

4. Description de l'installation

Ce chapitre a pour but de caractériser l'installation envisagée ainsi que son organisation et son fonctionnement, afin de pouvoir identifier les principaux potentiels de dangers qu'elle représente, mais également de mettre en avant les éléments assurant sa sécurité.

Étant donné que le projet éolien de Fère-Champenoise est décrit de manière détaillée dans le volet commun décrivant la nature des installations, seule une synthèse des éléments les plus importants concernant l'installation est présentée ci-après, en vue de répondre au mieux aux objectifs de l'étude de dangers.

4.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien

4.1.1. Principe de fonctionnement de l'énergie éolienne

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est une machine qui utilise la force du vent pour produire de l'électricité, grâce au principe de fonctionnement de l'alternateur.

L'éolienne est composée de trois pales, portées par un rotor et installées au sommet d'un mât vertical. Cet ensemble est fixé par une nacelle qui abrite un générateur (composé principalement d'un rotor et d'un stator). Un moteur électrique permet d'orienter la nacelle vers la direction optimale du vent. La force du vent au contact des trois pales, les entraîne dans un mouvement de rotation. Un courant alternatif est ainsi généré, grâce à la rotation du rotor autour du stator. Les pales permettent donc de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique et le générateur transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

La plupart des générateurs ont besoin de tourner à grande vitesse pour produire de l'électricité. Ainsi, un multiplicateur a pour rôle d'accélérer le mouvement lent des pales, dont la vitesse de rotation est fonction de leur taille. Plus les pales seront grandes, moins elles tourneront rapidement. La tension de l'électricité produite par le générateur étant trop faible, elle est traitée à l'aide d'un convertisseur, qui l'augmente à 20 000 volts. Ainsi, l'électricité peut être injectée dans le réseau électrique et distribuée aux consommateurs.

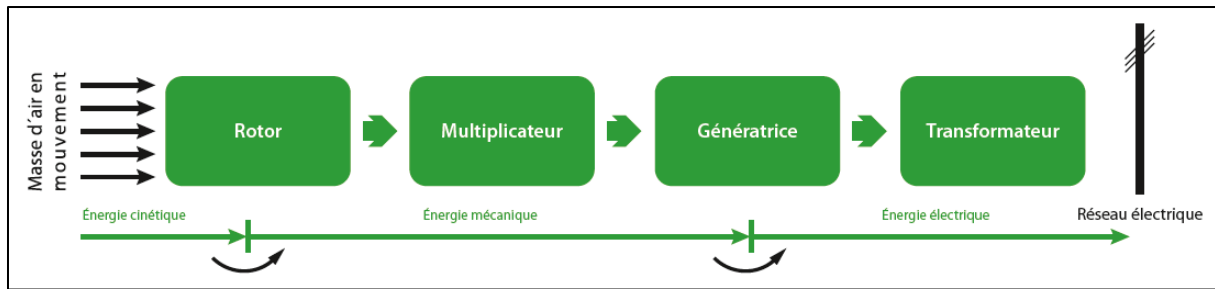


Figure 11 : Schéma simplifié de la chaîne de conversion de l'énergie d'une éolienne (chaîne cinématique) (Source : document interne à l'entreprise)

4.1.2. Composition d'un parc éolien terrestre

Une centrale éolienne terrestre comporte les éléments principaux suivants :

- un ensemble d'éoliennes et leurs fondations ;
- une voie d'accès et une piste de desserte inter-éoliennes ;
- un réseau de câbles enterré reliant les éoliennes entre elles (également appelé réseau de câbles inter-éolien) ;
- un ou plusieurs postes de livraison ;
- des postes de transformation situés à l'intérieur de chaque éolienne et ;
- un ensemble de câbles de raccordement au réseau électrique.

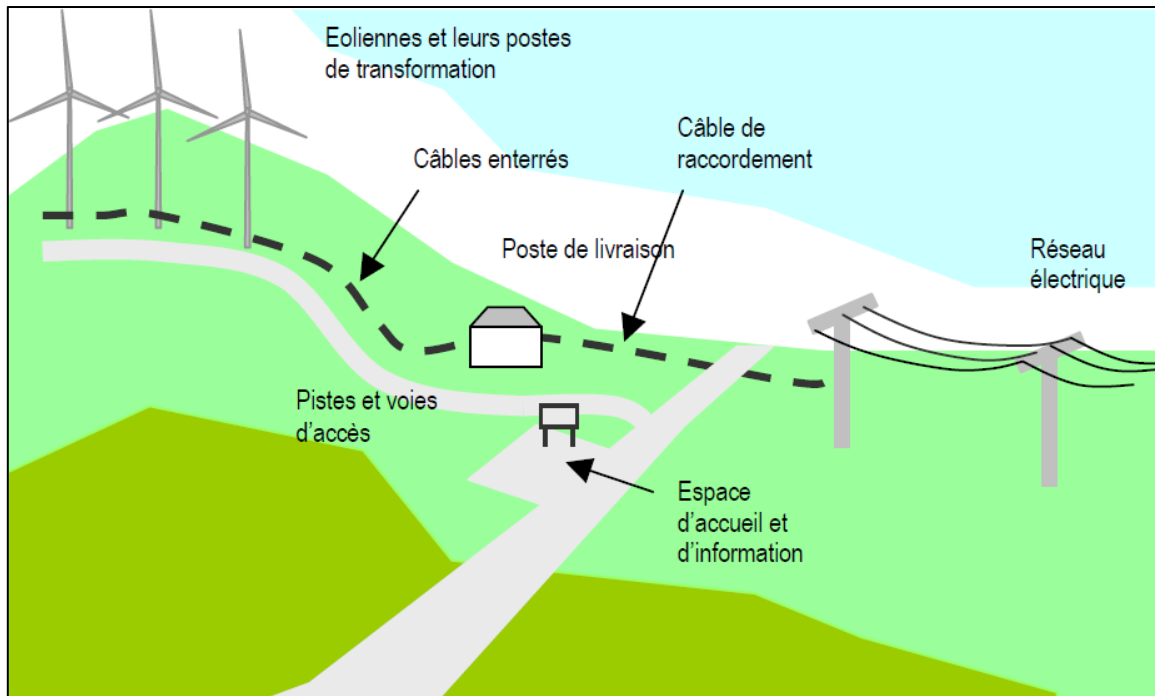


Figure 12 : Schéma descriptif d'un parc éolien terrestre (rapports d'échelle non représentatifs)
(Source : Guide de l'étude d'impact sur l'environnement, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer)

4.1.3. Description générale d'un aérogénérateur

Une éolienne se compose des éléments principaux suivants :

- **Un mât**

Le mât a une fonction de soutien. Il permet de placer le rotor à une hauteur suffisante pour permettre son mouvement et son entraînement par des vents plus forts et réguliers qu'au niveau du sol.

Le mât abrite généralement une partie des composants électriques et électroniques (par exemple consoles de commande). Les mâts sont communément en acier, mais des mâts en béton sont de plus en plus utilisés par certains producteurs.

- **Une nacelle**

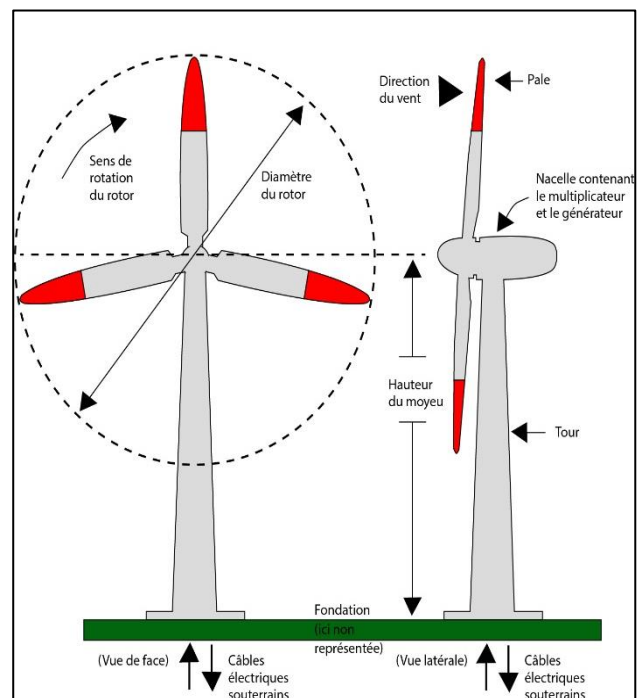


Figure 13 : Schéma d'ensemble d'une éolienne
(Source : Green Energy GmbH)

Elle est montée au sommet du mât, et abrite les composants mécaniques, pneumatiques, ainsi que les composants électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de la machine. La nacelle peut tourner pour orienter les pales par rapport à la direction du vent.

- **Un rotor**

Il est composé de plusieurs pales (en général trois) et du nez de l'éolienne, fixé à la nacelle. Le rotor est entraîné par l'énergie du vent, il est branché directement ou indirectement (via un multiplicateur de vitesse à engrenages) au système mécanique qui utilisera l'énergie recueillie (pompe, générateur électrique...).

Les éoliennes utilisent la force du vent pour produire de l'électricité, grâce au principe de fonctionnement de l'alternateur. Un alternateur est un dispositif permettant de transformer l'énergie mécanique en électricité. Il est composé d'une partie fixe, le stator et d'une partie mobile, le rotor. La force du vent sur les pales entraîne le mouvement du rotor. Ce mouvement, allié à l'immobilité du stator, génère un courant alternatif.

Une éolienne fonctionne dès lors que la vitesse du vent est suffisante pour entraîner la rotation du rotor. Plus la vitesse du vent est importante, plus l'éolienne délivrera de l'électricité (jusqu'à atteindre le seuil de production maximum).

Les modes de fonctionnement d'une éolienne diffèrent selon la vitesse du vent. Quatre « modes » de fonctionnement sont à considérer :

- Dès que la vitesse du vent atteint 2 m/s, un automate, informé par un capteur de vent, commande aux moteurs d'orientation, de placer l'éolienne face au vent. Les trois pales sont alors mises en mouvement par la seule force du vent. Elles entraînent avec elles le multiplicateur et la génératrice électrique.
- Lorsque la vitesse du vent est suffisante (d'au moins 3 m/s), l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor tourne alors à sa vitesse nominale.
- Quand le vent atteint une certaine vitesse (environ 11,5 m/s pour la V_{117-3,3}), l'éolienne peut fournir sa puissance maximale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales. Un système hydraulique régule la portance en modifiant l'inclinaison des pales par pivotement sur leurs roulements (chaque pale tourne sur elle-même).
- Lorsque la vitesse du vent dépasse 25 m/s (soit 90 km/h), un système d'inclinaison des pales entraîne un arrêt immédiat de l'aérogénérateur pour éviter des dégâts.

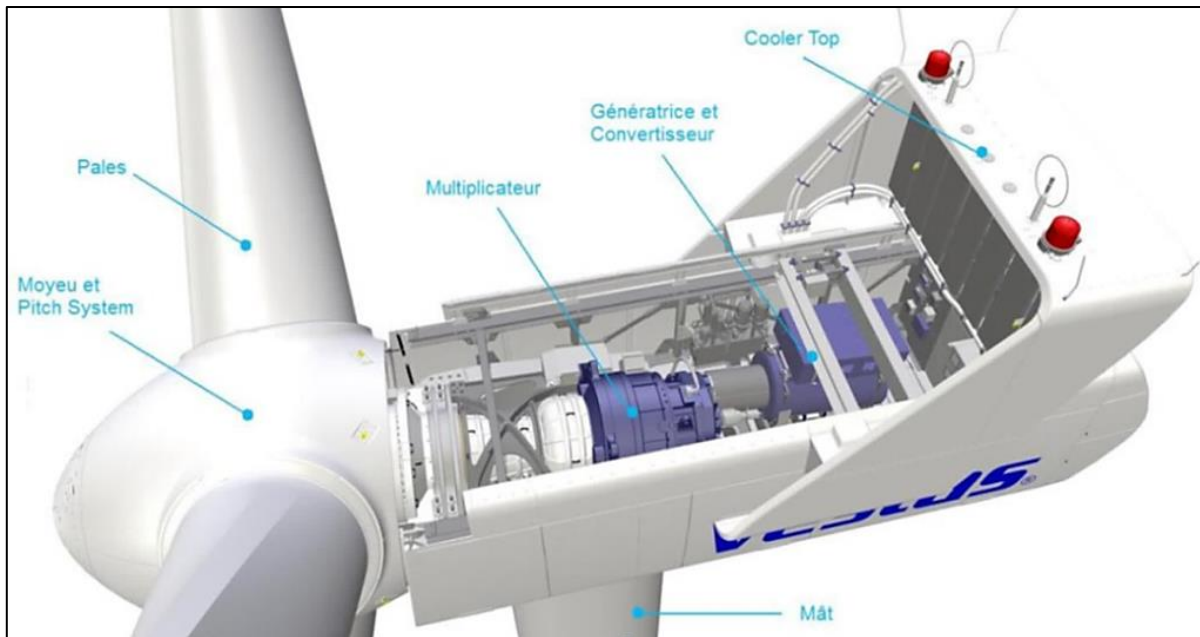


Figure 14 : Schéma Type d'une Nacelle (Source : EISE, Vestas)

4.2. Le parc éolien de Fère-Champenoise en fonctionnement

4.2.1. Fonctionnement de l'installation

4.2.1.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur V117-3,3

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 18 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit «rapide» tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint 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 650 V. La tension est ensuite élevée entre 12 et 20 kV 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.

Tableau 25 : Fonctionnement de l'éolienne V117-3,3 en fonction des vitesses de vent (Source : Vestas)

V117-3,3	
Vitesse de vent minimale nécessaire à la production maximale	11,5 m/s
Vitesse maximale de fonctionnement	25 m/s

Le tableau ci-après, issu du constructeur Vestas, présente de manière synthétisée le découpage fonctionnel d'une éolienne V 117-3,3. En effet comme le précise le point 1.5. Méthodologie, le modèle V117-3,3 et le modèle V117-3,45 sont sensiblement identiques et les principaux composants et caractéristiques sont équivalents.

Tableau 26 : Découpage fonctionnel d'une éolienne V117-3,3 (Source : Vestas)

Élément de l'éolienne	Fonction	Description	Données relatives à l'éolienne V117-3,3
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	<p>Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 3 et 5 mètres d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre d'une vingtaine de mètres. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes. Un insert métallique disposé au centre du massif sert de fixation pour la base de la tour. Il répond aux prescriptions de l'Eurocode 3.</p> <p>Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Le type d'éolienne ; La nature des sols ; Les conditions météorologiques extrêmes ; Les conditions de fatigue. 	
Tour/ mât	Supporter la nacelle et le rotor	<p>La tour des éoliennes (également appelée mât) est constituée de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride à l'insert disposé dans le massif de fondation, la tour est autoportante.</p> <p>La hauteur de la tour, ainsi que ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topologie du site et la puissance recherchée.</p> <p>La tour a avant tout une fonction de support de la nacelle mais elle permet également le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite :</p> <ul style="list-style-type: none"> Une échelle d'accès à la nacelle ; Un élévateur de personnes ; Une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ; Les cellules de protection électriques. 	<ul style="list-style-type: none"> Hauteur de la tour : 91,5 m Nombre de sections : 4 Tension dans les câbles présents dans la tour : entre 12 et 20 kV Diamètre maximum à la base : 4,3 m
Nacelle	<ul style="list-style-type: none"> Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle 	<p>La nacelle se situe au sommet de la tour et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne (voir figure ci-après).</p> <p>Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre, et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur.</p> <p>Le système de refroidissement Vestas CoolerTop™ assure le refroidissement des principaux éléments de l'éolienne et sert également de support pour les balisages lumineux et les capteurs de vent (voir la photo ci-après). Ces capteurs à ultrasons mesurent en permanence la vitesse et la direction du vent.</p> <p>Une sonde de température extérieure est placée sous la nacelle et reliée au contrôle commande.</p> <p>La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent (l'orientation du rotor est forcée).</p> <p>Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle, dont les arbres de sortie comportent un pignon s'engrenant sur une couronne dentée solidaire de la tour. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent. La vitesse maximum d'orientation de la nacelle est de moins de 0,5 degrés par seconde soit environ une vingtaine de minutes pour faire un tour complet.</p> <p>Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire 3 à 5 tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà, un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Longueur : 12,8 m Largeur avec refroidisseur : 5,1 m Hauteur sans refroidisseur : 3,2 m Hauteur avec refroidisseur : 8,3 m Poids total : 157 t Tension dans les armoires électriques : entre 0 et 1200 V
Rotor	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	<p>Les rotors Vestas sont composés de trois pales fixées au moyeu via des couronnes à deux rangées de billes et double contact radial. La rotation du rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur.</p> <p>Les pales peuvent pivoter d'environ 90 degrés sur leur axe grâce à des vérins hydrauliques montés dans le moyeu. La position des pales est alors ajustée par un système d'inclinaison, appelé « Vestas Pitch System ». Ainsi, les variations de vitesse de vents sont constamment compensées par l'ajustement de l'angle d'inclinaison des pales. Le « Vestas Pitch System » est conçu pour optimiser au maximum la production de l'éolienne.</p> <p>Dans le cas où la vitesse de vent devient trop importante, risquant d'amener une usure prématurée des divers composants ou de conduire à un emballement du rotor, le « Vestas Pitch System » ramène les pales dans une position où elles offrent le moins de prise au vent, dite « en drapeau », conduisant à l'arrêt du rotor (freinage aérodynamique). Ce système comprend également la présence d'accumulateurs hydropneumatiques disposés au plus près des vérins. Ces accumulateurs</p>	<p>Rotor :</p> <ul style="list-style-type: none"> Diamètre : 117 m Surface balayée : 10 751 m² Plage de rotation opératoire : entre 6,2 et 17,7 tours/min

Élément de l'éolienne	Fonction	Description	Données relatives à l'éolienne V117-3,3
		<p>permettent, même en cas de perte du système de contrôle, de perte d'alimentation électrique ou de défaillance du système hydraulique, de ramener les pales en drapeau.</p> <p>Chaque pale est indépendante et équipée de son propre pitch system afin de garantir un calage continu même en cas de dysfonctionnement du contrôle commande.</p> <p>Plusieurs notions caractérisent les pales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La longueur, fonction de la puissance désirée ; • La corde (largeur maximale), fonction du couple nécessaire au démarrage et de celui désiré en fonctionnement ; • Les matériaux, fonction de la résistance souhaitée. <p>La géométrie de la pale est légèrement vrillée autour de son axe longitudinal pour un meilleur rendement.</p>	<p>Pales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longueur : 57 m • Largeur maximale (corde) : 4 m • Poids unitaire (en cours d'optimisation, susceptible d'être inférieur) : 13,3 t • Matériau : fibre de verre renforcée avec époxy et fibre de carbone
Multiplicateur (Gearbox)	Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent	<p>Le rotor est directement relié à un arbre de transmission appelé « arbre lent ». Cet arbre, qui tourne à la vitesse du rotor est connecté au multiplicateur. Le multiplicateur (Gearbox) permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur compris entre 100 et 120 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1500 tours par minute.</p> <p>Le dispositif de transmission entre l'arbre rapide et la génératrice (coupling) est un dispositif flexible, réalisé en matériau composite afin de compenser les défauts d'alignement mais surtout afin de constituer une zone de moindre résistance et de pouvoir rompre en cas de blocage d'un des deux équipements.</p> <p>Sur l'arbre rapide du multiplicateur est monté un disque de frein, à commande hydraulique, utilisé pour l'arrêt de la turbine en cas d'urgence.</p>	
Générateur et transformateur	<ul style="list-style-type: none"> • Produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique • Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau 	<p>Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante).</p> <p>Le générateur est ici de type synchrone délivrant un courant alternatif sous 710 V à vitesse nominale. Un système de conversion appelé « Grid Streamer™ converter » permet d'assurer la régulation du fonctionnement du générateur et la qualité du courant produit. Il permet d'alimenter le transformateur élévateur de tension en courant alternatif 50 Hz sous 650 V.</p> <p>Cette tension est élevée 20 kV par un transformateur sec, puis régulée par des dispositifs électroniques de façon à pouvoir être compatible avec le réseau public. Le transformateur est localisé dans une pièce fermée à l'arrière de la nacelle.</p> <p>Un câble relie ensuite la nacelle et les cellules de protection du réseau, disposées dans une armoire en partie basse de la tour. Il s'agit de cellules à isolation gazeuse (SF6) qui permettent une séparation électrique de l'éolienne par rapport aux autres machines du champ éolien en cas d'anomalie (court-circuit, surtension, défaut d'isolement, ...).</p> <p>Le refroidissement du générateur et du dispositif de conversion est effectué par une boucle d'eau.</p>	

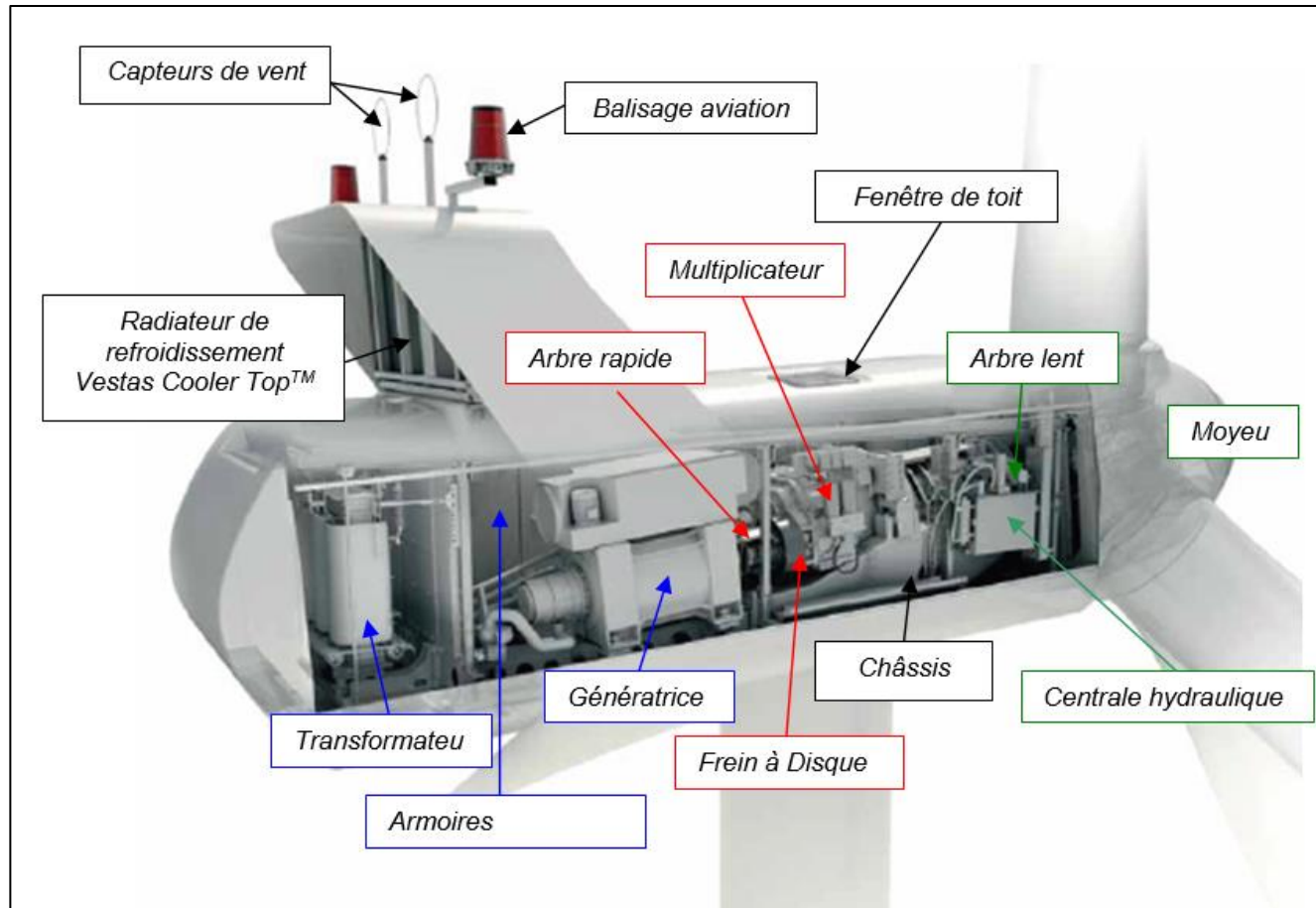


Figure 15 : Composants de la nacelle (Source : Vestas)

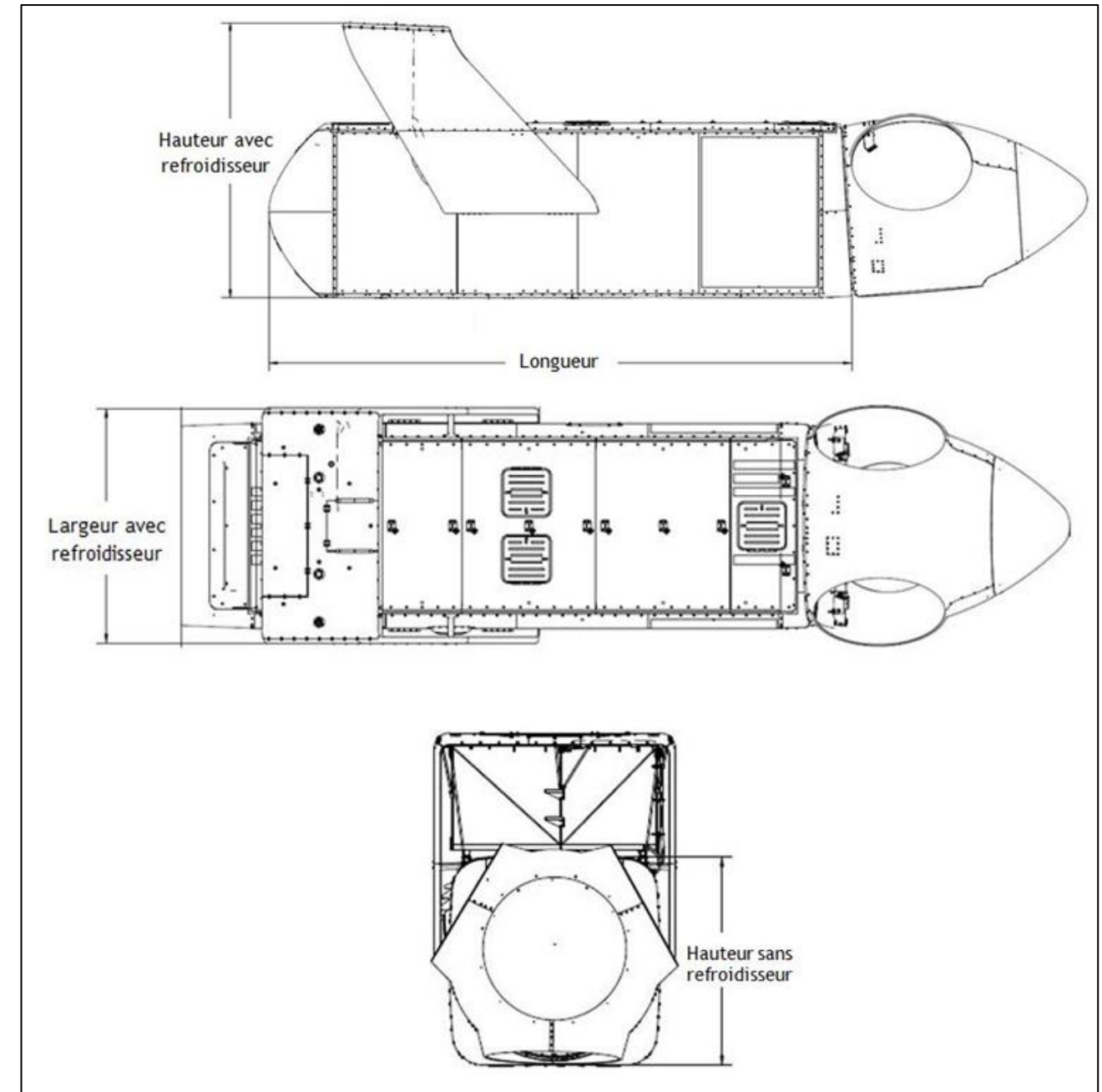


Figure 17 : Schémas représentatifs d'une nacelle Vestas (Source : Vestas)

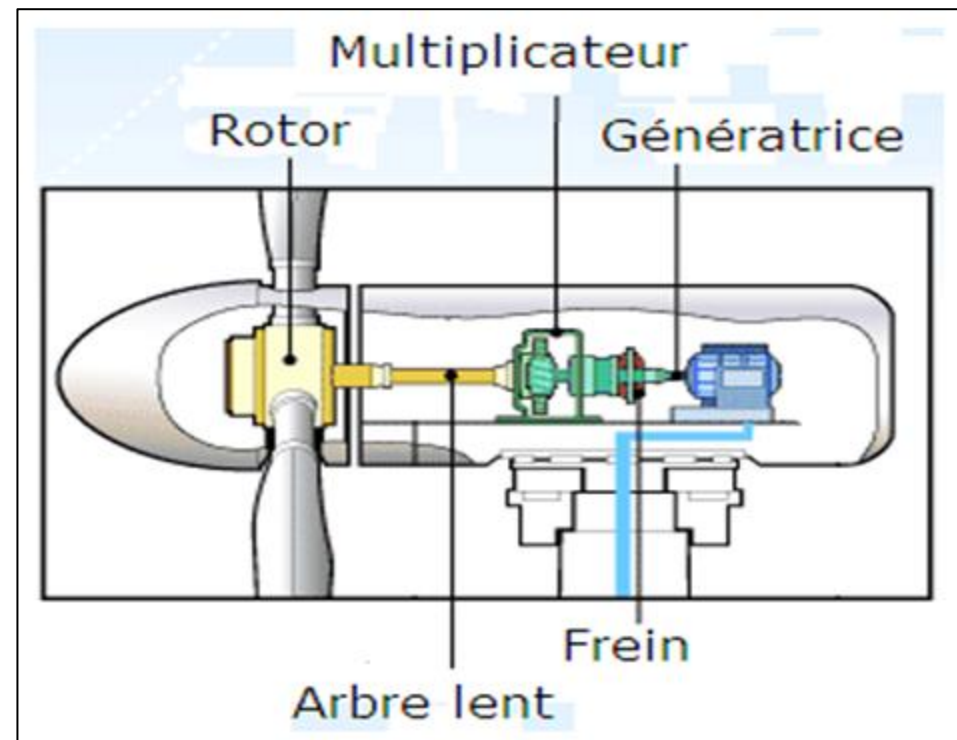


Figure 16 : Schéma simplifié de la chaîne cinématique (Source : Vestas)

4.2.1.2. Contrôle et maintenance des installations

4.2.1.2.1. Conduite du système

Les éoliennes sont des équipements de production d'énergie qui sont disposés à l'écart des zones urbanisées et qui ne nécessitent pas de présence permanente de personnel. Bien que certaines opérations nécessitent des interventions sur site, les éoliennes Vestas sont surveillées et pilotées à distance.

Pour cela, les installations Vestas sont équipées d'un système SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) qui permet le pilotage à distance à partir des informations fournies par les capteurs. Les parcs éoliens sont ainsi reliés à des centres de télésurveillance permettant le diagnostic et l'analyse de leur performance en permanence, ainsi que certaines actions à distance. Ce dispositif assure la transmission de l'alerte en temps réel en cas de panne ou de simple dysfonctionnement.

Il permet également de relancer aussitôt les éoliennes si les paramètres requis sont validés et les alarmes traitées. C'est notamment le cas lors des arrêts de l'éolienne par le système normal de commande (en cas de vent faible, de vent fort, de température extérieure trop élevée ou trop basse, de perte du réseau public, etc.).

En revanche, en cas d'arrêt lié à un déclenchement de capteur de sécurité (déclenchement VOG, déclenchement détecteur d'arc électrique, température haute, pression basse huile, etc.), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut avant de pouvoir relancer un démarrage.

En cas d'intervention, des équipes de techniciens sont réparties sur le territoire afin de pouvoir réagir rapidement. Les interventions sont toujours réalisées par une équipe d'au moins deux personnes.

Par ailleurs, afin d'assurer la sécurité des équipes intervenantes, un dispositif de prise de commande locale de l'éolienne est disposé en partie basse de la tour. Ainsi, lors des interventions sur l'éolienne, les opérateurs basculent ce dispositif sur « commande locale » ce qui interdit toute action pilotée à distance. Toute intervention dans le rotor n'est réalisée qu'après le blocage mécanique de celui-ci.

De plus, des dispositifs de consignation électrique sont répartis sur l'ensemble des éléments électriques afin de pouvoir isoler certaines parties et protéger ainsi le personnel intervenant.

Il est également important de noter qu'au-delà de certaines vitesses de vent, les interventions sur les équipements ne sont pas autorisées.

4.2.1.2.2. Formation des personnels

Les personnels intervenant sur les éoliennes, tant pour leur montage, que pour leur maintenance, sont des personnels Vestas, formés au poste de travail et informés des risques présentés par l'activité.

Toutes les interventions (pour montage, maintenance, contrôles) font l'objet de procédures qui définissent les tâches à réaliser, les équipements d'intervention à utiliser et les mesures à mettre en place pour limiter les risques d'accident. Des check-lists sont établies afin d'assurer la traçabilité des opérations effectuées.

4.2.1.2.3. Entretien préventif des installations et du matériel

La société Vestas atteste de la conformité de ses aérogénérateurs à l'ensemble des dispositions contenues dans l'arrêté du 26 août 2011, y compris les essais de mise en service ainsi que les vérifications de l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt.

Les principaux contrôles effectués dans le cadre des opérations de maintenance sont présentés ci-après.

Tableau 27 : Principales opérations de maintenance lors de l'inspection des 3 mois (Source : Étude de dangers, Vestas)

Composants	Opérations
Etat général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne
Moyeu	Inspection visuelle du moyeu Vérification des boulons entre le moyeu et les supports de pale* Vérification des boulons maintenant la coque du moyeu
Pales	Vérification des roulements et du jeu Vérification des joints d'étanchéité Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur Vérification des boulons de chaque pale* Vérification des bruits anormaux Vérification des bandes paratonnerres
Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification des boulons et de l'absence d'impacts de foudre.

Composants

Opérations

Arbre principal	<ul style="list-style-type: none"> Vérification des boulons fixant l'arbre principal et le moyeu* Inspection visuelle des joints d'étanchéité Vérification des bruits anormaux et des vibrations Vérification du fonctionnement du système de lubrification Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor
Système d'orientation de la nacelle (Yaw system)	<ul style="list-style-type: none"> Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour* Vérification des bruits anormaux Vérification du système de lubrification
Tour	<ul style="list-style-type: none"> Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal Inspection visuelle du mât
Bras de couple	<ul style="list-style-type: none"> Vérification boulons Vérification et serrage de la connexion à la terre
Système d'inclinaison des pales (Vestas Pitch System)	<ul style="list-style-type: none"> Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
Multiplicateur	<ul style="list-style-type: none"> Changement d'huile et nettoyage du multiplicateur si nécessaire Vérification du niveau sonore lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc... Vérification d'absence de fuites au niveau des points de lubrification Vérification des capteurs de débris
Huile du multiplicateur	<ul style="list-style-type: none"> Vérification du niveau d'huile Vérification des composants du bloc hydraulique et des pompes
Système de freinage	<ul style="list-style-type: none"> Vérification des étriers, des disques et des plaquettes de freins Inspection des entrées et des sorties de tuyaux
Générateur	<ul style="list-style-type: none"> Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification des fuites de liquides de refroidissement et de graisse Lubrification des roulements
Système de refroidissement par eau	<ul style="list-style-type: none"> Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux Vérification du niveau de liquide de refroidissement
Vestas Cooler Top™	<ul style="list-style-type: none"> Vérification boulons

Composants

Opérations

Système hydraulique Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et les pompes

Onduleur vérification du fonctionnement de l'onduleur.

Capteur de vent et balisage aérien Vérification du bon fonctionnement du balisage aérien et inspection visuelle du capteur de vitesse de vent.

Nacelle Vérification boulons
Vérification d'absence de fissures autour des raccords
Vérification des points d'ancrage et des fissures autour de ceux-ci

Extérieur Vérification de la protection de surface
Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc...

Transformateur Inspection mécanique et électrique du transformateur

Sécurité générale Inspection des câbles électriques
Inspection du système de mise à la terre

Les vérifications présentées dans le tableau ci-avant sont effectuées au bout de trois mois, puis d'un an de fonctionnement, puis tous les trois ans, conformément à [l'arrêté du 26 août 2011](#).

Ces opérations de maintenance courante seront répétées lors de l'inspection après la première année de fonctionnement, puis régulièrement selon le calendrier de maintenance.

Des opérations de maintenance supplémentaires sont également effectuées et sont présentées ci-après.

Tableau 28 : Opérations de maintenance supplémentaires lors des inspections annuelles
(Source : Étude de dangers, Vestas)

Composants

Opérations

Moyeu Vérification de l'état de la fibre de verre
Vérification des joints d'étanchéité
Vérification de la fonctionnalité des trappes d'accès et de leurs verrous

Pales Vérification des tubes de graissage et du bloc de distribution de graisse
Vérification du niveau de graisse dans les collecteurs de graisse et remplacement s'ils sont pleins
Remplissage du distributeur de graisse

Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle Vérification du câble connectant les bandes anti-foudre
Vérification des amortisseurs d'usure
Vérification des bandes anti-foudre

Composants**Opérations**

Système d'inclinaison des pales (Vestas Pitch System)	Vérification du bon fonctionnement du système d'inclinaison des pales
	Vérification de la pression des accumulateurs
	Vérification de la tension des fixations des accumulateurs
	Vérification des boulons
	Vérification des pistons des vérins hydrauliques
Arbre principal	Vérification et lubrification des roulements principaux tous les 5 ans
	Vérification de l'ajustement des capteurs RPM
	Lubrification des boulons de blocage du rotor
Bras de couple	Vérification des boulons entre le bras de couple et le bâti tous les 4 ans
Multiplicateur	Vérification et remplacement (si nécessaire) des filtres à air
	Remplacement des filtres à air tous les 10 ans
	Remplacement du système de détection de particules tous les 10 ans
	Vérification des flexibles de drainage. Remplacement si nécessaire.
	Remplacement des flexibles de drainage tous les 10 ans
	Remplacement des tuyaux tous les 7 ans
	Inspection des boulons du système d'accouplement entre le multiplicateur et l'arbre principal tous les 4 ans
Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse	
Système de freinage	Vérification du câblage des capteurs d'usure et de chaleur
	Remplacement des plaquettes de freins tous les 7 ans
Générateur	Vérification du bruit des roulements
	Vérification du système de graissage automatique
	Vérification du système de refroidissement
Système de refroidissement par eau	Remplacement du liquide de refroidissement tous les 5 ans
Système hydraulique	Vérification des niveaux d'huile et remplacement si nécessaire
	Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse
	Changement d'huile selon les rapports d'analyse
	Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre)
	Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre)
	Contrôle des flux et de la pression
Vérification de la pression dans le système de frein	
Vestas Cooler Top™	Inspection visuelle du Vestas Cooler Top™ et des systèmes parafoudres
Onduleur	Vérification du bon fonctionnement de l'onduleur
	Remplacement des différents filtres des ventilateurs
	Remplacement des différents ventilateurs tous les 5 ans
	Remplacement de la batterie tous les 5 ans

Composants

Opérations

Capteur de vent et balisage aérien	Inspection visuelle du capteur de vitesse de vent et du bon fonctionnement du balisage.
Nacelle	Changement des filtres à air Changement des batteries des processeurs
Tour	Changement des filtres de ventilation contaminés Maintenance de l'élèveur de personnes
Système de détection d'arc électrique	Test du capteur de détection d'arc électrique du jeu de barres et dans la salle du transformateur
Système d'orientation nacelle (Yaw System)	Lubrification de la Couronne d'orientation Vérification du niveau d'huile des motoréducteurs, et remplissage si besoin Changement de l'huile des motoréducteurs tous les 10 ans Vérification et ajustement du couple de freinage
Armoire de contrôle en pied de tour	Test des batteries Remplacement des batteries de secours tous les 5 ans Remplacement des radiateurs en cas de défaillance
Sécurité générale	Test des boutons d'arrêt d'urgence Test d'arrêt en cas de survitesse Vérification des équipements de sauvetage Vérification de la date d'inspection des extincteurs Test des détecteurs de fumée (si installés) Vérification du système antichute

4.2.1.2.4. Contrôles réglementaires périodiques

Les contrôles réglementaires concernent les installations électriques, les équipements et accessoires de levage ou les équipements sous pression (accumulateurs hydropneumatiques). Ils sont réalisés par des organismes agréés.

Le matériel incendie est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.

4.2.1.2.5. Maintenance curative

Il s'agit des opérations de maintenance réalisées suite à des défaillances de matériels ou d'équipements (ex : remplacement d'un capteur défaillant, ajout de liquide de refroidissement faisant suite à une fuite, etc.). Ces opérations sont faites à la demande, dès détection du dysfonctionnement, de façon à rendre l'équipement à nouveau opérationnel.

4.2.1.2.6. *Prise en compte du retour d'expérience*

Dans l'organisation Vestas, chaque incident ou défaillance est remonté systématiquement via un rapport détaillé dans une base de données générale. Toutes ces informations sont utilisées dans le cadre d'un processus d'amélioration continue.

Ainsi, les principaux axes d'amélioration ont porté sur :

- La mise en sécurité de la machine lors de vents violents ;
- Une meilleure gestion du risque d'incendie de la nacelle ;
- L'amélioration des dispositifs de protection contre les effets de la foudre ;
- La recherche de solutions pour limiter les effets de la formation de glace ou d'accumulation de neige ;
- L'étude de solutions visant à limiter les contraintes sur les équipements, qui peuvent accélérer l'usure et le vieillissement de ces équipements.

4.2.1.3. *Sécurité des installations*

L'installation respecte la réglementation applicable en vigueur en matière de sécurité. Elle est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation ainsi qu'à l'ensemble des lois et normes qui assurent la sécurité de l'installation.

La description des différents systèmes de sécurité et de surveillance de l'éolienne V117 – 3,3 MW sera effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, au chapitre 7 de la présente étude de dangers.

4.2.1.3.1. *Respect des réglementations en vigueur*

L'annexe 1 de la présente étude de dangers détaille les solutions proposées par le fabricant Vestas et qui pourront être choisies par l'exploitant pour répondre à l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations classées ICPE.

4.2.1.3.2. *Respect des principales normes applicables aux installations*

Normes générales de construction

La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes Vestas, présentée ci-après, n'est pas exhaustive (il existe en effet plusieurs centaines de standards applicables). Seuls les principaux standards sont donc présentés ci-dessous.

- La norme IEC61400-1 intitulée « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi, la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent au standard : IEC61400-1. Les pales respectent le standard IEC61400-1 ; 12 ; 23 (voir ci-dessous).
- La génératrice est construite suivant le standard IEC60034.
- La conception du multiplicateur répond aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- La protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4.
- Les éoliennes Vestas répondent aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques, notamment la directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004.
- Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air. Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 12944.

Tableau 29 : Certifications de type CE (Source : Vestas)

	Partie extérieure	Partie intérieure
Nacelle Vestas	C5	Minimum C3
Moyeu	C5	C3
Tour	C4	C3

Les divers 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.

Pales

Les pales constituent un des points les plus délicats de l'éolienne. Il s'agit en effet d'un équipement qui doit posséder des caractéristiques particulières alliant à la fois résistance, légèreté et flexibilité, tout comme l'aile d'un avion. Le profil est de plus étudié pour offrir un maximum de rendement

aérodynamique. Le procédé de fabrication fait donc à la fois appel à des opérations automatisées et à des opérations manuelles.



Figure 18 : Une pale Vestas en usine (Source photo : Vestas)

A chaque changement de modèle de pale, une pale prototype est réalisée, qui subit une série de tests : mesure des contraintes de flexion et tests de fatigue dans les deux directions principales, mesure des caractéristiques aérodynamiques, détermination des fréquences propres.

Une deuxième série de tests (tests de chargements statiques, tests de fatigue, etc.) est réalisée en présence d'un organisme certificateur en conformité avec le [standard IEC 61400-23](#).

Enfin, un jeu complet de pales est monté en conditions réelles sur un prototype afin d'observer son comportement.

Les résultats de tous ces tests sont indispensables pour lancer la production en série.

L'aérogénérateur

Le Design Evaluation Conformity Statement atteste la conformité de l'installation à la [norme CEI 61 400-1](#) dans sa version de 2005 ainsi qu'à la [norme CEI 61 400-22](#) en ce qui concerne la conception.

Le Type Certificate atteste la conformité de l'aérogénérateur à la [norme CEI 61 400-1](#) dans sa version de 2005.

Le balisage

Le balisage de l'installation est conforme aux dispositions prises en application des articles [L. 6351-6](#) et [L. 6352-1](#) du [code des transports](#) et des articles [R. 243-1](#) et [R. 244-1](#) du [code de l'aviation civile](#).

Des panneaux présentant les prescriptions au public sont installés sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur.

La fondation

Le dimensionnement des fondations respecte les codes de construction pour l'Europe, les Eurocodes. Les principaux utilisés pour le calcul des fondations sont :

- **Eurocode 2** : Calcul des structures en béton ;
- **Eurocode 3** : Calcul des structures en acier.

4.2.1.3.3. Sécurité électrique – prévention

Seul le personnel habilité et qualifié est autorisé à pénétrer au sein des turbines et dans le Poste De Livraison (PDL). L'affichage des risques, imposé par la réglementation ICPE et le code du travail, est effectuée par plusieurs supports (les photos suivantes sont issues sur notre parc éolien en exploitation « Énergie du Partage » situé sur la commune de Saulces-Champenoises) :

A l'entrée des éoliennes :



A l'entrée des Postes de Livraison :

4.2.1.3.4. *Procédures en cas d'incident et organisation des secours en cas d'accident*

En phase de chantier

L'organisation des secours en phase chantier est décrite dans les Plans Particuliers de Sécurité et de Protection de la Santé de chaque intervenant sur site. Les PPSPS remis directement au bureau de contrôle, prévoient toutes les procédures d'intervention des équipes de secours dans tous les cas d'accident possibles.

En phase d'exploitation

Capteurs :

Les éoliennes développées par la société Green Energy 3000 GmbH sont équipées des capteurs/détecteurs nécessaires répondant aux demandes d'ICPE (voir chapitre sur les fonctions de sécurité).

Ces dispositifs sont implantés dans les machines selon les normes EN et NF et subissent des tests périodiques et fonctionnels particuliers et adaptés.

Leur rôle est principalement de détecter des anomalies survenues au cours de l'exploitation d'une éolienne. En cas d'entrée en fonctionnement anormal de l'éolienne, l'automate de l'éolienne génère une alarme spécifiant le type d'événement : incendie (détecteur de fumée), survitesse (rotor ou génératrice s'emballent), risque de glace/givre (déducteur ou calculateur différentiel).

Enfin, l'alarme est transmise aux opérateurs (constructeur et exploitant) via la voie internet (Email) ou SMS/Appel téléphonique.

La télésurveillance : système SCADA

Le SCADA est le système de télégestion des aérogénérateurs. Ce dernier permet de suivre les éoliennes et d'avoir un accès en temps réel à toutes les données des installations. Il est ainsi possible de pouvoir contrôler à distance le bon fonctionnement des différents composants des machines.

Ce dispositif permet également le déclenchement d'alarmes dès que le moindre dysfonctionnement d'un composant interne à risque est détecté, permettant ainsi une intervention rapide des équipes si besoin est. Le Scada est donc en même temps le système de contrôle et de suivi des aérogénérateurs et de leurs circuits électriques jusqu'au poste de livraison de même que le système d'échange de données et d'analyse de l'état des machines.

Centre Monitoring :

Ce service est proposé par le constructeur de l'éolienne. Les opérateurs surveillent 24/7 les éoliennes du constructeur à l'échelle mondiale. En cas d'événement anormal, une vérification des paramètres techniques est réalisée afin de lever le doute. Si nécessaire, une équipe peut être envoyée sur site pour lever visuellement le doute.

En cas d'alerte (feu ou survitesse), l'opérateur arrête immédiatement la machine pour la mettre en sécurité et enclenche la procédure d'information à l'exploitant et/ou aux secours si nécessaire.

Gestion technico-commerciale : Green Management 3000 GmbH

La gestion technico-commerciale pourra être déléguée à la société Green Management 3000 GmbH (société sœur de Green Energy 3000 GmbH), comme cela a été le cas pour le parc éolien de l'Energie du Partage développé par Green Energy 3000 GmbH et situé sur la commune de Saulces-Champenoises et des autres projets prochainement en construction sur les communes de Pauvres et de Villers-le-tourneur.

Une équipe qualifiée est alors d'astreinte 24/24 heures et 7/7 jours. Elle est chargée entre autres de gérer l'exploitation technique des éoliennes. Le personnel, basé en France et en Allemagne, est donc en mesure de se connecter en permanence au SCADA des parcs éoliens et réalise la surveillance à distance en redondance avec les constructeurs.

Cette équipe est joignable en permanence sur un numéro générique d'exploitation qui figure sur les panneaux d'avertissement à proximité de chaque éolienne en exploitation ce qui permet à un tiers, témoin d'un problème de fonctionnement, de contacter directement l'exploitant.

Ce numéro est également communiqué à tous les acteurs principaux du site en exploitation tel que : les constructeurs, sous-traitants électriques, ENEDIS, SDIS, etc. Tous les appels téléphoniques seront transférés à une personne en charge qui traitera la demande en fonction de la nature de l'événement survenu et sera responsable de prévenir les services de secours dans les 15mn suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'éolienne.

Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) :

C'est le service compétent à qui l'alerte doit être transmise en cas de nécessité. Ce service va mobiliser les moyens humains et techniques nécessaires en cas d'intervention selon ses propres procédures.

Un travail en amont sera réalisé avec le SDIS concerné par le projet afin d'identifier les informations pratiques du site éolien tel que : identification du parc, nombre et type d'éolienne, localisation de l'installation, des accès possibles, numéro de l'exploitant et des intervenants possibles, etc. afin de garantir les meilleures conditions possibles pour l'intervention des secours (rapidité, mobilisation des bons moyens d'intervention, etc.).

Le SDIS est informé des moyens déjà à disposition dans les éoliennes en cas d'intervention :

- Les extincteurs portatifs à disposition dans la nacelle et en bas de la tour.
- Kit d'évacuation en hauteur par la trappe et palan dans la nacelle.
- La disposition des boutons d'Arrêt d'Urgence dans l'éolienne.

- Numéro du centre de conduite ENEDIS -> couper l'alimentation du Poste de Livraison à distance.

En accord avec le SDIS, des consignes types sont indiquées sur site permettant d'identifier clairement les éléments d'information à donner aux secours lors d'un appel d'urgence, via le numéro 18 (type d'incidence, accident avec personne ou non, incendie, etc.). Ainsi le SDIS sera en mesure de mobiliser les moyens adéquates : pompiers, GRIMP, évacuation en hélicoptère ou tout simplement mise en sécurité du périmètre s'il n'y a pas de possibilité /nécessité d'intervenir dans les éoliennes.

Procédure d'urgence :

Il s'agit d'un document rédigé par le SDIS, en collaboration avec l'exploitant au moment de la mise en service du site, comportant les recommandations d'intervention en fonction du type d'incident. Il s'agit d'un document propre à chaque SDIS.

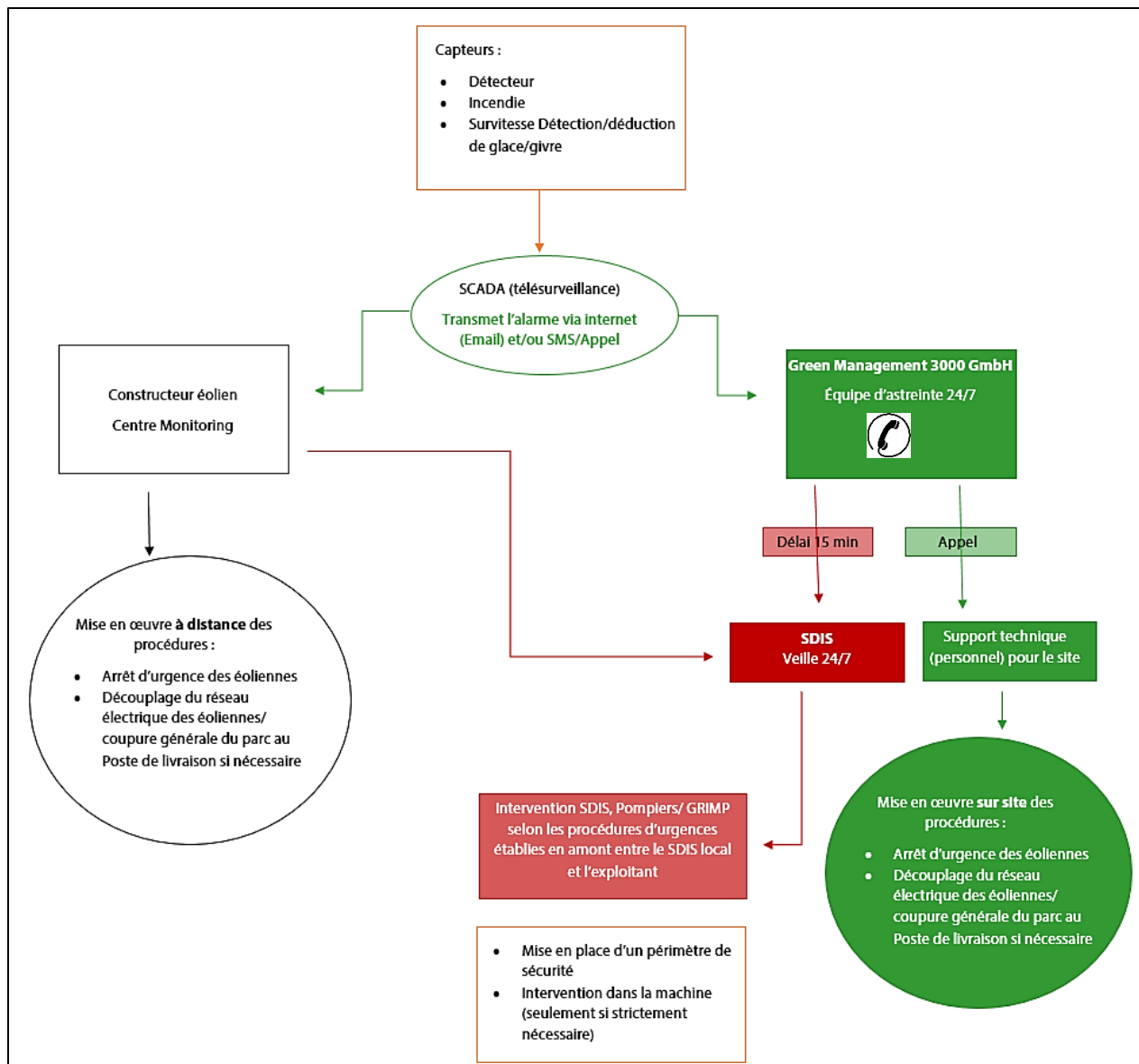


Figure 19 : Procédure type en cas d'urgence (Source : document interne à l'entreprise)

4.2.1.3.5. Mesures de sécurité au niveau des installations

Différentes mesures de sécurité obligatoires et optionnelles, permettant de réduire les risques et les dangers, seront installées au niveau des éoliennes.

Dans un souci de clarté, celles-ci sont détaillées dans le paragraphe 7.6. de ce document.

4.2.1.4. Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du parc de Fère-Champenoise.

4.2.2. Fonctionnement des réseaux des installations

4.2.2.1. Raccordement électrique

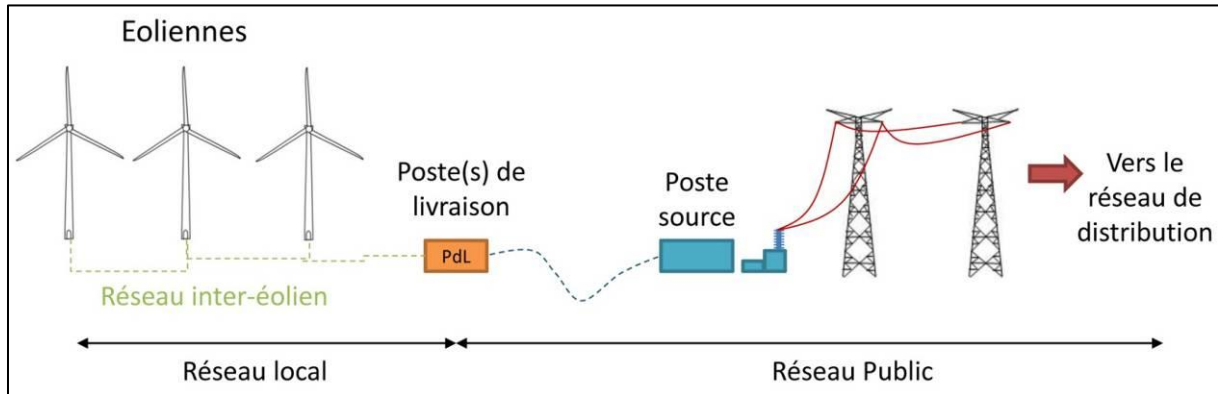


Figure 20 : Raccordement électrique des installations (Source : Vestas)

4.2.2.1.1. Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm.

4.2.2.1.2. Poste de livraison

Le poste de livraison est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Certains parcs éoliens, par leur taille, peuvent posséder plusieurs postes de livraison, voire se raccorder directement sur un poste source, qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension). Dans le cas du parc éolien de Fère-Champenoise, un seul poste de livraison est nécessaire.

La localisation exacte de l'emplacement du poste de livraison dépend de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée. Le poste de livraison du parc éolien de Fère-Champenoise est situé :

Tableau 30 : Données informatives sur le poste de livraison

Demandeur	Commune, lieu-dit	Section / Parcelle	Propriétaire
Société « Energie du Partage 8 »	Fère-Champenoise/Lieu dit l'Étançon	VH 12	GILART Claude

Tableau 31 : Coordonnées géographiques du poste de livraison

Coordonnées géographiques du poste de livraison (international WGS84)

<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>
3°57'36,78" E	48°45'53,52" N

Coordonnées géographiques du poste de livraison (France RGF93)

<i>X</i>	<i>Y</i>
770 576,9	6 852 069,5

Ce poste de livraison sera composé de compteurs électriques, de cellules de protection, de sectionneurs et de filtres électriques. La tension réduite de ces équipements (20 kV) n'entraîne pas de risque magnétique important. Son impact est donc globalement limité à son emprise au sol de 26 m² (10,26 m x 2,53 m)

4.2.2.1.3. Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le ou les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ENEDIS- anciennement ERDF : Électricité Réseau Distribution France). Il est lui aussi entièrement enterré.

4.2.2.2. Autres réseaux

Le parc éolien de Fère-Champenoise ne comporte aucun réseau d'alimentation en eau potable ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz (voir Annexe 8).

4.3. Synthèse – le parc éolien de Fère-Champenoise

Le parc éolien de Fère-Champenoise, sera composé de **4 aérogénérateurs** de type V117-3,3 du fabricant Vestas, ou du fabricant Nordex N117 ou équivalent, **d'un poste de livraison** relié au poste source disponible le plus proche, **d'un réseau de câbles inter-éolien** et **d'un réseau de chemins d'accès** permettant d'accéder aux éoliennes pendant leur construction ainsi que pendant leur exploitation.

D'une puissance nominale de 13,2 MW (S'il est composé d'éoliennes Vestas 117 de 3,3 MW) ou de 12 MW (s'il est composé des éoliennes Nordex 117 de 3 MW), le parc éolien sera maintenu régulièrement sur une période d'au moins 20 ans. Les travaux de construction, de maintenance ou de démantèlement se feront conformément aux réglementations en vigueur. La remise en état initial du site est également assurée.

Les éoliennes seront construites en dehors des zones de contraintes fortes en privilégiant le bord des parcelles, le long des chemins, et toujours en pleine concertation avec les propriétaires et exploitants concernés de façon à ne pas entraver les activités agricoles.

Tableau 32 : Récapitulatif des caractéristiques principales de l'éolienne V117-3,3 (Source : Vestas)

Données d'exploitation	
Puissance nominale	3,3 MW
Vitesse nominale de production	3 m/s
Vitesse de vent minimale nécessaire à la production maximale	11,5 m/s
Vitesse maximale de fonctionnement	25 m/s
La tour	
Hauteur	91,5 m
Nombre de sections	4
Diamètre section basse	Env. 4 m
Diamètre section haute	Env. 3 m
La nacelle	
Longueur	12,8 m
Largeur	5,1 m
Poids total	Entre 130 et 160 t
Le rotor	
Diamètre	117 m
Surface balayée	10 751 m ²
Plage de rotation opératoire	Entre 6,2 et 17,7 tr/min
Les pales	
Longueur	57.15 m
Largeur maximale	4 m
Poids unitaire	13,3 t ± 0,3