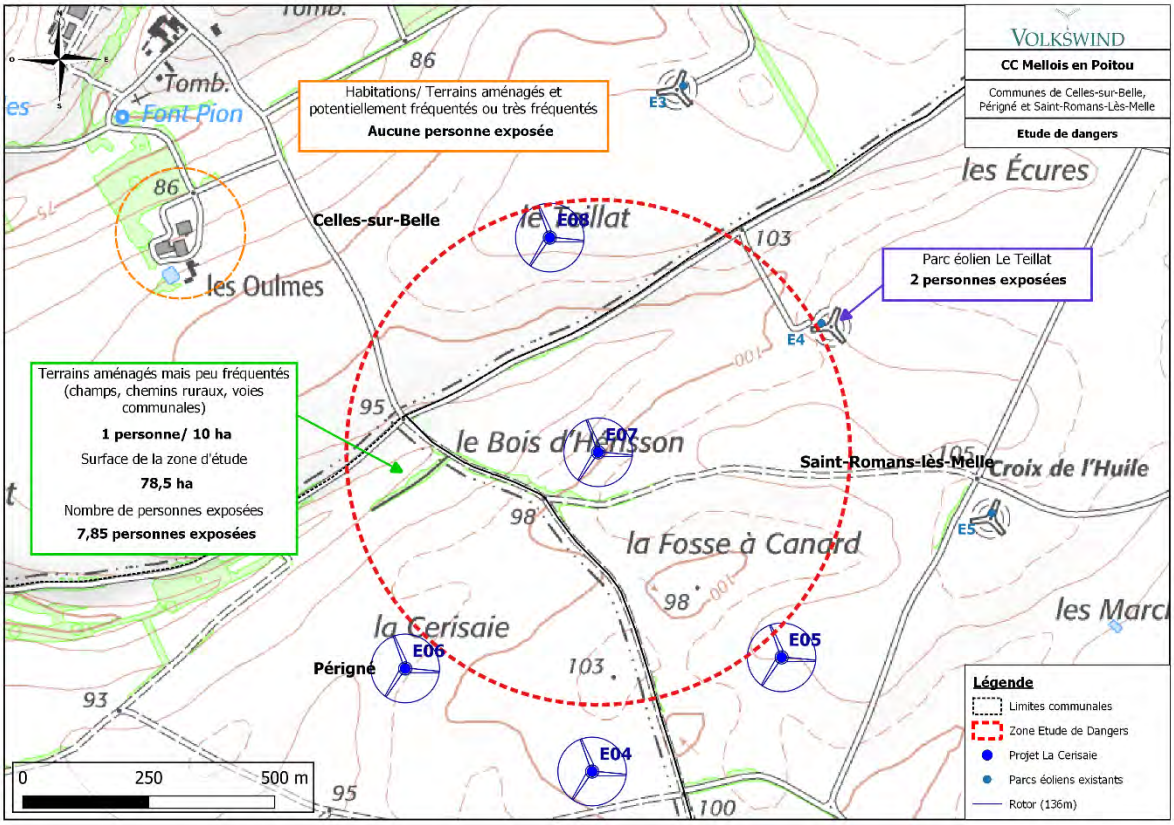
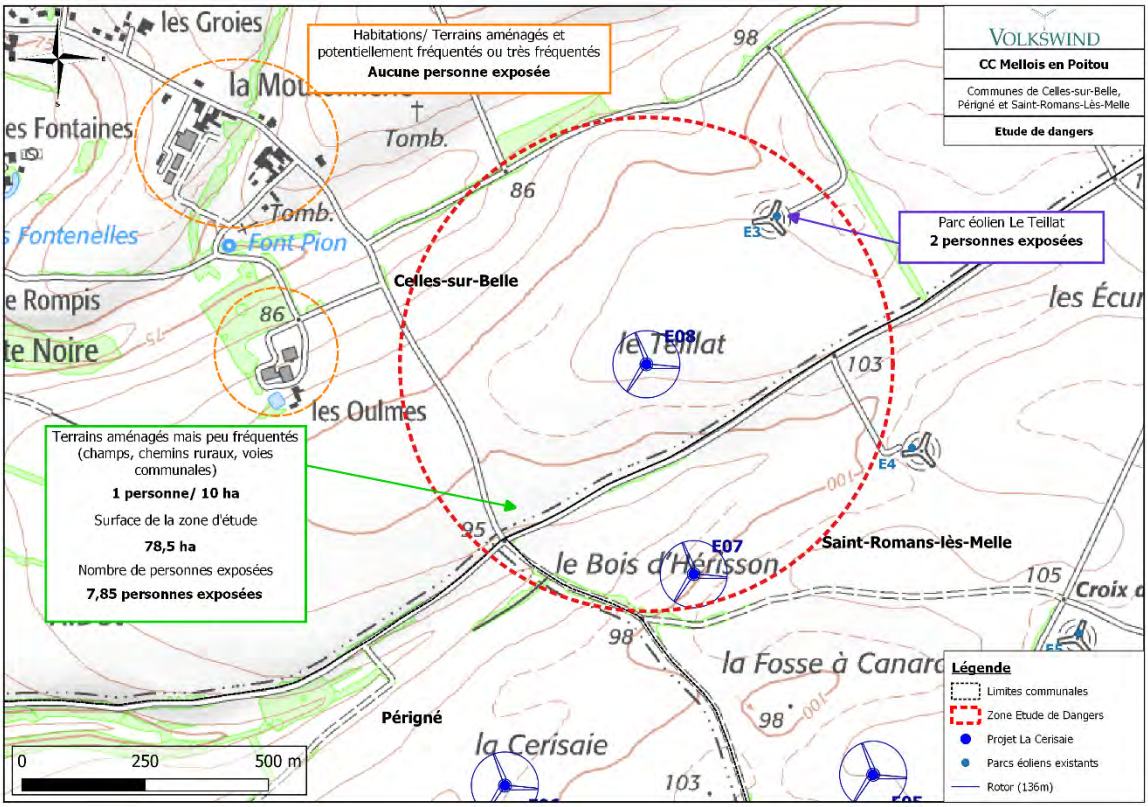


Carte 24 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éolienne E07



Carte 25 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éolienne E08

4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour but de caractériser l'installation envisagée ainsi que son organisation et son fonctionnement pour permettre d'identifier les principaux potentiels de dangers qu'elle représente (chapitre 5), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

4.1 CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

4.1.1 Activité de l'installation

L'activité principale de la ferme éolienne de La Cerisaie est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur de 112 m (à hauteur de moyeu). Cette installation est soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

4.1.2 Composition de l'installation

4.1.2.1 Le parc éolien

La ferme éolienne de Cerisaie est composée de 8 éoliennes de marque Vestas, type V136 développant 4,2 MW de puissance unitaire, ainsi que deux postes de livraison. Chaque aérogénérateur a une hauteur de moyeu de 112 mètres et un diamètre maximal de rotor de 136 m, soit une hauteur totale maximale en bout de pale de 180 mètres.

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

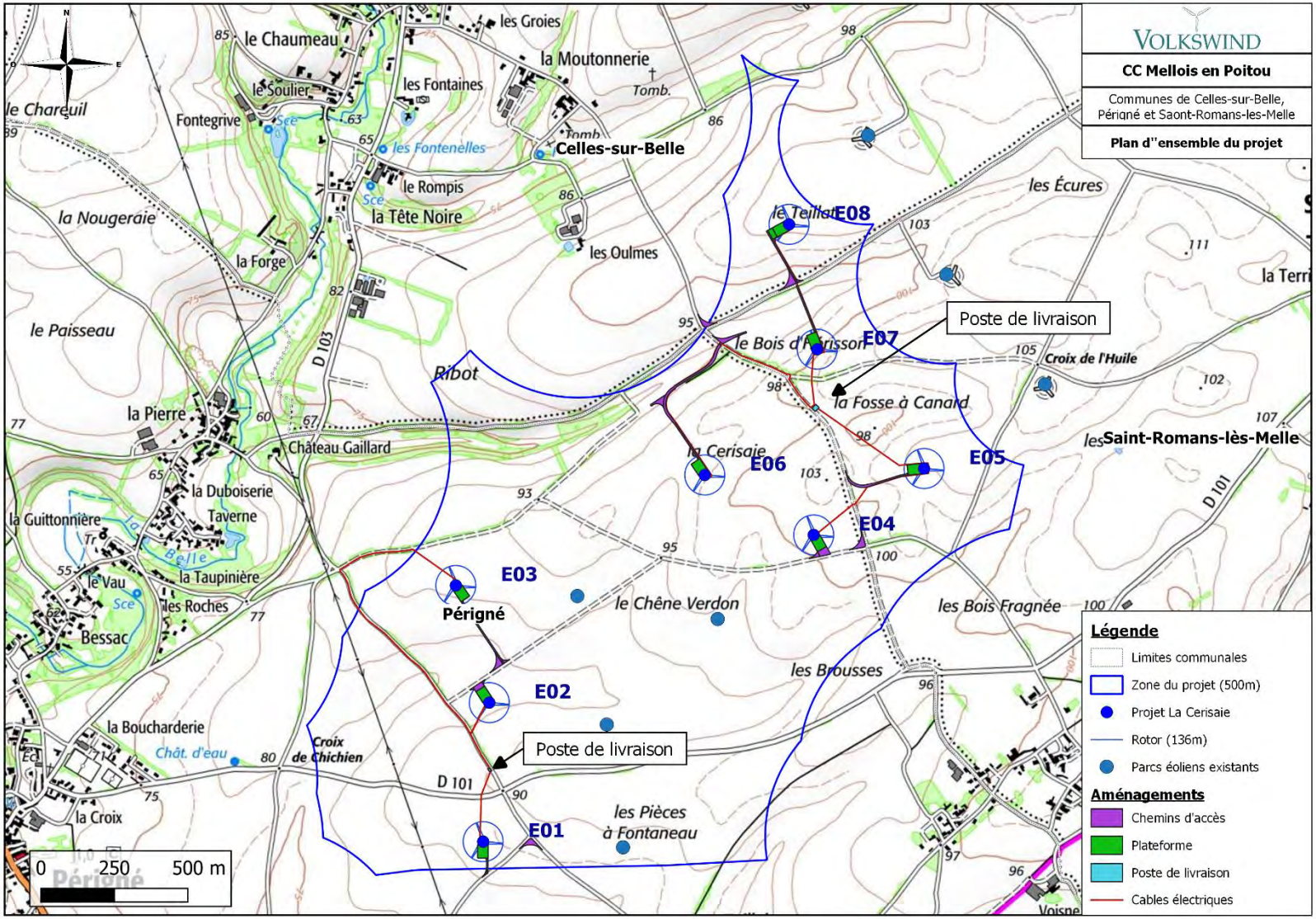
Numéro Eolienne et poste de livraison	Coordonnées en Lambert 93 (m)*		Coordonnées en WGS 84 (dd°mm'ss,s")**		Cote NGF au sol (m)*	Hauteur totale Eolienne (m)	Cote NGF en bout de pales (m)***
	X	Y	N	W			
E01	450671	6570440	46°11'16.24"	0°14'00.73"	87	180	267
E02	450692	6570913	46°11'31.59"	0°14'00.66"	83	180	263
E03	450578	6571312	46°11'44.36"	0°14'06.74"	91	180	271
E04	451797	6571484	46°11'51.55"	0°13'10.21"	101	180	281
E05	452173	6571710	46°11'59.37"	0°12'53.10"	104	180	284
E06	451426	6571688	46°11'57.67"	0°13'27.90"	98	180	278
E07	451809	6572116	46°12'12.04"	0°13'10.85"	99	180	279
E08	451713	6572541	46°12'25.68"	0°13'16.14"	105	180	285
Poste de livraison 1	450 691	6570683	46°11'24.14"	0°14'00.22"	90	-	-
Poste de livraison 2	451 806	6571919	46°12'5.65"	0°13'10.61"	101	-	-

Tableau 15 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison

* Les coordonnées X, Y et Z ont été éditées par les géomètres-experts du cabinet Branly, et arrondies au mètre près (Données extraites des feuilles cadastrales géoréférencées fournies par www.cadastre.gouv.fr et recalées par les géomètres experts du cabinet Branly après repérages sur site, sans bornage contradictoire)

**Les coordonnées en WSG84 sont converties à partir des coordonnées en Lambert 93 via geofree.fr, et arrondies au centième de seconde près

*** L'altitude en bout de pale est calculée à partir de l'altitude au sol arrondie au mètre près



Carte 26 : Implantation du parc éolien

4.1.2.2 L'éolienne

Au sens de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020, relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont définis comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité. Les principaux éléments d'une éolienne sont : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Les aérogénérateurs envisagés pour le projet de la ferme éolienne de La Cerisaie sont adaptés pour les vents moyens. Il s'agit d'éoliennes Vestas V136 d'une puissance unitaire de 4,2 MW. Pour ce modèle d'éolienne, le mât a une hauteur de 112 m (hauteur du moyeu), le diamètre du rotor est de 136m et la hauteur totale est de 180 m.

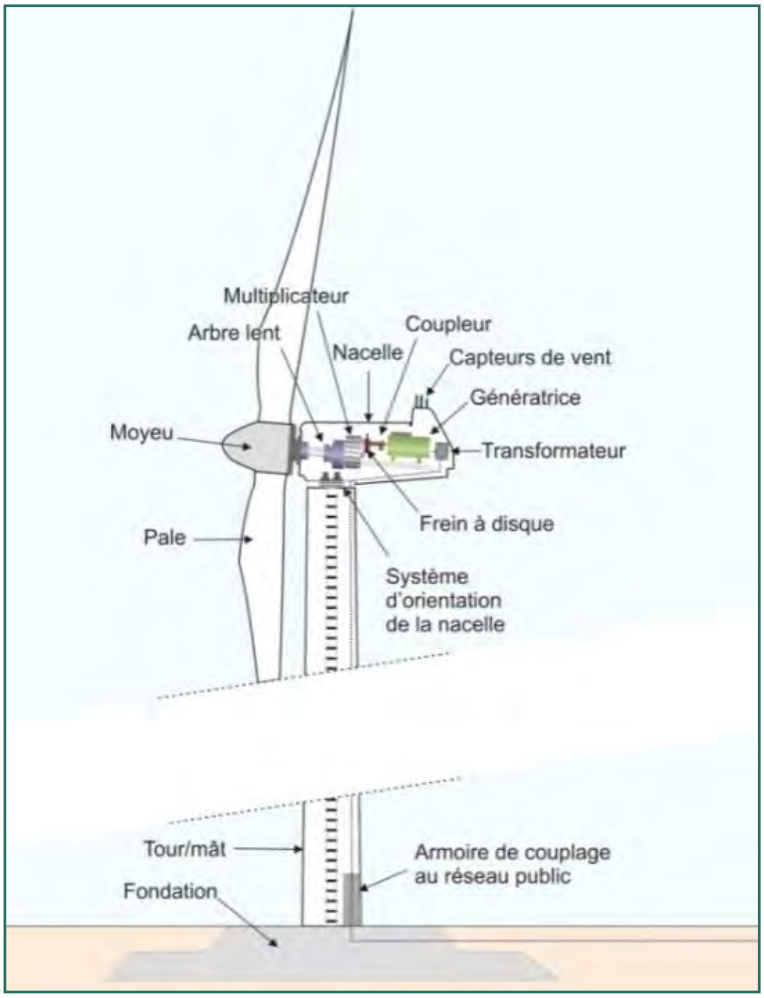


Figure 5 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

Comme l'illustre la Figure 5 , de bas en haut, une éolienne se compose :

- Des fondations de 3,5 m de profondeur (valeur théorique, des études du sol vont être faites afin de déterminer précisément la profondeur des fondations) couvrant une surface bétonnée de 30 mètres de diamètre ;
- Un mât tubulaire composé de plusieurs tronçons en acier de 4,44 mètres de diamètre maximal à la base. A l'intérieur de la base du mât, est installée une armoire de contrôle électrique contenant des systèmes de comptage ainsi qu'un monte-charge pour accéder à la nacelle ;
- Une nacelle abritant plusieurs éléments fonctionnels :
    - La génératrice qui transforme l'énergie mécanique de rotation du rotor en énergie électrique ;
    - Le multiplicateur ;

- Le transformateur qui permet d'élever la tension électrique produite au niveau de celle du réseau électrique ;
- Le système de freinage mécanique ;
- Le système d'orientation de la nacelle qui place l'éolienne 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.

- Un rotor de 136 m de diamètre maximal, composé de 3 pales en matériaux composites de 66,7 m de longueur maximale et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent. Le demi-rotor est donc de 68 m.

Les principales caractéristiques de ces éoliennes sont :

	V136
Puissance nominale	4,2 MW
Une régulation de la puissance s'effectuant par variation de l'angle des pales (régulation pitch)	
Vitesse du rotor	de 5,6 à 14 tours/minute
Vitesse de vent de démarrage	3 m/s

Les limites de fonctionnement de ces éoliennes sont :

Vitesse de coupure du vent	27 m/s
Vitesse de redémarrage	25 m/s
Durée de vie théorique	25 ans

Le système de freinage est à la fois aérodynamique et mécanique. Les trois pales indépendantes les unes des autres peuvent être mises en drapeau en quelques secondes. Le blocage complet du rotor n'est effectué que lorsqu'on utilise l'arrêt d'urgence ou en cas d'entretien (frein à disque mécanique).

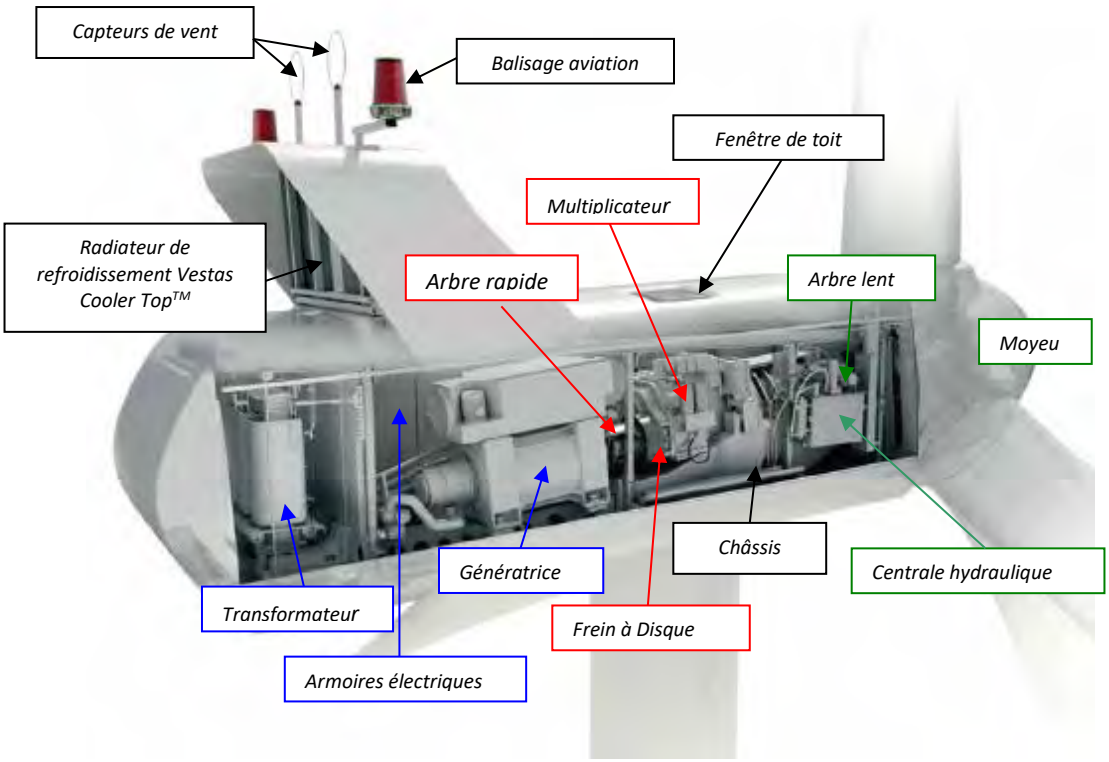


Figure 6 : Schéma technique de la nacelle Vestas

D'un point de vue aérodynamique, les éoliennes doivent être suffisamment distantes les unes des autres de sorte que les perturbations liées aux courants d'air engendrés par la rotation des pales soient atténuées au niveau de l'éolienne voisine.

Sur le site du projet, les éoliennes seront ainsi implantées à plus de 400 m les unes des autres éoliennes du projet mais aussi des parcs existants. Cette distance est suffisante pour rétablir une circulation fluide de l'air.

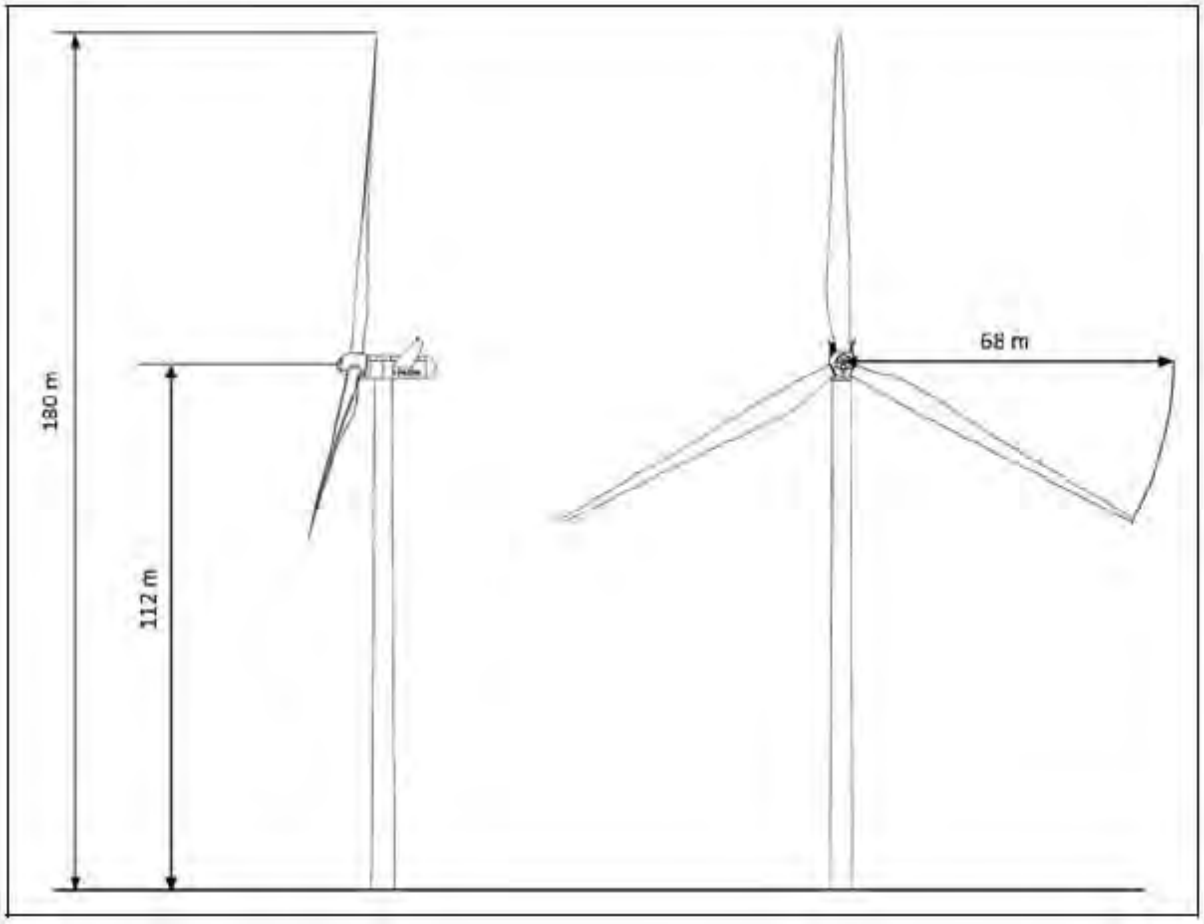


Figure 7 : Dessin d'élévation de l'éolienne Vestas V136- 4,2MW

4.1.2.3 Les emprises au sol

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

- **La surface de chantier** est une surface temporaire, durant la phase de construction, destinée aux manœuvres des engins et au stockage au sol des éléments constitutifs des éoliennes.

- **La fondation de l'éolienne** est recouverte de terre végétale. Ses dimensions exactes sont calculées en fonction des aérogénérateurs et des propriétés du sol.

- **La zone de surplomb ou de survol** correspond à la surface au sol au-dessus de laquelle les pales sont situées, en considérant une rotation à 360° du rotor par rapport à l'axe du mât.

- **La plateforme ou aire de maintenance** 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.

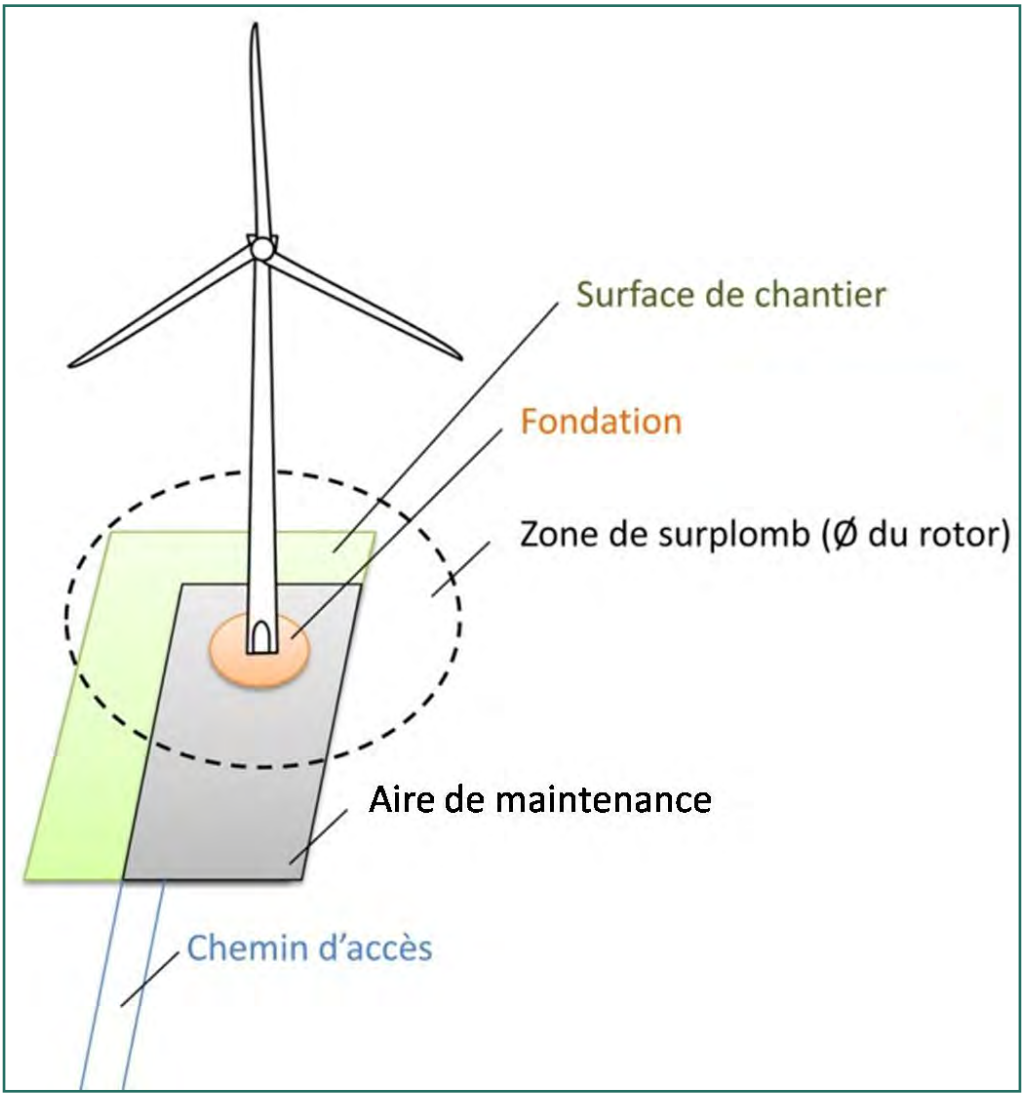
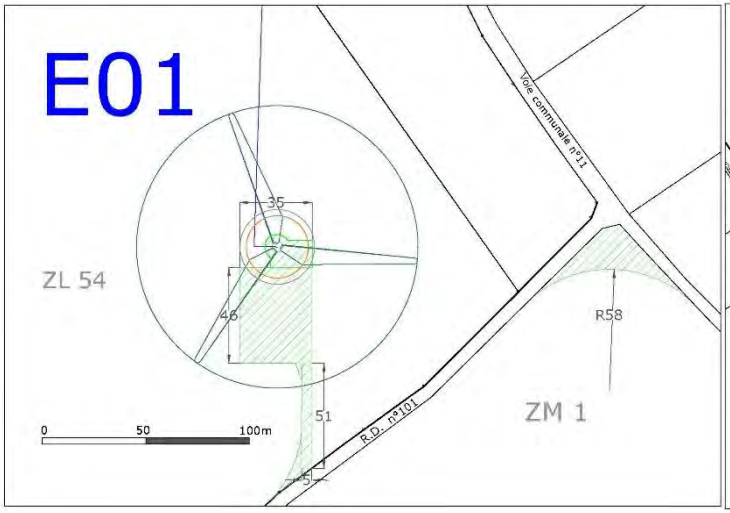
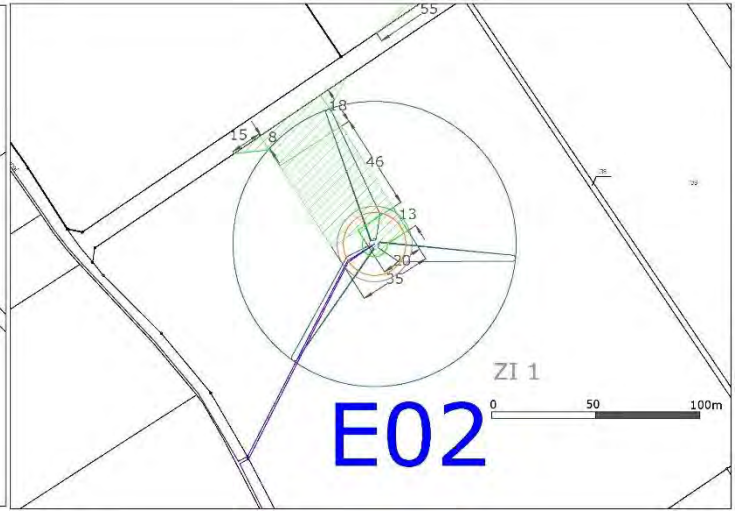
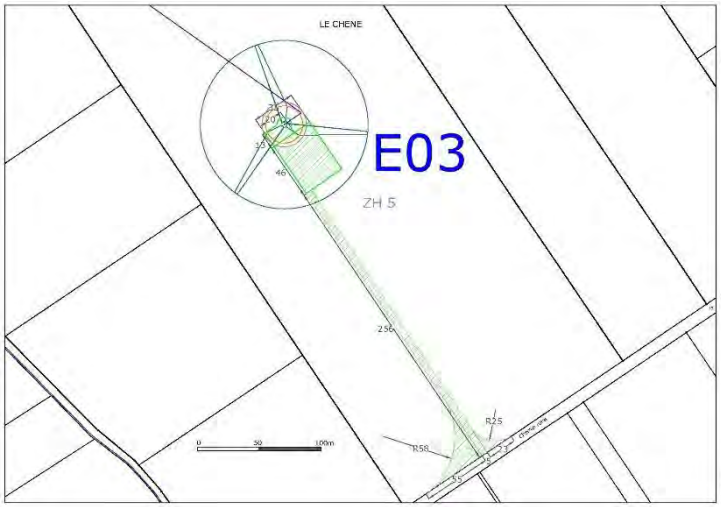


Figure 8 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne


E01
ZL 54
ZM 1
Voie communale n°11
R.D. n°101
R58
35
46
51
5
0
50
100m


E02
ZI 1
55
18
15
8
46
13
20
35
0
50
100m


E03
LE CHENE
ZH 5
46
256
R25
R58
0
50
100m

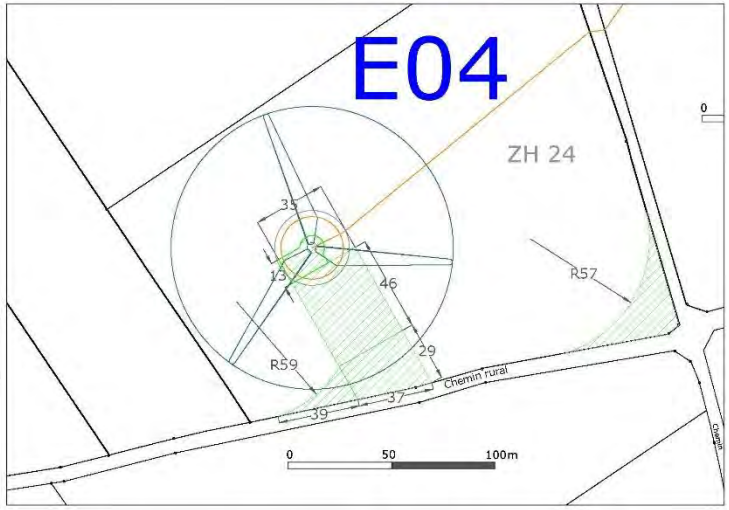

E04
ZH 24
R57
R59
35
13
46
29
37
39
Chemin rural
0
50
100m

Figure 9 : Aires de montage et d'entretien des éoliennes

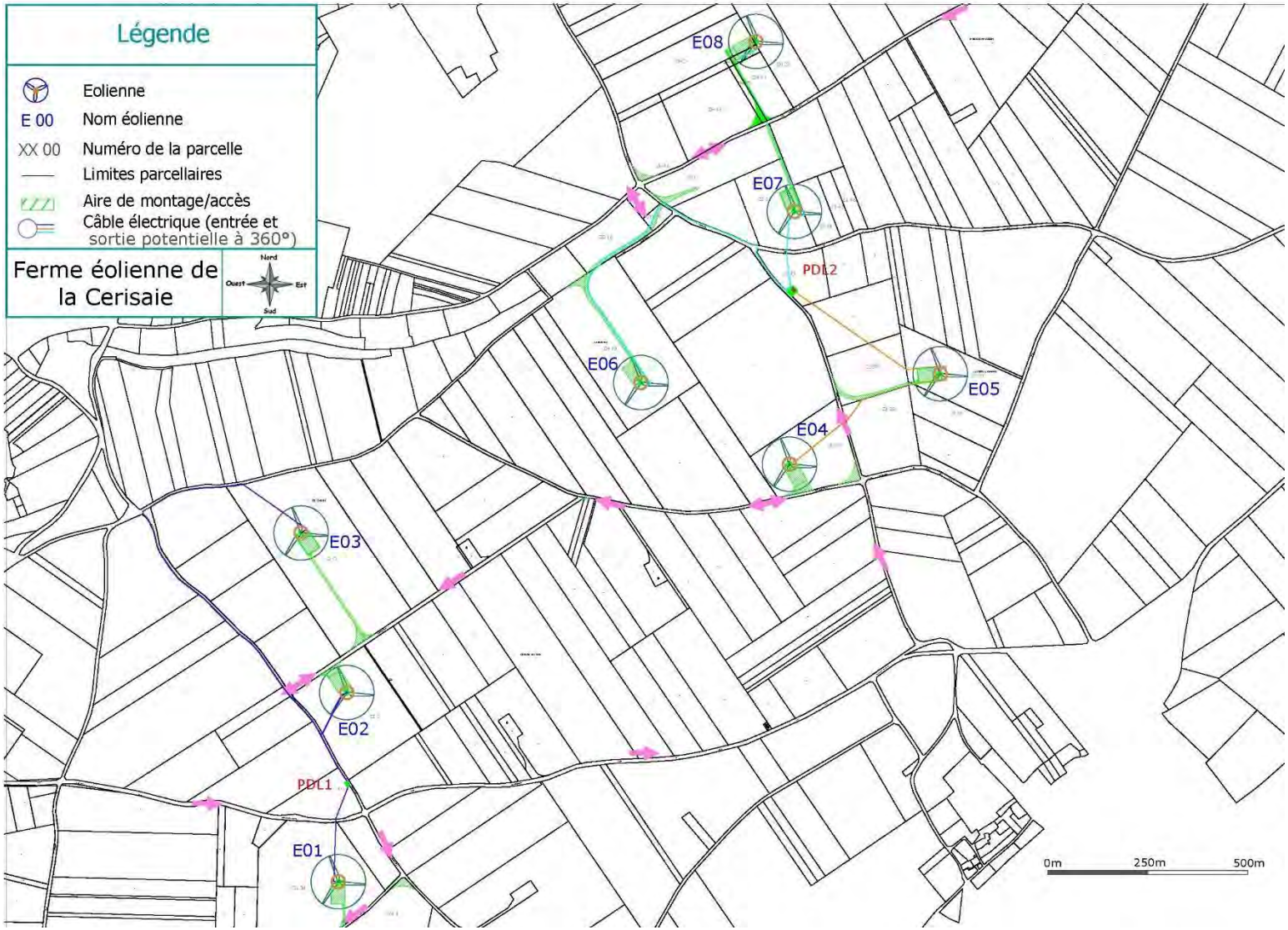
4.1.2.4 Les chemins d'accès

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 construction du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien. Afin de minimiser les créations de chemins d'accès, l'utilisation des chemins déjà aménagés pour la construction des parcs éoliens déjà sur le site sera privilégié au maximum.

L'aménagement des accès concerne principalement les chemins ruraux existant, mais de nouveaux chemins seront créés sur les parcelles agricoles permettant d'accéder aux plateformes des éoliennes.

Durant la phase de construction et de démantèlement, les engins empruntent ces chemins pour acheminer les éléments constituants les éoliennes et 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).



Carte 27 : Voies d'accès aux éoliennes - Plan cadastral (en rose : voie d'accès)

4.1.2.5 Les réseaux électriques

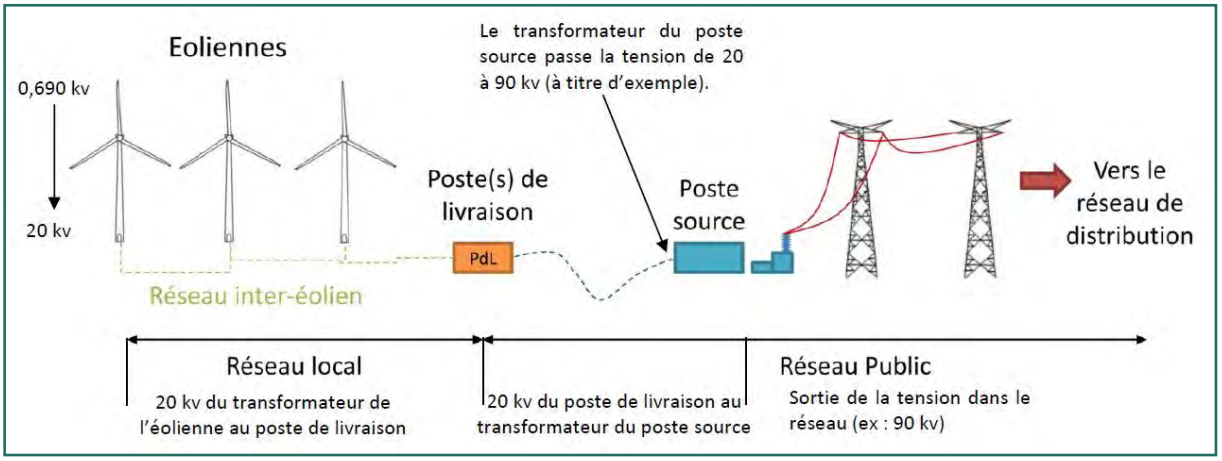


Figure 10 : Schéma de raccordement électrique d'un parc éolien

L'énergie produite dans la génératrice passe par un transformateur situé dans la nacelle (ou dans le mât) qui augmente la tension jusqu'à 20 000 Volts. Ensuite, l'énergie est acheminée au Poste de Livraison (PDL) où la tension reste la même à savoir 20 000 Volts. Du Poste de Livraison au transformateur du Poste Source, la tension est augmentée de 20 kV à 90 kV (donnée à titre d'exemple), cela marque la transition entre le réseau local (20kV) et le réseau public (ex : 90 kV). Par la suite, la tension est distribuée dans le réseau jusqu'aux consommateurs finaux.

- **<u>Réseau inter-éolien et téléphonique</u>**

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans chaque éolienne, 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.

Ce chapitre a pour but de présenter les caractéristiques électriques principales des ouvrages de raccordement entre les éoliennes jusqu'au poste de raccordement au réseau public de distribution. Il comporte notamment les éléments justifiant de la conformité des liaisons électriques intérieures avec la réglementation en vigueur et nécessaires à l'approbation par le Préfet du projet d'ouvrage privé de raccordement au titre de l'article L. 323-11 du code de l'énergie (Articles 4 et 5 du Décret 2011-1697).

Le tracé de ce réseau qui pourra évoluer en fonction de différentes contraintes sera identifié sur un plan tenu à jour au fur et à mesure des opérations de pose conformément à l'article 6 de l'Arrêté Ministériel du 17 Mai 2001.

- **Description des ouvrages électriques Haute Tension**

Pour le projet éolien de La Cerisaie porté par « la Ferme éolienne de La Cerisaie», il y aura 2 postes de livraison avec 3 points de connexion au réseau public.

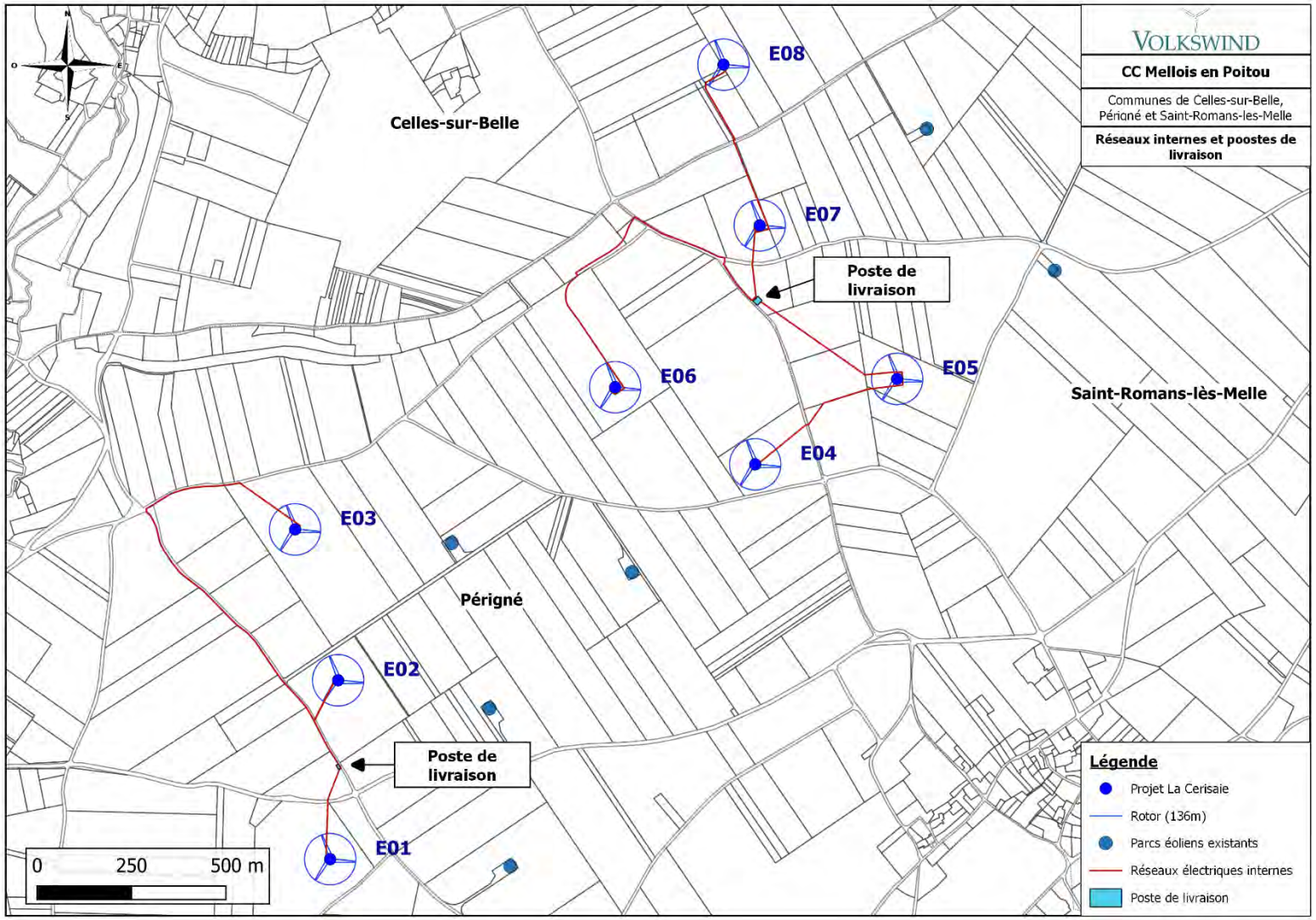
L'ensemble des ouvrages électriques installé au sein du projet sera réalisé dans les règles de l'art et conformément à la règlementation et aux normes en vigueur. Ces ouvrages respecteront ainsi les prescriptions techniques, contractuelles et administratives s'y afférant telles que définies par le Décret 2011-1697 et les Arrêtés Ministériels du 17 mai 2001 et du 14 janvier 2013.

De plus, une attention particulière sera portée aux champs électromagnétiques émanant des réseaux électriques en courant alternatif (le champ électrique résultant ne doit pas excéder 5 kV/m et le champ magnétique, 100 µT), et au bruit des équipements des postes de transformation et des lignes électriques, conformément aux articles 12 bis et 12 ter de l'arrêté du 17 Mai 2001.

- **Conformité et contrôle des ouvrages :**

Le maître d'ouvrage s'engage à :

- Appliquer lors de la mise en service des ouvrages d'interconnexion électrique, un contrôle technique prévu à l'article R323-30 du code de l'énergie, conformément à l'arrêté d'application du 14 janvier 2013 (attestation de conformité, organisme technique certifié indépendant, comptes rendus des contrôles effectués) ;
- Respecter l'arrêté interministériel du 17 mai 2001, fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique, notamment pour la construction et l'exploitation de l'installation ;
- Transmettre, conformément à l'article R.323-40 du code de l'énergie, au gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité, les informations permettant à ce dernier d'enregistrer la présence de lignes privées dans son SIG des ouvrages.



Carte 28 : Localisation des postes de livraison et réseau interne du parc éolien

Tension réseau

La tension de référence (dite nominale) des ouvrages et matériels utilisés est directement dépendante de la tension de raccordement au réseau public de distribution d'électricité. Cette tension est donnée par le gestionnaire de réseau et sera connue seulement au moment de la signature des PTF (Propositions Techniques et Financières) pour le raccordement. Néanmoins, la tension usuelle des réseaux d'électricité pour ces puissances de projet est de 20 kV.

Techniques utilisées

Cette partie vise à décrire la technique de pose retenue pour la réalisation des réseaux électriques HTA et du réseau de fibres optiques assurant la communication entre les éoliennes et les postes de livraisons :

- Décapage des terres végétales sur une profondeur comprise entre 0,1 à 0,3m, et une largeur de 4 à 6m.

  Ouverture de la tranchée (soit à la pelle mécanique soit à la trancheuse) :

  - Profondeur : 0,8 à 1,1m selon la nature du terrain.
  - Largeur de 0,28 m à 0,45m selon le nombre de câbles,

- Déroulage des câbles sur un lit de sable (ou sans sable si le câble est renforcé),
- Fermeture et remblai de la tranchée, puis compactage,
- Remise des terres végétales ou finition de surface si sur chemin ou traversée de route.

Les réseaux de câbles électriques HTA et de fibres optiques sont posés conjointement dans la même tranchée. A noter que le réseau de fibres optiques est posé soit avec des renforcements permettant une protection anti-rongeur, soit par mise sous fourreau type D42. Les fibres optiques posées sont en général des fibres multimodes de qualité OM2 et de dimensions 50/125 µm (diamètre du cœur de la fibre / diamètre de la gaine optique en verre). Toutefois, l'installation pourrait aussi être réalisée avec des fibres monomode de dimensions 9/125 µm, ou autres dispositifs appropriés.

Par la suite, ces ouvrages de réseaux d'électricité feront l'objet de contrôles techniques spécifiques afin de vérifier leur conformité aux prescriptions techniques qui leur sont applicables. Le contrôle sera réalisé par un organisme technique certifié en qualité, indépendant du maître d'ouvrage et du gestionnaire du réseau, conformément à l'article 13 du Décret 2011-1697. Le contrôle du respect de l'ensemble de ces obligations sera effectué par le Préfet conformément à l'article 14 du Décret cité préalablement.

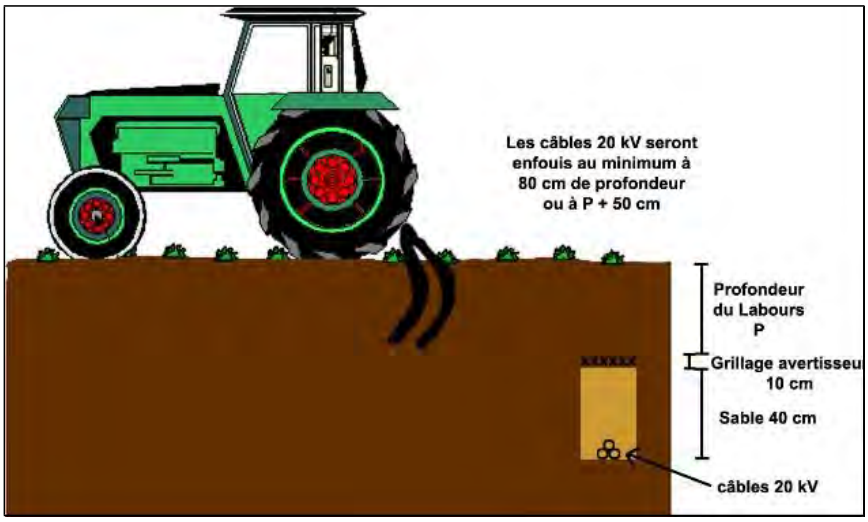


Figure 11 : Exemple de tranchées sous champs labouré

Mise à la terre du parc

Différentes typologies de mise à la terre existent et sont spécifiques à chaque constructeur ou éolienne. Le système de mise à la terre et la section des réseaux (généralement en cuivre) de la ferme éolienne de La Cerisaie seront calculés in fine afin de permettre l'évacuation de la foudre, suivant la méthodologie et standardisation des normes spécifiques applicables.

En France, ces principes sont dictés essentiellement par les normes NF C15-100 et l'UTE C15-106 qui définissent les règles de calculs des sections des divers conducteurs dans le but d'assurer la sécurité, le bon fonctionnement des installations électriques et les besoins normaux des usagers.

Ainsi, l'ensemble de l'installation électrique ainsi que certains éléments pouvant devenir accidentellement conducteurs d'électricité seront raccordés à la terre. Les liaisons équipotentielles et la mise à la terre seront réalisées conformément à l'article 9 de l'Arrêté du 17 mai 2001 et contrôlées périodiquement par le biais de mesures ou vérifications complémentaires comme défini au sein de l'article 6 de l'Arrêté du 14 Janvier 2013.

Nature des câbles

Le niveau de puissance et la tension transitant au sein de chaque câble sont les deux critères principaux définissent la nature des câbles à installer. Même si elle impacte faiblement le choix final, la distance des tronçons des réseaux est un critère secondaire de choix pour la nature des câbles.

Pour ce type de réseau, des câbles de nature ALUMINIUM seront privilégiés en fourniture des entreprises sous-traitantes ; et seront cohérents avec les contraintes du site (tension, puissances et distances des tronçons).

Section de câbles

La norme NF C13-200 définit la méthode de calcul des sections minimales de câbles applicable aux installations alimentées en courant alternatif sous une tension nominale supérieure à 1 000 V et inférieur ou égale à 245 kV, les fréquences préférentielles étant 50 et 60 Hz. Ce document est applicable pour les installations de production d'énergie ainsi que les installations industrielles, tertiaires et agricoles.

Afin de déterminer la section de câbles, des hypothèses de pose et de calcul sont définis ci-après :

- Hypothèses de pose

Les hypothèses prises en compte sont les conditions les plus défavorables envisageables à savoir une pose de câbles enterrés en régime permanent.

Paramètres	Choix	Coefficient Correcteur
Référence du mode de mode	S1	1,00
Température du sol à 80 cm	20°C	1,00
Résistivité thermique du sol**	85°C.cm/W*	1,06
Distance entre deux câbles	0,5 m	0,90
Facteur de correction total =		0,954

* : correspond à un terrain sec, cas le plus défavorable du terrain pris en considération

** : le terrain est de type argilo-calcaire normal

- Hypothèses de calcul
  - Tension de raccordement : 20 kV
  - Cos Phi = 0,95 pour les échauffements hors court-circuit
  - Intensité de court-circuit = 4,33kA (Pcc max < 150MVA au poste source)
  - Ame en aluminium
  - Isolant = Polyéthylène réticulé (PR)

- Type de câble : Tripolaire
- Puissance nominale utilisée pour l'éolienne : 4,2 MW

Dans une volonté de standardisation des matériels, les sections de câbles sont calculées conformément aux préconisations de la norme NF C13-200.

Le schéma électrique unifilaire fourni en ANNEXE 10 : , présente la répartition électrique HTA entre le poste de livraison et les éoliennes. Il montre également le schéma des cellules HTA et des différents éléments électriques qui le composent.

Projet	Connexion	Tronçon	Longueur de tranchée (m)	Longueur de câbles (m)*	Section des câbles (mm²)
Poste de livraison	Connexion 1	PDL1/E01	256	286	150
		PDL1/E02	279	309	150
		E02/E03	1325	1355	150
	Connexion 2	PDL2/E05	443	473	150
		E05/E04	525	555	150
	Connexion 3	PDL2/E07	207	237	150
		E07/E08	538	568	150
		PDL2/E06	1045	1075	150

Tableau 16 : Résumé des réseaux HTA à créer, par tronçon

*longueur du câble = longueur de tranchée + 30m. Il s'agit d'une estimation standard prenant en compte les réserves complémentaires en remontée dans les éoliennes ou le poste de livraison. Certaines tranchées peuvent accueillir plusieurs câbles.

- **Poste de livraison**

Le poste de livraison est un nœud de raccordement de plusieurs éoliennes, concentrant l'électricité fournie par celles-ci via le réseau inter-éolien HTA (20 kV), et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public). Il représente la limite de propriété entre la partie privée des réseaux électriques internes au projet et le réseau public de distribution.

Le poste de livraison contient un ensemble de protection et d'isolement par le biais des disjoncteurs et des sectionneurs assurant la sécurité d'alimentation conformément à l'article 65 de l'Arrêté du 17 Mai 2001.

Un local intérieur séparé par une cloison permet la mise en place des matériels de contrôle-commande (dits SCADA) des projets, permettant notamment une supervision et des interventions à distance via un raccordement au réseau de télécommunications conformément à l'article 17 du décret 2011-1067 et à l'article 55 bis de l'Arrêté du 17 Mai 2001.

Le vide sanitaire du poste recueille les arrivées des différents réseaux pénétrant dans le poste :

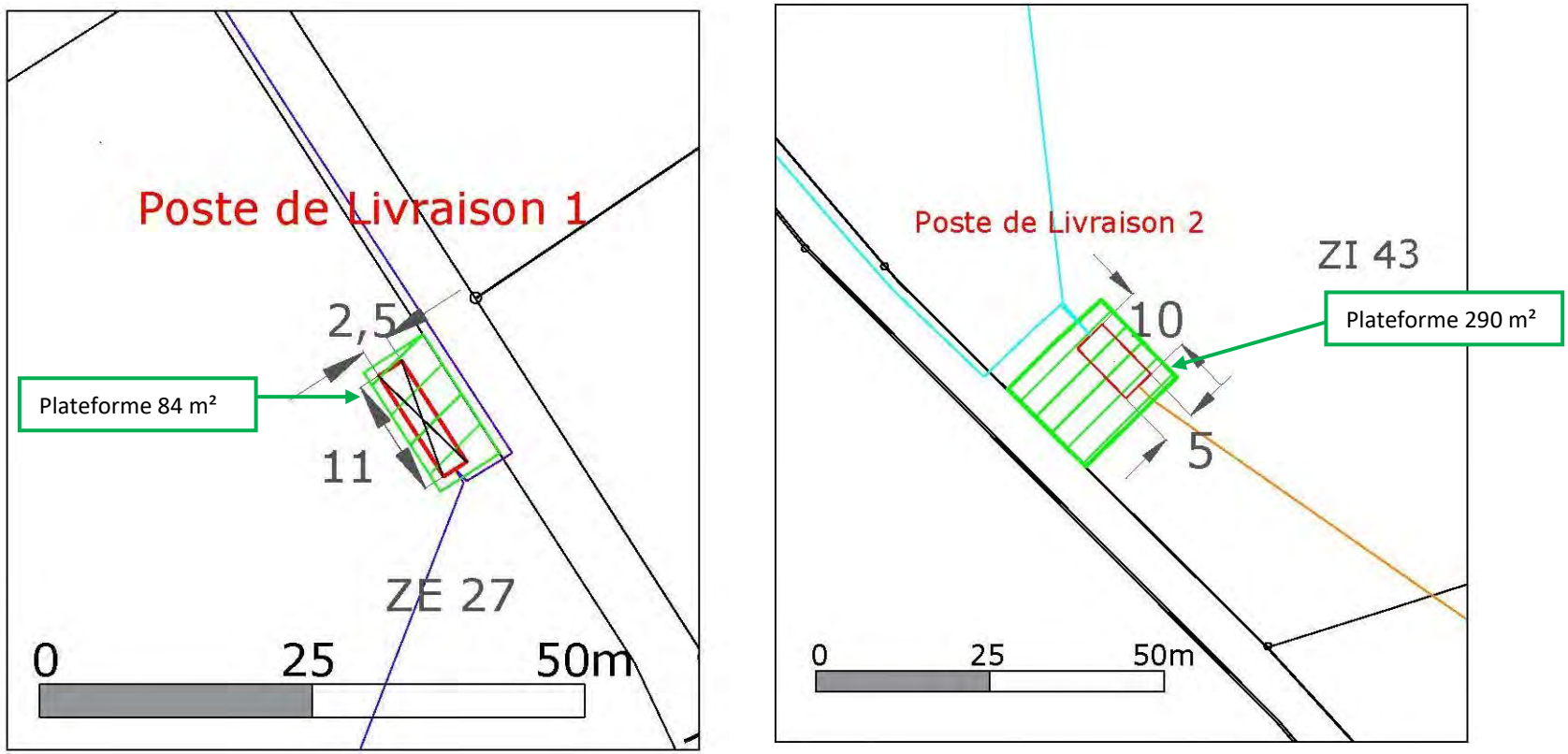
- Réseaux HTA inter-éolien ;
- Réseaux HTA du gestionnaire de réseau ;
- Réseaux de fibre optique pour le contrôle-commande du projet.

L'enveloppe du poste peut varier selon le fournisseur. Dans la majorité des cas, elle est souvent réalisée en béton moulé, armé et vibré. Le fond de fouille du poste de livraison est généralement constitué d'un mélange de gravier dont la granulométrie varie de sable permettant un ajustement exact, et dans lequel est déroulé un serpentin de cuivre pour la mise à la terre (MALT).

Cette mise à la terre du poste est assurée par une ceinture équipotentielle mise au niveau du fond de fouille en sous-sol et raccordée en remontée sur un point de connexion intérieur.

Parfois, notamment dans les zones de sismicité le nécessitant ou sur des terrains très peu porteur ou déstabilisés, le poste de livraison peut être posé sur une « sous-dalle » en béton qui a pour but de répartir les charges du poste de livraison. Dans ce cas, la « sous dalle » béton sera également mise à la terre par l'intermédiaire d'un serpentin de terre inclus dans la sous dalle et/ou en périphérie de la sous-dalle.

La ferme éolienne de la Cerisaie comporte 2 postes de livraison. Un situé dans la partie Sud du projet sur la parcelle ZL 054 sur la commune de Périgné, le long de. Le second dans la partie Nord du projet sur la parcelle ZI 043 sur la commune de Saint-Romans-Lès-Melle. Leur impact est donc globalement limité à l'emprise de leur plateforme au sol respectivement de 291 et 85 m².



Carte 29 : Plan d'installation des postes de livraison

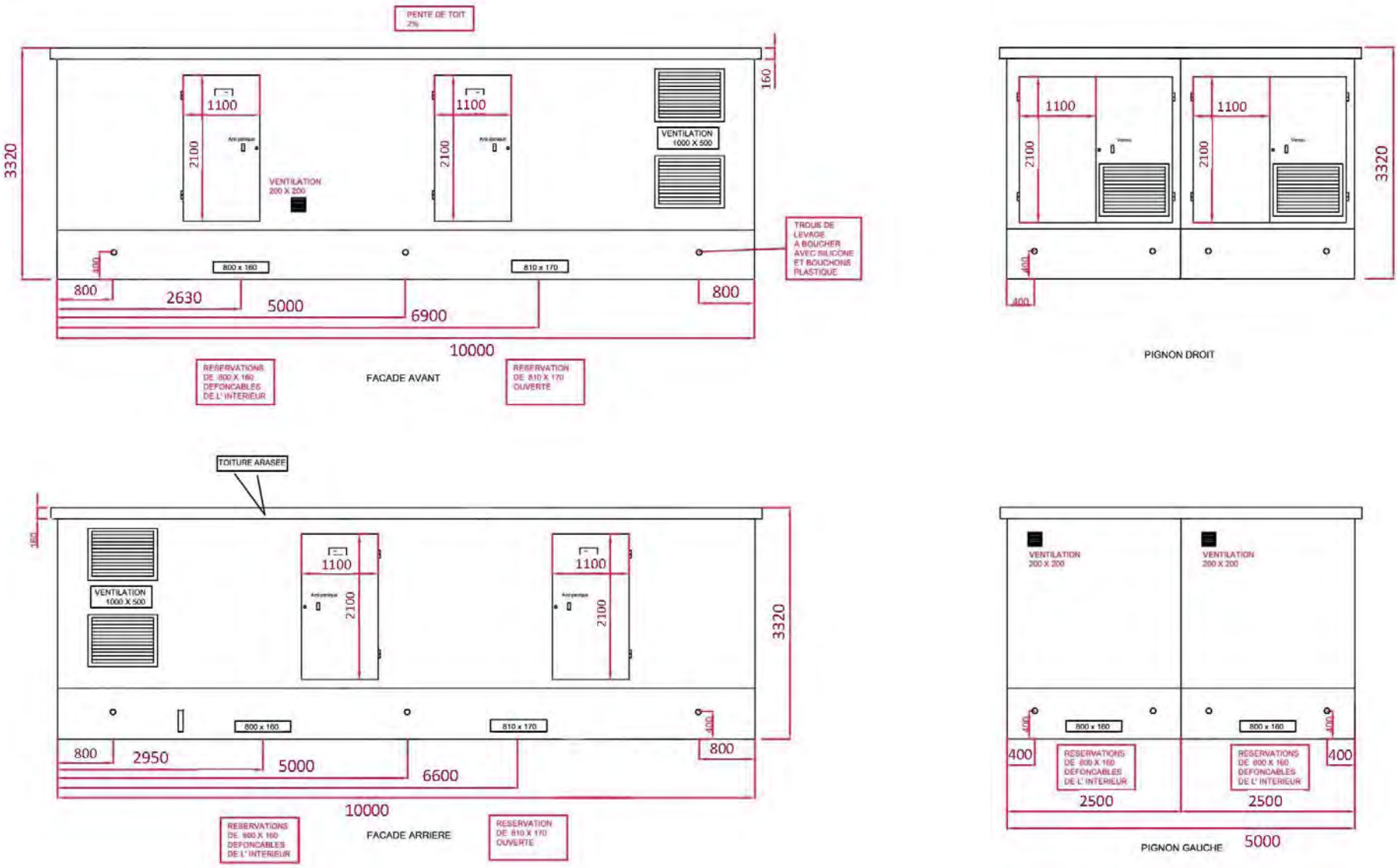


Figure 12 : Schéma d'un poste de livraison double (10*5m)

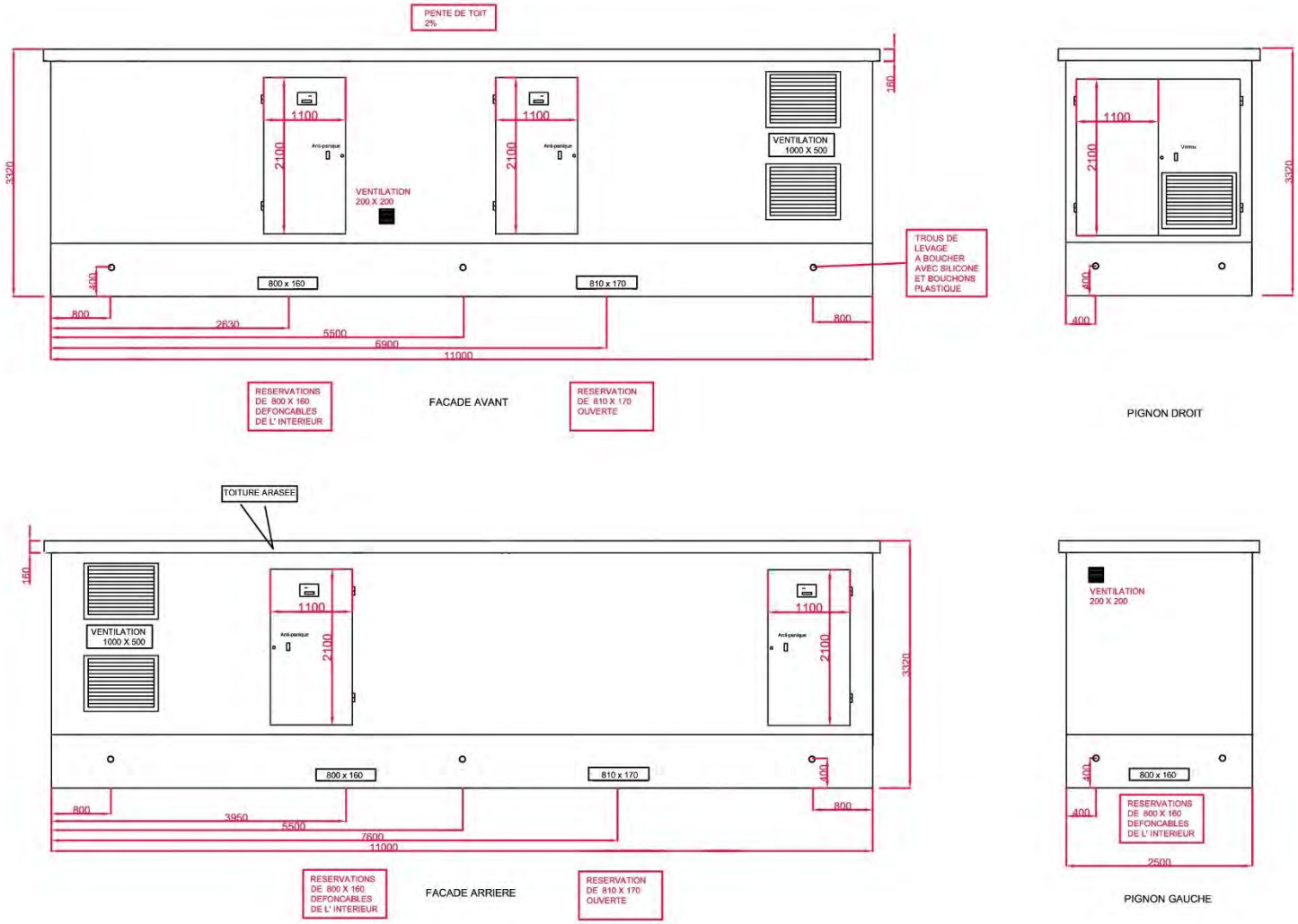


Figure 13 : Schéma d'un poste de livraison simple (11*2,5m)

Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le poste de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement Enédis ou Gérédis), il est entièrement enterré.

4.1.2.6 Les dispositifs particuliers

- **Le balisage aéronautique :**

Le balisage de l'installation sera 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.
Conformément à l'arrêté du 23 avril 2018 publié au JO n°0103 du 4 mai 2018, les caractéristiques du balisage aéronautique seront les suivantes :
- De jour, les 8 éoliennes du parc seront équipées du balisage suivant :

> 3.4. *Balisage lumineux de jour*
>
> Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux diurne assuré par des feux d'obstacle de moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]). Ces feux d'obstacle sont installés sur le sommet de la nacelle et sont visibles dans tous les azimuts (360°).

De nuit, il est possible de proposer un balisage moins impactant visuellement en définissant les catégories d'éoliennes suivantes :

> *b)* Balisage nocturne
>
> Les champs éoliens terrestres peuvent, de nuit, être balisés de la manière décrite ci-après :
>
> Au sein d'un champ éolien terrestre et pour les besoins du balisage nocturne, il est fait la distinction entre certaines éoliennes dites « principales » et d'autres, dites « secondaires ».

Ainsi, de nuit, il est possible de considérer comme éoliennes principales uniquement les éoliennes E01, E03, E04, E05, E06, et E08. D'après l'arrêté :

> Le balisage nocturne des éoliennes principales est conforme à celui prescrit pour les éoliennes isolées.

> 3.5. *Balisage lumineux de nuit*
>
> Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux nocturne assuré par des feux d'obstacle de moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 cd). Ces feux d'obstacle sont installés sur le sommet de la nacelle et sont visibles dans tous les azimuts (360°).

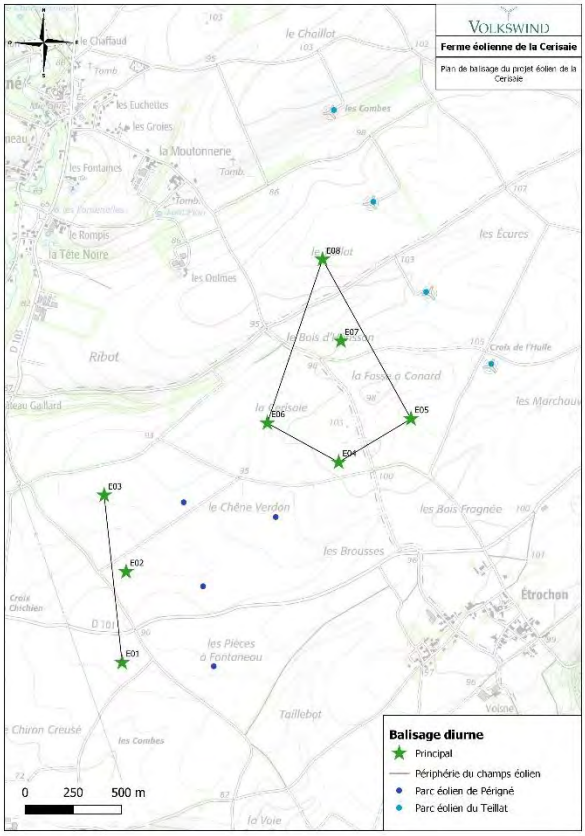
Et de considérer comme éoliennes secondaires les éoliennes E02 et E07. D'après l'arrêté :

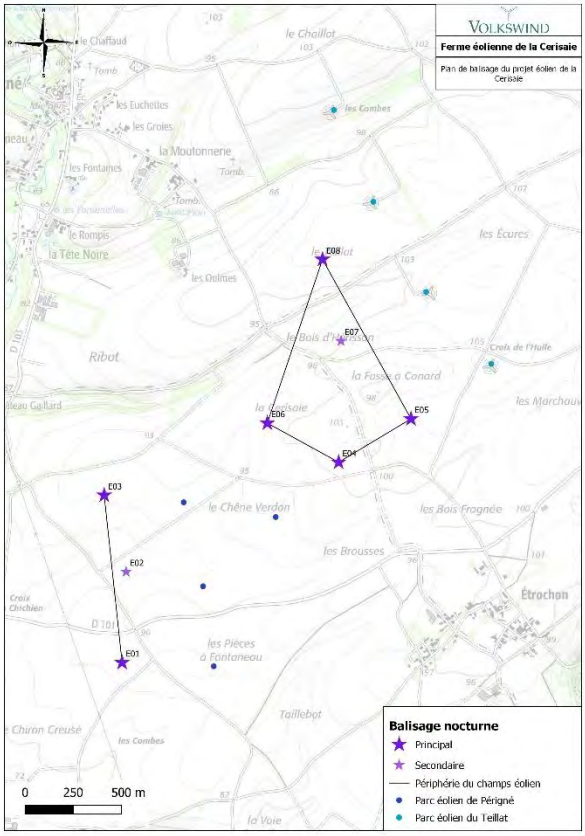
> Le balisage nocturne des éoliennes secondaires est constitué :
> – soit de feux de moyenne intensité de type C (rouges, fixes, 2 000 cd) ;
> – soit de feux spécifiques dits « feux sommitaux pour éoliennes secondaires » (feux à éclats rouges de 200 cd).

La Ferme éolienne de La Cerisaie souhaitant conserver des feux à éclats pour les éoliennes principales et secondaires, le deuxième type de balisage proposé par l'arrêté pour les éoliennes secondaires sera donc retenu : « feux spécifiques dits « feux sommitaux pour éoliennes secondaires » (feux à éclats rouges de 200 cd) »
Cela permet donc de réduire significativement l'impact lumineux de nuit.

De plus, un balisage intermédiaire constitué de feux de basse intensité de type B sera installé sur le mât de chaque éolienne à 45 m de hauteur. Tous ces feux seront synchronisés, de jour comme de nuit, à l'aide d'un balisage GPS.
Des onduleurs (ou UPS, Uninterruptible Power Supply) sont utilisés pour assurer temporairement l'alimentation des balisages lumineux et des systèmes de commande en cas de perte du réseau d'alimentation public. Ces systèmes permettent notamment de pallier aux dysfonctionnements liés aux microcoupures électriques. L'alimentation du balisage aérien est prévue pour une durée minimum de 12 heures.

Figure 14 : Photographie d'un exemple de balisage aéronautique





Carte 30 : Plan de balisage retenu pour la ferme éolienne de La Cerisaie

Le balisage des prescriptions :

Conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020, relatif aux éoliennes, un balisage d'information des prescriptions à observer par les tiers est affiché sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur et sur les postes de livraison.

Les prescriptions figurant sur les panneaux sont :

- Les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale,
- Interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur,
- Mise en garde face aux risques d'électrocution,
- Mise en garde face au risque de chute de glace.

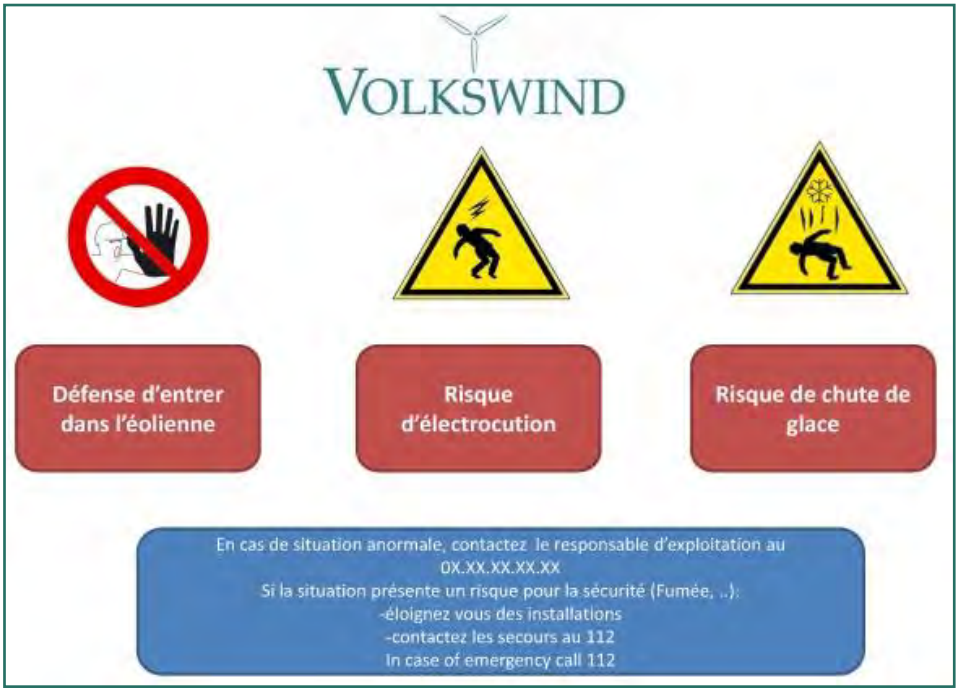


Figure 15 : Exemple de panneau d'affichage des prescriptions

4.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

4.2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

Les principaux éléments constitutifs de l'aérogénérateur sont :

Principaux Elément de l'installation	Fonction	Description
Fondation	***Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol.***	Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Des fondations de 30 m de diamètre et 3,5 m de profondeur (valeur théorique conservatrice, des études de sol devront être menées afin de déterminer précisément les dimensions des fondations) couvrant une surface de 707 m². Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes : - Le type d'éolienne ; - La nature des sols ; - Les conditions météorologiques extrêmes ; - Les conditions de fatigue.
Mât	***Supporter la nacelle et le rotor.***	Le mât de l'éolienne est constitué 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 aux tiges d'ancrage disposées dans le massif de fondation, la tour est autoportante. 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. La tour permet le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite : - une échelle d'accès à la nacelle ; - un monte-charge ; - une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ; - les cellules de protection électriques. Ici la hauteur du mât est de 112m (au niveau du moyeu) pour une éolienne V136 et son diamètre maximale de base est de 4,44 m.

<table>
<tr><th>Principaux Elément de l'installation</th><th>Fonction</th><th>Description</th></tr>
<tr><td>Nacelle</td><td>▪ Supporter le rotor

▪ Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</td><td>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). 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.

Ses dimensions sont les suivantes :

<table>
<tr><th></th><th>V136</th></tr>
<tr><td>Hauteur</td><td>4,20 m</td></tr>
<tr><td>Largeur</td><td>5,12 m (avec Cooler Top)</td></tr>
<tr><td>Longueur</td><td>17,56 m (avec Cooler Top)</td></tr>
</table>

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.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>Principaux Elément de l'installation</th><th>Fonction</th><th>Description</th></tr>
<tr><td>Rotor / pales</td><td>Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice</td><td>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 de rotation. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur.

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.

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).Ici le rotor est caractérisé par les données suivantes :

<table>
<tr><th></th><th>V136</th></tr>
<tr><td>Diamètre de rotor</td><td>136 m</td></tr>
<tr><td>Surface balayée</td><td>14 527 m²</td></tr>
<tr><td>Plage de rotation opératoire</td><td>De 5,6 à 14 tours/minute</td></tr>
</table>
Les pales sont caractérisées par les données suivantes :

<table>
<tr><th></th><th>V136</th></tr>
<tr><td>Longueur de pale sans hub</td><td>66,66 m</td></tr>
<tr><td>Longueur de pale (demi-rotor)</td><td>68 m</td></tr>
<tr><td>Largeur de pale maximale</td><td>4,27 m</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Multiplicateur</td><td>Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent</td><td>Le multiplicateur permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur de l'ordre de 100 à 130 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1 500 tours par minute.

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.</td></tr>
<tr><td>Générateur et transformateur</td><td>▪ 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</td><td>Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante).

Le générateur, de type asynchrone, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Il s'agit d'un générateur triphasé, du type quadripolaire à rotor bobiné avec alimentation électrique du stator au démarrage. Il délivre deux niveaux de tension différents (690 V et 480 V en courant alternatif) qui sont dirigés vers le transformateur qui élève la tension de 690 V à 20 000 V.</td></tr>
</table>

Principaux Elément de l'installation	Fonction	Description
Poste 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 régies) ou de transport (RTE) 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. La liaison électrique entre les éoliennes et les postes de livraison est assurée par des câbles souterrains. Les dimensions des postes de livraison sont de 11x2,5 pour le PDL 1 et 10 x 5 m pour le PDL 2

Tableau 17 : Principaux éléments constitutifs des éoliennes V136

Ainsi on retiendra :

Hauteur de moyeu	H	112 m
Hauteur de mât + nacelle	$H_{nacelle}$	113,8 m
Largeur maximale du mât	L	4,44 m
Longueur de pale	R	66,7 m
Largeur de base de la pale	LB	4,27 m

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 et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5,6 et 14 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes 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 45 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

L'électricité est produite par la génératrice avec une tension de 480 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 97 km/h, 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.

4.2.2 Sécurité de l'installation

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'installation sera effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, dans la partie 7 de l'étude de dangers.

L'aérogénérateur :

Concernant la société VESTAS, elle stipule que :

- **La société VESTAS atteste de la conformité de ses aérogénérateurs à l'ensemble des dispositions contenues dans l'Arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020, relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation.**
- **La sociétés VESTAS atteste du respect des principales normes applicables à l'installation d'aérogénérateurs :**
  La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes Vestas, présentée ci-après, n'est pas exhaustive (il y a en effet des centaines de standards applicables). Seuls les principaux standards sont présentés ci-dessous.

  - L'aérogénérateur respecte la Directive Machine 2006/42/CE.
  - 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 nez, les fondations et la tour répondent au standard : IEC61400-1. Les pales respectent le standard IEC61400-1 ; 12 ; 23.
  - 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 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.

La Certification de type (certifications CE) et la déclaration de conformité attestent la conformité de l'aérogénérateur aux standards et directives applicables.

Le balisage :

- **Le balisage aéronautique :**

Le balisage de l'installation sera 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.
Conformément à l'arrêté du 23 avril 2018 publié au JO n°0103 du 4 mai 2018, les caractéristiques du balisage aéronautique seront les suivantes :
- De jour, les 8 éoliennes du parc seront équipées du balisage suivant :

> 3.4. *Balisage lumineux de jour*
>
> Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux diurne assuré par des feux d'obstacle de moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]). Ces feux d'obstacle sont installés sur le sommet de la nacelle et sont visibles dans tous les azimuts (360°).

De nuit, il est possible de proposer un balisage moins impactant visuellement en définissant les catégories d'éoliennes suivantes :

> *b)* Balisage nocturne
>
> Les champs éoliens terrestres peuvent, de nuit, être balisés de la manière décrite ci-après :
>
> Au sein d'un champ éolien terrestre et pour les besoins du balisage nocturne, il est fait la distinction entre certaines éoliennes dites « principales » et d'autres, dites « secondaires ».

Ainsi, de nuit, il est possible de considérer comme éoliennes principales uniquement les éoliennes E01, E03, E04, E05, E06, et E08. D'après l'arrêté :

> Le balisage nocturne des éoliennes principales est conforme à celui prescrit pour les éoliennes isolées.

> 3.5. *Balisage lumineux de nuit*
>
> Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux nocturne assuré par des feux d'obstacle de moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 cd). Ces feux d'obstacle sont installés sur le sommet de la nacelle et sont visibles dans tous les azimuts (360°).

Et de considérer comme éoliennes secondaires les éoliennes E02 et E07. D'après l'arrêté :

> Le balisage nocturne des éoliennes secondaires est constitué :
> – soit de feux de moyenne intensité de type C (rouges, fixes, 2 000 cd) ;
> – soit de feux spécifiques dits « feux sommitaux pour éoliennes secondaires » (feux à éclats rouges de 200 cd).

La Ferme éolienne de La Cerisaie souhaitant conserver des feux à éclats pour les éoliennes principales et secondaires, le deuxième type de balisage proposé par l'arrêté pour les éoliennes secondaires sera donc retenu : « feux spécifiques dits « feux sommitaux pour éoliennes secondaires » (feux à éclats rouges de 200 cd) »

Cela permet donc de réduire significativement l'impact lumineux de nuit.

De plus, un balisage intermédiaire constitué de feux de basse intensité de type B sera installé sur le mât de chaque éolienne à 45 m de hauteur. Tous ces feux seront synchronisés, de jour comme de nuit, à l'aide d'un balisage GPS.

Des onduleurs (ou UPS, Uninterruptible Power Supply) sont utilisés pour assurer temporairement l'alimentation des balisages lumineux et des systèmes de commande en cas de perte du réseau d'alimentation public. Ces systèmes permettent notamment de pallier aux dysfonctionnements liés aux microcoupures électriques. L'alimentation du balisage aérien est prévue pour une durée minimum de 12 heures.

- **Le balisage des prescriptions**

Conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020, relatif aux éoliennes, un balisage d'information des prescriptions à observer par les tiers sont affichées sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur et sur le poste de livraison.

Les prescriptions figurant sur les panneaux sont :

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

La fondation :

Les fondations répondent au standard IEC1400-1.

Leur dimensionnement respecte les codes de construction pour l'Europe, les Eurocodes.

Les principaux Eurocodes utilisés pour le calcul des fondations sont :

- Eurocode 2 : Calcul des structures en béton
- Eurocode 7 : Calcul géotechnique

4.2.3 Opérations de maintenance de l'installation

4.2.3.1 Mode d'exploitation

- *Conduite du système*

Les éoliennes sont des équipements de production d'énergie qui sont disposés à l'écart de 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, …).

Par contre, en cas d'arrêts liés à des déclenchements de capteurs de sécurité (déclenchement VOG, déclenchement détecteur d'arc ou d'incendie, pression basse huile, …), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut et acquitter l'alarme 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 faites par une équipe d'au moins deux personnes.

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 la nacelle n'est réalisée qu'après mise à l'arrêt de la machine. De plus, des dispositifs de sectionnement sont répartis sur l'ensemble de la chaîne électrique afin de pouvoir isoler certaines parties et protéger ainsi le personnel intervenant.

Au-delà de certaines vitesses de vent, les interventions sur les équipements ne sont pas autorisées.

- *Formation des personnels*

Les personnels intervenant sur les éoliennes, tant pour leur montage, que pour leur maintenance, sont des personnels 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.

4.2.3.2 Modalités de maintenance

- **Entretien préventif du matériel :**

L'inspection et l'entretien du matériel sont effectués par des opérateurs Vestas, formés pour ces interventions.

La liste des opérations à effectuer sur les diverses machines ainsi que leur périodicité est définie par des procédures. Les principaux contrôles effectués sont présentés ci-après.

Tableau 18 : Opérations d'entretien et de contrôle du matériel

Composants	Opérations

Inspection après 3 mois de fonctionnement	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.
	Arbre principal	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)	Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour* Vérification des bruits anormaux Vérification du système de lubrification
	Tour	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
	Bras de couple	Vérification boulons Vérification et serrage de la connexion à la terre
	Système d'inclinaison des pales (Vestas Pitch System)	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
	Multiplicateur	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	Vérification du niveau d'huile Vérification des composants du bloc hydraulique et des pompes

Système de freinage	Vérification des étriers, des disques et des plaquettes de freins Inspection des entrées et des sorties de tuyaux
Générateur	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	Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux Vérification du niveau de liquide de refroidissement
Vestas Cooler Top™	Vérification boulons
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

Le contrôle visuel des pales et éléments susceptibles d'être endommagés, notamment par des impacts de foudre, est à effectuer tous les 6 mois au maximum, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.

Les autres vérifications (brides de fixations, brides de mât, fixation des pales, contrôle visuel du mât) 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, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.

Les opérations de maintenance supplémentaires sont présentées ci-après.

	Composants	Opérations
Inspection après chaque année de fonctionnement	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
	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. Replacement 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 su 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
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'élévateur 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	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

- **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.

- **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, …). Ces opérations sont faites à la demande, dès détection du dysfonctionnement, de façon à rendre l'équipement à nouveau opérationnel.

4.2.4 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes de la ferme éolienne de la Cerisaie.

4.2.5 Procédure en cas d'incident

Description :

- Capteurs :

Les éoliennes envisagées 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.

Leurs rôles sont 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'emballe), 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

C'est le système informatique qui permet de visualiser les paramètres techniques dans une éolienne. Plusieurs capteurs/sondes de température y sont reliés ce qui permet à l'opérateur de contrôler l'état d'une éolienne à distance et d'interagir avec elle (arrêt/mise en pause ou redémarrage si besoin la machine).

- Centre Monitoring

Ce service est proposé par le constructeur de l'éolienne. Les opérateurs surveillent 24h/24 et 7jours/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.

- VOLKSWIND Opération & Maintenance

La Ferme Eolienne délègue le service Opération & Maintenance à VOLKSWIND.

Une équipe qualifiée est d'astreinte 24h/24 et 7jours/7. Elle est chargée de gérer l'exploitation technique des éoliennes.

Le personnel, basé en France et en Allemagne, est 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, gestionnaire du réseau de distribution, 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 Centre d'Incendie et de Secours le plus proche du projet est le CPI Brioux, situé au 3 avenue de Royan, 79 170 Brioux-sur-Boutonne, qui aurait un temps d'intervention estimé est inférieur à 10 min. En fonction de la nature de l'incident, ce CPI pourrait être appelé ou à défaut un autre centre spécialisé.

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 ERDF -> couper l'alimentation du Poste de Livraison à distance.

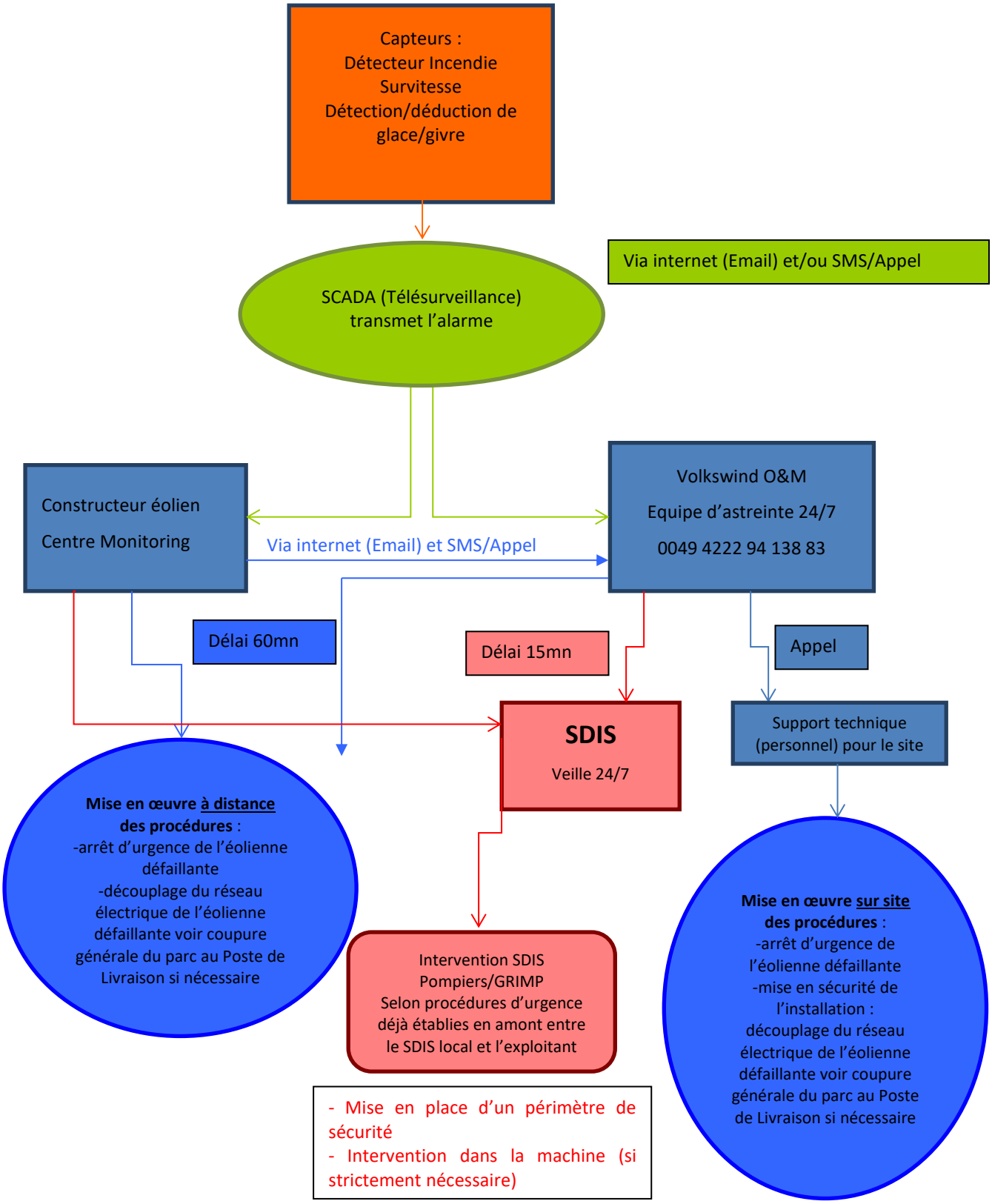
En accord avec le SDIS, des consignes types sont indiquées sur site permettant d'identifier clairement les éléments d'information à donner aux secours lors d'un appel d'urgence, via le **numéro 18** (type d'incidence, accident avec personne ou non, incendie, etc.). Ainsi le SDIS sera en mesure de mobiliser 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

C'est 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.

Les consignes de sécurité aux personnels du SDIS et du site y sont identifiées.

Figure 16 : Procédure en cas d'incident



4.3 FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

4.3.1 Raccordement électrique

Le réseau électrique est décrit précédemment dans la partie 4.1.2.5.

4.3.2 Autres réseaux

La ferme éolienne de la Cerisaie 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.

5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

Ce chapitre de l'étude de dangers a pour objectif de mettre en évidence les éléments de l'installation pouvant constituer un danger potentiel, que ce soit au niveau des éléments constitutifs des éoliennes, des produits contenus dans l'installation, des modes de fonctionnements, etc.

L'ensemble des causes externes à l'installation pouvant entraîner un phénomène dangereux, qu'elles soient de nature environnementale, humaine ou matérielle, seront traitées dans l'analyse de risques.

5.1 POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

L'activité de production d'électricité par les éoliennes ne consomme pas de matières premières, ni de produits pendant la phase d'exploitation. De même, cette activité ne génère pas de déchet, ni d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement.

Les produits identifiés dans le cadre de la ferme éolienne de la Cerisaie sont utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

- Produits nécessaires au bon fonctionnement des installations (graisses et huiles de transmission, huiles hydrauliques pour systèmes de freinage…), qui une fois usagés sont traités en tant que déchets industriels spéciaux
- Produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, dégraissants, nettoyants…) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage…)

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020, relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou le(s) poste(s) de livraison.

5.1.1 Inventaire des produits

Les substances ou produits chimiques mis en œuvre dans l'installation sont limités. Les seuls produits présents en phase d'exploitation sont :

- L'huile hydraulique du circuit haute pression (huile Texaco Rando WM 32) dont la quantité présente est de l'ordre de 250 litres.
- L'huile de lubrification du multiplicateur (huile Mobil Gear SHCXMP) : 1 170 litres.
- L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), utilisée comme liquide de refroidissement, dont le volume total de la boucle est de 400 litres) ;
- Les graisses pour les roulements et systèmes d'entrainements ;
- L'hexafluorure de soufre (SF_6), qui est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique. La quantité présente varie entre 1.5 kg et 2.15 kg suivant le nombre de caissons composant la cellule.

D'autres produits peuvent être utilisés lors des phases de maintenance (lubrifiants, décapants, produits de nettoyage), mais toujours en faibles quantités (quelques litres au plus).

5.1.2 Dangers des produits

- **Inflammabilité et comportement vis à vis de l'incendie**

Les huiles, les graisses et l'eau glycolée ne sont pas des produits inflammables. Ce sont néanmoins des produits combustibles qui sous l'effet d'une flamme ou d'un point chaud intense peuvent développer et entretenir un incendie. Dans les incendies d'éoliennes, ces produits sont souvent impliqués.

Certains produits de maintenance peuvent être inflammables mais ils ne sont amenés dans l'éolienne que pour les interventions et sont repris en fin d'opération.

Le SF_6 est pour sa part ininflammable.

- **Toxicité pour l'homme**

Ces divers produits ne présentent pas de caractère de toxicité pour l'homme. Ils ne sont pas non plus considérés comme corrosifs (à causticité marquée).

- **Dangerosité pour l'environnement**

Vis-à-vis de l'environnement, le SF_6 possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont très limitées (seulement 1 à 2 kg de gaz dans les cellules de protection).

Les huiles et graisses, même si elles ne sont pas classées comme dangereuses pour l'environnement, peuvent en cas de déversement au sol ou dans les eaux entraîner une pollution du milieu.

En conclusion, il ressort que les produits ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils vont entretenir cet incendie, ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux.

5.2 POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement de la ferme éolienne de La Cerisaie sont de cinq types :

- Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, etc.) ;
- Projection d'éléments (morceau de pale, brides de fixation, etc.) ;
- Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur ;
- Echauffement de pièces mécaniques ;
- Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

Installation ou système	Fonction	Phénomène redouté	Danger potentiel
Système de transmission	Transmission d'énergie mécanique	Survitesse	Echauffement des pièces mécaniques et flux thermique
Système de refroidissement	Refroidissement continu des éléments de la nacelle	Perte de circulation d'eau, fuite dans le circuit, arrêt du ventilateur	Echauffement des pièces mécaniques et flux thermique
Pale	Prise au vent	Bris de pale ou chute de pale	Energie cinétique d'éléments de pales
Aérogénérateur	Production d'énergie électrique à partir d'énergie éolienne	Effondrement	Energie cinétique de chute
Poste de livraison, intérieur de l'aérogénérateur	Réseau électrique	Court-circuit interne	Arc électrique
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute d'éléments	Energie cinétique de projection
Rotor	Transformer l'énergie éolienne en énergie mécanique	Projection d'objets	Energie cinétique des objets

Tableau 19 : Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

5.3 REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

5.3.1 Principales actions préventives

Le choix d'implantation des aérogénérateurs diminue significativement les potentiels de dangers :

Les habitations :

La distance minimale réglementaire est de 500 m. L'habitation la plus proche dans le cadre de ce projet se situe en dehors du périmètre d'étude à 700 m de l'éolienne E08. Il s'agit d'une habitation située au lieu-dit Les Oulmes.

Les voies de communications :

La route départementale 101 traverse la zone de danger, entre les éoliennes E01 et E02. Elle passe à 152 m de l'éolienne E01 et 288 m de l'éolienne E02.

La distance minimale recommandée par le Conseil Départemental des Deux-Sèvres pour ce type de route est de une fois la hauteur totale de l'ensemble (mât + pale), soit dans notre cas une distance minimale de 180 m.

Choix du modèle d'éolienne V136 – 4,2 MW :

Ces éoliennes de dernière génération présentent toutes les caractéristiques intrinsèques indispensables au respect de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.

Ces éoliennes permettent de couvrir une plage importante de vent du fait de leur rotor imposant de 136 m de diamètre. Grâce à sa taille, il capte plus facilement le vent même dans les petites vitesses, comparé à un rotor de diamètre inférieur. Cela optimise la production et permet de produire davantage d'électricité à partir d'une même quantité de vent.

Le mât de 112 m quant à lui, permet de positionner l'axe de rotation du rotor à une hauteur telle que les irrégularités du sol n'ont plus d'influence sur la force et la constance du vent.

Les modes de bridage de cette éolienne sont configurables, sans réduction significative de la productivité, ce qui permet une plus grande souplesse lorsque les études acoustiques montrent des dépassements de la réglementation en mode non bridé.

Enfin, les dimensions et émissions acoustiques ont été étudiées dans le cadre des volets écologiques, paysagers, et acoustiques de l'étude d'impacts. Ces études concluent à la bonne adaptation de ce gabarit d'éolienne pour le site choisi.

5.3.2 Réduction des potentiels de dangers liés aux produits

Les produits présents sur chaque éolienne (huile, fluide de refroidissement) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité. Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué et les quantités mises en œuvre sont adaptées aux volumes des équipements.

Une éventuelle pollution liée à l'entretien des éoliennes (déchets, produits d'entretien, huiles) n'est pas à négliger; ces nuisances peuvent toutefois être limitées par des techniques appropriées (bâches destinées à collecter les déchets).

Les transports d'huiles, de liquide de refroidissement et de graisse se font dans leur emballage d'origine ou contenants adaptés. Ils sont hissés du sol jusqu'à la nacelle grâce au palan interne. Les huiles usagées sont récupérées et traitées par une société spécialisée (valorisation, réutilisation des huiles).

Les éoliennes sont par ailleurs équipées de bacs de rétention capables de retenir des hydrocarbures présents notamment dans la nacelle pour lubrification. Un kit anti-pollution est aussi nécessaire pour chaque intervention. Les déchets liquides polluant pouvant entraîner une pollution de l'eau (eau glycolée) ne sont pas jetés à l'égout, ni mélangés aux huiles usagées. Ils sont stockés dans des fûts ou cuves étanches.

Le SF_6 est un très bon isolant et ne dispose pas à ce jour de produit de substitution présentant des qualités équivalentes. De plus, malgré son caractère de gaz à effet de serre, il ne présente pas de danger pour l'homme (ininflammable et non toxique). Il n'est donc pas prévu de solution de substitution. Il faut rappeler que ce gaz est contenu dans les cellules d'isolement disposées en pied d'éolienne (cellules étanches) qui sont des matériels du commerce.

5.3.3 Utilisation des meilleures techniques disponibles

L'Union Européenne a adopté un ensemble de règles communes dès la directive 96/61/CE du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, dite directive IPPC (« Integrated Pollution Prevention and Control »), afin d'autoriser et de contrôler les installations industrielles.

La directive IPPC visait à minimiser la pollution émanant de différentes sources industrielles dans toute l'Union Européenne.

La directive IPPC a été remplacée par la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED. Cette nouvelle directive réunit en un seul texte sept directives distinctes relatives aux émissions industrielles.

Elle regroupe en particulier la directive IPPC, la directive 2001/80/CE relative aux grandes installations de combustion, la directive 2000/76/CE relative à l'incinération de déchets et la directive 1999/13/CE relative aux émissions de solvants.

Ce texte renforce tous les grands principes de la directive IPPC et élargit légèrement le champ d'application. Le bureau européen IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) a élaboré des documents guides, les BREF (Best REFerences), pour un certain nombre de branches industrielles ou de types d'installations techniques, faisant l'état des Meilleures Technologies Disponibles. La Directive IED est entrée en vigueur le 6 janvier 2011. Les BREF deviennent la référence obligatoire pour la détermination des conditions d'autorisation.

Les éoliennes n'entrent pas dans le champ d'application de l'annexe I de la directive IED ou rubrique 3000 et suivantes de la nomenclature des ICPE. Elles ne consomment pas de matières premières et ne rejettent aucune émission dans l'atmosphère. Elles ne sont pas soumises aux prescriptions de cette directive.

6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE

Il n'existe actuellement aucune base de données officielle recensant l'accidentologie dans la filière éolienne. Néanmoins, il a été possible d'analyser les informations collectées en France et dans le monde par plusieurs organismes divers (associations, organisations professionnelles, littérature spécialisée, etc.). Ces bases de données sont cependant très différentes tant en termes de structuration des données qu'en termes de détail de l'information.

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie 8 pour l'analyse détaillée des risques.

6.1 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne tel que présenté dans le guide technique de conduite de l'étude de dangers (mars 2012).

Plusieurs sources ont été utilisées pour effectuer le recensement des accidents et incidents au niveau français. Il s'agit à la fois de sources officielles, d'articles de la presse locale ou de base de données mises en place par des associations :

- Rapport du Conseil Général des Mines (juillet 2004) ;
- Base de données ARIA du Ministère du Développement Durable (http://www.aria.developpementdurable.gouv.fr/) ;
- Communiqués de presse du SER-FEE et/ou des exploitants éoliens ;
- Site Internet de l'association « Vent de Colère » ;
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable » ;
- Articles de presse divers ;
- Données diverses fournies par les exploitants de parcs éoliens en France.

Dans le cadre de ce recensement, il n'a pas été réalisé d'enquête exhaustive directe auprès des exploitants de parcs éoliens français. Cette démarche pourrait augmenter le nombre d'incidents recensés mais cela concernerait essentiellement les incidents les moins graves. Néanmoins, une telle démarche pourra être entreprise en complément.

Dans l'état actuel, la base de données apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 57 incidents a pu être recensé entre 2000 et 2015. Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail.

Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2015. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduits à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. L'identification des causes est nécessairement réductrice. Dans ce graphique sont présentées :

- La répartition des événements effondrement, rupture de pale, chute de pale, chute d'éléments et incendie, par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur foncée ;
- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits ci-dessus. Celle-ci est donnée par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur claire.

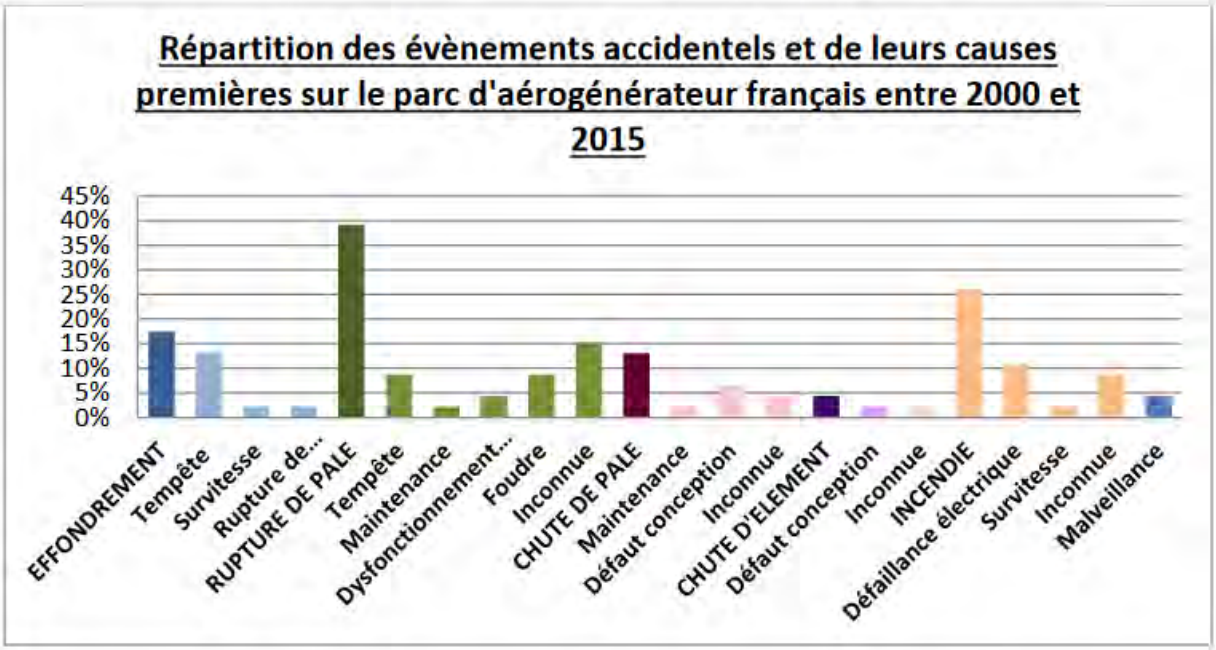


Figure 17 : Répartition des événements accidentels en France

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les incendies, les effondrements, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne. La principale cause de ces accidents est la tempête.

6.2 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

Un inventaire des incidents et accidents à l'international, a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante. Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.

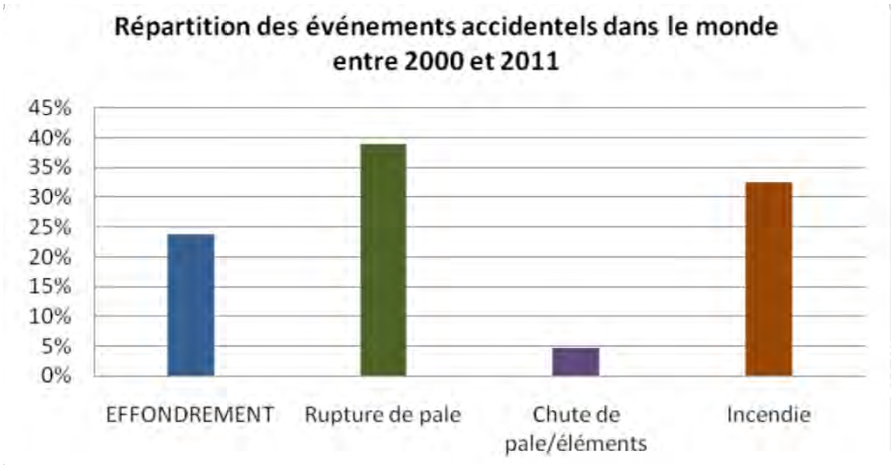


Figure 18 : Répartition des événements accidentels dans le monde

Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

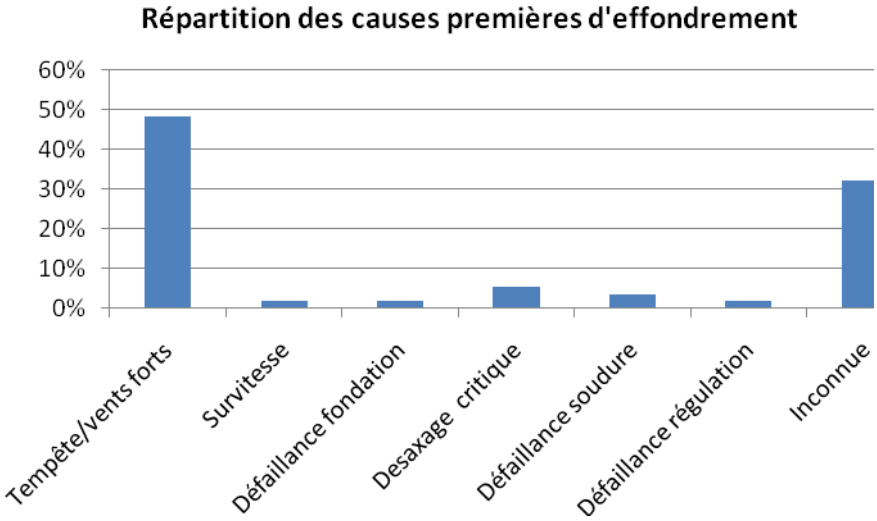


Figure 19 : Répartition des causes premières d'effondrement

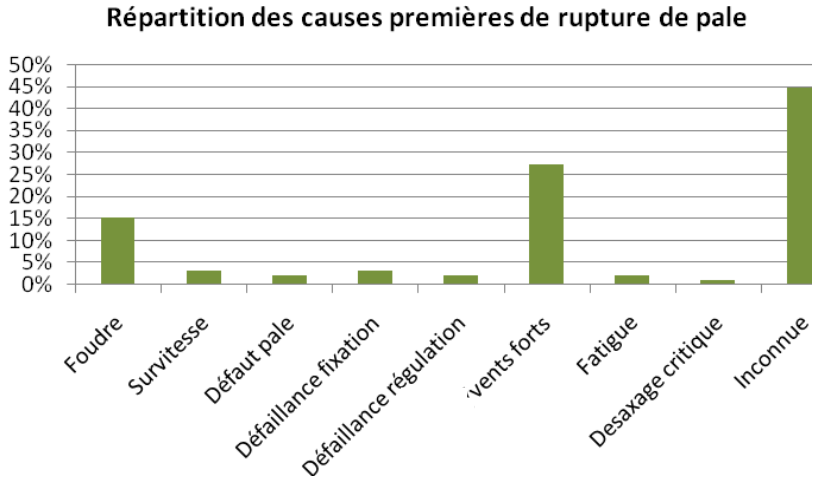


Figure 20 : Répartition des causes premières de rupture de pale

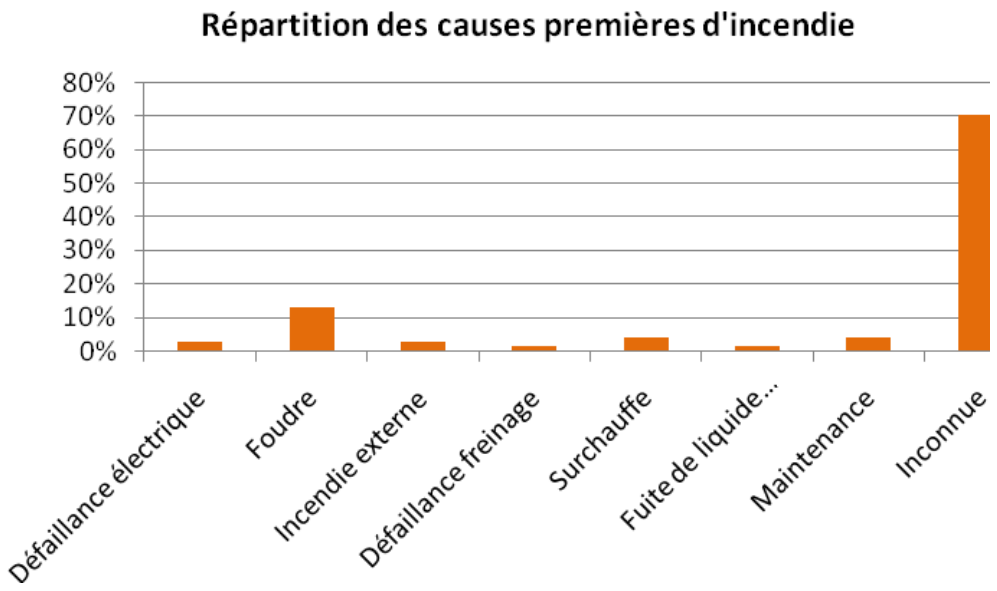


Figure 21 : Répartition des causes premières d'incendie

Tout comme pour le retour d'expérience français, ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents. Il souligne également le rôle de la foudre dans les accidents.

6.3 INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT

Le groupe VOLKSWIND n'a connu qu'un seul accident sur l'ensemble des parcs qu'il exploite depuis 2001. Il s'agit d'un incident qui est survenu sur l'éolienne E1 du parc éolien de Périgné dont une pale s'est cassée début 2020.

6.4 SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

6.4.1 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

A partir de l'ensemble des phénomènes dangereux qui ont été recensés, il est possible d'étudier leur évolution en fonction du nombre d'éoliennes installées.

La figure ci-dessous montre cette évolution et il apparait clairement que le nombre d'incidents n'augmente pas proportionnellement au nombre d'éoliennes installées. Depuis 2005, l'énergie éolienne s'est en effet fortement développée en France, mais le nombre d'incidents par an reste relativement constant.

Cette tendance s'explique principalement par un parc éolien français assez récent, qui utilise majoritairement des éoliennes de nouvelle génération, équipées de technologies plus fiables et plus sûres.

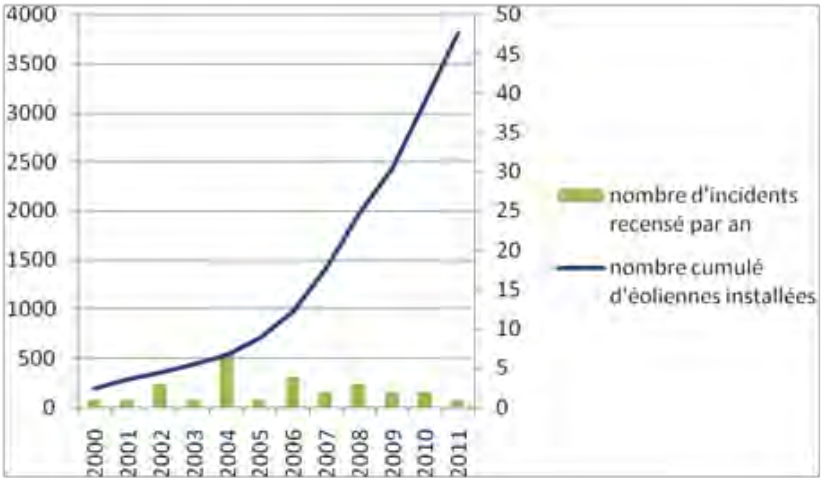


Figure 22 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et du nombre d'éoliennes installées

D'après la base de données ARIA, 39 incidents ou accidents sont survenus en France entre 2002 et 2016 (moyenne de 2,6/ an).

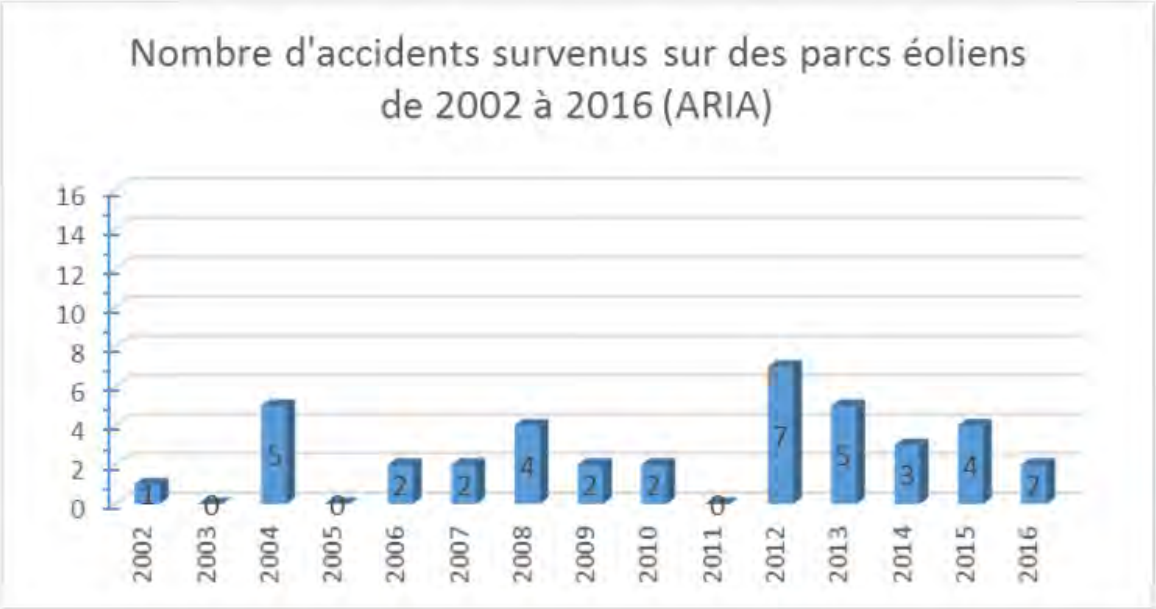


Figure 23: Nombre d'accidents éoliens recensés par la base ARIA entre 2002 et 2016 en France.

Le détail de ces accidents survenus en France de 2002 à 2019 (ARIA) est listé en Annexe 4.

6.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

Le retour d'expérience de la filière éolienne française et internationale permet d'identifier les principaux événements redoutés suivants :

- Effondrements ;
- Ruptures de pales ;
- Chutes de pales et d'éléments de l'éolienne ;
- Incendie.

6.5 LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

Les retours d'expérience présentés ci-dessus doivent être pris avec précaution. Ils comportent notamment les biais suivants :

- La non-exhaustivité des événements : ce retour d'expérience, constitué à partir de sources variées, ne provient pas d'un système de recensement organisé et systématique. Dès lors, certains événements ne sont pas reportés. En particulier, les événements les moins spectaculaires peuvent être négligés : chutes d'éléments, projections et chutes de glace ;
- La non-homogénéité des aérogénérateurs inclus dans ce retour d'expérience : les aérogénérateurs observés n'ont pas été construits aux mêmes époques et ne mettent pas en œuvre les mêmes technologies. Les informations sont très souvent manquantes pour distinguer les différents types d'aérogénérateurs (en particulier concernant le retour d'expérience mondial) ;
- Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents ;

L'analyse du retour d'expérience permet ainsi de dégager de grandes tendances, mais à une échelle détaillée, elle comporte de nombreuses incertitudes.

7. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

7.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accidents majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. Cet objectif est atteint au moyen d'une identification de tous les scénarios d'accidents potentiels pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) basé sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible.

Les scénarios d'accident sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences. Cette hiérarchisation permet de « filtrer » les scénarios d'accidents qui présentent des conséquences limitées et les scénarios d'accidents majeurs – ces derniers pouvant avoir des conséquences sur les personnes.

7.2 RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010, les événements initiateurs (ou agressions externes) suivants sont exclus de l'analyse des risques :

- chute de météorite ;
- séisme d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence éventuellement corrigés de facteurs, tels que définis par la réglementation applicable aux installations classées considérées ;
- crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, selon les règles en vigueur ;
- événements climatiques d'intensité supérieure aux événements historiquement connus ou prévisibles pouvant affecter l'installation, selon les règles en vigueur ;
- chute d'avion hors des zones de proximité d'aéroport ou aérodrome (rayon de 2 km des aéroports et aérodromes) ;
- rupture de barrage de classe A ou B au sens de l'article R. 214-112 du Code de l'environnement ou d'une digue de classe A, B ou C au sens de l'article R. 214-113 du même code ;
- actes de malveillance.

D'autre part, plusieurs autres agressions externes qui ont été détaillées dans l'état initial peuvent être exclues de l'analyse préliminaire des risques car les conséquences propres de ces événements, en termes de gravité et d'intensité, sont largement supérieures aux conséquences potentielles de l'accident qu'ils pourraient entrainer sur les aérogénérateurs. Le risque de sur-accident lié à l'éolienne est considéré comme négligeable dans le cas des événements suivants :

- inondations ;
- séismes d'amplitude suffisante pour avoir des conséquences notables sur les infrastructures,
- incendies de cultures ou de forêts,
- pertes de confinement de canalisations de transport de matières dangereuses,
- explosions ou incendies générés par un accident sur une activité voisine de l'éolienne.

7.3 RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

La première étape de l'analyse des risques consiste à recenser les « agressions externes potentielles ». Ces agressions provenant d'une activité ou de l'environnement extérieur sont des événements susceptibles d'endommager ou de détruire les aérogénérateurs de manière à initier un accident qui peut à son tour impacter des personnes. Par exemple, un séisme peut endommager les fondations d'une éolienne et conduire à son effondrement.

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

- les agressions externes liées aux activités humaines ;
- les agressions externes liées à des phénomènes naturels.

7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes liées aux activités humaines.

Seules les agressions externes liées aux activités humaines présentes dans un rayon de 200 m (distance à partir de laquelle l'activité considérée ne constitue plus un agresseur potentiel) sont recensées ici, à l'exception de la présence des aérodromes qui sera reportée lorsque ceux-ci sont implantés dans un rayon de 2 km et des autres aérogénérateurs qui seront reportés dans un rayon de 500 m.

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Distance par rapport au mât des éoliennes (m)							
				E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
Chemins ruraux	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	99m	108m	>200 m	79m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m
Route départementale 101	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	152m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m
Voies communales	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	143m	>200 m	157m	162m	199m	>200 m	100m	196m
Chemins cadastrés	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	>200m	78m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m
Autre aérogénérateur le plus proche	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	473m /E02	415m /E03	412m /E02	423m /E06	439m /E04	423m /E04	436m /E08	436m /E07
Agriculture	Exploitation agricole	Engin agricole percutant le poste de livraison	Energie cinétique des véhicules	** NA							
Chasse	Loisir	Balle perdue sur les parois du mât ou sur les pales	Energie cinétique de la balle	** NA							

** NA : Non Applicable

Tableau 20 : Agressions externes liées aux activités humaines

7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes liées aux phénomènes naturels :

Agression externe	Intensité
Séisme	Zone de sismicité 3 : modéré
Vents et tempête	Le record de vent est de 40 m/s (144 km/h) enregistré en 1999 sur la station Météo France de Niort.
Inondations	Les différentes communes ne sont pas concernées par un Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) mais elles sont néanmoins concernées par un Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI). Ces communes sont aussi recensées dans un atlas des zones inondables (AZI) concernant la rivière La Belle située à environ 1 km à l'ouest de l'éolienne la plus proche, et la rivière La Béronne située à environ 1,3 km au sud et à l'est des éoliennes les plus proches. Aucune contrainte ne concerne le site du projet.
Foudre	Niveau kéraunique < 25 jours Respect de la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou EN 62 305 – 3 (Décembre 2006)
Glissement de sols/ affaissement miniers	Zone d'aléa retrait-gonflement d'argile d'à priori nul à moyen sur l'ensemble de la zone projet

Tableau 21 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le cas spécifique des effets directs de la foudre et du risque de tension de pas n'est pas traité dans l'analyse des risques et dans l'étude détaillée des risques dès lors qu'il est vérifié que la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou la norme EN 62 305-3 (Décembre 2006) est respectée. Ces conditions sont reprises dans la fonction de sécurité n°6 ci-après.

En ce qui concerne la foudre, on considère que le respect des normes rend le risque d'effet direct de la foudre négligeable (risque électrique, risque d'incendie, etc...). En effet, le système de mise à la terre permet d'évacuer l'intégralité du courant de foudre. Cependant, les conséquences indirectes de la foudre, comme la possible fragilisation progressive de la pale, sont prises en compte dans les scénarios de rupture de pale.

7.4 SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

Le tableau ci-dessous présente une proposition d'analyse générique des risques. Celui-ci est construit de la manière suivante :

- une description des causes et de leur séquençage (*événements initiateurs* et *événements intermédiaires*) ;
- une description des *événements redoutés centraux* qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident ;
- une description des *fonctions de sécurité* permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux ;
- une description des *phénomènes dangereux* dont les effets sur les personnes sont à l'origine d'un accident ;
- une évaluation qualitative de l'*intensité* de ces événements.

L'échelle utilisée pour l'évaluation de l'intensité des événements a été adaptée au cas des éoliennes :

- « 1 » correspond à un phénomène limité ou se cantonnant au surplomb de l'éolienne ;
- « 2 » correspond à une intensité plus importante et impactant potentiellement des personnes autour de l'éolienne.

Les différents scénarios listés de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événements redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience (« G » pour les scénarios concernant la glace, « I » pour ceux concernant l'incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C3	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 22 : Analyse générique des risques

Ce tableau présentant le résultat d'une analyse des risques peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes. Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en annexe 5 de la présente étude de dangers.

7.5 EFFETS DOMINOS

Lors d'un accident majeur sur une éolienne, une possibilité est que les effets de cet accident endommagent d'autres installations. Ces dommages peuvent conduire à un autre accident. Par exemple, la projection de pale impactant les canalisations d'une usine à proximité peut conduire à des fuites de canalisations de substances dangereuses. Ce phénomène est appelé « effet domino ».

En ce qui concerne les accidents sur des aérogénérateurs qui conduiraient à des effets dominos sur d'autres installations, le paragraphe 1.2.2 de la circulaire du 10 mai 2010 précise : « […] seuls les effets dominos générés par les fragments sur des installations et équipements proches ont vocation à être pris en compte dans les études de dangers […]. Pour les effets de projection à une distance plus lointaine, l'état des connaissances scientifiques ne permet pas de disposer de prédictions suffisamment précises et crédibles de la description des phénomènes pour déterminer l'action publique ».

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE n'est évaluée que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres.

Il n'y a pas d'installations ICPE dans ce périmètre d'étude. Les effets dominos ne sont pas étudiés.

7.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

La troisième étape de l'analyse préliminaire des risques consiste à identifier les barrières de sécurité installées sur les aérogénérateurs et qui interviennent dans la prévention et/ou la limitation des phénomènes dangereux listés dans le tableau APR et de leurs conséquences.

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mises en œuvre sur les éoliennes de la ferme éolienne de la Cerisaie.

Dans le cadre de la présente étude de dangers, les fonctions de sécurité sont détaillées selon les critères suivants :

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement d' « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : cette colonne vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de système instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne devront être présentés (détection + traitement de l'information + action). Il n'est pas demandé de décrire dans le détail la marque ou le fonctionnement de l'équipement considéré, simplement de mentionner leur existence.
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).

  Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est recommandé de mesurer cette indépendance à travers les questions suivantes :

  - Est-ce que la mesure de sécurité décrite a pour unique but d'agir pour la sécurité ? Il s'agit en effet ici de distinguer ces dernières de celles qui ont un rôle dans la sécurité mais aussi dans l'exploitation de l'aérogénérateur.
  - Cette mesure est-elle indépendante des autres mesures intervenant sur le scénario ?
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifié et se contenter d'une estimation d'un temps de

réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation impose les temps de réponse suivants :

- Une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;
- Une seconde mesure maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes ;

- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. Il s'agit de vérifier qu'une mesure de sécurité est bien dimensionnée pour remplir la fonction qui lui a été assigné.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

Note 1 : Pour certaines mesures de maîtrise des risques, certains de ces critères peuvent ne pas être applicables. Il convient alors de renseigner le critère correspondant avec l'acronyme « NA » (Non Applicable).

Note 2 : Certaines mesures de maîtrise des risques ne remplissent pas les critères « efficacité » ou « indépendance » : elles ont une fiabilité plus faible que d'autres mesures de maîtrise des risques. Celles-ci peuvent néanmoins être décrites dans le tableau ci-dessous dans la mesure où elles concourent à une meilleure sécurité sur le site d'exploitation.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de déduction de la formation de glace.		
Description	Ce système Vestas déduit la formation de glace sur les pales à partir des données de température et de rendement de l'éolienne (l'accumulation de glace alourdit les pales et diminue le rendement de la turbine). Une configuration du système SCADA permet d'alerter les opérateurs par un message type « Ice Climate ». Une mise à l'arrêt est ensuite effectuée de manière automatique ou manuelle, selon le type de contrat. Les procédures de redémarrage sont définies par l'exploitant.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Mise à l'arrêt de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive		

Tableau 23 : Mesures de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Signalisation du risque en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux de signalisation en pied de machine informant du risque de chute de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
Tests	NA		
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Tableau 24 : Mesures de sécurité pour prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Sondes de température sur pièces mécaniques Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.		
Description	Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc). Remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement. Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Tableau 25 : Mesures de sécurité pour prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté) L'exploitant ou l'opérateur désigné sera 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 aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Tableau 26 : Mesures de sécurité pour prévenir la survitesse

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transformateur et armoires électriques).		
Description	Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles Vestas (qui abritent les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc électrique. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie. Le fonctionnement de ces détecteurs commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine. La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquittement manuel du défaut.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	50 millisecondes Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020. Ce contrôle donne lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé. Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrés dans le manuel de maintenance préventive Vestas.		

Tableau 27 : Mesures de sécurité pour prévenir les courts-circuits

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.		
Description	Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. Des pastilles métalliques en acier inoxydable permettant de capter les courants de foudre sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales. Elles sont reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Le pied de pale est muni d'une plaque métallique en acier inoxydable, sur une partie de son pourtour, raccordée à la tresse de cuivre. Un dispositif métallique flexible (nommé LCTU – Lightning Current Transfer Unit) assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (il s'agit d'un système de contact glissant comportant deux points de contact par pale). Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille. En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué vers la terre via la fondation et des prises profondes.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.		

Tableau 28 : Mesures de sécurité pour prévenir les effets de la foudre

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	1. Sondes de température sur pièces mécaniques. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme. 2. Système de détection incendie		
Description	1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor. 2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffements tels que : - La chambre du transformateur - Le générateur - La cellule haute tension - Le convertisseur - Les armoires électriques principales - Le système de freinage. En cas de détection, 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 système de détection incendie est alimenté par le réseau secouru (UPS). Vis-à-vis de la protection incendie, 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).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Le couplage des éléments de détection de fumée 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, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.		
Efficacité	100%		
Tests	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	Contrôle tous les ans du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020. Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé. Maintenance prédictive sur les capteurs de température.		

Tableau 29 : Mesures de sécurité pour protéger et intervenir en cas d'incendie

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	1. Détecteurs de niveau d'huile et capteurs de pression 2. Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation) 3. Procédure d'urgence 4. Kit antipollution 5. Bacs de rétention		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : − de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; − d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; − de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100%		
Tests	Tests des systèmes hydrauliques à la mise en service, au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance Vestas. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF Vestas. Dépendant du débit de fuite.		
Maintenance	Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié. Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.		

Tableau 30 : Mesures de sécurité pour la prévention et la rétention des fuites

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différents assemblages de structure (ex : brides, joints, etc.) Procédures et contrôle qualité		
Description	La norme IEC 61 400-1 « 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. Le constructeur remet à chacun de ses clients, un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard IEC 61400-1 (édition 2005). Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent aux standards IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400 -1 ; 12 ; 23. De plus, des organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation. L'article R111-38 du code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique de construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'État. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	NA		
Maintenance	Le plan de maintenance Vestas prévoit le contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et le contrôle visuel du mât trois mois puis un an après la mise en service industrielle puis tous les trois ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.		

Tableau 31 : Mesures de sécurité pour prévenir les défauts de stabilité et d'assemblage de l'éolienne

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure de maintenance.		
Description	Préconisation du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	Traçabilité : rapport de service		
Maintenance	NA		

Tableau 32 : Mesures de sécurité pour prévenir les erreurs de maintenance

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	1. Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. 2. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes Vestas		
Description	1. Ce point est détaillé dans le chapitre dédié aux maintenances planifiées. 2. L'intégralité des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes Vestas est suivie et enregistrée dans une base de données unique. Ces données sont traitées par des algorithmes en permanence afin de détecter, au plus tôt, les dégradations des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée. Les algorithmes de détection et de génération d'alarmes sont en amélioration continue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation		
Efficacité	NA		
Tests	Traçabilité : rapport de service		
Maintenance	NA		

Tableau 33 : Mesures de sécurité pour prévenir la dégradation de l'état des équipements

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	▪ Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents ▪ Mise à l'arrêt sur détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle		
Description	En France, la classification de vents des éoliennes fait référence à la norme « IEC 61400-1 ». Les éoliennes Vestas sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine Les éoliennes sont mises à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 25 m/s. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales. Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales « Vestas Pitch System ».		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise drapeau des pales < 1 min		
Efficacité	100%		
Tests	Pitch system testé tous les ans lors des maintenances préventives.		
Maintenance	Tous les ans.		

Tableau 34 : Mesures de sécurité pour prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020.

Notamment, suivant une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant réalise une vérification de 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.

7.7 CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

A l'issue de l'analyse préliminaire des risques, l'étude de dangers précise quels scénarios sont retenus en vue de l'analyse détaillée des risques. Ne sont retenues que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine.

Dans le cadre de l'Analyse Préliminaire des Risques générique, trois catégories de scénarios sont à priori exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques) *I01 à I04*	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020, encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison *I05 à I07*	En cas d'incendie du poste de livraison, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistants du fait notamment de la structure en béton des postes de livraison. Il est également noté que la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 Août 2011, modifié par l'arrêté ministériel du 22 juin 2020, impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).
Infiltration d'huile dans le sol *F01 à F02*	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérés dans le sol restent mineurs.

Tableau 35 : Scénarios exclus

Les cinq catégories de scénarios étudiées dans l'étude détaillée des risques sont les suivantes :

- Projection de tout ou une partie de pale ;
- Effondrement de l'éolienne ;
- Chute d'éléments de l'éolienne ;
- Chute de glace ;
- Projection de glace.

Ces scénarios regroupent plusieurs causes et séquences d'accident. En estimant la probabilité, gravité, cinétique et intensité de ces événements, il est possible de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

8. ETUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

L'étude détaillée des risques vise à caractériser les scénarios retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de probabilité, cinétique, intensité et gravité. Son objectif est donc de préciser le risque généré par l'installation et d'évaluer les mesures de maîtrise des risques mises en œuvre. L'étude détaillée permet de vérifier l'acceptabilité des risques potentiels générés par l'installation.

8.1 RAPPEL DES DEFINITIONS

Les règles méthodologiques applicables pour la détermination de l'intensité, de la gravité et de la probabilité des phénomènes dangereux sont précisées dans l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005.

Cet arrêté ne prévoit de détermination de l'intensité et de la gravité que pour les effets de surpression, de rayonnement thermique et de toxicité.

Cet arrêté est complété par la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

Cette circulaire précise en son point 1.2.2 qu'à l'exception de certains explosifs pour lesquels les effets de projection présentent un comportement caractéristique à faible distance, les projections et chutes liées à des ruptures ou fragmentations ne sont pas modélisées en intensité et gravité dans les études de dangers.

Force est néanmoins de constater que ce sont les seuls phénomènes dangereux susceptibles de se produire sur des éoliennes.

Afin de pouvoir présenter des éléments au sein de cette étude de dangers, il est proposé de recourir à la méthode ad hoc préconisée par le guide technique national relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.

Ainsi, l'étude de dangers doit caractériser chaque scénario d'accident majeur potentiel retenu dans l'étude détaillée des risques en fonction des paramètres suivants :

- Cinétique ;
- Intensité ;
- Gravité ;
- Probabilité.

L'étude porte en effet sur la probabilité que l'accident se produise, la vitesse avec laquelle il produit des effets et à laquelle les secours sont en mesure d'intervenir (cinétique), l'effet qu'il aura s'il se produit (intensité) et le nombre de personnes exposées (gravité).

Cette première partie de l'étude détaillée des risques consiste donc à rappeler les définitions de chacun de ces paramètres, en lien avec les références réglementaires correspondantes.

8.1.1 Cinétique

La cinétique d'un accident est la vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables.

Selon l'article 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [13], la cinétique peut être qualifiée de « lente » ou de « rapide ». Dans le cas d'une cinétique lente, les personnes ont le temps d'être mises à l'abri à la suite de l'intervention des services de secours. Dans le cas contraire, la cinétique est considérée comme rapide.

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une cinétique rapide. Ce paramètre ne sera donc pas détaillé à nouveau dans chacun des phénomènes redoutés étudiés par la suite.

8.1.2 Intensité

L'intensité des effets des phénomènes dangereux est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils d'effets toxiques, d'effets de surpression, d'effets thermiques et d'effets liés à l'impact d'un projectile, pour les hommes et les structures (article 9 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [13]).

On constate que les scénarios retenus au terme de l'analyse préliminaire des risques pour les parcs éoliens sont des scénarios de projection (de glace ou de toute ou partie de pale), de chutes d'éléments (glace ou toute ou partie de pale) ou effondrement de machine.

Or, les seuils d'effets proposés dans l'arrêté du 29 Septembre 2005 [13] caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques. Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par des aérogénérateurs.

Dans le cas de scénarios de projection, l'annexe II de cet arrêté précise : « *Compte tenu des connaissances limitées en matière de détermination et de modélisation des effets de projection, l'évaluation des effets de projection d'un phénomène dangereux nécessite, le cas échéant, une analyse, au cas par cas, justifiée par l'exploitant. Pour la délimitation des zones d'effets sur l'homme ou sur les structures des installations classées, il n'existe pas à l'heure actuelle de valeur de référence. Lorsqu'elle s'avère nécessaire, cette délimitation s'appuie sur une analyse au cas par cas proposée par l'exploitant ».*

C'est pourquoi, pour chacun des événements accidentels retenus (chute d'éléments, chute de glace, effondrement et projection), deux valeurs de référence ont été retenues :

- 5% d'exposition : seuils des effets très importants
- 1% d'exposition : seuil des effets importants

Le degré d'exposition est défini comme le rapport entre la surface atteinte par un élément chutant ou projeté et la surface de la zone exposée à la chute ou à la projection.

Intensité	Degré d'exposition
Exposition très forte	Supérieur à 5%
Exposition forte	Compris entre 1% et 5%
Exposition modérée	Inférieur à 1%

Tableau 36 : Niveaux d'intensité

Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement.

8.1.3 Gravité

Les niveaux de gravité à retenir dans une étude de dangers sont décrits dans l'annexe III de l'arrêté du 29 Septembre 2005. Ils sont déterminés en fonction du nombre équivalent de personnes permanentes dans chacune des zones d'effet définies dans le paragraphe précédent.

	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
« Désastreux »	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
« Catastrophique »	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
« Important »	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
« Sérieux »	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
« Modéré »	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

Tableau 37 : Niveaux de gravité

8.1.4 Probabilité

L'annexe I de l'arrêté du 29 Septembre 2005 définit les classes de probabilité qui doivent être utilisées dans les études de dangers pour caractériser les scénarios d'accidents majeurs :

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	***Courant*** Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	$P > 10^{-2}$
B	***Probable*** S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
C	***Improbable*** Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
D	***Rare*** S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
E	***Extrêmement rare*** Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$\leq 10^{-5}$

Tableau 38 : Niveaux de probabilités

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, la probabilité de chaque événement accidentel identifié pour une éolienne est déterminée en fonction :

- de la bibliographie relative à l'évaluation des risques pour des éoliennes
- du retour d'expérience français
- des définitions qualitatives de l'arrêté du 29 Septembre 2005

Il convient de noter que la probabilité qui sera évaluée pour chaque scenario d'accident correspond à la probabilité qu'un événement redouté se produise sur l'éolienne (probabilité de départ) et non à la probabilité que cet événement produise un accident suite à la présence d'un véhicule ou d'une personne au point d'impact (probabilité d'atteinte). En effet, l'arrêté du 29 septembre 2005 impose une évaluation des probabilités de départ uniquement.

Cependant, on pourra rappeler que la probabilité qu'un accident sur une personne ou un bien se produise est très largement inférieure à la probabilité de départ de l'événement redouté.

La probabilité d'accident est en effet le produit de plusieurs probabilités :

$$P_{accident} = P_{ERC} \times P_{orientation} \times P_{rotation} \times P_{atteinte} \times P_{présence}$$

P_{ERC} = probabilité que l'événement redoute central (défaillance) se produise = probabilité de départ

$P_{orientation}$ = probabilité que l'éolienne soit orientée de manière à projeter un élément lors d'une défaillance dans la direction d'un point donne (en fonction des conditions de vent notamment)

$P_{rotation}$ = probabilité que l'éolienne soit en rotation au moment où l'événement redoute se produit (en fonction de la vitesse du vent notamment)

$P_{atteinte}$ = probabilité d'atteinte d'un point donné autour de l'éolienne (sachant que l'éolienne est orientée de manière à projeter un élément en direction de ce point et qu'elle est en rotation)

$P_{présence}$ = probabilité de présence d'un enjeu donne au point d'impact sachant que l'élément est projeté en ce point donné

Dans le cadre des études de dangers des éoliennes, une approche majorante assimilant la probabilité d'accident ($P_{accident}$) à la probabilité de l'événement redouté central (P_{ERC}) a été retenue.

8.2 CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

8.2.1 Effondrement de l'éolienne

Afin d'aboutir à un résultat conservateur, le calcul de la zone d'impact sera réalisé avec la hauteur du mât et de la nacelle, appelée $H_{nacelle}$, et non pas la hauteur du moyeu H. Dans le cadre de la ferme éolienne La Cerisaie, $H_{nacelle}$ vaut 113,8 mètres et H vaut 112 m.

Ainsi on retiendra :

Hauteur de moyeu	H	112 m
Hauteur de mât + nacelle	$H_{nacelle}$	113,8 m
Largeur maximale du mât	L	4,44 m
Longueur de pale	R	66,7 m
Largeur de base de la pale	LB	4,27 m

Zone d'effet :

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 180 m dans le cas des éoliennes de la ferme éolienne de la Cerisaie.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (références [5] et [6]). Les risques d'atteinte d'une personne ou d'un bien en dehors de cette zone d'effet sont négligeables et ils n'ont jamais été relevés dans l'accidentologie ou la littérature spécialisée.

Intensité :

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor, d'une part, et la superficie de la zone d'effet du phénomène, d'autre part.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement d'une éolienne dans le cas de la ferme éolienne de la Cerisaie. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R est la longueur de pale (R = 66,7 m), D le diamètre du rotor (D = 136 m), H la hauteur du moyeu (H = 112 m), $H_{nacelle}$ la hauteur du mât et de la nacelle ($H_{nacelle}$ = 113,8m), la largeur du mât (L = 4,44 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB = 4,27 m).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 180 m)			
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = (H_{nacelle} \times L) + 3 \times R \times LB/2 =$ 932 m²	$Z_E = \pi \times (H+D/2)^2 =$ 101 788 m²	$De = Z_I / Z_E \times 100 =$ 0,92 % (x<1%)	Exposition modérée

Tableau 39 : Niveau d'intensité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

L'intensité du phénomène d'effondrement est nulle au-delà de la zone d'effondrement.

Gravité :

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »