essais de fatigue
- la génératrice est construite suivant le standard IEC60034 et les équipements mécaniques répondent aux règles fixées par la norme ISO81400-4